К 64

А.Г. КОМАР

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

6С3
К 64

6 П1.8
К 64
УДК 691

Рецензенты:
кафедра строительных материалов
Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева
(зав. кафедрой докт. техн. наук проф. Г. И. Горчаков).

286715
Библиотека
КазХТИ
город Чимкент

Комар А. Г.

К64 Строительные материалы и изделия. Изд. 3-е, перераб. и доп. Учебник для вузов. М., «Высш. школа», 1976.

535 с. с ил.

В учебнике рассмотрена номенклатура важнейших групп строительных материалов, освещены теоретические основы, необходимые для правильной оценки свойств и качества изделий. Изложены основы технологии производства вяжущих материалов, сборных железобетонных и асбестоцементных, керамических материалов и изделий на основе полимеров и др. Дан сравнительный технико-экономический анализ эффективности производства и применения важнейших строительных материалов и изделий.

Учебник предназначен для студентов инженерно-экономических специальностей вузов; он может быть использован студентами строительных вузов и факультетов, а также работниками строительной индустрии.

К $\frac{30209-113}{001(01)-76}$ 141—142—76 6П1.8

© Издательство «Высшая школа», 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебнике изложены вопросы материаловедения и технологии строительных материалов, а также дается экономика их производства и использования с целью развития у студентов и специалистов экономического подхода при изучении столь важной области народного хозяйства СССР, какой является производство строительных материалов и изделий. Вопросы экономического характера — технико-экономический анализ отдельных технологических схем и пути дальнейшего развития производства строительных материалов — даны в доступной для студентов форме, отвечающей современному состоянию и перспективам развития отдельных отраслей промышленности строительных материалов. Определенный акцент сделан также на методах технико-экономического анализа для определения оптимальных видов строительных материалов, наиболее рациональных в конкретных условиях службы зданий и сооружений.

Промышленность строительных материалов непрерывно развивается, расширяется ассортимент изделий, внедряются новые методы оптимизации технологии, поэтому студентам наряду с работой над учебником следует пользоваться новейшей литературой — монографиями и журналами.

Учебник предназначен для подготовки специалистов инженерно-экономического профиля в области промышленного и гражданского строительства, эксплуатации зданий и сооружений, предприятий строительной промышленности и городского хозяйства. В нем основы теории и практики изготовления строительных материалов органически связаны с экономикой их производства и применения.

ВВЕДЕНИЕ

Значение промышленности строительных материалов в народном хозяйстве нашей страны огромно — от уровня производства их всецело зависят темпы и качество строительных работ. Так, в 1973 г. было изготовлено: цемента — 109,5 млн. т, сборного железобетона — 102 млн. м^3, кирпича строительного — 46,5 млрд. шт., асбошифера — 7 млрд. усл. пл., стекла листового — 254 млн. м^2.

Динамика роста производства основных строительных материалов и изделий дана в табл. 1.

Таблица 1

Выпуск основных строительных материалов и изделий в СССР с 1940 по 1972 г.

Наименование материалов и изделий	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1972 г.	1972 г. в % к 1970 г.
Цемент, млн. т	5,68	10,2	45,5	72,4	95,0	104,3	110
Кирпич строительный, млрд. шт.	7,46	10,2	35,5	36,9	43,2	45,6	106
Сборный железобетон и бетон, млн. м^3	—	1,3	30,2	56,1	84,6	96,2	114
Стекло листовое, млн. м^2	44,7	76,9	147,2	190,3	231,0	248	107
Мягкая кровля, млн. м^2	127,8	285,0	750,0	1080	1334	1416	106
Асбоцементные листовые материалы, млн. шт. усл. пл.	206	546	2991	4162	5840	6571	113
Минераловатные изделия, млн. м^3		0,7	4,0	8,9	13,2	15,2	115
Легкие заполнители для бетона, млн. м^3	—	—	0,94	7,25	15,7	18,9	120
Линолеум, млн. м^2	—	—	—	31,2	57,4	59,7	104
Гипсовые перегородочные плиты и панели, млн. м^2	—	0,5	23	27,2	33,0	35,4	107
Нерудные строительные материалы, млн. м^3	20	61,6	Нет сведений	396,9	542,7	664,4	122

К 1975 г. объем производства цемента достиг 122 млн. т, сборного железобетона — 117 млн. м^3, шифера асбоцементного — до 8,5 млрд. шт. усл. пл., стекла оконного всех видов — до 320 млн. м^2.

Однако применение строительных материалов далеко не ограничивается использованием их только для целей строительства. Без них не может существовать ни одна область техники.

Различные эксплуатационные условия зданий и сооружений, параметры технологических процессов обусловливают

разнообразные требования к строительным материалам, а отсюда вытекает и весьма обширная номенклатура их свойств: прочность при нормальной или высокой температуре (последняя характеризует жаростойкость или огнестойкость материала), водостойкость, стойкость против действия различных солей, кислот и щелочей, шлакостойкость (имеющая особую значимость в металлургических процессах) и т. д. Не менее важна в строительстве и технике проницаемость (или непроницаемость) материалов для жидкостей, газов, тепла, холода, электрического тока, радиоактивных излучений. Наконец, материалы для отделки помещений жилых и общественных зданий, садов и парков должны быть красивыми, долговечными и прочными.

Получить материал с универсальными свойствами пока еще невозможно — это проблема будущего. В технике и строительстве применяют различные материалы, отличающиеся видами исходного сырья и технологическими приемами получения. Эти два условия положены в основу деления строительных материалов на отдельные группы (керамические, лесные, вяжущие материалы, изделия на основе полимеров и т. д.).

Показатель специфических свойств строительных материалов также положен в основу их подразделения на отдельные самостоятельные группы или обобщают некоторые материалы внутри отдельных групп. Например, минеральные вяжущие вещества разделяются на воздушные и гидравлические вяжущие, а бетоны — на обыкновенные, жароупорные, гидротехнические, декоративные и др.

Важнейшие свойства строительных материалов определяют области их применения. Только глубокое и всестороннее знание свойств материалов позволяет рационально и в техническом, и экономическом отношениях выбрать материал для конкретных условий использования.

На каждый строительный материал имеется ГОСТ или ТУ, в которых дается определение (название) материала, важнейшие свойства и требования, предъявляемые к нему, методы испытаний (установление свойств и их показателей), правила приемки, транспортирования и хранения. Наряду с ГОСТами или ТУ строители пользуются также строительными нормами и правилами (СНиП).

По мере совершенствования технологии и строительного производства повышаются требования к качеству материалов, расширяется ассортимент их. В связи с этим указанные документы периодически пересматриваются.

Значение стандартизации огромно. Оно определяет выпуск материалов и изделий качеством, не ниже обусловленного, что позволяет уже при проектировании создавать надежные и долговечные конструкции независимо от технологии изготовления материалов. Однако значение стандартизации не ограничивается только этим фактором, а является важнейшим стимулом

совершенствования промышленных предприятий, каждый новый или пересмотренный стандарт предъявляет более высокие требования к материалам, чем предыдущий. В результате для обеспечения выпуска материалов стандартного качества должна соответствующим образом перестраиваться промышленность.

Таким образом, развитие промышленности строительных материалов происходит не только количественно, но и качественно — с ростом производства традиционных материалов возникает производство новых, более эффективных изделий. Важной задачей является технико-экономическое сопоставление (в заданных конкретных условиях их применения) конкурирующих видов изделий, с тем чтобы обеспечить наиболее экономически эффективным из них преобладающее развитие.

Известно, что в настоящее время производство многих строительных материалов еще отстает от их потребности в строительстве и поэтому другой важной задачей является дальнейшее опережающее развитие промышленности строительных материалов, неуклонное снижение себестоимости их изготовления и удельных капитальных вложений.

Себестоимость строительных материалов и конструкций слагается (по статьям калькуляции) из: затрат на сырье, основные и вспомогательные материалы с учетом затрат на перевозку их до завода и внутризаводской транспорт; затрат на топливо и электроэнергию, а также другие виды энергетических ресурсов, необходимых для изготовления материалов; заработной платы производственных рабочих с начислениями на социальное страхование и оплату отпусков; цеховых расходов — заработной платы цехового административно-технического персонала и вспомогательных рабочих с начислениями на нее; затрат на отопление, освещение и вентиляцию цеха, на охрану труда, смазочные материалы, возобновление мелкого инвентаря и инструмента, на текущий ремонт оборудования цеха и др.; общезаводских расходов — заработной платы общезаводского персонала с начислениями на нее; затрат на отопление, освещение и вентиляцию общезаводских зданий, например заводоуправления, гаража; затрат на текущий ремонт этих зданий и сооружений и оборудование в них.

В состав цеховых и общезаводских расходов входят также соответствующие амортизационные затраты по основным фондам (машины, механизмы, здания, сооружения, силовое и производственное оборудование, транспортные средства и др.). Часть их необходима для периодически производимого капитального ремонта оборудования и зданий, без чего они не смогут проработать весь установленный для них срок службы, а другая часть — как отчисления на полное восстановление. Эти отчисления необходимы для того, чтобы к окончанию срока службы здания или оборудования накопить сумму, необходимую для возмещения его первоначальной стоимости.

Каждое из слагаемых себестоимости может быть существенно уменьшено. Наиболее значительное снижение себестоимости достигается при увеличении мощности завода. Так, при увеличении мощности завода крупнопанельного домостроения с 35 до 140 тыс. м² жилой площади в год себестоимость продукции снижается на 12%, а при увеличении мощности завода, выпускающего мягкие кровельные материалы (толь, рубероид), с 25 до 125 млн. м² — примерно на 20—25%.

Значительное снижение удельного веса себестоимости сырья достигается использованием в качестве сырья отходов других производств, например металлургических или топливных шлаков, высокой механизацией добычи и транспортирования сырья, приближением промышленных предприятий к источникам получения сырьевых материалов.

Снижение затрат на топливо и энергию может дать значительный экономический эффект, так как тепловая обработка полуфабриката является неотъемлемой частью производства многих строительных материалов. Этого снижения достигают строгим поддержанием заданной технологии сушки, обжига, автоклавной обработки и других тепловых процессов; использованием отработанного тепла (например, отработанного пара) для отопления, горячего водоснабжения и других цеховых нужд и использованием новых методов обработки полуфабрикатов, обеспечивающих экономию топлива и электроэнергии.

Снижение относительной величины заработной платы производственных рабочих на единицу продукции (при росте средней заработной платы на одного рабочего) достигается механизацией и автоматизацией технологических процессов производства строительных материалов. Снижения цеховых и общезаводских расходов добиваются путем возможного сокращения штата цехового и общезаводского административно-технического и обслуживающего персонала и улучшения качества проводимых ремонтов.

Существенным резервом снижения себестоимости продукции является устранение брака.

Поскольку амортизационные отчисления составляют определенную часть от капиталовложений, снижение их относительной величины возможно только за счет уменьшения последних на основе сокращения удельных капитальных вложений и улучшения использования основных производственных фондов.

Величина удельных капиталовложений, т. е. затрат на создание единицы прироста производственных мощностей или выпуска продукции, зависит прежде всего от мощности завода. Так, при увеличении мощности завода крупнопанельного домостроения с 35 до 140 тыс. м² жилой площади в год удельные капитальные вложения уменьшаются почти на 50%, а увеличение мощности завода оконного стекла с 4—6 до 26—30 млн. м² обеспечивает снижение их примерно на 30—35%. Это снижение происходит в основном за счет сокращения удельных затрат на

склады сырья и готовых материалов, транспортные связи, инженерные коммуникации (водопровод, канализацию, теплопроводы, электрохозяйство и др.), вспомогательные цехи, гаражи, котельную и планировку территории. С возрастанием единичной мощности оборудования значительно снижается удельная его стоимость и удельная кубатура соответствующего цеха.

Важным фактором уменьшения удельных капиталовложений является специализация производства, в результате которой сокращается число выпускаемых типоразмеров изделий, растет выпуск продукции, приходящейся на 1 руб. производственных основных фондов, и снижается себестоимость этих изделий. Специализация завода дает возможность осуществить изготовление соответствующего материала или изделия по прогрессивным технологическим схемам. Во многих случаях при этом приходится выбирать наиболее целесообразную из нескольких возможных технологических схем, обеспечивающую наименьшую величину издержек производства.

Критерием экономической эффективности развития производства строительных материалов и конструкций является степень снижения затрат общественного труда, имеющих место при их изготовлении, транспортировании и возведении из них зданий или сооружений. Однако общественный труд затрачивается и при эксплуатации зданий и сооружений; так, стеновые материалы (стена) требуют затрат труда на их ремонт, а также на возмещение потерь тепла через стену в зимнее время, т. е. на отопление; полы из линолеума и паркета имеют разный срок службы, более частая замена первого приводит к дополнительным затратам общественного труда. Учет затрат труда на стадии эксплуатации обычно делают лишь в тех случаях, когда они на этой стадии различны по величине.

Непосредственное определение затрат общественного труда является в настоящее время весьма сложным и поэтому их исчисляют косвенно выраженными в денежной форме как сумму затрат на организацию производства строительного материала (создание соответствующей сырьевой базы и возведение завода или цеха, на котором его будут вырабатывать) и себестоимости этого материала.

Промышленные предприятия, в том числе заводы строительных материалов, должны приносить прибыль, которая в течение ряда лет окупит затраты, ранее сделанные на организацию производства материалов. В настоящее время нормативный срок окупаемости капитальных вложений принят равным 8,3 года, и, следовательно, в каждый год должно окупаться примерно 12% произведенных капитальных вложений в производство. Поэтому при экономическом сопоставлении различных материлов следует складывать себестоимость их годовой продукции на заводе С и 12% от капиталовложений К в заводы. Такая сумма называется приведенными затратами П и выражается формулой: $П = С + 0{,}12\ К$ руб. Более целесообразным (при принятых значениях С и К) будет тот материал, для которого величина П минимальна.

Важным вопросом при определении экономической эффективности мероприятий по внедрению новой техники является выбор базы сравнения. На различных этапах освоения новых материалов выбор исходной базы будет различен. Так, на предпроектной и проектной стадиях, когда решается вопрос, должно ли внедряться данное мероприятие и насколько оно прогрессивно, принимаются лучшие отечественные и зарубежные образцы.

После внедрения опытного образца и получения уточненных эксплуатационных показателей расчет экономической эффективности осуществляется в сравнении с заменяемой техникой или наиболее часто применяемым в отрасли образцом (для расчета реального эффекта, получаемого народным хозяйством).

Если при использовании сопоставляемых материалов имеет место различная стоимость строительно-монтажных работ (например, монтаж стеновых панелей или кладка стен из кирпича), то в величину приведенных затрат в соответствии с действующими методами вводят затраты на производство строительных работ, а также величину капиталовложений строительно-монтажной организации на машины, механизмы и приспособления, необходимые для выполнения этих работ.

При различных затратах на эксплуатацию возведенной из сопоставляемых материалов конструкции приведенные затраты определяются с учетом эксплуатационных издержек.

Снижения затрат на эксплуатацию конструкции добиваются путем улучшения качества соответствующих строительных материалов или изделий. Так, качество стеновых панелей определяет размер затрат на их ремонт и величину потерь через них тепла из помещений. Чтобы здания и сооружения имели оптимальные технические и экономические показатели, были эффективны в технико-экономическом отношении, экономисты-строители должны располагать широкими знаниями номенклатуры строительных материалов и оптимальных условий их применения, исходя из важнейших свойств материалов, и иметь достаточные представления о технологии изготовления строительных материалов. Задачей экономиста-строителя является овладение не только знаниями в области технологии изготовления строительных материалов, но и методами нахождения в данных конкретных условиях экономически наиболее целесообразных направлений развития предприятий строительной индустрии.

Овладев комплексом этих знаний, инженер-экономист, специализирующийся в области строительства, становится активным участником в совершенствовании строительного производства и технологии производства строительных материалов.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства строительных материалов определяют области их применения. Только при правильной оценке качества материалов, т. е. их важнейших свойств, могут быть получены прочные и долговечные строительные конструкции зданий и сооружений высокой технико-экономической эффективности.

Все свойства строительных материалов по совокупности признаков подразделяют на физические, химические и механические. К **физическим** относятся весовые характеристики материала, его плотность, проницаемость для жидкостей, газов, тепла, радиоактивных излучений, а также способность материала сопротивляться агрессивному действию внешней эксплуатационной среды. Последнее характеризует стойкость материала, в конечном итоге обусловливающую сохранность строительных конструкций. **Химические** свойства по существу своему также оцениваются показателями стойкости материала при действии кислот, щелочей, растворов солей, вызывающих обменные реакции в материале и разрушение его. Способность материала сопротивляться сжатию, растяжению, удару, вдавливанию в него постороннего тела и другим видам воздействий на материал с приложением силы характеризуется **механическими** свойствами. Наряду с вышесказанным различают также **технологические** свойства — способность материала подвергаться обработке при изготовлении из него изделий. Эти свойства материалов рассматриваются в соответствующих разделах курса применительно к конкретному материалу.

§ 1. Физические свойства материалов

Удельным весом однородного тела называют вес, который при объеме 1 м³ равен 1 Н. Удельный вес (Н/м³) определяют по формуле

$$\gamma = \rho g,$$

где ρ — плотность материала, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

Удельный вес — величина переменная, зависящая от значения g в пункте измерения и, таким образом, не может служить характеристикой вещества.

Под **плотностью** (кг/м³) понимают массу единицы объема вещества, т. е. отношение покоящейся массы к ее объему:

$$\rho = m/V,$$

где m — масса вещества, кг; V — объем вещества, м³.

Значения плотности некоторых строительных материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Плотности некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м³	Наименование материала	Плотность, кг/м³
Сталь	7800—7900	Кирпич глиняный	2500—2800
Портландцемент	2900—3100	Стекло	2500—3000
Гранит	2700—2800	Известняк	2400—2600
Песок кварцевый	2600—2700	Древесина	1500—1600

Под **объемной массой** (кг/м³) понимают массу единицы объема материала (изделия) в естественном состоянии (с пустотами и порами)

$$\gamma_0 = m_1/V_1,$$

где m_1 — масса материала, кг; V_1 — объем материала, м³.

Объемная масса одного и того же вида материала может быть разной в зависимости от пористости и пустотности. Сыпучие материалы (песок, щебень, цемент и др.) характеризуются **насыпной массой**. В объем таких материалов включаются не только поры в зернах материала, но и пустоты между ними. От объемной массы материала в значительной мере зависят его технические свойства, например прочность, теплопроводность. Этими данными пользуются при определении толщины ограждающих конструкций отапливаемых зданий, размера строительных конструкций, расчетах транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и др.

Значения объемной массы строительных материалов находятся в широких пределах (табл. 3).

Таблица 3

Объемная масса некоторых строительных материалов

Наименование материала	Объемная масса, кг/м³	Наименование материала	Объемная масса, кг/м³
Сталь	7800—7850	Бетон легкий	500—1800
Гранит	2600—2800	Керамзит	300—900
Бетон тяжелый	1800—2500	Сосна	500—600
Кирпич глиняный	1600—1800	Минеральная вата	200—400
Песок	1450—1650	Поропласты	20—100
Вода	1000		

Объемная масса зависит от пористости и влажности материала. С увеличением влажности объемная масса материала увеличивается. Показатель объемной массы в определенной мере является характерным и для оценки экономичности.

Пористостью (%) материала называют степень заполнения его объема порами:

$$P = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\rho}\right) \cdot 100,$$

где γ_0 — объемная масса материала, кг/м³; ρ — плотность материала, кг/м³.

Поры — это мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Поры бывают открытые и закрытые, мелкие и крупные. Мелкие замкнутые поры, заполненные воздухом, придают строительным материалам теплоизоляционные свойства. По величине пористости можно приближенно судить о других важных свойствах материала: объемной массе, прочности, водопоглощении, теплопроводности, долговечности и др. Для конструкций, от которых требуется высокая прочность или водонепроницаемость, применяют плотные материалы, а для стен зданий — материалы со значительной пористостью, обладающие хорошими теплоизоляционными свойствами.

Пустотность. Пустоты представляют собой ячейки, образующиеся между зернами рыхло насыпанного материала (песка, щебня и т. п.), или полости, имеющиеся в некоторых изделиях, например в пустотелом кирпиче, панелях из железобетона. Пустотность песка и щебня составляет 35—45%, пустотелого кирпича — 15—50%.

Свойства материалов по отношению к действию воды характеризуются способностью материала поглощать воду при увлажнении и отдавать ее при высушивании. К этому виду свойств условно относят водопроницаемость материала.

Насыщение материала водой может происходить при действии на него воды в жидком состоянии или в виде пара. В связи с этим соответственно различают два свойства материала — гигроскопичность и водопоглощение.

Гигроскопичность — свойство материала поглощать водяные пары из воздуха и удерживать их вследствие капиллярной конденсации. Она зависит от температуры воздуха, его относительной влажности, вида, количества и размера пор, а также от природы вещества. Одни материалы энергично притягивают своей поверхностью молекулы воды, и их называют гидрофильными, другие отталкивают воду, и их относят к гидрофобным. Отдельные гидрофильные материалы способны также растворяться в воде, тогда как гидрофобные стойко сопротивляются действию водной среды.

При прочих равных условиях гигроскопичность материала зависит от его природы, величины поверхности, включая внутреннюю поверхность (пор и капилляров). Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые материалы.

Водопоглощение — способность материала впитывать и удерживать воду. Характеризуется оно количеством воды, поглощаемой сухим материалом, полностью погруженным в воду, и выражается в процентах от массы (водопоглощение по массе) или объема (водопоглощение по объему) сухого материала.

Величину водопоглощения (%) определяют по формуле

$$w_в = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100,$$

а объемное водопоглощение (кг/м³) — по формуле

$$w_0 = \frac{m_2 - m_1}{V},$$

где m_2 — масса материала в насыщенном водой состоянии, кг; m_1 — масса материала в сухом состоянии, кг; V — объем материала в естественном состоянии, м³.

Водопоглощение всегда меньше истинной пористости, так как часть пор оказывается закрытой, не сообщающейся с окружающей средой и не доступной для воды. Объемное водопоглощение всегда меньше 100%, а весовое водопоглощение у очень пористых материалов может быть более 100%.

Водопоглощение строительных материалов изменяется главным образом в зависимости от объема пор, их вида и размеров. Влияет на величину водопоглощения и природа вещества, степень гидрофильности его.

В результате насыщения водой свойства материалов значительно изменяются: увеличивается объемная масса и теплопроводность, а в некоторых материалах (древесине, глине) увеличивается объем (они разбухают), понижается прочность вследствие нарушения связей между частицами материала проникающими молекулами воды.

Отношение предела прочности при сжатии материала, насыщенного водой $R_{нас}$, к пределу прочности при сжатии материала в сухом состоянии $R_{сух}$ называется коэффициентом размягчения:

$$K_{разм} = R_{нас}/R_{сух}.$$

Этот коэффициент характеризует водостойкость материалов. Для одних — легкоразмокающих материалов — он равен 0 (глина), другие материалы (металл, стекло) полностью сохраняют свою прочность при действии воды, и коэффициент размягчения их равен 1. Материалы с коэффициентом размягчения 0,8 и более относят к водостойким. Материалы с коэффициентом размягчения менее 0,8 в местах, подверженных систематическому увлажнению, применять не разрешается.

Влагоотдача. Материалы, находясь на воздухе, сохраняют свою влажность только при условии определенной, так называе-

мой равновесной относительной влажности воздуха. Если же последняя оказывается ниже этой равновесной влажности, материал начинает отдавать влагу в окружающую среду (высушиваться). Скорость влагоотдачи зависит, во-первых, от разности между влажностью материала и относительной влажностью воздуха — чем она больше, тем интенсивнее происходит высушивание; во-вторых, на влагоотдачу влияют свойства самого материала, характер его пористости, природа вещества. Материалы с крупными порами и гидрофобные легче отдают воду, чем мелкопористые и гидрофильные.

В естественных условиях влагоотдача строительного материала характеризуется интенсивностью потери влаги при относительной влажности воздуха $\varphi = 60\%$ и температуре 20° С.

В воздухе в естественных условиях всегда содержится влага. Поэтому влажный материал высушивается при этих условиях не полностью, а только до строго определенной влажности, называемой равновесной. Состояние материала при этом является воздушно-сухим. Древесина в комнатных условиях, где относительная влажность воздуха обычно не превышает 60%, имеет влажность 8—10%, наружные стены зданий — 4—6%. С изменением относительной влажности воздуха изменяется и влажность материалов (если последние гидрофильные).

Изменение влажности влечет у многих материалов изменение их объема — разбухают при увлажнении, дают усадку при последующем высыхании, иногда возникает и коробление материала. Систематическое увлажнение и высушивание вызывают знакопеременные напряжения в материале строительных конструкций и со временем приводят к потере ими несущей способности (разрушению). В связи с этим вводят понятие воздухостойкость материала.

Воздухостойкость — способность материала длительно выдерживать многократное систематическое увлажнение и высушивание без значительных деформаций и потери механической прочности. Материалы по-разному ведут себя по отношению к действию переменной влажности. Например, бетон в таких условиях склонен к разрушению, так как при высыхании цементный камень сжимается, а заполнитель практически не реагирует; в результате в цементном камне возникают растягивающие напряжения, он сжимается и отрывается от заполнителя. Древесина при изменении влажности подвергается знакопеременным деформациям. Повысить воздухостойкость материалов можно путем введения гидрофобных добавок, придающих материалу водоотталкивающие свойства.

Водопроницаемость — способность материала пропускать воду под давлением. Водопроницаемость характеризуется количеством воды, прошедшей в течение 1 ч через 1 м² площади испытуемого материала при давлении. Плотные материалы (сталь, стекло, битум, большинство пластмасс) водонепроницаемы.

Морозостойкость — способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Систематические наблюдения показали, что многие материалы, находящиеся в условиях попеременного насыщения водой и замораживания ее, постепенно разрушаются. Разрушение происходит в связи с тем, что вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме примерно до 9%. Наибольшее расширение воды при переходе в лед наблюдается при температуре — 4° С; дальнейшее понижение температуры не вызывает увеличения объема льда. При заполнении пор водой и ее замерзании стенки пор начинают испытывать значительные напряжения и могут разрушаться.

Определение степени морозостойкости материалов производится путем замораживания насыщенных водой образцов при температуре от —15 до —17° С и последующего их оттаивания. Такую низкую температуру опыта принимают по той причине, что вода в тонких капиллярах замерзает только при —10° С и ниже.

Морозостойкость материала зависит от плотности и степени насыщения водой их пор. Плотные материалы морозостойки. Из пористых материалов морозостойкостью обладают только такие, у которых в основном имеются закрытые поры или вода занимает менее 90% объема пор. Материал считают морозостойким, если после установленного числа циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии прочность его снизилась не более чем на 15—25%, а потери в массе в результате выкрашивания не превышали 5%. Если образцы после замораживания не имеют следов разрушения, то степень морозостойкости устанавливают определением коэффициента морозостойкости по формуле

$$K_{\text{Мрз}} = R_{\text{Мрз}} / R_{\text{в}},$$

где $R_{\text{Мрз}}$ — предел прочности при сжатии материала после испытания на морозостойкость, Па; $R_{\text{в}}$ — предел прочности при сжатии водонасыщенного материала, Па.

Для морозостойких материалов величина $K_{\text{Мрз}}$ не должна быть менее 0,75.

По числу выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания (степени морозостойкости) материалы подразделяют на марки Мрз 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и более.

В лабораторных условиях замораживание образцов производят в холодильных камерах. Один-два цикла замораживания в камере дают эффект, близкий к 3—5-годичному действию атмосферы. Существует также ускоренный метод испытания, по которому образцы погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия и затем высушивают при температуре 100—110° С.

Образующиеся при этом в порах камня кристаллы десятиводного сульфата натрия (со значительным увеличением объема) давят на стенки пор еще сильнее, чем вода при замерзании. Такое испытание является особо жестким. Один цикл испытания в растворе сернокислого натрия приравнивается 5—10 и даже 20 циклам прямых испытаний замораживанием.

Теплопроводность — свойство материала пропускать тепло через свою толщину. Теплопроводность материала оценивают коэффициентом теплопроводности, равным количеству тепла, проходящему через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 ч при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1° С.

Теплопроводность материала зависит от многих факторов: природы материала, его структуры, степени пористости, характера пор, влажности и средней температуры, при которой происходит передача тепла. Материалы с закрытыми порами менее теплопроводны, нежели материалы с сообщающимися порами. Мелкопористые материалы имеют меньшую теплопроводность, чем крупнопористые. Это объясняется тем, что в крупных и сообщающихся порах возникает движение воздуха, сопровождающееся переносом тепла. Теплопроводность однородного материала зависит от объемной массы. Так, с уменьшением объемной массы материала теплопроводность уменьшается, и наоборот. Общей зависимости между объемной массой материала и коэффициентом теплопроводности не установлено, однако для некоторых материалов, имеющих влажность 1—7% по объему, такая зависимость наблюдается.

На теплопроводность значительное влияние оказывает влажность. Влажные материалы более теплопроводны, нежели сухие. Объясняется это тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. В табл. 4 приведены коэффициенты теплопроводности некоторых строительных материалов.

Таблица 4

Коэффициенты теплопроводности некоторых строительных материалов

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
Сталь	58	Вода	0,59
Гранит	2,9—3,3	Бетон легкий	0,35—0,8
Тяжелый бетон	1,0—1,6	Бетон теплоизоляционный	0,08—0,3
Кирпич глиняный обыкновенный	0,8—0,9	Газостекло	0,06—0,08

Коэффициент теплопроводности характеризует теплофизические свойства материалов, определяя их принадлежность к классу теплоизоляционных, конструктивно-теплоизоляционных и конструктивных.

Значения коэффициентов теплопроводности (Вт/м·°С)

Для теплоизоляционных материалов:	
Класс А	до 0,082
» Б	0,082—0,116
» В	0,116—0,174
» Г	0,174—0,210
Для конструктивно-теплоизоляционных и конструктивных материалов	более 0,210

Теплопроводность материала можно также характеризовать термическим сопротивлением ($R = 1/\lambda$) — величиной, обратной коэффициенту теплопроводности.

Теплопроводность имеет очень важное значение для материалов, используемых в качестве стен и перекрытий отапливаемых зданий, для изоляции холодильников и различных тепловых агрегатов (котлов, теплосетей и т. п.). От величины коэффициента теплопроводности непосредственно зависят затраты на отопление зданий, что особенно важно при оценке экономической эффективности ограждающих конструкций жилых домов и др.

Теплоемкость — свойство материала поглощать при нагревании тепло. Характеризуется теплоемкость удельной теплоемкостью. Удельная теплоемкость представляет собой количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1° С.

Удельную теплоемкость Дж/кг·°С определяют по формуле

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)},$$

где Q — количество тепла, затраченное на нагревание материала от температуры t_1 до t_2, Дж; m — масса материала, кг; $(t_2 - t_1)$ — разность температур материала до и после нагревания, °С.

Удельная теплоемкость стали составляет 460, каменных материалов — 755—925; тяжелого бетона — 800—900; лесных материалов — 2380—2720 Дж/кг·°С.

Теплоемкость материала имеет важное значение в тех случаях, когда необходимо учитывать аккумуляцию тепла, например при расчете теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, с целью сохранения температуры в помещении без резких колебаний при изменении теплового режима, при расчете подогрева материала для зимних бетонных работ, при расчете печей и т. д.

Огнестойкость — способность материала выдерживать действие высокой температуры без потери несущей способности (большого снижения прочности и значительных деформаций). Это свойство важно при пожарах, а так как в процессе тушения пожаров применяют воду, то при оценке степени огнестойкости материала действие высокой температуры сочетают с действием воды.

28675
Библиотека
КазХТИ
города Чимкента

Строительные материалы по огнестойкости делят на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые. Несгораемые материалы под воздействием высокой температуры или огня не тлеют и не обугливаются. К ним относятся природные и искусственные неорганические минеральные материалы, металлы. Однако одни из этих материалов под действием высокой температуры не растрескиваются и не деформируются, например изготовляемый из глины кирпич, а другие, в частности сталь, подвержены при этом значительным деформациям. Поэтому стальные конструкции не могут быть отнесены к огнестойким. Трудносгораемые материалы под воздействием огня или высоких температур обугливаются, тлеют или с трудом воспламеняются, но продолжают гореть или тлеть только при наличии огня. К ним относится, например, древесина, пропитанная огнезащитными составами. Сгораемые материалы горят и тлеют под воздействием огня или высоких температур и продолжают гореть после устранения огня. К ним относятся все органические материалы, не подвергнутые пропитке огнезащитными составами.

Огнеупорность — свойство материала противостоять длительному воздействию высоких температур, не деформируясь и не расплавляясь. Материалы по степени огнеупорности подразделяются на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. К огнеупорным относят материалы, выдерживающие продолжительное воздействие температуры от 1580° С и выше. Тугоплавкие выдерживают температуру 1350—1580° С, а легкоплавкие имеют огнеупорность ниже 1350° С.

Термическая стойкость материала характеризуется его способностью выдерживать определенное количество циклов резких тепловых изменений без разрушения. Термическая стойкость зависит от степени однородности материала, величины температурного коэффициента составляющих его частей. Чем меньше коэффициент температурного расширения, тем выше термическая стойкость материала. К термически нестойким материалам можно отнести стекло, гранит.

Проницаемость излучений ядерного распада. Среди разнообразия физических свойств материалов в атомной промышленности особую значимость приобретает свойство задерживать γ-лучи и потоки нейтронов, опасные для живых организмов. Поэтому некоторые сооружения предприятий атомной промышленности, научно-исследовательских институтов должны выполнять функции биологической защиты. Поток радиоактивного излучения при встрече с конструкциями из данного материала может поглощаться в разной степени в зависимости от толщины ограждения, вида излучения и природы вещества защиты.

Для защиты от нейтронного потока применяют материалы, содержащие в большом количестве связанную воду; от γ-излучений — материалы с большим удельным весом (свинец, особо тяжелый бетон). Связанную воду содержат гидратированные бетоны, лимонитовая руда (водная окись железа) и др. Уменьшить интенсивность проникания нейтронного излучения через бетон можно путем введения в него специальных добавок (бора, кадмия, лития).

Химическая стойкость — способность материала сопротивляться воздействию кислот, щелочей, растворов солей и газов.

Наиболее часто подвергаются действию агрессивных жидкостей и газов санитарно-технические сооружения, канализационные трубы, животноводческие помещения, гидротехнические сооружения (подвергающиеся действию морской воды, в которой находится большое количество растворенных солей).

Не способны сопротивляться действию даже слабых кислот карбонатные природные каменные материалы — известняк, мрамор и доломит; битум не стоек к действию концентрированных растворов щелочей. Наиболее стойкими материалами по отношению к действию кислот и щелочей являются керамические материалы и изделия, а также многие изделия на основе пластмасс.

Долговечность — способность материала сопротивляться комплексному действию атмосферных и других факторов в условиях эксплуатации. Такими факторами могут быть: изменение температуры и влажности, действие различных газов, находящихся в воздухе, или растворов солей, находящихся в воде, совместное действие воды и мороза, солнечных лучей. Потеря материалом механических свойств при этом может происходить в результате нарушения сплошности структуры (образования трещин), обменных реакций с веществами внешней среды, а также в результате изменения состояний вещества (изменения кристаллической решетки, перекристаллизации, перехода из аморфного в кристаллическое состояние).

Процесс постепенного изменения (ухудшения) свойств материалов в эксплуатационных условиях иногда называют **старением**. Долговечность и химическая стойкость материалов непосредственно связаны с величиной затрат на эксплуатацию зданий и сооружений. Повышение долговечности и химической стойкости строительных материалов является наиболее актуальной задачей в техническом и экономическом отношениях.

§ 2. Механические свойства материалов

Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. По совокупности признаков различают прочность материала при сжатии, изгибе, ударе, кручении и т. д., твердость, пластичность, упругость, истираемость.

Прочность — способность материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от нагрузки. Изучением этого свойства материалов занимается специальная наука — сопротивление материалов. Ниже излагаются общие

понятия о прочности материалов, необходимые для изучения основных свойств строительных материалов.

Материалы, находясь в сооружении, могут испытывать различные нагрузки. Наиболее характерными для строительных конструкций являются сжатие, растяжение, изгиб и удар. Каменные материалы (гранит, бетон) хорошо сопротивляются сжатию и на много хуже (в 5—50 раз) — растяжению, изгибу, удару, поэтому каменные материалы используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие. Такие материалы, как металл и древесина, хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение, поэтому их используют в конструкциях, работающих на сжатие, растяжение или изгиб.

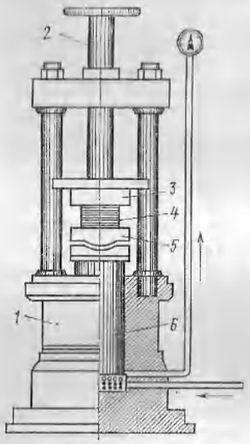


Рис. 1. Схема гидравлического пресса для испытания на сжатие:

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

Прочность строительных материалов характеризуется пределом прочности. Пределом прочности называют напряжение, соответствующее нагрузке, вызывающей разрушение образца материала. Предел прочности (Па) на сжатие или растяжение определяют по формуле

$$R = P/F,$$

где P — разрушающая сила, Н; F — площадь поперечного сечения образца до испытания, м^2.

Предел прочности при сжатии R различных материалов колеблется от 0,5 до 1 000 МПа и более.

Опытным путем прочности на сжатие определяют испытанием образцов на механических или гидравлических прессах (рис. 1). Для этой цели применяют специально изготовленные образцы, обычно формы куба со стороной 2—30 см. Из более однородных материалов образцы делают меньших размеров, а из менее однородных — более крупных размеров.

Иногда на сжатие испытывают образцы, имеющие форму цилиндров или призм. Когда испытывают на растяжение металлы, применяют образцы в виде круглых стержней или полос; при испытании на растяжение вяжущих веществ используют образцы в виде восьмерок.

Для определения предела прочности образцы изготовляют в соответствии с указаниями ГОСТов. Размеры и форму образцов строго выдерживают, так как они существенно влияют на результат испытания. Так, призмы и цилиндры меньше сопро-

тивляются сжатию, чем кубы того же поперечного сечения; наоборот, низкие призмы (высота меньше стороны) больше сопротивляются сжатию, чем кубы. Это объясняется тем, что при сжатии образца плиты пресса плотно прижимаются к опорным плоскостям его и возникающие силы трения удерживают от расширения прилегающие поверхности образца, а боковые центральные части образца испытывают поперечное расширение, которое удерживается только силами сцепления между частицами. Поэтому чем дальше находится сечение образца от плит пресса, тем легче происходит разрушение в этом сечении и образца в целом. По этой же причине при испытании хрупких материалов (камня, бетона, кирпича и т. п.) образуется характерная форма разрушения — образец превращается в две усеченные пирамиды, сложенные вершинами (рис. 2).

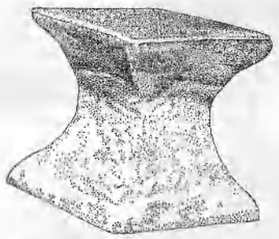


Рис. 2. Образец куба после испытания на сжатие на гидравлическом прессе

На прочность материала оказывают влияние не только форма и размеры образца, но также характер его поверхности и скорость приложения нагрузки. Поэтому для получения сравнимых результатов нужно придерживаться стандартных методов испытания, установленных для данного материала.

Прочность зависит также от структуры материала, его объемной массы (пористости), влажности, направления приложения нагрузки. На изгиб испытывают образцы в виде балочек, расположенных на двух опорах и нагруженных одним или двумя сосредоточенными грузами, увеличиваемыми до тех пор, пока балочки не разрушатся.

Предел прочности на изгиб (Па) определяют по формулам:

при одном сосредоточенном грузе и балке прямоугольного сечения

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2};$$

при двух равных грузах, расположенных симметрично оси балки:

$$R_{изг} = \frac{3P(l-a)}{bh^2},$$

где P — разрушающая нагрузка, Н; l — пролет между опорами, м; b и h — ширина и высота поперечного сечения балки, м; a — расстояние между грузами, м.

В материалах конструкций допускаются напряжения, составляющие только часть предела прочности, таким образом создается запас прочности. При установлении величины запаса прочности учитывают неоднородность материала — чем менее однороден материал, тем выше должен быть запас прочности.

При установлении коэффициента запаса прочности важным является агрессивность эксплуатационной среды и характер приложения нагрузки. Агрессивная среда и знакопеременные нагрузки, вызывающие усталость материала, требуют более высокого коэффициента запас прочности. Величину запаса прочности, обеспечивающую сохранность и долговечность конструкций зданий и сооружений устанавливают нормами проектирования и определяют видом и качеством материала, условиями работы и классом здания по долговечности, а также специальными технико-экономическими расчетами.

За последние годы в практику строительства внедряются новые методы контроля прочности, позволяющие испытывать без разрушения образцы или отдельные элементы конструкций. Этими методами можно испытывать изделия и конструкции при их изготовлении на заводах и строительных объектах, а также после установки их в зданиях и сооружениях. Известны главным образом акустические методы, из которых наибольшее распространение получили импульсный и резонансный. Указанным методам присуще общее основное положение, а именно: физические свойства материала или изделия оцениваются по косвенным показателям — скорости распространения ультразвука или времени распространения волны удара, а также частотой собственных колебаний материала и характеристикой их затухания.

Твердость — способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела. Твердость не всегда соответствует прочности материала. Для определения твердости существует несколько методов. Твердость каменных материалов определяют с помощью минералов шкалы твердости Мооса (табл. 5), состоящей из десяти минералов, расположенных по степени возрастания их твердости. Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один чертит, а другой сам чертится этим материалом. Твердость металлов и пластмасс определяют вдавливанием стального шарика. От твердости материалов зависит их истираемость. Это свойство материала важно при обработке, а также при использовании его для полов, дорожных покрытий.

Истираемость материала характеризуется величиной потери первоначальной массы, отнесенной к 1 м^2 площади истирания. Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней и др. Некоторые материалы испытывают также на износ. **Износом** называют разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Прочность при износе оценивается потерей в массе, выраженной в процентах. Износу подвергают материалы для дорожных покрытий и балласта железных дорог. **Сопротивление удару** имеет большое значение для материалов, применяемых в полах и дорожных покрытиях. Предел прочности материала при ударе характеризуется количеством работы,

затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема материала Дж/м^3. Испытание материалов на удар производят на специальном приборе — копре.

Таблица 5

Шкала твердости Мооса

Показатель твердости	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Легко чертится ногтем
2	Гипс или каменная соль	Чертится ногтем
3	Кальцит или ангидрит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиковый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит (сталь)	Чертится стальным ножом под большим нажимом
6	Полевой шпат	Слегка царапает стекло, стальным ножом не чертится
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальным ножом не чертится
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

Упруго-пластические свойства. Материалы, находящиеся под нагрузкой, деформируются, т. е. изменяют свои размеры и форму. Величина и характер этих деформаций могут быть различными. Если после снятия нагрузки образец материала восстанавливает свои размеры и форму, то деформацию называют упругой, если же он частично или полностью сохраняет изменение формы после снятия нагрузки, то такую деформацию называют пластической.

Упругость — свойство материала восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры. Пределом упругости считают напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой очень малой величины (устанавливаемой техническими условиями на данный материал).

Пластичность — свойство материала изменять свою форму под нагрузкой без появления трещин (без нарушения сплошности) и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Все материалы делятся на пластичные и хрупкие. К пластичным материалам относят сталь, медь, глиняное тесто, нагретый битум и т. п. Хрупкие материалы разрушаются внезапно без значительной деформации. К ним относят каменные материалы. Хрупкие материалы хорошо сопротивляются только сжатию и плохо — растяжению, изгибу, удару.

ГЛАВА II

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

§ 1. Общие сведения и классификация горных пород

Земная кора сложена из горных пород. **Горной породой** называют минеральную массу более или менее постоянного состава, состоящую из одного — мономинерального или нескольких — полиминеральных минералов. Примером мономинеральных горных пород являются кварцевые пески, химически чистые гипс, магнезит, а полиминеральных — гранит, базальт, порфиры.

Минералом называют природное тело, однородное по химическому составу и физическим свойствам. Минерал является продуктом физико-химических процессов, совершающихся в земной коре.

Благодаря повсеместной распространенности в природе и разнообразным физико-механическим свойствам природные каменные материалы широко применяют для строительных целей. Их используют без обработки (гравий, песок) или подвергают механической обработке (дроблению, распиловке, отеске, шлифовке), получая щебень, плиты, штучные камни, различные архитектурно-декоративные детали. Горные породы являются также основным сырьем для получения минеральных вяжущих веществ: гипса, извести, цемента и в производстве искусственных каменных материалов — кирпича, стекла, изделий из бетонов и растворов.

Изучение свойств природных каменных материалов существенно облегчается, если основываться на классификации горных пород. В основу классификации горных пород положено их происхождение (генетическая классификация). Происхождение и условия образования горных пород предопределяют их химико-минералогический состав, кристаллическое строение и структуру. Эти показатели определяют прочность, долговечность, декоративные качества горных пород и являются исходными при выборе и технико-экономической оценке горных пород для различных конструкций зданий и сооружений.

Согласно генетической классификации, горные породы подразделяются на три большие группы: изверженные, осадочные и метаморфические (табл. 6).

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 различным строением и свойствами. В одних случаях магма не вышла на поверхность земли, а застыла под ее верхними слоями — так образовались глубинные горные породы. В других случаях магма излилась и застыла на поверхности земли — так образовались излившиеся горные породы.

Таблица 6

Генетическая классификация горных пород

Изверженные (магматические) породы	Массивные	Глубинные	Граниты, сиениты, диориты, габбро
		Излившиеся	Порфиры, диабазы, трахиты, базальты, порфириты, андезиты
	Обломочные	Рыхлые	Вулканические пеплы, пемзы
		Цементированные	Вулканические туфы
Осадочные породы	Химические осадки		Гипс, ангидрит, магнезит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков
	Органогенные отложения		Известняки, мел, ракушечник, диатомиты и трепелы
	Механические отложения (обломочные породы)	Рыхлые	Глины, пески, гравий
		Цементированные	Песчаники, конгломераты, брекчии
Метаморфические (видоизмененные) породы	Продукты видоизменения изверженных пород		Гнейсы
	То же, осадочных пород		Мраморы, кварциты

Глубинные породы, образование которых происходило под значительным давлением верхних слоев, остывали медленно и сравнительно равномерно. Такие условия были благоприятны для кристаллизации минералов, составляющих горную породу. В связи с этим глубинные породы массивны, плотны и состоят обычно из тесно сросшихся более или менее крупных кристаллов; они обладают большой объемной массой, высокой прочностью на сжатие и морозостойкостью, малым водопоглощением и большой теплопроводностью. Глубинные породы имеют зернистое кристаллическое строение, называемое еще гранитное — от названия наиболее распространенного представителя этих пород — гранита.

Излившиеся породы образовались на поверхности земли при отсутствии давления и при быстром охлаждении магмы. Некото-

рая часть магмы, излившаяся на поверхность, уже содержала кристаллы отдельных минералов. Поэтому в большинстве случаев излившиеся породы состоят из отдельных хорошо сформированных кристаллов, вкрапленных в основную скрытокристаллическую массу; такое строение называют порфировым по аналогии с широко распространенными среди этой группы пород порфирами. В тех случаях, когда излившиеся породы застывали мощным слоем, их строение было сходно с глубинными породами. Если же слой был сравнительно тонок, то охлаждение происходило быстро и масса их оказывалась стекловатой, а верхние слои излившейся лавы становились пористыми вследствие энергичного выделения газов из магмы при уменьшении давления.

Обломочные породы образовались при быстром охлаждении раздробленной, выбрасываемой при извержении вулканов лавы. К этим породам относятся пемза, вулканический пепел. Часть обломочных пород (вулканического пепла) подверглась цементированию, образуя вулканические туфы.

Осадочные горные породы образовались при осаждении веществ из какой-либо среды, главным образом водной. Осаждение происходило периодами в виде отдельных слоев и пластов. По характеру образования и составу осадочные горные породы делят на три группы: 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 породы образовались в результате отложения остатков некоторых водорослей и животных организмов с последующим их уплотнением и цементацией. К органогенным породам относят, например, большинство известняков, мел, диатомиты.

Механические отложения (обломочные породы) образовались в результате осаждения или накопления рыхлых продуктов при физическом и химическом распаде горных пород. Часть из них подвергалась в дальнейшем цементированию глинистым веществом, железистыми соединениями, карбонатами или другими углеродными цементами, образуя цементированные осадочные породы — конгломераты, брекчии.

Метаморфические (видоизмененные) горные породы образовались в результате более или менее глубокого преобразования изверженных или осадочных горных пород под влиянием высоких температуры и давления, а иногда и химических воздействий. В этих условиях может происходить перекристаллизация минералов без их плавления; получающиеся при этом породы обычно более плотны, чем исходные осадочные. В процессе метаморфизма происходило изменение структуры горных пород. В большинстве случаев метаморфические породы отличаются сланцеватой структурой.

§ 2. Породообразующие минералы

Строительные свойства горных пород в значительной степени зависят от их минералогического состава. Одни минералы отличаются высокой прочностью, твердостью, химической стойкостью (кварц), другие имеют низкую прочность, размокают в воде (гипс). Отдельные минералы обладают спайностью и способны легко расщепляться по одному или нескольким направлениям (слюда), понижая этим прочность породы, в состав которой они входят, и т. д.

Отличительными показателями минералов служит их химический состав и физические свойства — плотность, твердость.

Среди большого разнообразия природных минералов только небольшая их часть принимает основное участие в образовании горных пород. Поэтому эти минералы названы породообразующими. К ним относятся: кварц, полевые шпаты, слюды, железисто-магнезиальные минералы, карбонаты и сульфаты.

Кварц по химическому составу представлен двуокисью кремния SiO_2. Это наиболее распространенный минерал земной коры, находящийся в природе в виде самостоятельной горной породы (кварцевых песка и стекла, горного хрусталя) или входящий в состав полиминеральных горных пород. Плотность кварца 2650 кг/м^3, твердость 7 (по минералогической шкале твердости), предел прочности при сжатии около 2000 МПа. Кварц стоек к действию кислот, за исключением плавиковой, и обладает высокой атмосферостойкостью.

При температуре 18—20° С кварц не реагирует с известью $Ca(OH)_2$, но в среде насыщенного водяного пара и при температуре 150—200° С вступает с ней в реакцию, образуя гидросиликаты. Этим свойством кварца пользуются, получая искусственные каменные материалы из смеси кварцевого песка и извести, называемые силикатными. При повышении температуры кварц претерпевает физические изменения. Так, при температуре 575° С кварц из β-модификации переходит в α-модификацию, скачкообразно увеличиваясь в объеме примерно на 1,5%. При температуре 870° С кварц переходит в тридимит, значительно увеличиваясь в объеме, так как плотность тридимита равна 2260, а β-кварца — 2650 кг/м^3. При температуре 1710° С кварц плавится, образуя после быстрого остывания кварцевое стекло.

Полевые шпаты по химическому составу представляют собой алюмосиликаты — соединения кремнезема с окислом алюминия и окислами щелочных металлов K_2O, Na_2O или CaO. Полевые шпаты имеют плоскости спайности, легко раскалываясь по этим плоскостям, и отличаются различной окраской. Твердость их равна 6 (на одну единицу ниже, чем у кварца). По характеру проявления спайности полевые шпаты делят на ортоклазы и плагиоклазы. Ортоклазы $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ — прямо раскалы-

вающиеся минералы; плагиоклазы — косо раскалывающиеся. К последним относятся альбит, или натриевый полевой шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ и анортит, или кальциевый полевой шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$. Полевые шпаты имеют предел прочности на сжатие 120—170 МПа, плотность — от 2500 (ортоклаз) и до 2760 кг/м³ (анортит). По сравнению, например, с кварцем они легко выветриваются, т. е. разрушаются под действием атмосферных агентов — влаги, углекислого газа. Продуктами выветривания являются алюмосиликаты, в частности каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$), входящий в состав глин, а иногда и кальцит ($CaCO_3$).

Слюды — водные алюмосиликаты сложного и разнообразного состава. Их делят на два вида — биотит и мусковит. В биотите содержатся примеси в виде окиси магния и железа, вследствие чего слюда биотит непрозрачна и имеет темный, а иногда и черный цвет; мусковит прозрачен, так как не имеет этих примесей. Слюды легко расщепляются на тонкие, упругие пластинки, что характеризует их совершенную спайность. Плотность мусковита 2760—3100, а биотита — 2800—3200 кг/м³, твердость — 2—3. Биотит входит в состав многих изверженных горных пород. Выветривается он быстрее, чем мусковит. Последний встречается в изверженных и осадочных горных породах.

Железисто-магнезиальные минералы. К этой группе минералов относятся пироксены (наиболее распространенный представитель — авгит), амфиболы (роговая обманка) и оливин. Железисто-магнезиальные минералы имеют сложный химический состав; в основном это силикаты магния и железа. Они имеют темную окраску зеленого, бурого, а иногда и черного цвета. Твердость 5,5—7,5, плотность 3000—3600 кг/м³. Минералы этой группы (за исключением оливина) обладают высокой ударной вязкостью и стойкостью против выветривания. Продуктом выветривания оливина является серпантин, одна из разновидностей которого — хризотил-асбест имеет волокнистое строение и состоит из тончайших, очень прочных волокон. Перечисленные минералы входят преимущественно в состав изверженных горных пород. Важнейшими породообразующими минералами осадочных горных пород являются кальцит, магнезит, доломит, гипс и ангидрит.

Кальцит $CaCO_3$ — известковый шпат является одним из наиболее распространенных минералов земной коры. Кальцит образует крупно-, средне- и мелкозернистые породы; плотность его 2700 кг/м³, твердость 3. Кальцит малорастворим в воде (0,03 г в 1 л), бурно реагирует с кислотами. Вода, содержащая CO_2, действует на кальцит разрушающе, так как при этом образуется кислый углекислый кальций $Ca(HCO_3)_2$, который растворим в воде более чем в 100 раз по сравнению с $CaCO_3$.

Магнезит $MgCO_3$ в отличие от кальцита встречается в природе значительно реже, он имеет несколько бо́льшую твердость и меньшую растворимость, чем кальцит.

Доломит $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ — минерал, который по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль магния и кальция. Доломит по физическим свойствам аналогичен магнезиту.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ представляет собой минерал пластинчатого, волокнистого или зернистого строения, мягкий (твердость 2), плотность 2300 кг/м³. Гипс имеет белый цвет, иногда окрашен примесями в различные цвета: серый, красноватый, желтоватый и черный. Гипс обладает сравнительно легкой растворимостью в воде (примерно в 75 раз большей, чем кальцит).

Ангидрит $CaSO_4$ — безводная разновидность гипса. Плотность ангидрита 2800—3000 кг/м³, твердость 3—3,5; цвет красновато-белый до серого. При длительном воздействии воды ангидрит способен перейти в гипс с незначительным увеличением объема.

Каолинит представляет собой водный силикат алюминия. Отдельные пластинки и чешуйки его бесцветны, а сплошные массы могут иметь белый, желтоватый, буроватый и голубовато-зеленоватый цвета. Твердость каолинита 2,5.

В качестве второстепенных минералов в горных породах встречаются **пирит, серный колчедан FeS_2, апатит** (кальциевая соль фосфорной кислоты) и др.

§ 3. Изверженные горные породы

Среди изверженных горных пород различают массивные и обломочные, образовавшиеся в результате разрушения массивных пород.

Основными представителями *массивных глубинных горных пород* являются граниты, сиениты, диориты и габбро. Медленное охлаждение магмы на большой глубине под значительным давлением создало благоприятные условия для полной кристаллизации магмы. В результате все глубинные породы характеризуются высокой плотностью и ярко выраженной кристаллической (крупнокристаллической) структурой (рис. 3).

Гранит — наиболее распространенная глубинная горная порода, состоящая в основном из кварца, полевого шпата и слюды. Иногда слюда заменена темноокрашенными (железисто-магнезиальными) минералами. Цвет гранита зависит от главной составной части — полевого шпата и наличия темных минералов. Он бывает серый, красный и пр. Зерна минералов имеют настолько прочную спайность, что излом чаще происходит не по плоскости спайности, а по зернам минералов. Объемная масса гранита в среднем 2600 кг/м³, предел прочности на сжатие 100—300 МПа, а на растяжение — 1/40—1/60 предела прочности при сжатии.

Большая механическая прочность, стойкость против выветривания и морозостойкость обусловливают высокие строительные

свойства гранита и изготовленных из него строительных материалов и изделий. Гранит применяют для изготовления облицовочных плит, лестничных ступеней, полов, бортовых камней, щебня и др. Гранит используют при строительстве гидротехнических сооружений и сооружений памятников.

Сиенит состоит в основном из полевого шпата (ортоклаза) и какого-нибудь темноокрашенного минерала. Строение сиенита сходно с гранитом. Плотность 2700—2900, объемная масса 2400—2900 кг/м³, предел прочности на сжатие 150—200 МПа. Сиениты мягче гранитов, лучше поддаются полировке, обладают большей вязкостью. Используют сиениты наряду с гранитами. Между гранитами и сиенитами имеются переходные разности — граносиениты.

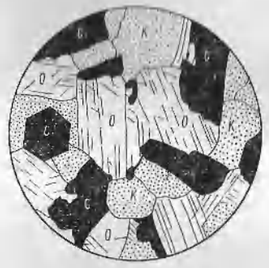


Рис. 3. Вид под микроскопом полнокристаллической зернистой структуры гранита:

К — кварц; *О* — ортоклаз; *С* — слюда

Диориты по минералогическому составу представлены плагиоклазом, роговой обманкой, реже — биотитом и авгитом. Цвет диорита темно-зеленый до черно-зеленого. Объемная масса 2700—2900 кг/м³, предел прочности на сжатие 180—200 МПа. Диориты трудно обрабатываются, обладают большим сопротивлением истиранию, хорошо полируются, стойки против выветривания. Применяют диорит в дорожном строительстве и в виде облицовочных плит.

Габбро — кристаллическая горная порода, состоящая в основном из плагиоклаза и темноокрашенных минералов (пироксены в виде авгита). Реже в состав габбро входит биотит и роговая обманка. Цвет габбро может быть от серого и зеленого до черного. К группе габбро относится также лабрадорит — горная порода, состоящая в основном из минерала лабрадора (разновидности полевого шпата) серого, зеленовато-серого или темного цветов с синим отблеском на плоскостях спайности. Объемная масса габбро близка к плотности и равна 2900—3160 кг/м³ (что свидетельствует об очень высокой плотности); предел прочности при сжатии 100—280 МПа, а иногда и до 350 МПа. Габбро стоек против выветривания, трудно обрабатывается, но дает хорошую долговечную полировку. Применяют его для гидротехнических и других видов сооружений в виде разнообразных строительных материалов — щебня, облицовочных плит и т. д. Лабрадорит, обладающий красивой расцветкой, используют как облицовочный материал.

Излившиеся горные породы образовались при остывании магмы, излившейся на поверхности земной коры. Структура излившихся пород может быть полукристаллической, зернистой и стекловатой. Излившиеся породы имеют химический и минера-

логический составы такие же, как и глубинные, обладают примерно теми же физико-механическими свойствами, но отличаются мелкокристаллической (до стекловатой) структурой.

Кварцевый порфир (аналог гранита) имеет стекловатую структуру с вкраплением крупных зерен кристаллов кварца. При выветривании эти зерна могут выпадать из основной массы горной породы. Плотность 2400—2600 кг/м³, объемная масса близка к плотности, предел прочности на сжатие составляет 130—180 МПа. Используют его в виде щебня или штучного камня. Наряду с кварцевым порфиром существует бескварцевый порфир (аналог сиенитов), в котором кварц отсутствует.

Трахит — горная порода, по химико-минералогическому составу сходная с порфиром, но образовавшаяся в более поздние геологические периоды. Трахит отличается высокой пористостью и относительно низким пределом прочности при сжатии — 60—70 МПа.

Диабаз — аналог габбро — состоит из плагиоклаза и авгита и имеет в своем составе примеси кварца и роговой обманки. Объем близок к плотности — 2800—3000 кг/м³, предел прочности при сжатии — 200—300 МПа, цвет темно-серый. Диабаз хорошо полируется. Применяют его в виде щебня, штучных камней, плит, брусчатки, в качестве облицовочного материала. Из расплавленного диабаза при температуре 1200—1350° С отливают различные изделия. Плавленый диабаз стоек к кислотам и щелочам, обладает высокими диэлектрическими свойствами. Прочность плавленого диабаза составляет около 500 МПа.

Базальт по химическому и минералогическому составу является аналогом габбро. Имеет темный цвет, скрытокристаллическую структуру с некоторым количеством вулканического стекла и состоит из плагиоклаза и авгита. Плотность и объемная масса базальта близки 2700—3300 кг/м³, предел прочности на сжатие — 100—150 МПа. Высокая твердость и прочность базальтов позволяет использовать их в качестве материалов для дорожных покрытий. Применяют базальт так же, как сырье для изготовления каменного литья.

Порфирит и андезит — аналоги диорита. Порфирит более древняя, а андезит более молодая горные породы; цвет их серый, серовато- и желтовато-зеленый. Объемная масса 2200—2800 кг/м³, предел прочности на сжатие 60—240 МПа. Порфириты применяют в качестве облицовочного материала, в виде щебня и дорожной брусчатки, а андезит — как кислостойкий материал — в качестве заполнителя в кислотоупорных бетонах, а также для специальных облицовок.

Обломочные породы делят на рыхлые (пемза, вулканические пеплы и др.) и цементированные (вулканический туф).

Пемза образовалась при быстром остывании магмы и интенсивном выделении из нее газов, вспучивающих массу. Последующее быстрое остывание вспученных кусков магмы приводит к образованию стекловидной пористой породы. Цвет пемзы

серый, черный и иногда белый. Пемза состоит из кремнезема SiO_2 (до 70%) и глинозема Al_2O_3 (до 15%). Залегает пемза в виде обломков размеров 5—50 мм в диаметре, выброшенных во время извержения вулканов. Объемная масса пемзы в куске 400—1400 кг/м³, пористость до 80%, предел прочности на сжатие 0,4—2,0 МПа, твердость 6. Используют пемзу как щебень для легких бетонов, в качестве теплоизоляционного материала, а также как активную минеральную добавку к извести и цементам.

Вулканический пепел встречается в виде порошка от серого до черного цвета. Применяется для получения легких растворов и бетонов, а также в качестве активной минеральной добавки к вяжущим веществам.

Вулканические туфы. При вулканических извержениях к жидкой лаве примешивались пеплы и пески, образуя туфовую лаву. Сцементированная туфовая лава является вулканическим туфом. В результате быстрого охлаждения туфы имеют стекловидное строение. Типичным представителем вулканического туфа является артикский туф (по наименованию месторождения, расположенного близ г. Артик в Армении). Объемная масса туфа в куске 1250—1350 кг/м³, пористость 40—70%, предел прочности на сжатие 8—19 МПа и выше, коэффициент теплопроводности 0,21—0,33 Вт/м·°С. Цвет розовато-фиолетовый. Применяют туф в качестве песка или щебня для легких бетонов и растворов, крупных стеновых блоков, а также активной добавки к воздушной извести или цементу. Высокие декоративные качества и морозостойкость позволяют широко применять туф в качестве облицовочного материала для фасадов зданий.

§ 4. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы, как отмечалось выше, образовались в результате осаждения солей в высыхающих водоемах — химические осадки или скопления остатков растительного и животного мира — органогенные, а также в результате разрушения массивных горных пород магматического или осадочного происхождения — обломочные.

К *химическим осадкам* относятся гипс, ангидрит, магнезит, доломит и известковые туфы.

Гипс — горная порода, состоящая из минерала того же названия. Гипс применяется для производства воздушного вяжущего — строительного гипса, а также в качестве облицовочного материала внутренних частей зданий в виде искусственного мрамора.

Ангидрит состоит из одноименного минерала — ангидрита $CaSO_4$. Применяется в качестве облицовочного материала, а также сырья для производства ангидритового цемента.

Магнезит состоит из минерала того же названия — магнезита $MgCO_3$. Иногда он содержит примеси углекислых кальция и железа. Твердость магнезита 3,5—4,0; цвет белый, желтоватый до бурого. Применяется магнезит в качестве сырья для производства воздушного вяжущего — каустического магнезита и огнеупорных материалов.

Доломит состоит в основном из минерала доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ с примесями глинистого, железистого, кремнистого и других веществ. Цвет серый, желтоватый до бурого. Структура зернистая. По свойствам доломиты близки к плотным известнякам, иногда они обладают и более высокими, чем известняки, механическими качествами. Применяется доломит для производства щебня, изготовления облицовочных плит, огнеупоров и вяжущих материалов.

Известковые туфы образовались при выделении $CaCO_3$ из кислого углекислого кальция, растворенного в воде. Очень пористые известковые туфы используют как сырье для получения извести, а плотные с мелкими равномерно расположенными порами туфы применяют в виде штучных камней для кладки стен и в качестве щебня для легких бетонов.

К *органогенным породам* относятся различные карбонатные и кремнистые породы. Для строительных целей используют известняки, известняки-ракушечники, мел, диатомиты и трепелы.

Известняк образовался в водных бассейнах из остатков животного и растительного мира (или как продукт химических осадков). Рыхлые скопления раковин и их осколков скреплялись углекислым кальцием. Известняк состоит в основном из минерала кальцита $CaCO_3$ и примесей глины, доломита, кварца и др. Объемная масса известняка 1700—2600 кг/м³, прочность на сжатие 10—100 МПа. Цвет белый, желтоватый до бурого. Известняк используют для производства щебня, облицовочных плит и архитектурных деталей, а также для производства извести и портландцемента.

Известняк-ракушечник — пористая горная порода, состоящая из раковин и их обломков, сцементированных известковым веществом. Объемная масса 900—2000 кг/м³, предел прочности на сжатие 0,4—15,0 МПа и более. Применяется для изготовления стеновых камней и блоков, а также в качестве заполнителя для легких бетонов.

Мел — землистая горная порода, состоящая почти из чистого карбоната кальция. В качестве примесей встречаются глинистые вещества и зерна кварца. Мел обладает высокой дисперсностью. Цвет его белый. Применяется в качестве белого пигмента, для приготовления замазки, а также при производстве извести, портландцемента и стекла.

Диатомиты — слабо сцементированная, очень пористая кремнеземистая порода, состоящая из панцирей диатомовых водорослей и частично из скелетов животных организмов. Объемная масса 400—1000 кг/м³, пористость 60—70%.

Трепелы — очень легкая глиноподобная порода, содержащая аморфный кремнезем в виде мельчайших шариков опала. Объемная масса 500—1200 кг/м³, пористость 60—70%, коэффициент теплопроводности 0,17—0,23 Вт/м·°С.

Применяются диатомиты и трепелы для изготовления теплоизоляционных материалов, для производства легкого кирпича, а также в производстве гидравлических вяжущих в качестве активных минеральных добавок.

Механические отложения. В результате физического выветривания горные породы под влиянием воды и температуры распадались на глыбы, куски и мелкие частицы. Продукты разрушения переносились ветром и особенно водными потоками на различные расстояния и оседали. Так образовались глины, песок, щебень и гравий из массивных горных пород.

Химическое выветривание проявлялось в результате взаимодействия составных частей горных пород с различными веществами, находящимися в атмосфере. Так, полевой шпат (ортоклаз) под действием воды и углекислоты (находящейся в воздухе) разрушался, образуя минерал каолинит

$$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + 2H_2O + CO_2 = \underset{\text{(поташ)}}{K_2CO_3} + 4SiO_2 + \underset{\text{(каолинит)}}{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}$$

К физическому и химическому выветриванию (разрушению) горных пород часто присоединяется еще биохимическое выветривание, являющееся результатом жизнедеятельности животных и растительных организмов. В результате выветривания горных пород образуются дисперсные частицы, зерна и крупные обломки; некоторые из них цементируются глиной, кальцитом или кремнеземом, образуя цементированные горные породы. В зависимости от крупности зерен и цементации их различают следующие виды механических отложений осадочных горных пород.

Песок — рыхлая смесь зерен различных пород крупностью 0,14—5,0 мм. В зависимости от условий образования пески бывают горные, речные, морские, дюнные, барханные и др. Применяются для приготовления бетонов и растворов.

Гравий — окатанной формы зерна крупностью 5—70 мм. Применяется в качестве заполнителя для бетонов.

Песчаники — горная порода, состоящая из зерен кварца, сцементированная глинистым, кремнеземистым или известковым веществом. Прочность песчаника зависит от вида цементирующего вещества, крупности и формы сцементированных зерен. Наиболее прочные кремнеземистые песчаники имеют предел прочности при сжатии 200 МПа и более. Используют песчаники в качестве щебня для бетона, облицовки опор мостов и зданий, для дорожных покрытий, так как они имеют высокие морозостойкость и прочность при истирании.

Конгломераты и брекчии карбонатные. Горная порода, состоящая из сцементированных зерен щебня, называется брекчией, а из сцементированных зерен гравия — конгломератом. Конгломераты и брекчии используют в качестве щебня для бетонов, штучного камня и облицовочных плит.

§ 5. Метаморфические (видоизмененные) горные породы

Из метаморфических пород в строительстве применяют гнейсы, глинистые сланцы, мрамор, кварциты.

Гнейсы по минералогическому составу являются аналогами гранита и имеют сланцевое строение. Используют гнейсы преимущественно как облицовочные плиты, в виде бутового камня для кладки фундаментов и стен неотапливаемых зданий, для тротуаров.

Глинистые сланцы состоят из уплотненных сланцевых глин. Цвет темно-серый, иногда черный. Глинистые сланцы легко раскалываются на тонкие плитки, обладают высокой атмосферостойкостью и долговечностью, что позволяет использовать их в качестве кровельного материала.

Мрамор — кристаллическая порода, образовавшаяся из известняков или доломитов. Кристаллы соединены без цементирующего вещества. Прочность мрамора — до 300 МПа. Твердость небольшая — 3,0—3,5. Он сравнительно легко пилится на плиты и хорошо полируется. Применяют мрамор для облицовки внутренних частей зданий, так как снаружи зданий полировка быстро утрачивается. Это объясняется слабой химической стойкостью мрамора при воздействии на него атмосферы.

Кварциты — метаморфическая разновидность кремнистых песчаников с перекристаллизованными и сросшимися зернами кварца, так что цементирующее вещество неразличимо. Кварциты стойки против выветривания, прочность достигает 400 МПа. Используют кварциты для облицовки зданий, опор мостов, а также как сырье для производства динасовых огнеупорных изделий.

§ 6. Разработка и обработка природных каменных материалов

Горные породы, пригодные для изготовления каменных материалов, называют полезными ископаемыми. Породы, сопровождающие полезные ископаемые и не используемые для указанной цели, относят к пустой породе. Работы, связанные с добычей полезных ископаемых, называют горными работами. Выработанные пространства, образующиеся в процессе добычи полезного ископаемого, получили название выработок, разрабатываемые месторождения — карьеров.

Добычу природных каменных материалов осуществляют главным образом открытым способом. Разработку горных пород в карьерах ведут различными способами: экскаваторами,

гидромеханическим способом, камнерезными машинами, взрывным способом и т. д. Современные способы добычи основаны на широкой механизации всех производственных операций.

Выбор способа добычи природных каменных материалов зависит от вида горной породы, глубины и условий ее залегания, твердости и др. Рыхлые горные породы (песок, гравий, глина) добывают открытым способом с помощью различных машин, из которых наиболее распространенными являются одно- и многоковшовые эскаваторы, а также с помощью гидромеханизации. Сущность гидромеханизации заключается в том, что вода подводится к месту добычи грунта под давлением, создаваемым насосами, проходит через гидромонитор и, вылетая с большой скоростью из его насадки, производит размыв породы. Затем из смеси грунта с водой (пульпы) выделяется товарная продукция (песок или гравий).

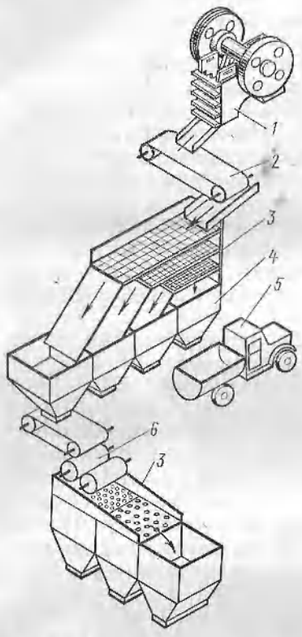


Рис. 4. Схема многоступенчатого дробления:

1 — щековая дробилка; *2* — транспортер; *3* — грохот; *4* — бункер; *5* — автосамосвал; *6* — вальцовая дробилка

Песок и гравий в карьерах классифицируют по крупности зерен на две и более фракций. Щебень получают дроблением горных пород, добываемых взрывным или другим способом. Дробление, сортировку и обогащение щебня осуществляют на дробильно-сортировочных установках (рис. 4), располагаемых вблизи карьеров.

Поступающую на завод горную породу загружают в бункер, из которого вибрационным питателем подают в щековую дробилку, а оттуда — на промежуточный открытый склад. Со склада масса конвейером подается в грохот; более мелкие фракции щебня поступают затем в конусную дробилку, а более крупные вновь проходят дробление в щековых дробилках. Из конусной дробилки щебень подают на сортировку в грохот для разделения на фракции.

Массивные изверженные горные породы разрабатывают, как правило, взрывом. При отделении глыб слоистых, трещиноватых, столбчатых пород применяют механические средства (клинья, механические лопаты и др.). Мягкие породы (известняк-ракушечник, известковые туфы и др.) добывают путем расчленения массива камнерезной машиной на блоки определенных размеров и правильной геометрической формы. При разработке месторождений некоторых разновидностей гранитов, туфов, мраморов (в открытых выработках) на штучный камень, плиты, блоки и пр. применяют также способ распиловки породы механическими пилами.

На рис. 5 показаны современные машины, применяемые при разработке мрамора, мраморовидных известняков, известняков-ракушечников и других горных пород прочностью от 3 до 180 МПа. Конструкция машины СМ-428 (рис. 5, *а*) позволяет подрезать участки выветренной зоны горизонтальной фрезой, подрезать блоки сечением 1000×1000 мм произвольной длины горизонтальной и вертикальной фрезами.

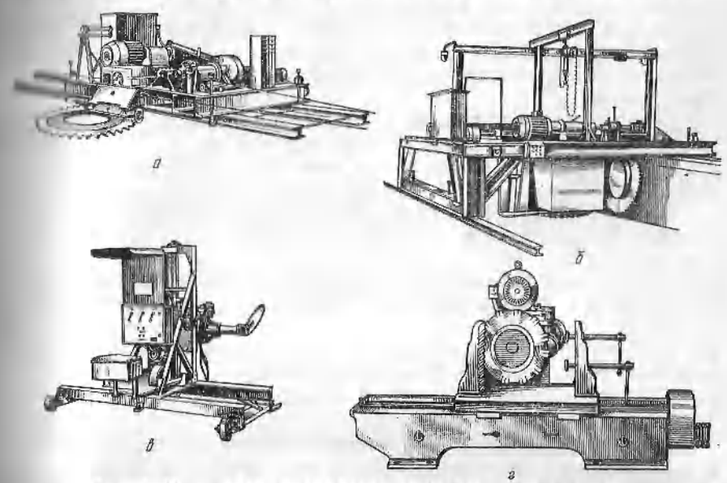


Рис. 5. Машины для разработки и обработки горных пород:

а — камнерезная машина СМ-428; *б* — камнерезная машина СМ-177А; *в* — камнерезная машина КМАЗ-188; *г* — фрезерный станок ЛТ-2

Камнерезную машину СМ-177А (рис. 5, *б*) применяют для вырезки блоков мрамора и других горных пород камня прочностью 5—180 МПа непосредственно из горного массива. Конструкция этой машины позволяет выполнять операции по прорезке продольных и поперечных траншей, прорезке поперечных рядов на глубину блока, подрезке блока снизу и окончательной отрезке от массива. Можно получить максимальный размер блока 1000×1000 мм при произвольной длине.

Камнерезная машина КМАЗ-188 (рис. 5, *в*) предназначена для вырезки штучного камня в подземных условиях, в забоях

небольшого сечения (ширина 2880 мм и высота 2330 мм), а также в шахтах большого сечения и открытых разработках. Управление машины кнопочное с пульта управления электромагнитной станции, установленной на машине. Эту машину применяют для вырезки камня ракушечника прочностью до 3 МПа, размерами 19×24×49 см и 19×19×39 см. Для обработки камня из пород прочностью до 40 МПа применяют фрезерный станок ЛТ-2, на котором можно обрабатывать камни длиной до 480 и высотой до 400 мм (рис. 5, *г*).

Рабочие процессы, в результате которых камню придают заданные форму и размеры, а лицевой поверхности — необходимую фактуру, называют обработкой камня. Обработку камня производят механизированным способом на специализированных заводах.

В зависимости от способа изготовления изделия и материалы из природного камня делят на следующие виды:

пиленые — получаемые из массива камнерезными или камнекольными машинами (блоки-полуфабрикаты, крупные камни);

пиленые — из блоков-полуфабрикатов с последующей обработкой (облицовочные плиты, цельные ступени, подоконные доски и т. п.);

колотые — раскалыванием блоков с последующей обработкой (плиты и камни тесаные, бортовой камень, брусчатка и т. п.);

грубоколотые — направленным раскалыванием блоков без последующей обработки (постелистый камень);

рваные — взрыванием горной породы и отделением мелких фракций (бутовый камень);

дробленые — дроблением горной породы с последующим разделением на фракции (щебень, песок искусственный);

молотые — помолом горной породы (молотый минеральный порошок, каменная мука).

По характеру обработки поверхности камня, получаемого раскалыванием, различают следующие фактуры: «скала», рифленую, бороздчатую и точечную, рассмотренные далее.

При обработке камня абразивами получают следующие фактуры: шлифованную, имеющую мелкошероховатую поверхность, лощеную гладкую, бархатисто-матовую поверхность с выявленным рисунком камня, зеркальную с гладкой поверхностью и зеркальным блеском.

§ 7. Материалы и изделия из природного камня

Природные каменные материалы, обладая высокой атмосферостойкостью, прочностью и красивой окраской, широко применяют в строительстве в виде блоков для кладки стен и фундаментов зданий и сооружений, в виде облицовочных плит и камней для наружных и внутренних стен зданий и сооружений, при строительстве дорог, тротуаров, набережных, подпорных

[illegible] и других сооружений, к материалам которых предъявляются особые требования по прочности, долговечности и декоративности.

В соответствии со СНиПом каменные материалы классифицируют по следующим признакам:

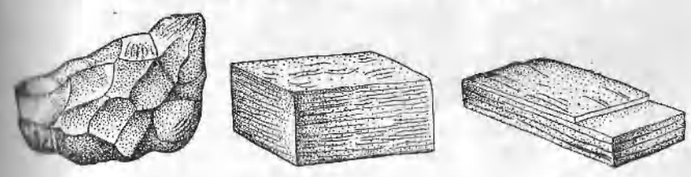
по объемной массе — обыкновенные (тяжелые) с объемной массой 1800 кг/м³ и более, легкие — менее 1800 кг/м³;

по пределу прочности на сжатие — для обыкновенных установлены М 100—1000, а для легких — М 4—200;

по степени морозостойкости — обыкновенные тяжелые имеют марки Мрз 15—500; легкие — Мрз 10—25;

по степени водостойкости (коэффициенту размягчения) — 0,6—1.

Выбор горных пород для производства строительных материалов и изделий производят на основании результатов испы-



а *б* *в*

Рис. 6. Бутовый камень:
а — рваный; *б* — постелистый; *в* — лещадный

таний образцов из них и технико-экономического анализа, целесообразности использования данной породы в конкретных условиях.

Материалы и изделия для фундаментов и стен. Для кладки фундаментов и стен подземных частей зданий применяют бутовый, колотый и пиленый камень из плотных изверженных, осадочных и метаморфических горных пород. Коэффициент размягчения камня, применяемого для этих целей, должен быть не менее 0,7, морозостойкость не ниже Мрз 15. В зависимости от формы бутовый камень бывает рваный, постелистый и лещадный (рис. 6). Бутовый камень имеет размеры 150—500 мм.

Изделия и материалы, применяемые для кладки фундаментов и подземных стен, изготовляют из однородного камня, не имеющего следов выветривания, прослоек глины, а также расслоений и трещин. Для кладки надземных стен (устоев мостов, укреплений откосов насыпей и берегов рек, кладки подпорных стенок) и для дробления на щебень применяют пиленые и колотые штучные камни, получаемые из известняков, доломитов, песчаников, вулканических туфов.

Лицевая поверхность стеновых камней и крупных стеновых блоков должна отвечать требованиям декоративности,

Известняки и туфы, применяемые для изготовления стеновых камней, должны иметь объемную массу 900—2200 кг/м³, предел прочности на сжатие 0,4—50 МПа, морозостойкость не ниже Мрз 15, коэффициент размягчения 0,6—0,7. Стеновые камни изготовляют следующих размеров: 390×190×188 и 490×240×188 мм.

Крупные стеновые блоки (рис. 7) изготовляют из горных пород с объемной массой до 2200 кг/м³ и пределом прочности 2,5 МПа и выше. Крупные стеновые блоки, предназначенные для механизированной укладки, имеют размеры от 300×800×900 до 3000×1000×500 мм.

Облицовочные и архитектурные изделия. Облицовочные плиты и камни, элементы лестниц и площадок, парапетов и ограждений изготовляют из блоков природного камня путем их



а *б* *в*

Рис. 7 Каменные стеновые блоки:
а — колотый; *б* — тесаный; *в* — пиленый

распиливания или раскалывания с последующей механической обработкой.

В зависимости от физико-механических свойств и строения исходной горной породы блоки делят на четыре группы: I — блоки из гранита, сиенита, диорита, лабрадорита, габбро, кварцита, базальта, диабаза; II — блоки из мрамора, брекчии и конгломератов, карбонатных пород и гипсового камня; III — блоки из известняка и песчаника; IV — блоки из вулканического туфа.

Горные породы, применяемые для изготовления блоков (см. рис. 6), должны иметь предел прочности на сжатие не менее 5 МПа, морозостойкость — не менее Мрз 15, коэффициент размягчения — 0,7—0,9. Размеры и объем блоков зависят от горной породы, из которой они изготовлены. Наименьший размер блоков из туфа 0,2—0,4 м³, наибольший — 0,7—1,0 м³, а из гранита — 0,5—3 м³.

Блоки, предназначенные для распиливания, не должны иметь сквозных трещин. Тонкие извилистые трещины, выходящие на две смежные грани, допускаются только в блоках из цветного мрамора.

Облицовочные плиты и камни изготовляют путем раскалывания или распиливания блоков-полуфабрикатов. Облицовочным плитам придают самую разнообразную фактуру лицевой

поверхности: *зеркальную* (полированную), получаемую из плотных горных пород (гранита, лабрадорита, мрамора, мраморизованного известняка, брекчии, конгломерата) обработкой полировочным порошком с накаткой глянца; *лощеную* — обработкой шлифовальным порошком без накатки глянца на плитах, изготовленных из плотных горных пород, исключая гипсовый камень; *шлифованную* — шлифованием абразивными инструментами лицевой поверхности плит, изготовленных из гранита, сиенита, лабрадорита, известняка, вулканического туфа и других горных пород; *пиленую* — распиливанием на канатных пилах или распиловочных станках с прямолинейным движением рамы; *точечную* — обработкой крестовой бучардой; *бороздчатую* — применением пластинчатой бучарды или катучей фрезы; *рифленую* — обработкой фрезой; *фактуру «скала»* — раскалыванием камня с дополнительным околом лицевой грани по периметру.

Плиты, применяемые для настилки полов и облицовки стен, имеют прямоугольную форму и размеры в зависимости от породы и фактуры поверхности камня. Для фактуры «скала» изделия должны иметь толщину не менее 150; для точечной, бороздчатой и рифленой фактуры — не менее 60, а зеркальной поверхности — не менее 12 мм. Плиты изготовляют шириной 200—400 мм и длиной 300—1000 мм. Из более прочных пород плиты изготовляют больших, а из менее прочных — меньших размеров.

К профильным элементам облицовки стен относятся цокольные плиты и камни для обрамления порталов, пояски карнизов, угловые и подоконные плиты. Их изготовляют из тех же материалов, что и облицовочные плиты, и придают самую разнообразную фактуру лицевой поверхности.

Элементы лестниц и площадок, парапеты и ограждения делают из мрамора, известняка, туфа, гранита, сиенита и других горных пород. Так же как и облицовочным плитам, лицевой поверхности элементов лестниц и площадок, парапетов и ограждений придают самую разнообразную фактуру в зависимости от вида горной породы.

Поделочные камни. При изготовлении различных художественных предметов народного потребления, выполнении мозаичных работ и высокодекоративных отделок монументальных зданий в Советском Союзе широко применяют поделочный камень: яшму, родонит (орлец), лазурит, нефрит, малахит, янтарь и др. Необыкновенно обширная палитра красок, включающая практически все цвета спектра, и бесконечно разнообразное количество оттенков позволяют создавать из поделочного камня высокохудожественные произведения искусства. Многие его разновидности обладают выявляемым в разрезе после полировки природным рисунком и узором, чарующим своей фантастичностью, неповторимостью сюжета и необычностью сочетания красок.

Большой интерес представляют цветные и пестроцветные камни зеленого и красного цветов, обладающие высокой

твердостью и прочностью. Встречается яшма на Урале, в Караганде, Крыму, Закарпатье и других местах.

Родонит (орлец) представляет собой мелкозернистую породу, обладающую широким диапазоном красных расцветок древовидного рисунка от бледно-розового до интенсивно красного. Орлец является полупрозрачным материалом. Благодаря значительным запасам этого камня в нашей стране его широко использовали при отделке станции «Маяковская» Московского метрополитена и других зданий.

Нефрит — природный камень зеленого цвета. Обладая высокой твердостью и вязкостью, он трудно поддается обработке, однако это же его свойство обеспечивает возможность добиться исключительных эффектов в результате получения тончайших узоров.

Лазурит встречается разных цветов — от бледно-голубого до ярко-синего с вкраплинами золотистого цвета и обладает сравнительно небольшой твердостью.

Янтарь — желтый прозрачный, имеющий большую твердость. Известны случаи применения янтаря для отделки внутренних помещений дворцов.

Широко распространенным поделочным камнем является природный гипс, отличающийся большим разнообразием расцветок — от белого до голубого. Низкая твердость гипсового камня позволяет легко изготовлять из него сложные скульптурные изделия для интерьеров зданий, а также применять его в качестве облицовочного материала, более экономичного, чем мрамор.

Поделочные камни применяют не только для отделки интерьеров общественных зданий, но и в различных областях техники.

Материалы и изделия для дорожного строительства. Для дорожного строительства применяют следующие материалы и изделия из природного камня: бортовые камни, брусчатку, колотый или булыжный камень, щебень, песок и минеральный порошок. Материалы и изделия для дорожного строительства получают из изверженных и осадочных горных пород.

Изверженные горные породы должны обладать следующими свойствами: предел прочности при сжатии глубинных горных пород — не менее 100, излившихся — не менее 60 МПа, коэффициент размягчения — не менее 0,9, водопоглощение — не более 1,0%, морозостойкость — не менее Мрз 25, сопротивление удару — не менее 15 кг·см/см^2 и объемная масса — 2300 кг/см^3 и более. Осадочные горные породы должны иметь объемную массу 2100 кг/м^3, коэффициент размягчения — не менее 0,75, водопоглощение — не более 4%, морозостойкость — не менее Мрз 25 и сопротивление удару — 15 кг·см/см^2. Горные породы не должны быть затронуты выветриванием.

Бортовые камни применяют для отделения проезжей части улиц от тротуаров, а также автомобильных дорог от тротуаров на уникальных мостах и в туннелях. По форме бортовой камень

представляет собой брус (рис. 8, *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. 8, *б*) высотой 10—16, шириной 12—15 и длиной 15—25 см, по форме близки к параллелепипеду, а лицевая поверхность имеет форму прямоугольника. Предел прочности при сжатии исходной породы не ниже 100 МПа, водопоглощение не более 0,6%. Применяют при устройстве мостовых (особенно часто при крутых подъемах и спусках), трамвайного полотна, посадочных площадок трамвая и пр.



Рис. 8. Изделия для дорожного строительства:
а — бортовой камень: *1* — прямой; *2* — лекальный; *3* — для съездов; *б* — брусчатка

Колотый булыжный камень используют для укрепления откосов земляных покрытий и оснований. Колотый камень по форме близок к многогранной призме или усеченной пирамиде с площадью лицевой поверхности 100, 200 и 400 см^2 при соответствующей высоте 16, 20 и 30 см. Лицевая поверхность и постель должны быть параллельны, на боковых гранях не должно быть выступов, препятствующих плотному примыканию к другому камню. Булыжный камень имеет овальную форму, его лицевая сторона должна быть больше поверхности постели. Размеры булыжного камня такие же, как и колотого камня.

Материалы и изделия для подземных, гидротехнических сооружений и мостов. *Для подземных сооружений и мостов* применяют плиты и камни 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. Морозостойкость указанных горных пород для этих целей — Мрз 100 и более. При изготовлении облицовочных плит из плотного известняка или песчаника их прочность должна быть не ниже 60, а морозостойкость — не менее Мрз 100. Для облицовки подводных частей мостов применяют изделия из гранита, диорита, базальта и диабаза с пределом прочности при сжатии не менее 100 МПа и морозостойкостью — не менее Мрз 100. Лицевые камни и облицовочные плиты для туннелей и мостов обрабатывают под

фактуры «скала», бороздчатую или рифленую. Размеры и формы плит и камней устанавливают проектом.

Для *гидротехнических сооружений* применяют природные камни правильной или неправильной формы (рваные, обкатанные, колотые и пиленые, а также щебень), получаемые из изверженных, метаморфических или осадочных пород. Камни не должны иметь признаков выветривания, прослоек мягких пород — глины, гипса и других размокаемых и растворимых включений, а также рыхлых включений ракушек и видимых расслоений и трещин.

Камни для гидротехнического строительства делят: по объемной массе в сухом состоянии — на тяжелые с объемной массой свыше 1800, средние — 1500—1800 кг/м³; по прочности на сжатие — на низкопрочные (слабые) с пределом прочности на сжатие — 2,5—10, средней прочности — 15—40 и высокопрочные (прочные) — 50 МПа и выше. По степени морозостойкости камни имеют марки Мрз 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 и 500. Коэффициент размягчения для низкопрочных камней должен быть не менее 0,6; средней прочности — 0,75 и высокопрочных — 0,9 и более.

Для изготовления камней низкой прочности применяют известняки, средней прочности — известняки и песчаники и для камня высокой прочности — известняки, доломиты, песчаники, граниты, диориты, габбро, базальты и диабазы.

Жаростойкие и химически стойкие материалы и изделия. Материалы и изделия из природных камней, применяемые для работы при высоких температурах или в агрессивных средах, изготовляют из горных пород, не затронутых выветриванием. Для материалов и изделий, работающих в условиях высоких температур, используются хромит, базальт, диабаз, андезит, туф. Для защиты конструкций зданий и аппаратов от кислот (кроме плавиковой и кремнефтористоводородной) применяют облицовочные плиты из гранита, сиенита, диорита, кварцита, андезита, трахита, базальта, диабаза и кремнистого песчаника. Защита от щелочей достигается применением изделий из плотных известняков, доломитов, мрамора, магнезита и известкового песчаника. Для защиты от действия высокой температуры и агрессивных сред применяют камни правильной формы и фасонные, плиты облицовочные и плиты для полов (гладкие и рифленые), камень, щебень и песок для бетонов и растворов, а также тонкомолотые порошки в качестве наполнителя для бетонов, растворов, мастик, замазок, шпаклевок и грунтовок.

Материалы и изделия из природного камня, применяемые для защиты от высоких температур, должны отвечать требованиям жаростойкости, а применяемые для защиты от коррозии изверженные горные породы должны иметь предел прочности на сжатие 100 МПа и более, объемную массу — не менее 2400 кг/м³, водопоглощение — не менее 1%, морозостойкость — Мрз 300 и выше и кислотостойкость — не менее 95%; осадочные

горные породы применяют с пределом прочности на сжатие не менее 30 МПа, объемной массой — 2300 кг/м³ и более, водопоглощением — не более 2% по массе, морозостойкостью — более Мрз 100 и коэффициентом размягчения — не менее 0,8.

Щебень и песок. *Щебень* получают дроблением различных горных пород до размера 5(3) — 70 мм. Прочность щебня характеризуют пределом прочности исходной горной породы в насыщенном водой состоянии. По этому показателю щебень подразделяется на марки:

Из изверженных пород	1200, 1000 и 800
Из осадочных пород	1200, 1000, 800, 600, 300 и 200
Из метаморфических пород . . .	1200, 1000, 800 и 600

В зависимости от назначения качество щебня определяют по следующим показателям: гранулометрическому составу, наличию посторонних и вредных примесей, прочности при сжатии, дробимости и морозостойкости.

Гравий — это рыхлое скопление обломков горных пород размером 5(3) — 70 мм, обкатанных в различной степени.

Песок — рыхлая масса, состоящая из зерен минералов и пород размером 0,14—5 мм. В зависимости от минералогического состава различают кварцевые, полевошпатовые, карбонатные пески. Применяют их для приготовления растворов и бетонов, для устройства оснований дорожных покрытий, дренажных сооружений.

Перевозка и хранение материалов и изделий из природного камня. Облицовочные плиты, камни и другие изделия после их изготовления маркируют. Для этого на тыльной стороне облицовочной плиты или на торцевой части камней несмываемой краской указывают тип камня, плиты или блока, основные размеры (длину, ширину). На блоке, предназначенном для распиловки, также указывают объем его и наименование (шифр) карьера-изготовителя.

Изделия при перевозке следует предохранять от загрязнения и повреждений. Бутовый и валунный камень, щебень, брусчатку и колотый камень необходимо перевозить навалом или в контейнерах. Бутовый камень хранят в штабелях навалом по сортам и породам, а брусчатку — в штабелях по сортам и классам.

Блоки для распиливания, крупные стеновые блоки, бортовые камни разрешается перевозить на открытых платформах без борта с укладкой правильными рядами на подкладках и прокладках с учетом обеспечения предохранения от повреждений. Хранение их разрешается на открытых спланированных площадках, обеспечивающих отвод ливневых вод. Облицовочные плиты перевозят в прочной таре в вертикальном положении поперек, лицевыми поверхностями друг к другу, с прокладкой бумаги между ними и закрепленными клиньями. Плиты из

верженных пород разрешается перевозить без тары, установленными на ребро и разделенными деревянными прокладками; хранить их можно на открытых складах. Плиты из мрамора, известняков и туфа хранят в закрытых складах.

§ 8. Методы защиты природных каменных материалов от разрушения

Разрушение каменных материалов может происходить под действием воды как растворителя. Особенно активно действует на карбонатные породы вода, содержащая углекислоту, сернистые и другие кислотные соединения. Каменные материалы разрушаются также при переменном действии воды и мороза. Если горная порода состоит из нескольких минералов, то разрушение ее может происходить от изменения температуры, вследствие того что коэффициент линейного расширения разных минералов не одинаков.

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 возникают бактериологические процессы с зарождением микроорганизмов, которые разрушают камень за счет образования органических кислот. Скорость разрушения горной породы зависит также от качества и структуры ее, выражающихся в наличии микротрещин, микрослоистости и размокающих и растворимых веществ.

Для защиты каменных материалов от разрушения необходимо прежде всего предотвратить проникновение воды и ее растворов в глубину материала, для этого применяют так называемое флюатирование. При обработке известняка флюатами (например, кремнефтористым магнием) образуются не растворимые в воде соли, которые закрывают поры в камне и тем повышают его водонепроницаемость и атмосферостойкость.

От воздействия углекислоты и образования сульфатов облицовочные камни предохраняют путем пропитки камня на глубину до 1 см горячим льняным маслом. Для предохранения от проникновения воды поверхность камня покрывают слоем раствора воска в скипидаре или парафине, растворенного в легком нефтяном дистилляте или каменноугольном дегте. Защищают каменные материалы от разрушения также конструктивными мерами, например путем образования хорошего стока воды с поверхности камня, придания камню гладкой поверхности и т. д.

§ 9. Экономика производства природных каменных материалов и изделий

Наличие природных ресурсов и уровень развития сырьевых отраслей — важный фактор, определяющий экономическую мощь народного хозяйства.

СССР располагает разнообразными ресурсами минерального сырья и топлива, большими запасами нерудных ископаемых и гидроэнергетических ресурсов, лесного сырья. В СССР имеются фактически неограниченные запасы нерудных ископаемых для производства различных строительных материалов и изделий.

О значении нерудных строительных материалов в широкой индустриализации строительства, осуществляемой в нашей стране, можно судить по следующим данным. В общем весе сооружаемых объектов масса материалов и конструкций, получаемых на основе минерального нерудного сырья, составляет в среднем 70%, достигая для некоторых объектов 90%.

Производство нерудных строительных материалов, насчитывающее более 6 тыс. предприятий, организовано во всех экономических районах страны и в связи с ростом выпуска бетона и сборного железобетона развивается быстрыми темпами. Известно, что лишь за период 1966—1970 гг. суммарный объем производства сборного и монолитного бетона и железобетона возрос до 150 млн. м³ в 1970 г., причем опережающими темпами растет производство сборных железобетонных конструкций, а среди последних — спецжелезобетона, для изготовления которого требуются заполнители мелких фракций (табл. 7).

Таблица 7

Допустимые размеры фракций заполнителя для различных железобетонных конструкций

Наименование железобетонной конструкции	Марка бетона	Размер фракции, мм
Фермы, арки	400	10—20
Трубы напорные	600	5—10
» безнапорные	200—300	10—20
Опоры ЛЭП и связи	400—500	5—10
Шпалы и шахтная крепь	400—500	10—20
Плиты покрытий	300—400	5—10
Колонны	200—400	20—40

Изменение структуры производства и применения железобетонных конструкций обусловило опережающее развитие производства щебня и гравия мелких фракций, удельный вес которых возрос с 8% в 1955 г. примерно до 20—25% в настоящее время. На развитие производства нерудных строительных материалов поэтому требуются большие единовременные затраты.

Кратко рассмотрим технико-экономическое состояние промышленности по переработке природного камня по основным видам: заполнители для бетона, материал для стен (пильный камень) и облицовочные материалы.

Заполнители. Затраты на заполнители в общей себестоимости железобетонных изделий составляют в СССР около 20%. Такая высокая стоимость щебня, гравия и песка обусловлена невысоким уровнем механизации производственных процессов и низким коэффициентом извлечения полезного продукта из

горной массы. За последние годы достигнуто значительное снижение себестоимости нерудных строительных полезных ископаемых за счет внедрения комплексной механизации, ликвидации мелких карьеров, обусловливающих низкое использование основного оборудования (экскаваторов, самосвалов, автопогрузчиков), внедрения прогрессивных технологических методов добычи, например гидромеханизации. Достигнуто значительное снижение транспортных расходов на перевозку нерудных строительных материалов за счет улучшения размещения заводов сборного железобетона и карьеров нерудных ископаемых, а также в результате использования в качестве транспортных средств более эффективных автомобилей грузоподъемностью свыше 5 Т.

Помимо транспортных затрат и затрат по добыче, важное место в общей себестоимости нерудных строительных материалов занимают работы по дроблению, фракционированию, выработке мелких фракций, организации процессов мойки и обогащения. Низкое качество заполнителей для бетона (песка, гравия, щебня) влечет за собой значительный перерасход цемента, повышенный процент брака, увеличение трудоемкости в производстве железобетонных изделий и конструкций, кладочных, монтажных и штукатурных работ. В связи с этим щебень, гравий и песок на заводы железобетонных изделий должны поступать отсортированными по фракциям, без глинистых, пылевидных и других засоряющих примесей.

На себестоимость продукции в промышленности нерудных строительных материалов оказывает влияние ряд факторов и прежде всего техническая оснащенность предприятий, совершенство технологии, условия добычи ископаемых и др. Значительные резервы снижения себестоимости и удельных капитальных вложений заключены в применении новых, более совершенных технологических методов, и в частности метода гидромеханизации. По сравнению с сухим способом добычи нерудных ископаемых 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 снижением амортизационных отчислений вследствие меньших удельных капитальных вложений.

Большое влияние на технико-экономические показатели разработки нерудных материалов оказывают горногеологические условия (величина запасов, мощность пласта полезного ископаемого, глубина залегания, объемная масса и крепость породы, ее химический и минералогический составы и др.). Так, при бо́льшем объеме добычи горной массы общие капиталовложения на горнокапитальные работы (табл. 8) по Алма-Атинскому

предприятию значительно больше, чем по Салаваракскому, в результате чего удельные затраты на эти работы в расчете на 1 м³ продукции почти в 3 раза выше. Следует подчеркнуть, что с увеличением объемов горнокапитальных работ возрастают и сроки введения объектов в эксплуатацию. Качественный состав гравийно-песчаной массы определяет преимущество Салаварáкского предприятия, по которому средняя себестоимость 1 м³ продукции ниже, чем по Алма-Атинскому, а отпускная цена почти в 3 раза выше.

Таблица 8

Влияние горногеологических условий на показатели эффективности капитальных вложений

Наименование показателей	Предприятия нерудной промышленности	
	Алма-Атинское гравийно-песчаное	Салаваракское гравийно-песчаное
Объем добычи гравийно-песчаной массы, тыс. м³	369	536
Коэффициент вскрыши, %	0,42	0,14
Объем удаляемых вскрышных пород, тыс. м³	154	77,3
Объем и состав выпускаемой товарной продукции, тыс. м³	354	600
В том числе:		
щебня и гравия	104	487,7
песка	250	112,3
Выход гравия и щебня из добываемой горной массы, %	28,2	91
Выход песка из горной массы, %	71,8	9
Общая сумма капитальных вложений, тыс. руб.	2161	3771
В том числе на:		
горнокапитальные работы	119,7	72,3
дробильно-сортировочную фабрику	763,5	1456,9
объекты транспортного хозяйства	243,6	405,8
Удельная себестоимость 1 м³, руб.	1,04	0,98

Хотя удельные капитальные вложения по Салаваракскому месторождению выше, чем по Алма-Атинскому, вследствие пониженных капитальных затрат на переработку сырья, капиталовложения здесь окупаются значительно быстрее благодаря улучшенному качеству гравия и преимущественному выходу его из горной массы.

При добыче природного пильного камня открытым способом разработки при коэффициенте вскрыши 0,3, коэффициенте извлечения полезного продукта из горной массы 0,4 и механической прочности камня 5 МПа для карьера годовой мощностью 100 тыс. м³ удельные капитальные вложения составляют 50 руб./м³. При увеличении коэффициента вскрыши на 0,1 удельные капитальные вложения возрастают на 30—50%; при уменьшении выхода полезного продукта из горной массы до 0,2 удель-

ные капитальные вложения возрастают на 25%, а при росте выхода полезного продукта снижаются на 20% и т. д., отсюда исключительно важно выбрать наиболее эффективные месторождения с максимально благоприятными горногеологическими условиями.

В настоящее время до 40% заводов сборного железобетона применяют заполнители, не удовлетворяющие требованиям стандарта по гранулометрическому составу и содержанию пылевидных частиц. Вместе с тем по расчетам НИИЦемента, на каждый процент запыленности заполнителя (в пределах до 12%) расход цемента возрастает от 1 до 1,5%. Дополнительный перерасход цемента вызывается также недостатками гранулометрического состава заполнителей. Выпуск фракционированных заполнителей позволяет снизить расход цемента в бетоне примерно на 13—15% и повысить качество бетона. Капитальные вложения на дополнительную обработку щебня и гравия в связи с усложнением технологической схемы производства являются значительными. Они экономически оправданы, поскольку от качества нерудных непосредственно зависит качество и стоимость возведенных зданий и сооружений.

Увеличение степени концентрации производства является одним из решающих факторов снижения удельных капитальных вложений в промышленности нерудных строительных материалов. Рост степени концентрации производства происходит на основе внедрения нового высокопроизводительного оборудования — горнотранспортных агрегатов непрерывного действия, новых типов станков ударно-канатного бурения, мощных экскаваторов и земснарядов, автосамосвалов большой грузоподъемности, эффективных видов безрельсового транспорта, щековых дробилок крупного дробления, однороторных и двухроторных дробилок ударного действия и т. п.

Одним из факторов, обеспечивающих улучшение качества продукции и снижение ее стоимости, является дальнейшее совершенствование автоматизации производственных процессов дробильно-сортировочных заводов, а также контроль качества выпускаемой продукции. ВНИИнерудом разработана система автоматического регулирования режима работы конусной дробилки, которая внедрена на Шарташском и Курманском карьерах.

Система включает следующие устройства: для изменения размера разгрузочной щели конусной дробилки, регулирования разгрузочной щели с автоматическим управлением и стопорения регулирующего кольца конусной дробилки. Эта система обеспечивает получение заданного массового соотношения фракций продуктов дробления или заданного зернового состава по среднему диаметру куска на выходе дробилки; увеличивает до 20% выход щебня мелких фракций (5—10 и 10—20 мм) за счет сохранения постоянного размера разгрузочной щели дробилки при износе дробящих поверхностей конусов; обеспечивает автоматическое регулирование размера щели при поступлении в дробилку

исходного материала с различными физико-механическими свойствами; позволяет повысить производительность дробилки на 15—20% за счет снижения коэффициента циркуляции.

Снижение себестоимости щебня получено также от внедрения системы автоматического регулирования загрузки щековой дробилки. Эта система обеспечивает автоматическое поддержание любого заданного уровня загрузки горной массы рабочей камеры дробилки, что создает благоприятные условия для работы всего технологического оборудования.

ВНИИнерудом разработана и внедрена на дробильно-сортировочном заводе Сокского карьероуправления Куйбышевской области автоматическая станция контроля качества щебня по содержанию отмучиваемых примесей (АСК-8), с помощью которой можно не только оперативно определять качество заполнителя в лабораториях бетонных и дробильно-сортировочных заводов, она может служить датчиком в системах автоматического контроля и регулирования процессов промывки щебня, гравия и других сыпучих материалов.

В основу работы станции положен принцип отмучивания глинистых и пылевидных частиц под действием выпрямленного электрического тока с последующим измерением плотности образовавшейся суспензии фотоэлектрическим компенсационным методом.

Применение автоматической станции контроля качества щебня по содержанию отмучиваемых примесей примерно в 10 раз повышает производительность, позволяет своевременно выявить брак продукции дробильно-сортировочных заводов и снизить перерасход цемента на бетонных заводах.

Наконец, улучшение показателей эффективности капитальных вложений может быть достигнуто в результате более широкого использования передвижных механизированных предприятий нерудных строительных материалов. В настоящее время этими предприятиями обеспечивается лишь 5—6% потребности отдаленных районов, причем передвижные предприятия оснащены таким же оборудованием, которое предназначено для стационарных заводов. В то же время в США более $^1/_3$ щебня вырабатано на передвижных заводах, характеризующихся высоким уровнем комплексной механизации при сравнительно небольших удельных капитальных вложениях. По расчетным данным, использование передвижных предприятий позволит снизить себестоимость щебня в ряде районов с 8—12 до 4—5 руб./м^3, а также обеспечит снижение удельных капитальных вложений примерно на 2 руб./м^3 производственной мощности.

В последние годы по песку и гравию имеет место рост себестоимости производства, что объясняется повышением качества нерудных, увеличением выпуска более дорогого в производстве, но эффективного в применении промытого и классифицированного заполнителя. Вместе с тем такое положение свидетельствует о больших резервах возможного снижения себестоимости

нерудных строительных материалов усовершенствованием технологии промывки и обогащения.

Значительными темпами в последние 7—8 лет развивается производство природных легких заполнителей — на базе туфов, вулканических шлаков и пемзы (главным образом в Армянской ССР). Вулканические шлаки и пемза имеют объемную массу от 400—600 до 800—900 кг/м³, что обеспечивает получение теплоизоляционных, конструктивно-теплоизоляционных бетонов. Возможно использование шлаков и пемзы в качестве компонента для теплоизоляционных, звукопоглощающих и жароупорных изделий, а также активной минеральной добавки к вяжущим и наполнителя пластмасс. В Армении в 1972 г. было добыто более 3 млн. м³ шлаковых и пемзовых заполнителей естественного происхождения.

Камни для стен. Важным резервом покрытия дефицита и экономии искусственных стеновых материалов является развитие производства легких камней для стен из природного камня. Общие запасы его по СССР составляют более 1,3 млрд. м³, в том числе в Молдавии — 0,55 млрд. м³, на Украине — 0,3 млрд. м³, в Азербайджане — 0,2 млрд. м³.

Себестоимость 1 м³ природного стенового камня намного ниже, чем глиняного кирпича, поэтому в ряде районов целесообразно применять природные каменные стеновые материалы и обеспечивать ими потребности строительства. Однако при радиусе перевозки природных стеновых каменных материалов большем, чем 350—400 км, их эффективность падает в связи с ростом транспортных расходов. Удельные капитальные вложения на организацию добычи пильного камня в зависимости от местных условий в 1—2 раза меньше, чем по кирпичу.

Облицовочные материалы. В ряде случаев оказывается весьма эффективным применение в общественных и жилых зданиях облицовочных материалов из природного камня — туфов, известняков, гранитов, габбро, мрамора и других декоративных пород. Высокая долговечность этих облицовок обеспечивает незначительный уровень затрат на эксплуатацию — в 5—8 раз меньший, чем на отделку зданий цветными растворами и бетонами, а также силикатными и известковыми красками. Расчеты НИИ камня и силикатов показывают, что при производстве туфовых облицовочных плит на заводе мощностью 1 млн. м² плит в год, оснащенном станками с алмазным инструментом, себестоимость 1 м² готовой плиты составит в зависимости от типа туфа до 1 руб. Благодаря теплообработке гранита себестоимость 1 м² бортового камня составит 1,3—1,5 руб., а по менее долговечному и менее декоративному бетонному бортовому камню — 1,8—2,4 руб. Потребность строительства в облицовочном камне с каждым годом увеличивается. Удовлетворение ее возможно лишь на основе строительства крупных высокомеханизированных предприятий, оснащенных новейшим оборудованием с широким использованием алмазных инструментов.

ГЛАВА III

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Керамические материалы получают из глиняных масс путем их формования и последующего обжига. При этом часто имеет место промежуточная технологическая операция — сушка свеженформованных изделий, называемых «сырцом».

Универсальность свойств, широкий ассортимент, высокая прочность и долговечность керамических изделий и относительная дешевизна позволяют широко использовать их в самых разнообразных конструкциях зданий и сооружений: для стен, тепловых агрегатов, в качестве облицовочного материала для полов и стен, в виде труб для сетей канализации, для облицовки аппаратов химической промышленности, в качестве легких пористых заполнителей для сборных железобетонных изделий.

§ 1. Сырьевые материалы

Глины и их виды. Сырьем для изготовления керамических материалов служат различные глинистые горные породы. Для улучшения технологических свойств глин, а также придания изделиям определенных и более высоких физико-механических свойств к глинам добавляют кварцевый песок, шамот (дробленую и обожженную при температуре 1000—1400° С огнеупорную или тугоплавкую глину), шлак, древесные опилки, угольную пыль.

Глиняные материалы образовались в результате выветривания изверженных полевошпатовых горных пород. Процесс выветривания горной породы заключается в механическом разрушении и химическом разложении. Механическое разрушение происходит в результате воздействия переменной температуры воды. Химическое разложение происходит, например, при воздействии на полевой шпат воды и углекислоты, в результате чего образуется минерал каолинит.

Глиной (по определению проф. П. А. Земятченского) называют землистые минеральные массы или обломочные горные породы, способные с водой образовывать пластичное тесто, по высыхании сохраняющее приданную ему форму, а после обжига приобретающее твердость камня.

Наиболее чистые глины состоят преимущественно из каолинита и называются каолинами. Чаще всего в состав глины,

помимо каолинита, входят кварц, слюда, полевые шпаты, кальцит, магнезит и т. д.

По условиям образования глины делят на остаточные и перенесенные. *Остаточные* глины обычно засорены частицами горной породы, из которой они образовались. *Перенесенные* (осадочные) глины более дисперсны, свободны от крупных фракций материнских пород, но могут быть засорены песком, известняком, железистыми соединениями и т. п.

По отношению к высоким температурам различают глины трех групп: огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. *Огнеупорные* глины обладают высокой огнеупорностью (не ниже 1580° С). По своему составу они отличаются высоким содержанием глинозема (Al_2O_3 до 40% и более) и незначительным содержанием примесей (например, Fe_2O_3 должно быть не более 3%), понижающих огнеупорность. Обладают большой дисперсностью и хорошей пластичностью. *Тугоплавкие* глины имеют огнеупорность 1350—1580° С, содержат небольшое количество примесей, кварца, полевого шпата, слюды, карбонатов кальция и магния. Применяют их главным образом для производства облицовочного кирпича, плиток для пола, канализационных труб. *Легкоплавкие* глины имеют огнеупорность ниже 1350° С. Эти глины наиболее разнообразны по составу — имеют примеси песка, известняка, окислов железа, слюды, органических веществ. Применяют их для производства кирпича, блоков, черепицы и других материалов и изделий.

Глины состоят из различных окислов, свободной и химически связанной воды и органических примесей. В число окислов, составляющих глины, входят: глинозем Al_2O_3, кремнезем SiO_2, окись железа Fe_2O_3, окись кальция CaO, окись натрия Na_2O, окись магния MgO и окись калия K_2O.

Большое влияние на свойства глин оказывают примеси. Так, при повышенном содержании SiO_2, не связанного с Al_2O_3, в глинистых минералах уменьшается связующая способность глин, повышается пористость обожженных изделий и понижается их прочность. Соединения железа, являясь сильными плавнями, понижают огнеупорность глины. Углекислый кальций уменьшает огнеупорность и интервал спекания, увеличивает усадку при обжиге и пористость, что понижает прочность и морозостойкость. Окислы Na_2O и K_2O понижают температуру спекания глины. В производстве обжиговых материалов наряду с глинами используются диатомиты, трепелы, сланцы и др. Так, в производстве легкого кирпича и изделий применяют диатомиты и трепелы, а для получения пористых заполнителей — вспучивающиеся глины, перлит, вермикулит.

На многих керамических заводах отсутствует сырье, пригодное в естественном виде для изготовления соответствующих изделий. Такое сырье требует введения добавок. Так, добавляя к пластичным глинам отощающие добавки (песок, шлак, шамот и др.), можно уменьшить усадку глины при сушке и обжиге и

предохранить изделие от деформаций. Для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью в сырьевую массу вводят порообразующие добавки (глинистый мергель, мел, молотый доломит и др.) — вещества, диссоциирующие при температуре обжига с выделением углекислоты, а также вещества, выгорающие при обжиге (древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль и др.).

Для понижения температуры обжига некоторых изделий в глину вводят флюсы (плавни) — молотый полевой шпат, руды, содержащие железо, кремнезем и др. Пластичность формовочной массы может быть повышена путем введения в шихту 0,1—0,3% поверхностно-активных веществ, например СДБ. Для повышения качества кирпича в виде добавки применяют пирофосфаты и полифосфаты натрия.

Цветную керамику можно получить, добавляя в массу различные окислы металлов (железа, кобальта, хрома и др.).

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

Пластичность является важнейшим технологическим свойством глин, обусловливающим возможность формования из них различных керамических материалов и изделий. Степень пластичности глины зависит от минералогического и гранулометрического (зернового) составов, формы и характера поверхности зерен, от содержания в глине растворимых солей и органических примесей и от количества воды, взятой для приготовления глиняной массы.

Имеется много методов для определения пластичности, из которых наиболее широкое распространение получил метод определения пластичности по величине усадки при сушке глиняного образца: сырца и водопотребности глиняного теста, т. е. определение необходимого количества воды для получения удобоформуемой массы. Чем пластичнее глина, тем выше ее водопотребность и выше оказывается воздушная усадка.

По степени пластичности глины делят на *высокопластичные*, имеющие водопотребность более 28% и воздушную усадку 10—13%, глины *средней пластичности* — водопотребность 20—28% и воздушная усадка 7—10% и глины малопластичные — водопотребность менее 20% и воздушная усадка 5—7%.

Гранулометрический состав глин. В состав глины входят различные по крупности частицы: 5,0—0,14 мм — песчаные фракции, 0,14—0,005 мм — пылевидные фракции и мельче 0,005 — глинистые фракции. Огнеупорные глины являются высокодисперсными, содержание в их составе фракций меньше 0,001 мм составляет 60—80%. В легкоплавких глинах преобладают фракции 0,01—0,005 и 0,005—0,001 мм, содержание же фракций с размером зерен меньше 0,001 мм редко превышает 50%, а

иногда их содержание составляет 6—10%. Большое влияние на связующую способность глин и их усадку оказывают фракции менее 0,001 мм.

Чем больше содержание глинистых частиц, тем выше пластичность. Пластичность можно повысить добавлением высокопластичных глин. Понизить пластичность можно добавлением непластичных материалов, называемых отощителями,— кварцевого песка, шамота, шлака, древесных опилок, крошки угля.

Связность и связующая способность. Глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций, обладают более высокой связностью, и, наоборот, глины с небольшим содержанием глинистых частиц имеют малую связность. С увеличением содержания песчаных и пылевидных фракций понижается связующая способность глины. Это свойство глины имеет большое значение при формовании изделий. Связующая способность глины характеризуется возможностью связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочное изделие заданной формы.

Воздушной усадкой называют уменьшение при сушке объема образца.

Отношение глин к действию высоких температур. Наряду с пластичностью характерным свойством глин является их способность превращаться при обжиге в камневидную массу. В начальный период повышения температуры начинает испаряться механически примешанная вода, затем выгорают органические примеси, а при нагревании до 550—800° С происходит дегидратация глинистых минералов и глина утрачивает свою пластичность.

При дальнейшем повышении температуры происходит обжиг, при этом начинает расплавляться некоторая легкоплавкая составная часть глины, которая, растекаясь, обволакивает нерасплавившиеся частицы глины, при охлаждении затвердевает и цементирует их. Так происходит процесс превращения глины в камневидное состояние. Частичное плавление глины и действие сил поверхностного натяжения расплавленной массы вызывают сближение ее частиц, происходит сокращение объема — огневая усадка.

Совокупность процессов усадки, уплотнения и упрочнения глины при обжиге называют спеканием глины. При дальнейшем повышении температуры масса размягчается — наступает плавление глины.

На цвет обожженных глин оказывает влияние главным образом содержание окислов железа, которые окрашивают керамические изделия в красный цвет при наличии избытка в печи кислорода или в темно-коричневый, даже черный при недостатке кислорода.

§ 2. Классификация керамических материалов и изделий

В основу классификации керамических изделий, выпускаемых промышленностью для строительства, положено их назначение. По этому признаку все материалы и изделия строительной керамики подразделяют на следующие группы и виды:

стеновые материалы — эта группа объединяет следующие виды изделий: кирпич глиняный обыкновенный, кирпич глиняный пустотелый и пористо-пустотелый пластического прессования, кирпич глиняный пустотелый полусухого прессования, камни керамические пустотелые пластического прессования и кирпич строительный легкий;

кирпич и камни строительные глиняные специального назначения: кирпич глиняный лекальный, камни для канализационных сооружений (подземных коллекторов), кирпич для дорожных одежд (клинкер);

изделия керамические пустотелые для перекрытий: камни для часторебристых перекрытий (сборных или монолитных), камни для армокерамических балок и камни для накатов (заполнители между балками);

изделия керамические для облицовки фасадов зданий — глазурованные и неглазурованные: кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические малогабаритные, плитки керамические фасадные и подоконные сливы;

изделия керамические для внутренней облицовки зданий: плитки для облицовки стен, детали встроенные, плитки для полов крупные и плитки для полов мозаичные;

кровельные материалы: глиняная черепица рядовая — для покрытия скатов кровли, коньковая — для покрытия коньков и ребер, разжелобочная — для покрытия разжелобков, концевая («половинки» и «косяки») — для замыкания рядов и черепица специального назначения;

трубы керамические канализационные и дренажные;

изделия керамические кислотоупорные: футеровочные — кирпич кислотоупорный нормальный, плитки кислотоупорные и термокислотоупорные и керамические фасонные плитки по особому заказу; трубы кислотоупорные керамические и фасонные части к ним.

§ 3. Общая технологическая схема производства керамических изделий

Несмотря на обширный ассортимент керамических изделий, разнообразие их форм, физико-механических свойств и видов сырьевого материала, основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: добычи сырьевых материалов; подготовки сырьевой массы; формования изделий (сырца); сушки сырца; обжига изделий; обработки изделий (обрезки, глазурования и пр.) и упаковки.

Заводы по производству керамических материалов, как правило, строят вблизи месторождения глины, и карьер является составной частью завода. Разработку (добычу) сырья осуществляют на карьерах открытым способом — экскаваторами. Транс-

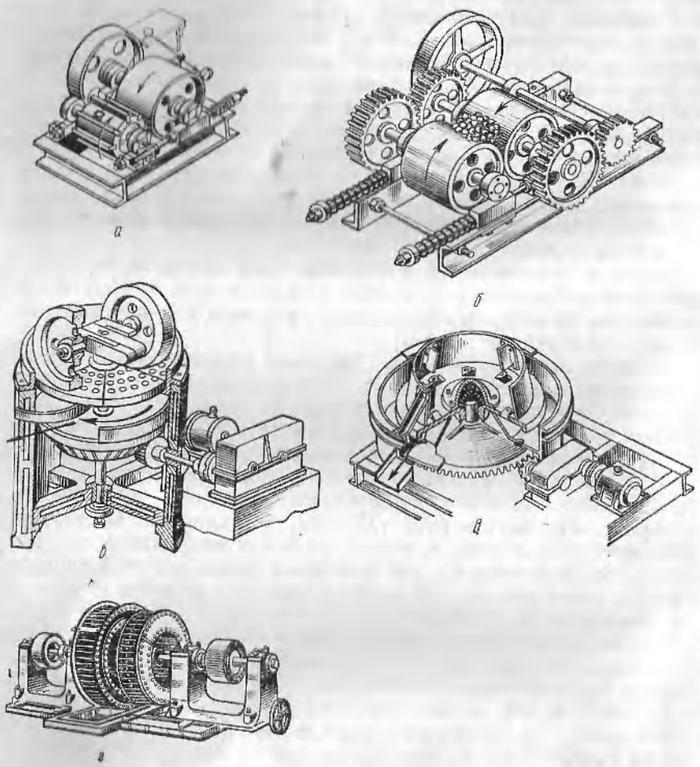


Рис. 9. Механизмы для измельчения глины:

а — вальцовая дробилка с гладкими вальцами; *б* — дезинтеграторные вальцы; *в* — бегуны; *г* — дезинтегратор; *д* — ножевая глинорезка

портировку сырья от карьера к заводу производят автосамосвалами, вагонетками или транспортерами при небольшой удаленности карьера от цеха формовки.

Подготовка сырьевых материалов состоит из разрушения природной структуры глины, удаления или измельчения (рис. 9) крупных включений, смешения глины с добавками и увлажнения до получения удобоформуемой глиняной массы.

Подготовку керамической массы в зависимости от свойств исходного сырья и вида изготовляемой продукции осуществляют полусухим, пластическим и шликерным (мокрым) способами.

При полусухом способе производства глину вначале дробят и подсушивают, затем измельчают и с влажностью 8—12% подают на формование. При пластическом способе формования глину раздробляют, затем направляют в глиномешалку (рис. 10), где производят перемешивание ее с отощителем и одновременно увлажнение до получения однородной пластичной массы с влажностью 20—25%. Формование керамических изделий при пластическом способе осуществляют преимущественно на ленточных прессах. При полусухом способе глиняную массу формуют на гидравлических или механических прессах под давлением до 15 Па и более.

По шликерному способу исходные материалы измельчают и смешивают с большим количеством воды (до 60%) до получения однородной массы — шликера. В зависимости от способа формования шликер используют как непосредственно для изделий, получаемых способом литья, так и после его сушки в распылительных сушилах.

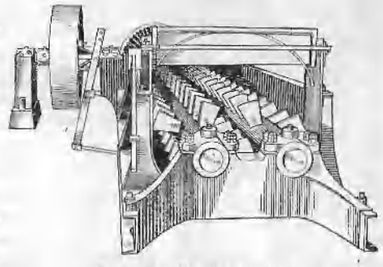


Рис. 10. Глиномешалка

Современный период развития производства строительной керамики характеризуется интенсификацией технологических процессов, комплексной механизацией, конвейеризацией и автоматизацией производства. В этой связи важную роль отводят разработке новой технологии получения пресспорошка в распылительных башенных сушилках, сущность которой заключается в совмещении процессов обезвоживания, дробления и сепарации. Сушильная камера представляет собой металлический цилиндр, заканчивающийся внизу конусом, который служит для сбора готового продукта.

Отличительными особенностями сушила являются: распыление керамической суспензии пучком форсунок при давлении 1,0—1,2 МПа и снижение давления газа внутри сушильной башни. В СССР эксплуатируются распылительные сушила Минского комбината строительных материалов и НИИстройкерамики (рис. 21). Обезвоживание керамических масс в распылительных сушилах позволило в 3,5 раза повысить производительность труда и в 1,5 раза сократить капитальные затраты.

Обязательной промежуточной операцией технологического процесса производства керамических изделий по пластическому

способу является сушка. Если же сырец, имеющий высокую влажность, сразу после формования подвергнуть обжигу, то он растрескивается. При сушке сырца искусственным способом в качестве теплоносителя используют дымовые газы обжигательных печей, а также специальных топок. При изготовлении изделий тонкой керамики применяют горячий воздух, образуемый в калориферах. Искусственную сушку производят в сушилах периодического действия — камерных сушилах (рис. 11) или непрерывного действия — туннельных сушилах (рис. 12).

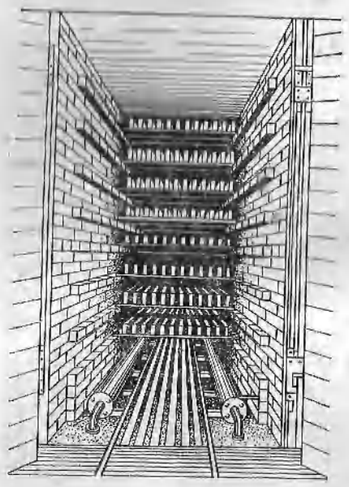


Рис. 11. Камерное сушило

Процесс сушки представляет собой комплекс явлений, связанных с тепло- и массообменом между материалом и окружающей средой. В результате происходит перемещение влаги из внутренней части изделий на поверхность и испарение ее. Одновременно с удалением влаги частицы материала сближаются и происходит усадка. Уменьшение объема глиняных изделий при сушке происходит до определенного предела, несмотря на то, что вода к этому моменту полностью еще не испарилась.

В целях получения высококачественных керамических изделий процессы сушки и обжига должны осуществляться в строгих режимах.

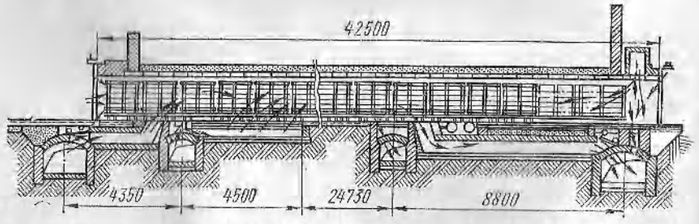


Рис. 12. Туннельное сушило

При нагревании изделия в интервале температур 0—150° С из него удаляется гигроскопическая влага. При температуре 70° С давление водяных паров внутри изделия может достигнуть

значительной величины, поэтому для предупреждения трещин температуру следует подымать медленно (50—80° С/ч), чтобы скорость порообразования внутри материала не опережала скорость фильтрации паров через ее толщу.

Обжиг является завершающей стадией технологического процесса. В печь сырец поступает с влажностью 8—12%, где в начальный период происходит досушивание сырца. В интервале температур 550—800° С происходит дегидратация глинистых минералов и удаление химически связанной конституционной воды. При этом разрушается кристаллическая решетка минерала, и глина теряет пластичность, в это время происходит усадка изделий. При температуре 200—800° С выделяется летучая часть органических примесей глины и выгорающих добавок, введенных в состав шихты при формовании изделий, и, кроме того, окисляются органические примеси в пределах температуры их воспламенения. Этот период характерен весьма высокой скоростью подъема температур — 300—350, а для эффективных изделий — 400—450° С/ч, что способствует быстрому выгоранию топлива, запрессованного в сырец.

Затем изделия выдерживают при этой температуре в окислительной атмосфере до полного выгорания остатков углерода. Дальнейший подъем температуры от 800° С до максимальной связан с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительным структурным изменением черепка, поэтому скорость подъема температуры замедляют до 100—150, а для пустотелых изделий — 200—220° С/ч. По достижении максимальной температуры обжига изделие выдерживают для выравнивания температуры по всей толще его, после чего температуру снижают на 100—150° С, в результате изделие претерпевает усадку и пластические деформации. Затем интенсивность охлаждения при температуре ниже 800° С увеличивается до 250—300° С/ч и более, ограничением спада температуры могут служить лишь условия внешнего теплообмена. При таких условиях обжиг кирпича можно осуществить за 6—8 ч. Однако в обычных туннельных печах скоростные режимы обжига не могут быть реализованы из-за большой неравномерности температурного поля по сечению обжигательного канала. Изделия из легкоплавких глин обжигают при температуре 900—1100° С. В результате обжига изделие приобретает камневидное состояние, высокие водостойкость, прочность, морозостойкость и другие ценные строительные качества.

§ 4. Стеновые материалы

В настоящее время в нашей стране выпуск керамических стеновых материалов составляет более 46,5 млрд. шт. усл. кирпича (250×120×65 мм) в год, в том числе эффективного кирпича — 4%; в ближайшее время намечается увеличить выпуск эффективной керамики до 8—12%.

Кирпич глиняный обыкновенный сплошной и пустотелый пластического и полусухого прессования представляет собой искусственный камень, изготовленный из глины с добавками или без них и обожженный. По внешнему виду кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами и с ровными гранями. Кирпич изготовляют одинарным размером 250×120×65 мм и модульным 250×120×88 мм. Модульный кирпич с технологическими пустотами имеет массу не более 4 кг. В кирпиче технологические пустоты могут быть сквозными или несквозными и должны располагаться перпендикулярно постели; диаметр крупных сквозных пустот составляет не более 16 мм, а ширина прямоугольных пустот — 12 мм. В качестве сырья применяют легкоплавкие глины, содержащие 50—75% кремнезема. Изготовление строительного кирпича производят двумя способами — пластическим и полусухим. Наиболее распространен пластический способ.

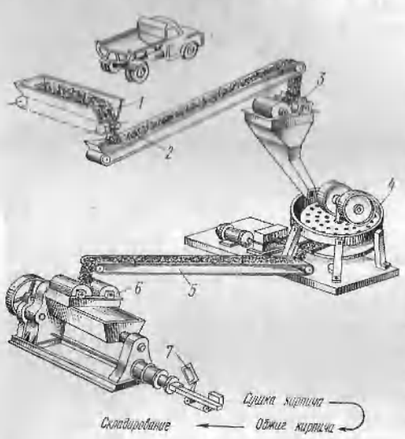


Рис. 13. Технологическая схема производства глиняного кирпича по пластическому способу формования:

1 — ящичный подаватель; *2* — транспортер; *3* — дробление глины и отделение камня на дезинтеграторных вальцах; *4* — помол глины на бегунах; *5* — транспортер; *6* — формование кирпича на ленточном прессе; *7* — резка кирпича-сырца на автомате

Пластический способ производства глиняного кирпича осуществляется по следующей схеме (рис. 13). Поступившую на завод глину подвергают обработке до получения пластичной однородной массы. Для этого глиняное сырье сначала подвергают измельчению на вальцах: глиняная масса поступает на поверхность двух валков, которые вращаются навстречу друг другу, в результате чего глина втягивается в зазор между ними и измельчается. Валки могут иметь разные диаметры и вращаться с неодинаковой скоростью, в результате чего измельчение протекает интенсивнее. Для более эффективного измельчения к вальцам добавляют бегуны. Затем смесь поступает в глиномешалку, где она увлажняется до 18—25% и перемешивается до получения однородной пластичной массы. Тщательно приготовленная однородная масса поступает затем в ленточный пресс.

Для получения кирпича более высокой плотности и улучшения формовочных свойств глин применяют вакуумные ленточ-

ные прессы (рис. 14). Поступающую в ленточный пресс глиняную массу с помощью шнека уплотняют, после чего она поступает к выходному отверстию — мундштуку. Из последнего выхо-

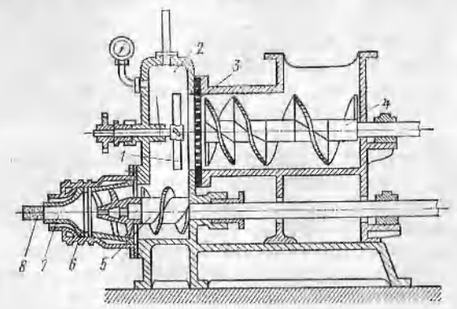


Рис. 14. Ленточный вакуум-пресс:

1 — нож; *2* — вакуум-камера; *3* — решетка; *4* — глиномялка; *5* — шнековый вал пресса; *6* — прессующая головка; *7* — мундштук; *8* — глиняный брус

дит непрерывный глиняный брус, который попадает на автомат для резки и укладки кирпича-сырца на вагонетки камерных или туннельных сушил. Производительность ленточных прессов — до 10 000 шт. в час. Срок сушки кирпича — от 24 ч до 3 суток.

Процесс обжига условно можно разделить на три периода: прогрев, собственно обжиг и охлаждение. В период прогрева из сырца удаляется гигроскопическая и гидратная влага, сгорают органические примеси, равномерно прогревается масса и разлагаются карбонаты. При собственно обжиге происходит расплавление наиболее плавкой составной части глины, которая обволакивает нерасплавившиеся частицы глины, спекая массу. Период охлаждения сопровождается образованием камня.

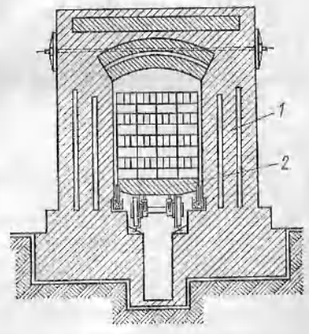


Рис. 15. Туннельная печь:

1 — корпус печи; *2* — вагонетка с кирпичом

Обжиг кирпича производят в печах непрерывного действия — кольцевых и туннельных. Кольцевая печь представляет собой замкнутый обжигательный канал, условно разделенный на камеры. Эти печи отличаются высокой трудоемкостью и тяжелыми условиями труда, поэтому на новых заводах их не строят.

Туннельная печь (рис. 15) является наиболее совершенной. Она представляет собой канал сечением 3,5—5,5 м², длиной до 100 м. В канале уложены рельсы, по которым движутся вагонетки с кирпичом-сырцом. Туннельная печь имеет три зоны: подогрева, обжига и охлаждения, через которые последовательно в течение 18—36 ч проходят вагонетки с кирпичом-сырцом. Туннельные печи наиболее экономичны из-за более механизированного производства, а также лучшего использования тепла. Брак кирпича в туннельных печах сравнительно небольшой.

Полусухой способ производства глиняного кирпича имеет преимущество перед пластическим. Он не требует сушки изделий и позволяет использовать малопластичные глины. Вместе с тем уменьшается потребность в производственных площадях и рабочей силе. Однако качество кирпича, получаемого полусухим способом, в частности морозостойкость, ниже, чем кирпича, полученного пластическим прессованием. При полусухом способе формования (рис. 16) сырьевые материалы после предварительного измельчения на вальцах высушивают в сушильном барабане до влажности 6—8%, затем еще измельчают в дезинтеграторе, просеивают, увлажняют до 8—12% и тщательно перемешивают. Подготовленную массу формуют (прессуют) на гидравлических или механических прессах производительностью до 10 000 шт./ч. Отформованный кирпич направляют в печь на обжиг и далее на склад.

Полусухим методом можно прессовать не только полнотелый кирпич, но и пятистенный, дырчатый, а также различные керамические плитки.

Свойства кирпича. Качество кирпича независимо от способа производства должно удовлетворять требованиям ГОСТ 530—71. Марку кирпича обозначают по пределу прочности при сжатии и изгибе. Кирпич выпускают семи марок: 75, 100, 125, 150, 200, 250 и 300.

Кирпич каждой марки должен иметь соответствующий предел прочности при изгибе — 1,8; 2,2; 2,5; 2,8; 3,4; 4,0; и 4,4 МПа. Кирпич выпускают следующих размеров: длина — 250±4, ширина — 120±3 и толщина — 88 или 65+3 и −2. Искривление ребер и граней не должно превышать 3 мм, механические повреждения не допускаются; отдельные незначительные отбитости ребер и углов не должны превышать 15 мм по длине ребра и более двух на одном кирпиче. Известковые включения (дутики), недожог и пережог не допускаются, обжиг кирпича должен соответствовать цвету эталона. Недожженный кирпич обладает недостаточной прочностью и морозостойкостью, а пережженный имеет повышенную прочность и теплопроводность, но, как правило, искаженную форму. Необходимо, чтобы нормально обожженный кирпич для марок выше 150 имел водопоглощение не менее 6% от массы кирпича, высушенного до постоянной массы, а для кирпича остальных марок — не менее 8%. По мо-

морозостойкости кирпич подразделяют на четыре марки: Мрз 15; 25, 35 и 50.

Кирпич глиняный обыкновенный применяют для изготовления кирпичных панелей наружных и внутренних стен, кладки

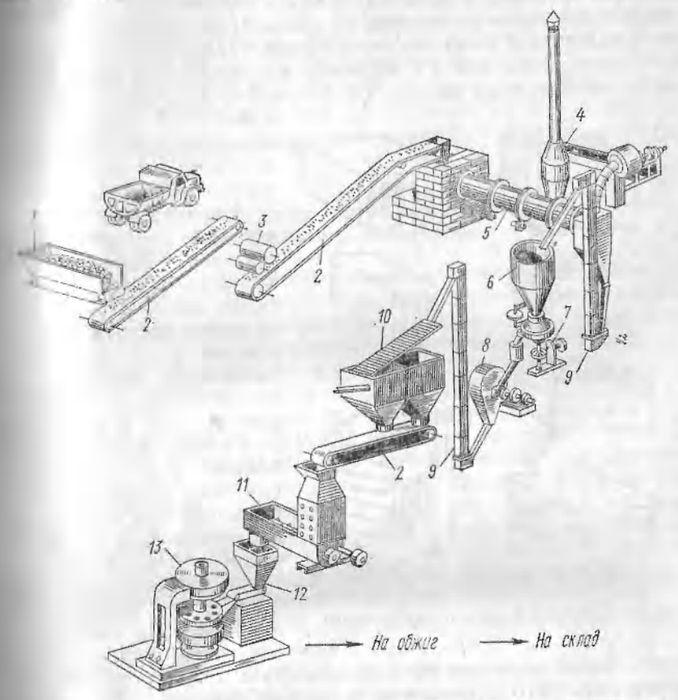


Рис. 16. Технологическая схема производства кирпича методом полусухого формования:

1 — ящичный подаватель; *2* — ленточный транспортер; *3* — дезинтеграторные вальцы; *4* — циклон; *5* — сушильный барабан; *6* — бункер; *7* — тарельчатый питатель; *8* — дезинтегратор; *9* — элеваторы; *10* — грохот; *11* — глиномешалка с пароувлажнителем; *12* — питатель; *13* — пресс

наружных и внутренних стен, столбов, сводов и других несущих конструкций. Кирпич глиняный полусухого прессования использовать для фундаментов и цоколей ниже гидроизоляционного слоя не допускается вследствие пониженной морозостойкости его.

Кирпич глиняный пустотелый, легкий и керамические камни. *Кирпич глиняный пустотелый* изготовляют из легкоплавких глин с добавками или без них по способу пластического и

полусухого прессования. Массу для пустотелого кирпича обрабатывают более тщательно, формование желательно производить на вакуумных прессах со специальным приспособлением (кернами) для образования отверстий (пустот) в кирпиче. Пустоты в кирпиче располагаются перпендикулярно постели. По форме они бывают круглыми диаметром не более 15 мм или прямоугольными с шириной щели не более 15 мм. Пустотелый кирпич изготовляют размерами 250×120×88 и 250×120×65 мм, марками по прочности на сжатие 75, 100, 125 и 150; объемной массой — 1000—1450 кг/м³, водопоглощением — не менее 6% и морозостойкостью не ниже 15.

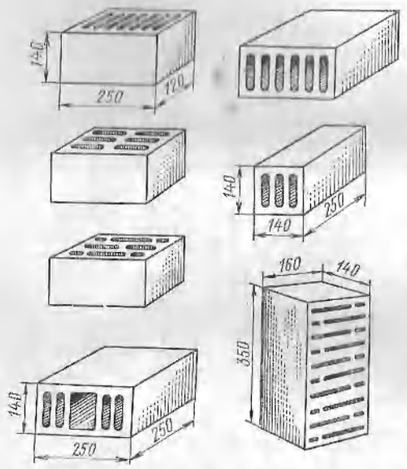


Рис. 17. Пустотелые керамические камни

Кирпич глиняный пустотелый применяют для несущих наружных и внутренних стен, перегородок и других частей зданий и сооружений. Не рекомендуется применять указанный кирпич для фундаментов, цоколей и стен мокрых помещений.

Кирпич строительный легкий представляет собой искусственный камень, изготовленный из диатомитов или трепелов с добавками глины или глины и выгорающих добавок путем формования и обжига. По сравнению с обычным кирпичом этот кирпич имеет меньшую объемную массу и пониженную теплопроводность. Его применение позволяет уменьшить толщину стены, облегчить конструкцию и увеличить площадь здания.

Технологическая схема производства легковесного кирпича мало отличается от процесса производства обыкновенного глиняного кирпича пластического формования. Кирпич строительный легкий выпускают размером 250×120×88 мм. Кирпич с объемной массой 700—1000 кг/м³ имеет прочность 3,5; 5,0 и 7,5 МПа; при объемной массе 1000—1300 кг/см³ прочность кирпича 5,0 и 7,5 МПа и при объемной массе 1300—1450 кг/м³ — прочность 5,0, 7,5 и 10,0 МПа. Морозостойкость должна быть не менее 10. Применяют легкий кирпич для стен зданий и сооружений с нормальной влажностью помещений.

Камни керамические (рис. 17) изготовляют из тщательно переработанной массы с предварительной ее сушкой, помолом и увлажнением до пластичного состояния. Формуют камни

с гладкими или рифлеными поверхностями, со сквозными или несквозными пустотами на вакуумных прессах. Размеры камней: длина — 250—290, ширина — 120—190 и толщина — 130—288 мм; объемная масса — 1300—1450 кг/м³; водопоглощение — не менее 6%; морозостойкость — 15. В зависимости от предела прочности на сжатие по сечению брутто (без вычета пустот) камни выпускают четырех марок: М75, 100, 125 и 150.

Применяют керамические пустотелые камни наряду с кирпичом. Однако не рекомендуется использовать их для фундаментов и цоколей зданий, а также для наружных стен влажных помещений.

§ 5. Кирпич и камни строительные глиняные специального назначения

К этой группе керамических материалов относится глиняный лекальный кирпич, камни для канализационных сооружений и кирпич для дорожных покрытий (клинкерный). К указанным материалам предъявляются повышенные требования прочности, морозостойкости, истирания и удара.

Кирпич глиняный лекальный применяют для кладки промышленных кирпичных дымовых труб и футеровки труб в случаях нагрева кирпича дымовыми газами до температуры не более 700° С. Производство лекального кирпича аналогично производству обычного кирпича, изготовляемого по пластическому способу. Кирпич лекальный выпускают длиной 80—225 мм с радиусом кривизны 850—1500 мм. По прочностным показателям лекальный кирпич подразделяют на три марки: М100, 125 и 150; водопоглощение его не менее 8%, морозостойкость — не менее 15.

Кирпич для дорожных одежд (клинкер) представляет собой искусственный камень размером 220×110×65 мм, получаемый из глины путем формования и последующего обжига до полного спекания, но без остекления поверхности. В качестве сырья применяют тугоплавкие глины с большим интервалом температур между началом спекания и началом деформации (примерно 100° С). Дорожный кирпич выпускают размерами 220×110×65 мм.

Физико-механические свойства дорожного кирпича характеризуются следующими показателями:

Марка кирпича	1000,	600,	400
Степень морозостойкости, не менее	100,	50,	30
Водопоглощение, не более, %	2,	4,	6
Сопротивление истиранию (коэффициент износа), не менее, %	18,	16,	14
Испытание на удар (количество ударов), не менее	16,	12,	8

Камни для канализационных сооружений должны обладать высокой плотностью. Они имеют трапецеидальную форму и изготовляются для проходки щитов диаметром 1,5 и 2 м. Камни

для каждого диаметра щита изготовляют двух типов — для соединения их в кольцо с помощью боковых пазов и боковых гребней. На торцевых гребнях камней имеются пазы с гребнями для соединения кольца при проходке коллектора. Кроме того, для нагнетания раствора за обделку в камнях устраивают отверстия диаметром 25 мм. Керамические камни для подземных коллекторов должны иметь предел прочности при сжатии не менее 20 МПа.

§ 6. Керамические конструкции для стен и перекрытий зданий

Стеновые конструкции. Несмотря на большой рост производства стеновых панелей и блоков из бетона и железобетона, кирпич все еще остается одним из основных видов стеновых материалов. Однако как мелкоштучный материал кирпич не отвечает требованиям современного индустриального строительства. Изготовление же на заводе кирпичных стеновых панелей и керамических блоков для наружных стен, а также однорядных виброкирпичных панелей для внутренних стен позволяет не только сделать кирпич индустриальным, но и получить экономию кирпича и уменьшить массу стены.

Панели для наружных стен выпускают двухслойные и однослойные. Двухслойные панели (рис. 18) изготовляют толщиной 260 мм размером на комнату 2670×3180 мм. Двухслойная панель состоит из кирпича (толщиной 120 мм), высокоэффективного утеплителя (минераловатной плиты, пенокерамзита, пеностекла, фибролита) толщиной 100 мм и трех слоев цементного раствора 40 мм. Лицевая сторона стеновой панели может быть отделана тонкой керамической плиткой толщиной 4 мм, тогда три слоя раствора составят 36 мм.

Однослойные панели 2750×3190×300 мм изготовляют из пустотелых керамических камней. Общая толщина этих панелей составляет 300 мм, в том числе керамический камень — 250 мм, керамзито-бетонный заполнитель — 25 мм и раствор — 25 мм. В настоящее время изготовление однослойных панелей начинают производить из специального многощелевого эффективного керамического камня, длина которого соответствует толщине панели, т. е. равна 30—32 см. Панели наружных стен армируют стальными каркасами из проволоки диаметром 2 и 6 мм, расположенными по периметру оконного проема и панели.

Изготовление керамических стеновых панелей производят горизонтальной и вертикальной кладкой. Технологический процесс изготовления виброкирпичных панелей состоит из следующих основных операций: приготовления раствора и металлического каркаса, формования, вибрирования и отделки панелей и их твердения в пропарочных камерах. Время теплообработки составляет 8—12 ч при температуре 80° С.

Панели для внутренних стен изготовляют из кирпича, их армируют специальными металлическими каркасами. Общая толщина панелей 140 мм; она складывается из толщины кирпича 120 мм и двух слоев раствора по 10 мм. Размер перегородочной панели 2620×2270×140 мм. Масса в среднем 2 т.

Изделия керамические пустотелые для перекрытий. Для перекрытия изготовляют следующие виды керамических изделий: камни для часторебристых перекрытий (сборных и монолит-

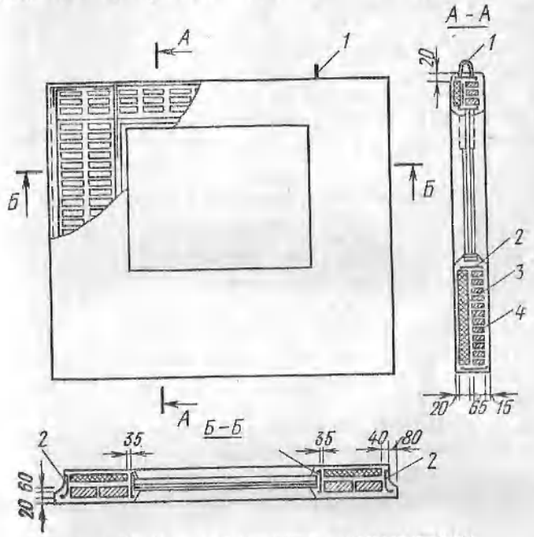


Рис. 18. Двухслойная панель наружных стен:
1 — петля для подъема; *2* — армирующий каркас; *3* — жесткая теплоизоляция; *4* — кладка толщиной в полкирпича

ных); камни для армокерамических балок; камни для накатов (заполнители между балками).

Для изготовления пустотелых изделий для перекрытий применяют тщательно измельченную, без комьев, хорошо перемешивающуюся глиняную массу средней пластичности, которая должна обеспечить формование изделий сложной конфигурации. Технология производства керамических пустотелых изделий для перекрытий аналогична технологии производства обыкновенного глиняного кирпича пластическим формованием.

Для часторебристых перекрытий делают камни марок 50—200 с объемной массой до 1000 кг/м³. Камни для армокерамических балок изготовляют М75—200 и объемной массой до 1000 кг/м³; камни для накатов выпускают М35, 50 и 75 и объемной массой до 1000 кг/м³.

Камни для часторебристых перекрытий применяют для перекрытий в зданиях и сооружениях, а для армокерамических балок только в зданиях для сельского строительства. Камни для накатов находят использование для заполнения между балками перекрытий (армокерамическими или железобетонными).

Опыт применения и эксплуатации плоских и сводчатых перекрытий и покрытий с использованием керамических материалов показал, что значительный эффект в смысле большей индустриализации строительства дают панели комплексной конструкции, состоящие из железобетонной обвязки с обычной или предварительно напряженной арматурой, заполненной керамическим камнем. Такие конструкции по сравнению с железобетонными позволяют достигнуть экономии цемента и стали на 25—30% и снижения стоимости 1 м³ на 10—15%.

§ 7. Изделия керамические для облицовки фасадов зданий

Для облицовки фасадов зданий применяют различные керамические материалы, отличающиеся не только своими формами и размерами, но и декоративными качествами.

Широкое использование получили изделия фасадной керамики, которые отличаются небольшой массой, высокой прочностью и красивыми естественными окрасками. К таким материалам относятся кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические малогабаритные, плиты керамические фасадные и другие изделия.

Кирпич и камни керамические лицевые являются не только художественно-декоративными изделиями; они укладываются вместе с кладкой стены и одновременно служат конструктивным несущим элементом наряду с обычным кирпичом. Сырьевым материалом для производства лицевого камня и кирпича являются легкоплавкие или тугоплавкие глины, приобретающие после обжига различную окраску. Предпочтение имеют глины, которые после обжига приобретают более светлые тона. Обычно цвет лицевого кирпича бывает от темно-красного до светло-красного. Технология производства лицевого кирпича аналогична производству обыкновенного глиняного кирпича пластическим или полусухим способами.

За последние годы проведены экспериментальные исследования и внедрен на ряде предприятий новый эффективный метод получения лицевого кирпича и керамических камней из легкоплавких красножгущихся глин с помощью ангобирования. Процесс ангобирования заключается в нанесении с помощью специальных форсунок на свежесформованный или высушенный кирпич тонкого цветного лицевого слоя, усиливающего или маскирующего после обжига структуру и цвет черепка.

Для окрашивания поверхности лицевого кирпича применяют морозостойкие различные по цвету составы ангобов (белый, серый, зеленый, голубой, ярко-красный, кремовый, коричневый и др.). Для получения ангоба используют часов-ярскую или веселовскую глины и люберецкий песок. Эту смесь тщательно измельчают в шаровых или вибрационных мельницах и к ним добавляют краситель. Так, для получения зеленого ангоба добавляют к указанной смеси до 10% окиси хрома, а для получения ангоба голубого цвета — до 3% окиси кобальта.

Кирпич и камни лицевые изготовляют сплошные и пустотелые. Лицевая поверхность кирпича и камней может быть гладкая, рифленая или офактуренная. Рельефное офактуривание поверхности производят путем обработки еще влажного кирпича-сырца специальными металлическими ершами, гребенками, рифлеными валиками.

Кирпич и камни лицевые в зависимости от формы и назначения делят на рядовые и профильные. Рядовые применяют для гладкой части стен, а профильные — для карнизов, тяг, поясков и т. д. (рис. 19). Основные размеры рядового или профильного кирпича — 250×120×65 мм; камня лицевого рядового — 250×120×140 мм и камня лицевого трехчетвертного — 185×120×140. Кирпич и камни лицевые выпускают следующих марок: 75, 100, 125 и 150; водопоглощением — не менее 6% и не более: для кирпича и камней из глин беложгущихся — 12% и для кирпича и камней из остальных глин — 14%. По морозостойкости кирпич и камни лицевые должны выдерживать без каких-либо повреждений не менее 25 циклов.

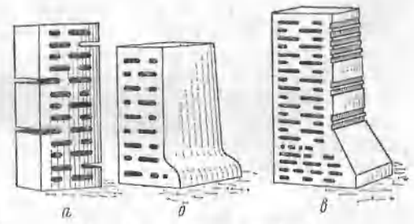


Рис. 19. Керамические камни:
а — эффективные многощелевые; *б* — с приливом и косым срезом; *в* — с приливом и узкими щелями

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. Для бассейнов, водоемов и других подобных сооружений применяется только глазурованный кирпич или кирпич с водопоглощением не более 5%.

Ковровая керамика глазурованная и неглазурованная представляет собой мелкоразмерные тонкостенные плитки различного цвета, наклеиваемые в виде ковров на бумажную основу. Плитки могут быть изготовлены различных цветов, блестящими и матовыми, покрыты прозрачными или глухими глазурями; их изготовляют 32 типоразмеров, квадратной, прямоугольной,

треугольной, ромбической и трапециевидной формы со стороной 25—125 мм, массой 1 м² плитки до 4,5 кг.

В нашей стране значительное распространение получило производство мозаичных облицовочных плиток методом литья. Сущность этого метода заключается в нанесении на пористые керамические формы-подставки трех слоев: разделительного, основного слоя плиточной массы и глазури. Формы-подставки перемещаются на литейном конвейере, при этом влага шликеров впитывается ими, и на их поверхности образуется плиточный слой толщиной 2,5—3,5 мм. В дальнейшем плиточный слой разрезают дисковыми ножами на плитки установленной формы и размеров.

С литейного конвейера подставки с отлитыми плитками поступают на сушку. Сушка продолжается около 15 мин при температуре 220—250° С. Далее плитки поступают в щелевые роликовые печи на обжиг, который продолжается 35 мин при температуре 950—1050° С. После обжига плитки снимают с подставок, наклеивают на листы бумаги, очищают от разделительного слоя и подают на склад готовой продукции.

Плитки ковровой керамики должны удовлетворять следующим требованиям: водопоглощение — не менее 6 и не более 12%, морозостойкость — 25, масса 1м² плиток в зависимости от толщины — 6—8 кг, лицевая поверхность должна быть гладкой, без трещин, зазубрин и расслоений. Набор ковров производят как из одноцветных, так и разноцветных плиток, с относительным сопротивлением продавливанию не менее 0,3 МПа, наклеенных на крафт-оберточную бумагу клеем, обеспечивающим прочность приклейки. После облицовки клей должен легко смываться.

Плитки ковровой керамики применяют для облицовки крупных блоков и панелей, стен вестибюлей и лестничных клеток жилых и общественных зданий.

Плиты фасадные керамические в зависимости от конструкций, способов изготовления и крепления делят на закладные, устанавливаемые одновременно с кладкой стен, и прислонные, устанавливаемые на растворе после возведения и осадки стен; в зависимости от назначения: плоские — для облицовки гладкой поверхности стен, угловые — для облицовки наружных углов, откосов, проемов и для перевязки с камнями или плитами; перемычные — для облицовки перемычек над окнами и дверными проемами и прокладные — для перевязки с рядовыми плитами.

По пределу прочности при сжатии и изгибе плиты фасадные керамические изготовляют следующих марок: при пластическом способе прессования — 150 и полусухом прессовании — 75 и 100. Водопоглощение плит из беложгущихся глин должно быть не более 12%, а из остальных глин — не более 14%; морозостойкость — Мрз 25.

Плиты изготовляют рядовые и угловые по четыре типоразмера каждого вида. Рядовые плиты имеют длину 120—240, высоту 65—140 и толщину 6—17 мм; угловые — длину по фасаду 65—190 и по торцу 115—160, высоту 65—140 и толщину 8—17 мм.

Облицовку наружных подоконников в жилых и общественных зданиях производят подоконными сливами. Сырьем для изготовления облицовочных плит являются беложгущиеся или цветные глины. Изделия небольших размеров формуют из тощих (малопластичных) кирпичных глин. Однако во всех случаях в сырье добавляют шамот. Подготовку глиняной массы производят обычно по сухому способу: вначале сырье высушивают, затем измельчают и увлажняют, после чего тщательно перемешивают до получения однородной массы. Сухая подготовка массы позволяет более тщательно измельчить глину, предварительное высушивание также повышает качество глины. Наиболее простой способ изготовления облицовочных плит — формование на ленточном вакуум-прессе.

Облицовочные плиты изготовляют также и полусухим способом, особенно если не представляется возможным получить рисунок на поверхности плиты при пластическом формовании. При полусухом способе сушка исключается, изделия после формовки идут на обжиг. Обожженные изделия сортируют по типу и цвету и хранят в штабелях на деревянных подкладках, защищая их от загрязнения и увлажнения.

В настоящее время фасадные плиты выпускают в ограниченном количестве, так как они сложны в изготовлении, громоздки и требуют высококачественного сырья.

Развитие крупнопанельного домостроения требует массового выпуска красивых и долговечных облицовочных материалов, которые обеспечивали бы возможность отделки стеновых панелей в процессе изготовления сборных элементов. Таким требованиям отвечают тонкостенные керамические плитки, обладающие высокой прочностью, имеющие разнообразную окраску и красивую поверхность. Наиболее распространенным способом производства облицовочных плиток является полусухое прессование.

Большинство заводов выпускает неглазурованные и глазурованные плитки размером 120×65 мм, небольшая масса которых позволяет изготовлять из них керамические ковры, что обеспечивает отделку панельных конструкций в процессе их изготовления.

Производство мелких плиток размером 22×22 мм освоено несколькими заводами. Однако изготовление их в многогнездных пресс-формах снижает производительность прессов и увеличивает стоимость продукции. В настоящее время разработано два способа получения дешевых ковровo-мозаичных плиток размером 22×22×4 мм с одинаковой фактурой лицевой и тыльной сторон. По первому способу мелкоразмерные керамические плитки изготовляют полусухим прессованием в пресс-формах, в верхнем и нижнем штемпелях которых предусмотрены клиновидные выступы, образующие с обеих сторон отпрессованной плитки надрезы глубиной 2 мм. После обжига плитки раскладываются

специальным устройством на более мелкие плитки размером 22×22 мм. За один цикл с пресса снимают при прессовании в таких пресс-формах 450 см² плиток, в то время как при прессовании плиток размером 20×20 мм в 15-гнездной пресс-форме съем составляет 60 см²; плиток размером 23×23 мм в 20-гнездной пресс-форме — 105 см²; плиток размером 120×65 мм в 4-гнездной пресс-форме — 312 см².

При изготовлении мелкоразмерных плиток по сравнению с выпускаемыми в настоящее время облицовочными фасадными плитками снижается расход сырья, уменьшается потребность в капселях, повышается производительность прессов, увеличивается пропускная способность сушил и печей.

По второму способу мелкоразмерные керамические плитки получают из пластических масс на конвейере. В отличие от формования керамических изделий на ленточных прессах при помощи мундштука облицовочные плитки получают напластованием массы на подставки, идущие по конвейеру. Возможность получения тонкостенных плиток напластованием из пластических масс основывается на высокой адгезии между влажной глиняной массой и керамическими подставками. Установка для получения плиток состоит из шнекового нагнетателя со специальной головкой для напластования масс, устройства для подачи подставок и транспортера с поворотным и резательным устройствами.

При непрерывной подаче подставок и равномерной загрузке пресса на подставке получают пластмассы толщиной 3—4 мм, который легко разрезают резательными устройствами 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 для получения плиток серого, голубого и других цветов. Отформованные плитки высушивают в радиационной сушилке, обжигают на подставках в щелевых печах или навалом в капсельных периодических или туннельных печах.

Производство мелкоразмерных плиток путем пластического напластования имеет ряд преимуществ по сравнению с методом полусухого прессования или литьем: короткий цикл технологического процесса (8—10 ч), упрощенный способ подготовки массы и малые производственные площадки.

Малая масса и одинаковая лицевая и тыльная стороны позволяют укрупнить ковры и этим повысить индустриальность изготовления панелей.

§ 8. Изделия керамические для внутренней облицовки

Для внутренней облицовки ванных комнат, бань, прачечных, больничных и других помещений керамические плитки прочно вошли в строительную практику. В зависимости от назначения

для внутренней облицовки применяют плитки двух видов: для облицовки стен и полов.

Плитки для облицовки стен в зависимости от используемого сырья делят на два вида: майоликовые и фаянсовые. Майоликовые облицовочные плитки изготовляют из легкоплавких глин с добавкой до 20% углекислого кальция в виде мела. При обжиге плиток получают пористый черепок, лицевую поверхность которого покрывают глазурью, а на тыльную сторону наносят бороздки для лучшего сцепления с поверхностью.

Сырьевую массу для майоликовых плиток тщательно перемешивают. Формуют плитки на рычажном прессе, затем их сушат и обжигают; далее плитки покрывают глазурью и обжигают вторично. Слой глазури придает плиткам водонепроницаемость и высокие декоративные качества.

Глазури имеют разный состав; они бывают прозрачные и непрозрачные (глухие), глянцевые и матовые, белые и цветные, тугоплавкие и легкоплавкие. Прозрачная глазурь придает лицевой поверхности плитки блеск, однако цвет ее остается таким же, как цвет черепка, а непрозрачная (глухая) глазурь придает лицевой поверхности плитки цвет, отличный от цвета черепка. Глухие глазури могут иметь самый разнообразный цвет — от белого до черного. Тугоплавкие глазури применяют для покрытия фарфоровых изделий и состоят из каолина, кварца и полевого шпата, а легкоплавкие глазури — из легкоплавких глин с добавкой мела и окислов железа. Ими покрывают облицовочный кирпич, черепицу, канализационные трубы. Цветные глазури получают при введении в их состав красящих окислов или солей металлов.

Глазури применяют в виде суспензий, которые наносят на керамические изделия пульверизатором или кистью. Покрывать глазурью можно как предварительно обожженные изделия, так и сухой сырец. Лучшее качество глазури получают при нанесении ее на обожженные изделия.

Фаянсовые плитки изготовляют из огнеупорных глин с добавкой кварцевого песка и плавней — веществ, понижающих температуру плавления (обычно полевого шпата и известняка или мела). Плитки имеют белый или слабо окрашенный черепок, лицевая поверхность покрыта белой или окрашенной, прозрачной или глухой глазурью. Тыльной стороне облицовочных плиток придают рифленую поверхность.

Плитки в зависимости от формы бывают квадратные, прямоугольные и фасонные для углов, облицовки карнизов и плинтуса. Плитки для внутренней облицовки подготовляют 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; плиток, изготовляемых из легкоплавких глин, — не менее 12 мм.

К качеству плиток для внутренней облицовки стен предъявляют высокие требования. Плитки должны иметь правильную

геометрическую форму, четкие грани и углы, без выпуклостей, выбоин и трещин, должны быть термически стойкими, т. е., будучи нагреты до температуры 100° С, а затем помещены в воду с температурой 20° С, не должны иметь на глазурованной поверхности трещин, околов глазури и цека сетки мелких трещин. Водопоглощение плиток не должно быть более 16%.

Как отмечалось выше, сырьем для изготовления плиток обычно служат массы из пластичной глины, каолина, кварца и полевого шпата. При производстве облицовочных плиток

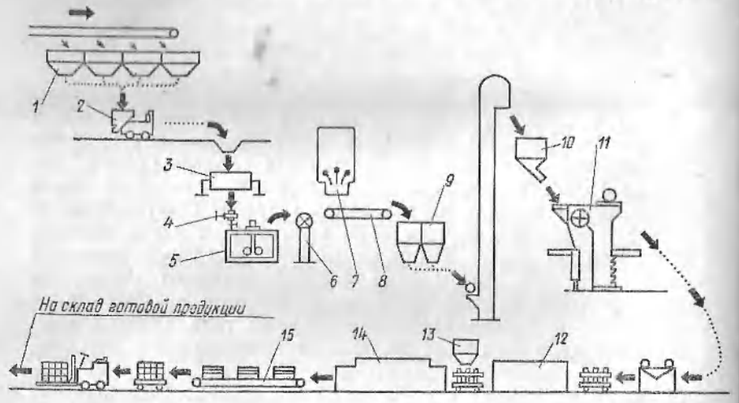


Рис. 20. Технологическая схема производства фаянсовых глазурованных плиток:

1 — сырьевые материалы; *2* — весовая 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

(рис. 20) поступающие из карьера сырьевые материалы освобождают от посторонних примесей, подсушивают и дозируют по массе. Отдозированные сырьевые материалы поступают в шаровые однокамерные мельницы для измельчения и перемешивания с водой до образования суспензии, которую пропускают через вибрационные грохоты и направляют в сборник, оборудованный пропеллерной мешалкой. Из сборника суспензию подают мембранным насосом под давлением до 1,2 МПа в форсунки распылительных сушил (рис. 21). Суспензия выбрасывается через форсунки вверх с влажностью 40—50%, а затем попадает вниз в среду с температурой 300—350°С и высушивается, превращаясь в гранулы крупностью до 1—1,5 мм и влажностью до 7%. Эти гранулы оседают в нижнем конусе сушилки и, проходя через сито, поступают в бункер вылеживания, а оттуда — на конвейерную линию.

Конвейерная линия состоит из прессового участка, имеющего несколько прессов (рис. 22), цепного или сетчатого транспортера, по которому плитка поступает в сушильные камеры, участка глазурования и роликовых обжиговых печей. Обжиг плиток обычно производят в непрерывно действующих роликовых печах туннельного типа.

Обожженные плитки сортируют по размерам, цвету, типу и сорту и упаковывают в деревянные ящики.

Хранят плитки по типам, цветам и сортам в закрытом помещении.

Плитки для внутренней облицовки стен применяют в помещениях, требующих повышенной чистоты, а также для облицовки стен санитарно-технических узлов, кухонь и помещений с повышенной влажностью.

Керамические плитки для полов водонепроницаемы, стойко сопротивляются истирающим воздействиям, легко моются, долговечны. Однако они имеют и некоторые недостатки: большую теплопроводность, низкую сопротивляемость удару и небольшие размеры, что вызывает повышенную трудоемкость при устройстве полов. Указанные недостатки не являются решающими, что и определяет широкое применение керамических плиток для полов в вестибюлях общественных зданий, в банях, прачечных, санитарных узлах, на предприятиях химической промышленности и т. п.

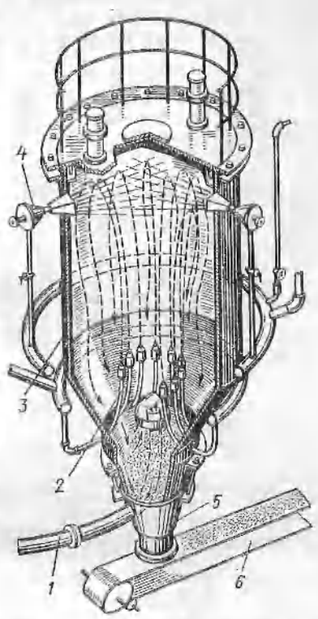


Рис. 21. Распылительное сушило:

1 — кольцевой массопровод; *2* — форсунки; *3* — распылительное сушило; *4* — инжекционные горелки; *5* — пресс-порошок, удаляемый через патрубок; *6* — транспортер

На практике применяют плитки самых разнообразных форм, размеров и цветов, керамические и керамические мозаичные.

Плитки керамические для полов изготовляют из глиняной массы с окрашивающими примесями или без них путем формования и последующего обжига до спекания (рис. 23). По виду лицевой поверхности плитки бывают гладкие, шероховатые и тисненые. По показателям внешнего вида керамические плитки для полов делятся на три сорта — I, II и III, по цвету — одноцветные и многоцветные. По форме и размерам плитки изготовляют семи видов — квадратные, прямоугольные, треугольные,

шестигранные, четырехгранные (половинки шестигранных), пятигранные (половинки пятигранных) и восьмигранные. Всего производят 15 типов плиток со стороной 50—150 мм и толщиной 10—13 мм. Плитки должны иметь правильную форму, четкие грани и углы, без выпуклостей, выбоин и трещин; высокую плотность, водопоглощение не более 4%; повышенное сопротивление истираемости (потери в весе при испытании плиток на истираемость не должны превышать 0,1 г/см² для полов с повышенной истираемостью и 0,25 г/см² для полов прочих помещений).

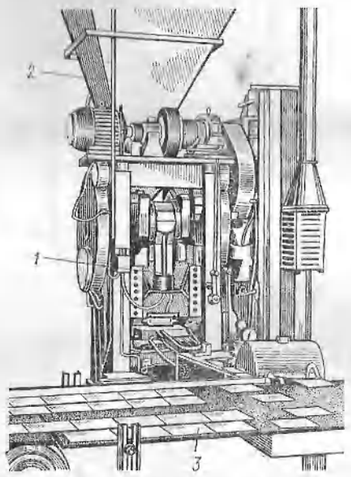


Рис. 22. Пресс-автомат полусухого прессования:

1 — механический пресс; *2* — бункер пресс-порошка; *3* — конвейер

Керамические материалы для полов применяют в помещениях с повышенной интенсивностью движения и влажных режимах — санитарно-бытовых помещениях, фойе, вестибюлях, входах общественных и промышленных зданий. Укладывают их поодиночке непосредственно на пол в соответствии с заданным рисунком.

Сырьем для изготовления керамических плиток для полов служат высокосортные пластичные глины с отощающими и понижающими температуру плавления добавками. Для придания плиткам необходимого цвета вводят красители (хромистый железняк, окись кобальта и т. д.). В производстве плиток применяют два способа подготовки массы для формования: мокрый и полусухой. Мокрый способ используют при глинах, требующих добавок плавней и красящих веществ. Сухой способ применяют при однородных глинах, не требующих добавок. При полусухом способе вначале глину тщательно измельчают, затем подсушивают до влажности 5—7% и вновь измельчают и просеивают. Измельченная и просеянная масса вылеживается 24—28 ч для выравнивания влажности и поступает на прессование. При мокром способе глину измельчают, а затем разбалтывают в большом количестве воды вместе с добавками. Из резервуара массу подают в фильтр-прессы, где ее обезвоживают 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. 24) предусматривает приготовление пресспорошка с обезвоживанием шликера не в фильтр-прессах, а в распыли-

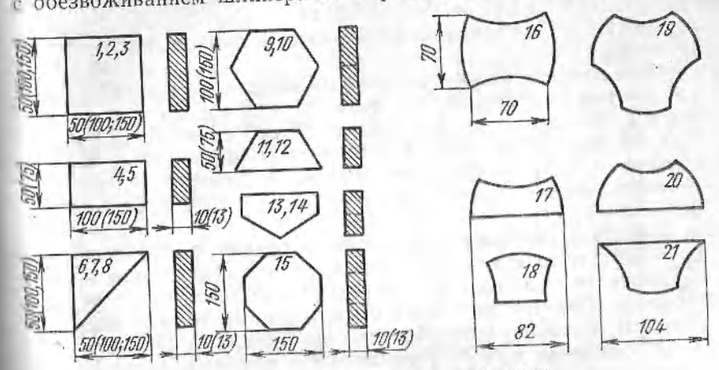


Рис. 23. Плитки керамические для полов:

1—3 — квадратные; *4—5* — половинки квадратных; *6—8* — треугольные; *9—14* — шестигранные и их половинки; *15* — восьмигранные; *16—18* — четырехсторонние и их половинки; *19—21* — шестисторонние и их половинки

тельных сушилках. В этом случае высвобождается много оборудования, производственной площади и снижаются трудовые затраты.

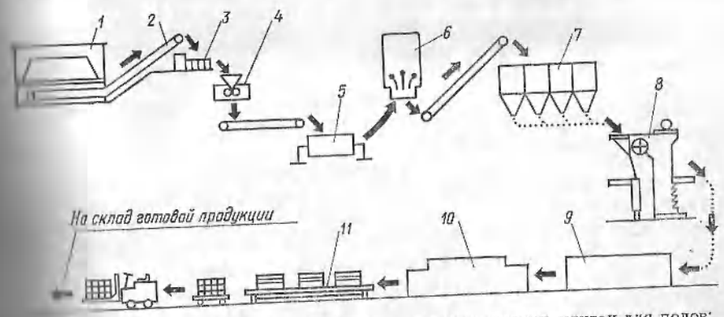


Рис. 24. Технологическая схема производства керамических плиток для полов:

1 — склад глины; *2* — транспортер; *3* — ящичный подаватель; *4* — дробление глины в зубчатых вальцах; *5* — помол глины в шаровых мельницах; *6* — распылительные башни; *7* — расходные бункера; *8* — прессование плиток; *9* — сушка плиток; *10* — обжиг плиток; *11* — сортировка и упаковка

формуют плитки на полуавтоматических гидравлических или автоматических механических прессах при давлении 25—30 МПа. При таком прессовании плиток получается плотный

черепок. Обжигают плитки в капселях или без них при температуре 1150—1250° С. Подъем температуры при обжиге и охлаждении ведут медленно в целях получения более высокого качества плиток и уменьшения брака. Обожженные плитки сортируют по сортам, размерам, цвету и тону и упаковывают пачки по 15 шт.

Плитки керамические мозаичные изготовляют двух видов — квадратные со стороной квадрата 23 и 48 мм и толщиной 6 и 8 мм и прямоугольные размерами: 48×23×6 и 48×23×8 мм. Плитки мозаичные обладают высокой плотностью и полным спеканием черепка без остеклования, следовательно, высоким сопротивлением истираемости и малым водопоглощением (не более 3—4%).

Производство ковровой мозаики сходно с производством крупных плиток с той лишь разницей, что прессование первых осуществляют в специальных многогнездных пресс-формах. Мозаичные плитки экономнее в производстве, так как их малые размеры упрощают 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. Упаковывают листы с плитками пачками по 10 листов с прокладками из фанеры или картона. 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.

§ 9. Кровельная черепица

Глиняная черепица является относительно недорогой, имеет хорошие декоративные качества, но кровля из нее имеет значительную массу (до 65 кг/м²).

Черепицу изготовляют из глины с добавками или без них. В строительной практике широко применяют черепицу четырех типов: штампованную, пазовую, плоскую ленточную и коньковую (рис. 25). В зависимости от назначения черепицу делят на: рядовую — для покрытия скатов кровли; коньковую — для покрытия коньков и ребер; разжелобочную — для покрытия разжелобков; концевую («половинки» и «косяки») — для замыкания рядов и черепицу специального назначения.

Технология изготовления черепицы в основном не отличается от технологии изготовления кирпича, но ввиду малой толщины черепицы глину перед формованием тщательно обрабатывают до получения однородной пластичной массы. Формуют черепицу на ленточных или револьверных прессах, после чего подают в сушило. Сушить черепицу нужно осторожно во избежание коробления, появления трещин и других деформаций. Об-

жигают черепицу до полного спекания черепка при температуре 950—1000° С. Кровельная черепица должна быть хорошо обожженной, равномерно окрашенной, иметь ровную и гладкую

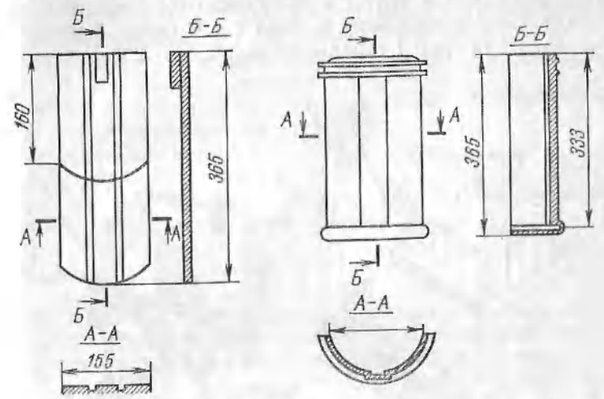


Рис. 25. Виды черепицы

поверхность (без трещин), быть достаточно прочной (разрушающая нагрузка на излом не менее 7 Н), водонепроницаемой и морозостойкой (не ниже Мрз 25).

Хранят черепицу в деревянной таре в закрытых помещениях по сортам.

§ 10. Трубы керамические канализационные и дренажные

Трубы керамические канализационные изготовляют из тугоплавких или огнеупорных глин с отощающими добавками (тонкомолотым шамотом или кварцевым песком) или без них, цилиндрической формы с раструбом на одном конце.

Сырьевую массу обычно готовят пластичным способом по следующей схеме (рис. 26). Глину освобождают от крупных камней и подвергают грубому помолу. Измельченную глину подсушивают, измельчают в дезинтеграторах и просеивают. Наряду с подготовкой глиняного порошка параллельно идет приготовление из глины шамота, т. е. измельчение и увлажнение глины, ее обжиг на шамот и дробление шамота. Отдозированные глину и шамот подают в мешалку, в которой массу перемешивают, увлажняют и направляют на изготовление валюшек. Вылежанные валюшки следуют в формовочное отделение. Формование труб производят на специальных трубных прессах, на которых одновременно с телом трубы формуют и раструб. Отформованные трубы сушат в искусственных сушильных установках. Высушенные и отделанные трубы покрывают снаружи

и внутри глиняной глазурью, после чего обжигают. Обжиг канализационных труб производят в камерных или туннельных печах при температуре 1250—1300° С.

Канализационные трубы в зависимости от показателей внешнего вида и водопоглощения бывают I и II сорта. Водопоглощение черепка для труб I сорта — не более 9%, для II сорта — не

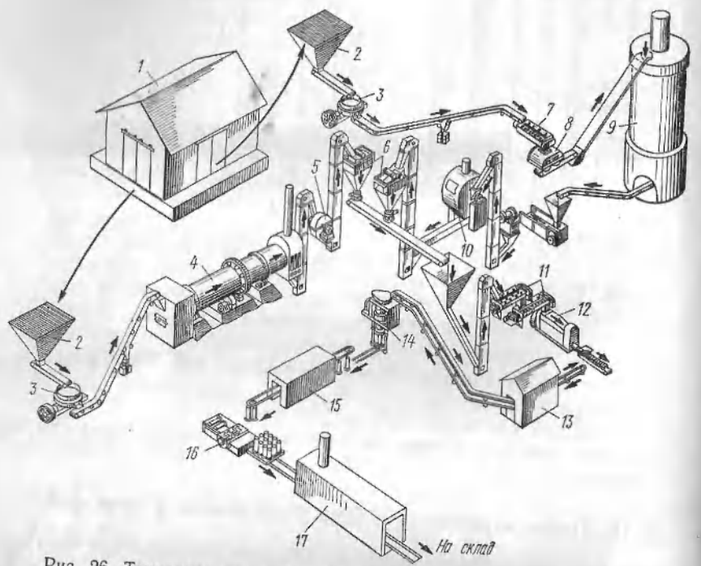


Рис. 26. Технологическая схема производства керамических труб:

1 — склад сырья; *2* — бункер с решеткой; *3* — измельчение глины в струге; *4* — сушильный барабан; *5* — измельчение глины в дезинтеграторе; *6* — дозирование глины и шамота; *7* — смешение и увлажнение глины; *8* — брикетирование глины на вальцах; *9* — обжиг глины на шамот; *10* — помол шамота; *11* — смешение глины с шамотом и их увлажнение; *12* — формование валюшек; *13* — склад вылеживания валюшек; *14* — трубный пресс; *15* — сушка труб; *16* — глазурование; *17* — обжиг труб

более 11% по массе. Трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,2 МПа и иметь кислотоустойчивость черепка не ниже 90%. Керамические канализационные трубы изготовляют диаметром 150—600, длиной 800—1200 мм. Показатели механической прочности и гидравлического давления, правила приемки и маркировки, хранения и транспортирования канализационных труб должны соответствовать требованиям ГОСТ 286—64.

Трубы канализационные применяют для производственных и хозяйственно-фекальных канализационных, а также для водосточных сетей при наличии агрессивных вод.

Трубы керамические дренажные (рис. 27) изготовляют из пластичных глин с добавками или без них путем формования на специальных или ленточных прессах и последующего обжига в печах с опрокинутым пламенем. Внешнюю сторону дренажных труб покрывают глазурью. Дренажные трубы изготовляют с раструбами или без них. Раструбные трубы имеют отверстия, через которые вода проникает в трубу, однако отверстия быстро засоряются. В последнее время более широко практикуют изготовление дренажных труб без раструбов. Для соединения этих труб и защиты их от заливания применяют керамические муфты. Вода в такие трубы поступает через стыки.

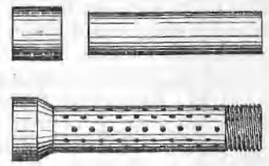


Рис. 27. Керамические дренажные трубы

Дренажные трубы производят диаметром 25—250 мм, длиной 333—335 мм, а иногда до 500 мм. Дренажные трубы должны быть морозостойкими (не ниже Мрз 15). Показатели механической прочности, правила приемки, хранения и транспортирования керамических дренажных труб должны соответствовать требованиям ГОСТ 8411—62.

§ 11. Изделия керамические кислотоупорные

Кирпич кислотоупорный применяют для фундаментов и футеровки химических аппаратов, газоходов, кладки колосников, настилки полов и сточных желобов предприятий химической промышленности.

Кислотоупорный кирпич производят двух видов: прямой размером 230×113×65 мм и клинообразный (клин торцевой двусторонний и клин ребровый двусторонний) размером 230×113×65 или 230×113×55 мм.

По физико-механическим свойствам и внешнему виду кирпич делят на три сорта: I, II и III.

Требования, предъявляемые к кислотоупорному кирпичу, приведены в табл. 9.

Таблица 9

Требования к кислотоупорному кирпичу

Наименование показателей	Сорта		
	I	II	III
Кислотостойкость, не менее, %	96	94	92
Водопоглощение, не более, %	8	10	12
Предел прочности при сжатии, не менее, кГ/см² (10^{-1} МПа)	250	200	150
Термическая стойкость (количество теплосмен), не менее	2	2	—

Плитки керамические кислотоупорные изготовляют трех типов: кислотоупорные — К, термокислотоупорные — ТК и термокислотоупорные для гидролизной промышленности — ТКГ. По внешнему виду плитки типов К и ТК делят на два сорта — I и II.

Кислотоупорные и термокислотоупорные плитки имеют плотный спекшийся черепок, высокую прочность — предел прочности на сжатие не менее 39 МПа и на изгиб не менее 15 МПа, низкое водопоглощение — не более 6—9% и высокую кислотостойкость — не менее 96—98%, а также высокую термическую стойкость — для плиток типа К — не менее 2, а для плиток типа ТК — не менее 8 теплосмен. Плитки типа ТКГ должны обладать кислотостойкостью не менее 97%, водопоглощением — не более 6%, пределом прочности при сжатии — не менее 25 МПа и термической стойкостью — не менее 10.

Плитки типа К применяют для футеровки аппаратов и газоходов, облицовки панелей и сточных желобов, а ТК и ТКГ — для футеровки варочных котлов целлюлозной, гидролизной и других отраслей промышленности.

Трубы керамические кислотоупорные изготовляют по такой же технологии, как и канализационные, двух сортов — I и II.

Кислотоупорные керамические трубы имеют плотный спекшийся черепок, с обеих сторон покрытый глазурью. Кислотоупорные трубы отличаются высокой плотностью и прочностью, малым водопоглощением и высокой устойчивостью к действию кислот. Так, трубы I сорта должны иметь кислотостойкость не менее 98%, водопоглощение — не более 3%, предел прочности при сжатии — не менее 40 МПа, термическую стойкость — не менее 2 и гидравлическое давление — не менее 0,4 МПа.

Трубы кислотоупорные керамические и фасонные части к ним применяют для перемещения неорганических и органических кислот и газов при разрежении или давлении до 0, 3 МПа.

§ 12. Изделия санитарно-технической керамики

Основным сырьем для производства санитарно-технических изделий являются беложгущиеся огнеупорные глины, каолины, кварц и полевой шпат. Различают три группы санитарно-технической керамики: фаянс, полуфарфор и фарфор, отличающиеся степенью спекания и пористостью. Изделия из фаянса имеют пористый, а из фарфора плотный сильно спекшийся черепок, плотность полуфарфора занимает промежуточное положение. Различная степень спекания фаянса, фарфора и полуфарфора достигается при одних и тех же сырьевых материалах, но при различном соотношении последних в рабочей массе (табл. 10).

Сырьевые материалы, идущие на изготовление изделий санитарно-технической керамики, подвергают тщательной переработке: помолу, отмучиванию, просеиванию и другим операциям, обеспечивающим получение тонкоизмельченной сырьевой смеси, освобожденной от вредных примесей. Приготовленная смесь

представляет сметанообразную массу — шликер. Формуют изделия преимущественно способом литья в гипсовых формах, которые впитывают избыток воды. Затем изделия вынимают из форм, подсушивают, оправляют (обрезают) и направляют в сушильные камеры. Высушенные изделия покрывают сырым глазурным слоем и в капселях обжигают при температуре 1250—1300° С в периодических или непрерывно действующих печах.

Таблица 10

Состав массы для изделий санитарно-технической керамики

Наименование материалов	Содержание, %		
	в твердом фаянсе	в полуфарфоре	в санитарном фарфоре
Глинистые материалы (беложгущиеся огнеупорные глины и каолины)	50—55	48—50	45—50
Кварц	40—50	40—45	30—35
Полевой шпат	5—10	7—12	18—22

Из твердого фаянса изготовляют преимущественно унитазы, умывальники, смывные бачки, а также ванны. Фаянсовые изделия покрывают глазурью, так как в неглазурованном виде они пропускают воду. Черепок фарфоровых изделий непроницаем для воды и газов, обладает высокой механической прочностью, термической и химической стойкостью. Используют его для производства изоляторов, химической лабораторной посуды и т. п.

Свойства изделий санитарно-технической керамики приведены в табл. 11.

Таблица 11

Физико-механические свойства санитарно-технической керамики

Наименование показателей	Фаянс	Полуфарфор	Фарфор	Шамот
Водопоглощение, %	10—12	3—5	0,2—0,5	10—16
Объемная масса, кг/м³	1900—1960	2000—2200	2250—2300	1800—1900
Предел прочности при сжатии, кГ/см² (10^{-1} МПа)	1000	1500—2000	5000	150—300
Предел прочности при изгибе, кГ/см² (10^{-1} МПа)	150—300	380—430	700—800	70—100

Изделия санитарно-технической керамики белые, иногда светло-желтые должны иметь правильную форму, ровную, гладкую и чистую поверхность без искривлений, равномерно покрытую глазурью; они должны быть хорошо обожжены.

§ 13. Керамзит

Керамзит представляет собой легкий пористый материал ячеистого строения с закрытыми порами. Основное применение он находит как заполнитель для легких бетонов (см. гл. VI).

Для получения керамзита применяют легкоплавкие глины, содержащие 6—12% окислов железа, 2—3% щелочных окислов и до 3% органических примесей. Если в глине недостаточно органических примесей, то в нее вводят угольную пыль, торфяную крошку и т. п. материалы. При обжиге глины происходит размягчение материала и выделение газов и паров воды. Последние вспучивают частично расплавленную массу, образуя в ней поры. Спекание материала с образованием закрытых пор заканчивается в момент интенсивного газовыделения.

Производство керамзита осуществляется по трем технологическим схемам. При наличии плотных камнеподобных глин, хорошо вспучивающихся, обжиг ведут по сухому способу без формования, сразу после дробления сырья. При полусухом способе можно применять слабовспучивающиеся глины. В этом случае глину подвергают дроблению, сушке, помолу и вводят органические добавки, затем смесь тщательно перемешивают и гранулируют в виде зерен размером 10—20 мм. Пластический способ применяют при неоднородном влажном, хорошо намокающем сырье. В качестве формующих машин используют дырчатые вальцы и барабанные грануляторы, а также ленточные прессы, у которых выходное отверстие мундштука перекрыто перфорированной плитой. Прессы имеют устройство для резки выходящих жгутов. Иногда полуфабрикат сушат в сушильных барабанах.

Керамзитовый гравий обжигают во вращающихся печах длиной 20—50, диаметром 1,5—3,5 м при температуре 1300° С в течение 30—60 мин. После обжига керамзит медленно охлаждают до температуры 60—100° С, затем разделяют на фракции и направляют в силосы.

Различают керамзитовый гравий по размеру зерен, объемной массе и прочности. Керамзитовый гравий имеет размер зерен 5—40 мм, зерна менее 5 мм называют керамзитовым песком. В зависимости от насыпной массы гравий делят на марки 250—600. Предел прочности на сжатие (МПа) гравия в зависимости от его марки составляет:

Для марки 250	0,6	Для марки 400	1,4
» » 300	0,8	» » 500	2,0
» » 350	1,0	» » 600	3,0

Для высокомарочных конструктивных легких бетонов применяют гравий М800 и 1000 с прочностью на сжатие до 4 МПа.

§ 14. Огнеупорные материалы

Материалы, имеющие огнеупорность выше 1580° С, относят к огнеупорным. К ним предъявляют следующие основные требования: огнеупорность, предел прочности на сжатие и изгиб, прочность под нагрузкой при высокой температуре, термостойкость, газонепроницаемость, шлакоустойчивость, а также постоянство объема и формы.

Из огнеупорных материалов наиболее широко применяют кремнеземистые, алюмосиликатные, а также магнезиальные, хромистые и углеродистые. Кремнеземистые (динасовые) огнеупорные материалы содержат не менее 93% SiO_2. Эти материалы имеют высокую огнеупорность 1670—1790° С. Однако они обладают рядом недостатков: имеют малую термическую стойкость, при быстром нагревании теряют прочность, растрескиваются и разрушаются. Применяют динас для кладки сводов в металлургических и стекловаренных печах. Алюмосиликатные огнеупорные материалы делят на три вида: полукислые с содержанием SiO_2 более 65% и Al_2O_3 — менее 35%; шамотные с содержанием Al_2O_3 30—45% и высокоглиноземистые с содержанием Al_2O_3 — более 45%. Полукислые изделия изготовляют из кварцевых пород на глиняной или каолиновой связке. Изделия на каолиновой связке имеют огнеупорность не ниже 1710° С, а на глиняной — не ниже 1580° С. Указанные изделия применяют для футеровки вагранок, коксовых печей и т. д.

Шамотные огнеупорные изделия получают обжигом смеси шамота и огнеупорной глины; они термически стойки, шлакоустойчивы, обладают прочностью и т. д. Применяют их для кладки и футеровки печей и сводов, стен и пода керамических печей, обмуровки топок паровых котлов и т. д.

Высокоглиноземистые изделия изготовляют из боксита, диаспора, корунда и др. Они имеют огнеупорность 1820—1960° С, низкую термическую стойкость, но обладают высокой шлако- и стеклоустойчивостью. Применяют высокоглиноземистые материалы в стекольной промышленности для кладки печей.

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

Хромистые изделия получают из хромистого железняка с добавкой магнезита или глинозема; они имеют высокую огнеупорность — 1800—2000° С, устойчивы против шлаков железной руды. Применяют хромистые изделия в сталелитейных печах.

Углеродистые изделия изготовляют из графита или кокса, они обладают высокой огнеупорностью — выше 1700° С, термостойкостью против действия жидких шлаков.

§ 15. Пути повышения эффективности производства и применения в строительстве керамических материалов

Большие запасы повсеместно распространенного сырья, сравнительная простота технологии и высокая долговечность керамических материалов выдвинули их на одно из первых мест среди других строительных материалов. Так, выпуск глиняного кирпича составляет около половины объема производства всех стеновых материалов, керамические облицовочные плитки все

еще остаются основными материалами для отделки санитарных узлов и многих других помещений, не потеряли своего значения и керамические материалы для наружной облицовки здания (табл. 12).

Таблица 12

Динамика производства керамических строительных материалов

Наименование изделий и материалов	Годы			
	1965	1970	1972	1972 в % к 1970
Глиняный кирпич, млрд. шт.	28,0	32,5	33,85	104
Облицовочная глазурованная плитка, млн. м²	12,3	17,2	19,6	114
Керамическая плитка для полов, млн. м² . .	15,2	19,5	21,0	108
Керамические кислотоупорные изделия, тыс. т	364	444	487	110
Керамзит, млн. м³	6,2	11,5	15,9	138
Санитарно-строительный фаянс, млн. шт. . .	5,7	7,3	7,9	108

Основным **стеновым материалом** до сих пор остается штучный кирпич, составляющий в общем балансе стеновых материалов до 50%. В средней полосе СССР кирпичные стены зданий возводятся толщиной 64 см (в 2,5 кирпича.) Их массивность вызывает непроизводительные затраты материальных и трудовых ресурсов, увеличивает сроки строительства, а следовательно, ведет к удорожанию последнего по сравнению с индустриальным строительством.

Однако для увеличения производства новых индустриальных материалов (на основе бетона и железобетона) требуются большие капиталовложения и длительные сроки для строительства и освоения новых предприятий, тогда как при незначительных капитальных вложениях на многих действующих кирпичных заводах можно организовать производство прогрессивных эффективных керамических стеновых материалов.

За последние годы в СССР производство пустотелой керамики составляет около 4% общего объема выпуска кирпича. Однако за рубежом пустотелая керамика по сравнению с производством обычного кирпича давно заняла доминирующее положение. При этом толщина кирпичных стен за счет хороших тепло- и звукоизоляционных свойств уменьшена на 30—40%.

Конструктивные свойства пустотелой керамики и высокое термическое сопротивление воздушных прослоек (особенно при отрицательных температурах) при их рациональном распределении позволяет использовать значительные резервы для уменьшения толщины и массы наружных стен. Применение пустотелых керамических камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20% (и даже на 30—40%), массу стен — на 35%, расход раствора — на 45% и керамических материалов — на 15% по сравнению со стенами из обыкновенного кирпича. Применение укрупненных камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20% (и даже на 30—40%), массу стен — на 60%,

расход раствора — на 55% и керамических материалов — в 2 раза. Соответственно уменьшается и трудоемкость возведения стен из керамических камней по сравнению с обычным кирпичом.

В зарубежных европейских странах (Франции, Финляндии, Италии и др.) удельный вес производства эффективной керамики составляет 50—90% от общего выпуска кирпича. Эффективные керамические материалы, применяемые за рубежом, имеют плотность лишь 1—1,2 т/м³ и характеризуются высокими теплотехническими свойствами. Керамические камни выпускают, как правило, укрупненных размеров (до 4—6 стандартных кирпичей); они имеют высокую прочность (17,5—30 МПа) и разнообразные типоразмеры, что позволяет избежать лишнего расхода материала в конструкции и добиться удешевления наружных стен зданий на 30—40% по сравнению с традиционной кладкой (из обычного полнотелого кирпича).

Во Франции большой спрос имеют керамические камни пустотностью 64% размером 270×200×400 мм. В Италии наибольшее распространение получил кирпич с пустотностью 40% размерами 400×300×300 мм и 500×400×300 мм. В последнее время изготовляют крупногабаритные ребристые пустотелые камни размером 600×250×1200 для укладки и перекрытия и использования в панельном строительстве.

Интересно отметить, что в полносборном строительстве Франции до 1/3 составляют керамикобетонные конструкции. Керамические камни в конструкциях внутренних, наружных стен и перекрытий находят применение также в ФРГ, Голландии и Англии.

Производство керамических камней непрерывно увеличивается; этому способствует их меньшая себестоимость по сравнению с себестоимостью полнотелого кирпича (табл. 13).

Следует отметить, что при переходе на выпуск пористо-пустотелой керамики повышенной пустотности производительность сушилок и печей кирпичных заводов возрастает на 20—25%, расход сырья уменьшается на 30—40%, топлива — до 15%. На основе роста выпуска продукции с действующих агрегатов и сокращения толщины конструкций достигается возможность увеличить производство материалов для стен с каждого реконструированного на выпуск пористо-пустотелой керамики кирпичного завода не менее чем в 1,7 раза.

Удельные капитальные вложения на строительство полигонов и цехов виброкерамических панелей намного меньше, чем на создание цехов крупнопанельных железобетонных конструкций.

Структура производственных затрат в промышленности **строительной керамики** характеризуется большой трудоемкостью вследствие невысокого уровня механизации производства. Удельный вес заработной платы в среднем по промышленности строительной керамики составляет 39%, а в целом по промышленности СССР — 18,6% себестоимости продукции.

Таблица 13

Сравнительные технико-экономические показатели производства полнотелого кирпича и керамических камней
(на 1000 шт. кирпича)

Наименование показателей	Витебский комбинат	Бескудниковский комбинат	Черемушкинский керамический завод
Себестоимость, руб.:			
полнотелый кирпич	17,7	24,43	22,25
керамические камни	Нет сведений	19,57	18,88
Затраты труда, чел/ч:			
полнотелый кирпич	17,7	7,4 *	8,46 *
керамические камни	14,0	5,5	7,61
Топливо, кг:			
полнотелый кирпич	229,3	223,0	231,5
керамические камни	195,0	185,0	160,4
Электроэнергия:			
полнотелый кирпич, кВт	Нет сведений	98,0	75,9
керамические камни, ч	То же	125,9	81,0

* Цеховая трудоемкость.

Резервы снижения себестоимости продукции являются весьма значительными (табл. 14). Так, заводская себестоимость плитки для полов на одних заводах снизилась до 60 коп., а на других достигает 1 руб. 50 коп. Такое же положение и с себестоимостью облицовочных плит. На одних заводах она немногим превышает 1 руб., а на других достигает 2 руб. 50 коп. и более.

Одним из решающих факторов, определяющих себестоимость продукции, является мощность предприятия. Увеличение ее позволяет повысить уровень механизации и соответственно уменьшить трудозатраты, снизить удельный расход энергоресурсов, а также снизить цеховые и общезаводские затраты, приходящиеся на 1 м² плитки.

Значительного снижения расхода энергоресурсов — топлива и электроэнергии — достигают применением метода бескапсельного обжига и радиационных сушил и при использовании в качестве топлива природного газа. Так, удельный расход топлива на передовом Харьковском заводе на производство плиток для полов составил 4,7 кг/м² против 3,6 кг/м² на Славянском комбинате; удельный расход электроэнергии на том же заводе составил 1,7 кВт · ч/м² против 2,2 кВт · ч/м² в среднем по керамической промышленности.

Снижение себестоимости облицовочных плиток и плиток для полов может быть достигнуто за счет совершенствования технологии производства. Наиболее фондоемким процессом в производстве керамических облицовочных плиток является сушка изделий. На многих плиточных заводах сушку изделий

осуществляют в конвективных конвейерных сушилах, недостатком которых является большая продолжительность сушки изделий (10—12 ч). На Харьковском плиточном заводе применяют более экономичные радиационные сушила. Цикл сушки в них составляет около 10 мин. Ускоренная сушка в радиационных сушилах дает возможность повысить производительность прессового цеха, сократить потери от брака, повысить качество выпускаемой продукции.

Таблица 14

Калькуляция себестоимости плиток для полов и облицовочной плитки
(руб./м²)

Наименование затрат	Плитки для полов			Облицовочные плитки		
	в среднем по керамической промышленности	по Харьковскому плиточному заводу	по Славянскому керамико-плиточному заводу	в среднем по керамической промышленности	по Харьковскому плиточному заводу	по Гнездовскому комбинату промышленности строительных материалов
Сырье, топливо и электроэнергия	0,38	0,245	0,38	0,54	0,447	0,97
Заработная плата с начислениями	0,19	0,13	0,24	0,27	0,235	0,31
Итоги производственных затрат	0,58	0,375	0,60	0,81	0,682	1,28
Потери от брака	0,04	0,014	0,08	0,16	0,118	0,42
Цеховые расходы	0,45	0,188	0,43	0,61	0,381	0,64
Общезаводские расходы	0,08	0,038	0,08	0,11	0,067	0,21
Заводская себестоимость	1,15	0,615	1,19	1,68	1,248	2,55
Внепроизводственные расходы	0,04	0,015	0,02	0,08	0,031	0,08
Полная себестоимость	1,19	0,63	1,21	1,76	1,279	2,63

В настоящее время НИИстройкерамики совместно с другими организациями 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.

Повышение производительности сушильных переделов требует совершенствования подготовки сырьевой массы. Взамен громоздких бегунов применяют более экономичные ротационные мельницы, обслуживание которых проще и дешевле, а производительность на 60% выше. В то же время ротационные мельницы в 15 раз легче бегунов (800 кг против 12 т) и занимают меньше места в цехе.

Применение комплексной механизации и автоматизации производства, модернизации оборудования, замены малопроизводительных машин периодического действия машинами непрерывного действия, использование природного газа в качестве топлива позволяют резко снизить себестоимость и трудо-

вые затраты на изготовление керамических облицовочных материалов, повысить их качество.

Улучшение технико-экономических показателей производства керамических труб может быть достигнуто прежде всего за счет лучшего использования производственных мощностей, роста производительности основного оборудования и тепловых агрегатов, увеличения количества туннельных печей для обжига продукции, использования природного газа в качестве топлива, а также за счет улучшения организации труда.

Анализ работы различных заводов показывает, что в производстве керамических канализационных труб значительная доля от общих трудовых затрат приходится на массозаготовительный и формовочный цехи. Так, по формовочным цехам трудовые затраты составляют почти столько же, сколько по сушильно-печным. Уровень трудовых затрат по сушильно-печным цехам зависит от типа применяемых печей и их производительности. Так, по массо-заготовительному цеху наименьшие трудовые затраты имеет передовой в отрасли завод «Кислотоупор». Это объясняется механизацией складских работ и транспортировки сырья, а также внедрения в производство специальных печей для обжига шамота. Снижение трудовых затрат по формовочному цеху достигнуто в результате конвейеризации процессов отбора и подвялки труб, а в обжиговом цехе — благодаря высокой производительности туннельных печей и использованию в качестве топлива природного газа.

При конвейеризации производства возрастает производительность трубных прессов, высвобождаются производственные площади, сокращается срок подвялки труб, уменьшается количество производственных рабочих, занятых на оправке и подвялке труб, увеличивается производительность труда и значительно сокращается брак продукции.

Наиболее прогрессивной технологической схемой по производству керамических канализационных труб следует считать поточно-механизированную линию, которая в настоящее время сооружена на Кудиновском заводе. Преимущество этой линии состоит в меньшем расходе металла на ее сооружение, сокращении капитальных затрат на перестройку зданий и тепловых агрегатов. Кроме того, благодаря внедрению поточной линии ликвидируется тяжелый ручной труд за счет механизации процессов отборки труб от пресса, оправки, подвялки, сушки, глазурования, а также механизации всякого вида операций по передвижению полуфабриката от одного рабочего места к другому. Поточно-механизированная линия дает значительный экономический эффект за счет резкого снижения трудовых затрат на единицу продукции и позволяет полностью механизировать весь процесс производства труб.

Большое значение для экономики керамических материалов имеет снижение затрат на топливо, расход которого весьма значителен в себестоимости продукции (табл. 15).

Таблица 15

Расход условного топлива на производство керамических строительных материалов и изделий

Наименование изделий	Расход условного топлива, кг	
	на единицу измерения	на тонну продукции
Производство красного кирпича, тыс. шт. . . .	160—370	45—100
Производство строительной керамики:		
труб канализационных, т	370—450	370—450
санитарно-строительных изделий, т	1500—2000	1500—2000
метлахской плитки, м²	9—10	360—720
облицовочной плитки, м²	10—15	550—825
керамзита, м³	100—140	150—250

Следует иметь в виду, что такие дефекты керамических строительных материалов, как трещиноватость изделий, неоднородность цветовых тонов, разлив глазури и др., являются прежде всего результатом нарушения режимов теплоскоростной обработки изделий. В кольцевых печах, где топливо непосредственно соприкасается с обжигаемой продукцией, последняя загрязняется уносами, и условия труда при выгрузке изделий из печей тяжелые. Чистка газоходов и каналов в сушильных устройствах и печах при работе на твердом топливе является трудоемким процессом.

Большое народнохозяйственное значение имеет перевод керамической промышленности на наиболее эффективные виды топлива, в частности на нефтяное топливо и природный газ. Последнее позволит снизить удельные расходы топлива, устранить расход тепла на сушку самого топлива и потери при его транспортировании и сжигании, улучшить условия труда, создать более благоприятные условия для автоматического регулирования тепловых процессов.

Промышленность строительной керамики в последние два десятилетия развивалась очень интенсивно. Однако, хотя за этот период ассортимент продукции отрасли значительно расширился и был освоен выпуск ряда новых изделий, в целом по качеству продукции и номенклатуре выпускаемых изделий керамическая промышленность далеко не полностью удовлетворяет запросы строительства.

Так, основным видом продукции в производстве облицовочных плиток являются плитки белого цвета. Производство цветных плиток в общем выпуске составляет лишь 5—6%, в то время как в США — 65% общего производства глазурованных облицовочных плиток, в Англии — 60%. Относительно невысокое качество продукции промышленности строительной керамики во многом обусловлено ухудшением качества сырья и

использованием сырья нестабильного состава, применением капселей при обжиге продукции в туннельных печах, использованием на ряде заводов низкокачественного топлива, несоблюдением технологической дисциплины. Улучшение качественных показателей работы промышленности непосредственно зависит также от внедрения новых видов оборудования и технологических процессов — в особенности от организации обжига изделий строительной керамики в новых типах печей (роликовых, муфельных, электрических), применения распылительных сушил для обезвоживания керамических масс, внедрения механизированного глазурования способом пульверизации, шликерного способа изготовления плиток для полов, метода однократной сушки плиток, магнитной очистки массы и пресспорошка и ряда других.

Для строительства предприятий подобного типа с более высоким техническим уровнем по сравнению с проектами заводов в 1966—1970 гг. характерен более высокий уровень удельных капитальных вложений: по облицовочным плиткам — на 18—20%, по фасадным изделиям — на 10—15%, по санитарно-техническим изделиям — даже на 25—30%. На изменение уровня удельных капитальных вложений влияют как факторы, обусловливающие их снижение (увеличение средней мощности, совмещение однородных операций по приготовлению массы и глазурей, более рациональное использование в проектах складов сырья, массозаготовительного отделения и всего комплекса подсобно-вспомогательных цехов), так и факторы, обусловливающие рост уровня удельных капитальных вложений (улучшение качества продукции, повышение уровня механизации и автоматизации производства, улучшение условий труда, удорожание нестандартного оборудования). Перспективные показатели себестоимости и трудоемкости производства керамических изделий, соответствующие намечаемому проектному уровню, даны в табл. 16.

Таблица 16

Перспективные показатели по проекту Целиноградского керамического комбината

Наименование изделий	Себестоимость, руб.	Трудоемкость, чел-ч
Облицовочные плитки, 10 м²	12,9	3,66
Плитки для полов, 10 м²	15,2	2,85
Фасадные изделия, 10 м²	8,2	4,0
Сантехизделия, 1 т	204,6	105
Канализационные трубы, 1 т	21,8	9,65

Наряду с преимущественной ориентацией на строительство заводов-комбинатов в 1971—1975 гг. важными путями повыше-

ния экономической эффективности капитальных вложений являлись дальнейшая концентрация производства (особенно по облицовочным и метлахским плиткам и кислотоупорам), наращивание производственных мощностей за счет расширения и реконструкции действующих предприятий, внедрение новых технологических процессов и высокопроизводительного оборудования (перевод облицовочных плиток на однократный обжиг, внедрение башенных распылительных сушил взамен сушильных барабанов, литейноподвялочных конвейеров).

Достижение уровня мировых стандартов по качеству требует значительной перестройки керамической промышленности, резкого повышения ее технического уровня — применения новых видов сырья, технически совершенных сушил и печей, прогрессивных технологических схем производства.

В 1971—1975 гг. наблюдается дальнейшее техническое перевооружение предприятий керамической промышленности на основе более массового внедрения автоматизированных конвейерных технологических линий с применением щелевых роликовых печей в производстве облицовочных плиток, плиток для полов и фасадной керамики.

В производстве санитарно-строительных керамических изделий совершенствуется отливка изделий, создается поточно-автоматизированная линия для сушки, глазуровки и обжига в одноярусных, муфельных или электрических печах, а также осваивается производство умывальных столов и смывных бачков методом гидростатического прессования.

В производстве керамических канализационных труб внедряются конвейерно-поточные линии с высокопроизводительными прессами, конвейерами, сушилками, со скоростными режимами сушки и обжига для выпуска труб больших диаметров и длиной до 2 м, создание и освоение конвейерной линии производства канализационных труб методом гидростатического прессования.

С целью ликвидации дефицита в изделиях строительной керамики значительно увеличивается выпуск плиток керамических облицовочных, плиток керамических для полов, фасадно-облицовочной керамики, в том числе литой коврово-мозаичной.

Производство керамзитового гравия осуществляется более чем на 125 предприятиях. Из общего количества выпускаемого керамзита около $^2/_3$ использовано для изготовления легкобетонных конструкций и $^1/_3$ — на теплоизоляционные засыпки и пр. Экономическая эффективность развития производства керамзита как искусственного пористого заполнителя для бетонов зависит от двух условий — уровня технико-экономических показателей изготовления продукции на керамзитовых предприятиях и качественных показателей продукции (объемной массы, прочности, формы зерен, характера поверхности зерен).

В общем выпуске керамзита изделия М500 и выше занимают наибольший удельный вес (около $^2/_3$), а наиболее эффективного в строительстве керамзита объемной массой до 400 кг/м³ — лишь 13%. По сравнению с 1965 г. имеет место даже снижение доли выпуска особо легкого керамзита.

Средняя прочность керамзита в последние годы незначительно повысилась. Введенный в 1967 г. новый ГОСТ на керамзитовый гравий предъявляет повышенные требования к механической прочности. Хотя в 1970 г. по сравнению с 1965—1966 гг. выпуск керамзита класса А возрос, однако доля керамзита класса Б является по-прежнему существенной.

Увеличение прочности керамзита с 2,5 до 5,0—7,5 МПа для выпуска конструктивных легких бетонов высоких марок (250—500) является важным источником экономии затрат в строительстве, однако требует внедрения новых технических решений, обеспечивающих сохранение производительности обжигательных агрегатов при росте объемной массы гравия.

Себестоимость и удельные капитальные вложения в производстве керамзита в наибольшей степени зависят от среднегодовой мощности предприятия и объемной массы продукции. Если при объемной массе керамзита 300—400 кг/м³ фактическая себестоимость составляет 4,7—5,9 руб./м³, то при М600 она равна 10,7 руб./м³, при М700—16,7 руб./м³, а при М800—более 24 руб./м³. Среднеотраслевая себестоимость при этом составляет около 6,5 — 7 руб./м³.

Повышение качества и улучшение ассортимента производства керамзита связано с совершенствованием методов подготовки сырья, вводом в шихту органических и минеральных добавок, установкой новых слоевых холодильников, объемно-весовых мерителей для непрерывного определения объемной массы гравия, внедрением двухбарабанных печей, внутрипечных теплообменников и автоматизацией процессов обжига, а также установок для фракционирования заполнителей.

В 1975 г. объем выпуска керамзита составит примерно до 25 млн. м³ против 11,5 млн. м³ в 1970 г. (т. е. увеличится более чем в 2,1 раза) при снижении насыпной массы, повышении стабильной прочности заполнителей и улучшении гранулометрического состава керамзитобетонных смесей.

Что касается эффективности производства керамзита, то она в большей мере проявляется в сфере строительства, нежели в сфере изготовления наполнителя (см. гл. III). Технико-экономическими расчетами установлено, что дополнительные капитальные вложения на развитие производства керамзита лучшего качества быстро (за 2,5—3 года) окупаются за счет достигаемой в строительстве экономии при применении легких бетонов.

ГЛАВА IV

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

Изыскание новых материалов, более эффективных в технологическом и экономическом отношениях, обладающих высокими физико-механическими свойствами (кислотостойкостью, водопроницаемостью, сопротивляемостью истиранию и декоративными качествами), является важнейшей задачей промышленности строительных материалов.

Одним из таких видов материалов являются материалы и изделия, получаемые из минеральных расплавов. Минеральные расплавы в зависимости от вида исходного сырья можно разделить на следующие группы: стеклянные, каменные, шлаковые, ситаллы и шлакоситаллы.

§ 1. Материалы и изделия из стеклянных расплавов

Наибольшее распространение получили материалы и изделия из стеклянных расплавленных масс. Эти материалы в виде стекла со всеми его разновидностями, а также в виде стеклянных изделий нашли широкое применение в строительстве, архитектуре, санитарной технике, пищевой, химической и других отраслях промышленности.

Стекло — материал, обладающий комплексом разнообразных, не присущих другим видам строительных материалов свойств, характерными из которых можно считать светопропускание и хрупкость.

Свойства стекла зависят от многих факторов: состава, режима теплообработки, состояния поверхности, размеров образца и др. Прочность стекла на сжатие достигает 700—1000 МПа, на растяжение — 30—80 МПа, прочность на растяжение стеклянного волокна диаметром 10^{-4} см составляет 200—500 МПа, т. е. в 10 раз больше. На прочность стекла оказывают влияние внутренние дефекты, инородные включения (непровар, частицы огнеупора от футеровки печи и т. п.) и свиль (химически неоднородные участки).

Основным недостатком стекла является хрупкость, определяемая рядом факторов. Основной из них — отношение модуля упругости материала к прочности при растяжении E/R_p; чем больше это отношение, тем при меньшей деформации напряже-

ние в материале достигает предела прочности. Модуль упругости стекла составляет $4{,}5 \cdot 10^4$—$9{,}8 \cdot 10^4$ МПа.

Обычное силикатное стекло хорошо пропускает всю видимую часть спектра и практически не пропускает ультрафиоле-

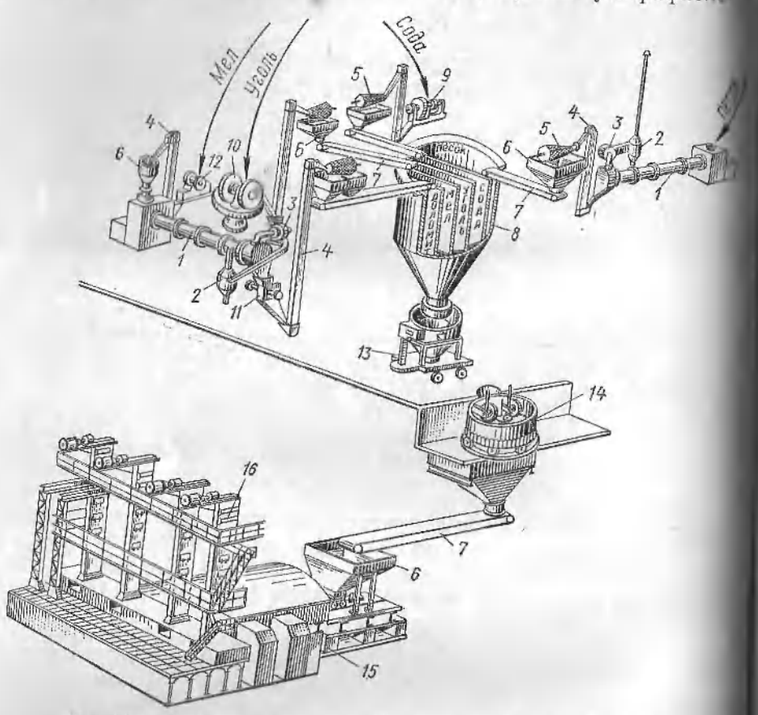


Рис. 28. Технологическая схема производства строительного стекла:

1 — сушильный барабан; *2* — циклон; *3* — вентилятор; *4* — элеватор; *5* — сито; *6* — бункер; *7* — транспортер; *8* — секционный бункер (склад сырья — мела, угля, соды и пр.); *9* — дезинтегратор; *10* — бегуны; *11* — молотковая дробилка; *12* — щековая дробилка; *13* — вагонетка-весы; *14* — смешение шихты; *15* — стекловаренная печь; *16* — машина для вытягивания стекла

товые (длина волны менее 300 ммк) и инфракрасные (длина волны более 3000 ммк) лучи. Изменяя химический состав стекла и его окраску, можно регулировать светопропускание стекла в этих областях.

Показатель преломления строительного стекла (1,50—1,52) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. Так, при изменении угла падения света с 0 (перпендикулярно плоскости стекла) до 75°

светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50%. Светопреломление оконного стекла принимают равным 1,5, а светопропускаемость стекла в зависимости от длины волны видимого спектра достигает 97%.

По оптическим свойствам различают прозрачное, окрашенное, бесцветное и рассеивающее свет стекло.

Силикатное стекло обладает высокой стойкостью к большинству агентов, за исключением плавиковой и фосфорной кислот.

Оконное листовое стекло является наиболее распространенным видом плоского стекла. Светопропускаемость оконного стекла в зависимости от толщины, которая составляет 2—6 мм, равна 85—90%.

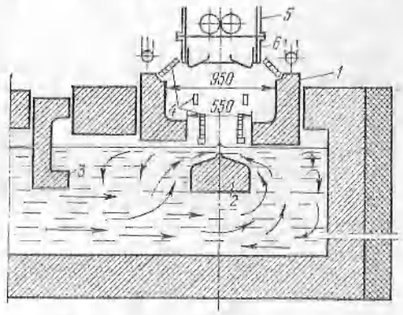


Рис. 29. Схема поперечного разреза подмашинной камеры для безлодочного вытягивания стекла:

1 — блок; *2* — шамотное тело (поплавок); *3* — противосвильный мост; *4* — холодильник; *5* — машина ВВС; *6* — коробка для улавливания боя стекла

Исходным сырьем для получения строительного листового стекла служат кварцевые пески, сульфат натрия или кальцинированная сода, известняк, доломит, уголь и некоторые другие вещества. Производство строительного стекла (рис. 29) состоит из следующих основных операций. Подготовка составляющих материалов заключается в сушке и очистке песка от посторонних примесей, дроблении и помоле мела, доломита и угля. Составляющие материалы дозируют и перемешивают. Подготовленная шихта расплавляется в специальных печах непрерывного (ванные печи) или периодического (горшковые печи) действия. Варку сырьевой шихты производят при температуре 1100—1200° С до полного отделения всех примесей, которые собираются на поверхности в виде пены. В этот период происходит и обесцвечивание стекла путем введения специальных добавок, а также удаление пузырьков воздуха и газа. Затем из расплавленной массы с помощью машин вертикального или горизонтального типа вытягивают ленту стекла, которая проходит между валками машины, охлаждается и отжигается для снижения хрупкости. На рис. 29 приведен безлодочный способ вытягивания стекла.

Листовое стекло можно получить также способом литья с последующей прокаткой. Для этого стеклянную массу выливают на гладкую поверхность и прокатывают гладкими или рифлеными валками.

Разновидностью листового оконного стекла является *орнаментное*, получаемое способом литья; это стекло имеет одну сторону гладкую, а другую — тисненую, узорчатую.

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. Оно обладает повышенной огнестойкостью (до 1,3 ч). При его разрушении осколки удерживаются армирующей металлической сеткой. Светопропускаемость составляет не менее 60%. Армированное стекло выпускают длиной 1200—2000 (±3) мм, шириной — 400—1500 (±3) мм и толщиной 5,5(±0,7) мм. Предел прочности при сжатии — 600 МПа и при изгибе — 30—40 МПа.

Армированное стекло применяют для остекления фонарей верхнего света, оконных переплетов, устройства перегородок, ограждения балконов, лестничных маршей и др.

Установку армированного стекла производят на эластичных прокладках из морозостойкой резины или на нетвердеющих мастиках.

Цветное армированное стекло имеет золотистый цвет, получают его путем нанесения окислометаллической пленки на поверхность бесцветного армированного стекла. Применяют его для ограждений балконов, лоджий, лестниц, лифтовых шахт, для устройства декоративных светопрозрачных плафонов и перегородки в жилых домах и санаториях, пансионатах, на предприятиях общественного питания и торговли, а также в других общественных и промышленных зданиях. Максимальные размеры цветного армированного стекла 1000×1500 мм при толщине 7 мм. Цена 1 м² цветного армированного стекла составляет 3,5 руб.

Защитное стекло получают специальной термической обработкой (для повышения прочности и упругости); предназначено оно для остекления автотранспорта.

Солнце- и *теплозащитное* стекло изготовляют на машинах вертикального вытягивания путем аэрозольной обработки поверхности стекла специальными растворами. В зависимости от состава растворов и условий обработки можно получить стекла с неодинаковой степенью пропускания и отражения в различных частях спектра. Солнце- и теплозащитное стекло применяют для остекления зданий и средств транспорта с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации. Размеры стекла — 1600××2000 мм, толщина — 3—6 мм. Пропускание видимого света — 30—70%, тепловых лучей — 40—60%. Цена 1 м² солнцезащитного стекла в заводском ассортименте в 1,5 и мерного в 1,7 раза выше цены оконного стекла соответствующих размеров и толщины.

«Витрасил» — стекло, обладающее способностью рассеивать свет по всему помещению. Оно не оказывает слепящего действия и не вызывает утомления человека. Это стекло является также хорошим тепло- и звукоизолятором.

Теплопоглощающее стекло, окрашенное в массе, содержит в своем составе специальные добавки, обеспечивающие преимущественное поглощение инфракрасных лучей солнечного спектра. Теплопоглощающее листовое стекло имеет легкую голубую или голубовато-зеленую окраску, почти не искажающую просматриваемый через него предмет. Оно предназначено для заполнения оконных проемов с целью уменьшения солнечной радиации. Пропускная способность видимого света — не менее 65%, инфракрасных лучей — не более 35%. Размеры стекла до 1600×2000 мм, толщина 3—4 мм. Цена 1 м² теплопоглощающего стекла при толщине 4 мм составляет от 1 до 2,65 руб.

Облицовочное стекло применяют для облицовки панелей стен жилых и общественных зданий. Это стекло устойчиво против атмосферных влияний и гигиенично. Облицовочное стекло выпускают с гладкой полированной поверхностью с одной стороны и оформлением с другой.

За рубежом выпускают новые виды строительного стекла, уменьшающие нагрев помещений от солнечных лучей. В США производят серое и бледно-голубое теплопоглощающее стекло, а также звукопоглощающее стекло с промежуточным слоем, поглощающим звук до 66%. Широкое распространение в США получило стекло, покрытое тонкими окислометаллическими пленками, отражающими до 30% и более солнечных лучей.

Профильное строительное стекло представляет собой элементы швеллерного и коробчатого сечения, формуемые на горизонтальных прокатных установках, в виде бесконечной ленты, разрезаемой затем на отрезки длиной до 6000 мм. Профильное стекло может быть бесцветным или окрашенным. Стеклодетали коробчатого сечения производят шириной 244—294, длиной 4800 мм; высотой 50 и толщиной 5,5 мм; профильное стекло швеллерного сечения изготовляют шириной 244—527, длиной 6000, высотой полки 35—50 и толщиной 5,5 мм.

При изготовлении конструкций из стеклодеталей между ними необходимо прокладывать различные герметики — мастики или заранее изготовленные профилированные детали из губчатой резины или синтетических материалов.

Конструкции из профильного стекла в виде остекленных поверхностей дают мягкий рассеивающий свет, светопропускание — от 40 до 70%. Стена из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) стеклодеталей по своим акустическим свойствам не уступает глухим межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича и других материалов. Звукоизоляция таких конструкций составляет 23—31 дБ, коэффициент теплопередачи — 2,2—2,9 Вт/м·°С, а для окон с двойным остеклением — 2,0—4,7 Вт/м·°С. Предел прочности при изгибе конструкций из профильного стекла швеллерного сечения составляет

17,5 МПа, а коробчатого сечения — 9, огнестойкость конструкции — 15—30 мин.

Профильное стекло используют для светопрозрачных ограждений и самонесущих стен в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве, для устройства внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в различных типах зданий. Профильное стекло можно применять в виде крупноразмерных панелей. Такое стекло устойчиво против воздействия концентрированных кислот, щелочей и влаги. Профильное стекло можно применять в сочетании с металлическими, бетонными, кирпичными или деревянными элементами зданий. Цена 1 м² профильного стекла коробчатого сечения составляет 5,6 руб., швеллерного сечения — 3,25 руб.

В настоящее время осваивается производство швеллерного профильного стекла, армированного стальной проволокой. Оно характеризуется повышенной огнестойкостью и безопасностью при разрушении.

Стеклянные блоки представляют собой полые, пропускающие свет изделия с разнообразной фактурой внутренней или наружной поверхности. В зависимости от профиля и размера стенок блока изменяется интенсивность и направленность световых лучей, а также создается равномерное освещение отдельных участков и больших площадей в зданиях. Стеклянные блоки получают сваркой в нагретом состоянии двух полублоков. Оставшийся внутри блока воздух (при некотором его разряжении) значительно уменьшает коэффициент теплопроводности стеклянных блоков, который равен в среднем 0,4 Вт/м·°С. Стеклянные 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). Светопропускание бесцветных блоков составляет 50—56%, а цветных — 35—40%. Стеклянные блоки обладают также высокими звукоизоляционными свойствами. Они долговечны и гигиеничны.

Стеклянные блоки используют в фасадах промышленных зданий, для освещения лестничных клеток гражданских зданий и для освещения разного рода складских помещений, требующих верхнего света, а также в архитектурно-декоративных целях. Стеклянные блоки с успехом применяют в цехах с агрессивной средой, требующих хорошего освещения, а также в цехах, где характер производства требует создания постоянных климатических условий.

Стеклопакеты представляют собой два или несколько листов стекла, герметично соединенных между собой по периметру. Между стеклами имеется полость, заполненная сухим воздухом. Стеклопакеты изготовляют из оконного, витринного, армированного, узорчатого и других стекол толщиной 2—8 мм, площадью до 5 м², расстояние между стеклами может быть 15—20 мм.

Стеклопакеты выдерживают бо́льшую ветровую нагрузку, чем отдельные стекла той же толщины. При остеклении стеклопакетами упрощается конструкция оконных проемов, увеличивается световая площадь и снижаются теплопотери. Коэффициент теплопередачи стеклопакетов составляет 2,5—2,9 Вт/м²·°С. Светопропускание в зависимости от применяемого вида стекол меняется в больших пределах — от 30 до 80%. Стеклопакеты обладают достаточной звукоизолирующей способностью — 21—31 дБ. Применяют их для остекления промышленных, гражданских и общественных зданий.

Стемалит представляет собой листовое стекло различной фактуры, покрытое с одной стороны глухими керамическими красками различных цветов (желтого, синего, красного, серого, черного и др.). Стемалит изготовляют из неполированного витринного или прокатного стекла толщиной 6—12 мм, площадью до 3 м². Плотность стемалита — 2450—2500 кг/м³, предел прочности при сжатии — 800 МПа, а при изгибе — 180 МПа. Линейный коэффициент термического расширения составляет 90×$\times 10^{-7}$ 1/°С. Этот материал отличается высокой устойчивостью против атмосферных воздействий, постоянством цвета, прочностью, термической стойкостью.

Стемалит предназначен для наружной и внутренней облицовки зданий, а также для изготовления многослойных навесных панелей.

Стевит представляет собой изделие, состоящее из двух герметически соединенных по периметру стекол, между которыми находится прокладка из стекловолокнистого нетканого холста ВВ. Стевит применяют для заполнения оконных проемов, остекления фонарей верхнего света, а также для устройства светопропускающих перегородок в промышленных и общественных зданиях, на предприятиях торговли, общественного питания, в лечебных и учебных заведениях, библиотеках, музеях и других сооружениях, где требуется светорассеивающее остекление, исключающее сквозную видимость и уменьшающее солнечную радиацию.

Максимальные размеры стевита 1200×2000 мм; общая толщина в зависимости от толщины стеклохолста — 7—15 мм. Коэффициент светопропускания в зависимости от толщины стеклохолстистой прокладки — 20—70%; коэффициент светорассеивания — 0,15—0,8; коэффициент теплопередачи — 4,3—2,4 Вт/м²·°С.

Стевит поставляют полной заводской готовности, не требующий механической обработки и резки.

Дверные полотна изготовляют из листового, подвергнутого специальной термической обработке (закалке) стекла.

Стеклянные полотна для дверей представляют собой листы толщиной полированного, неполированного, прокатного узорчатого стекла с обработанными кромками, отверстиями и вырезами для крепления дверных приборов. Стеклянные полотна выпускают бесцветные, прозрачные, с полированной и неполи-

рованной поверхностью, а также цветные и бесцветные светорассеивающие с узорчатой или кованой поверхностью. Цветные полотна могут быть желтыми, голубыми и зелеными. Стеклянные бесцветные полотна применяют для наружных и внутренних дверей в жилых, общественных и промышленных зданиях. Цветные полотна применяют только для внутренних дверей.

Двери из полированного и неполированного стекла зрительно расширяют объем помещений и связывают их с внешней средой.

Цветные и бесцветные полотна из прокатного и узорчатого стекла применяют в помещениях, где необходимо исключить сквозную видимость. Максимальные размеры полотен из полированного стекла 2400×1040 мм и узорчатого стекла — 2400××900 мм, толщина стекла — 10—15 мм. Масса 1 м² полотна — 25—38 кг (в зависимости от толщины). Термическая устойчивость (резкий перепад температур) — 60—80%, светопропускание на 10 мм толщины полированного и неполированного — не менее 84%, а прокатного узорчатого — 80—90%. Предел прочности при сжатии — 800—900 и при изгибе — 250 МПа.

Дверные полотна обладают повышенной прочностью и выдерживают, не разрушаясь, удар свободно падающего с высоты 1500 мм стального шара массой 800 г. Цена 1 м² дверных полотен из полированного стекла — 51 руб., а из неполированного и узорчатого стекла — 14 руб.

Витринное стекло изготовляют из полированного и неполированного стекла толщиной 6—12 мм, площадью полотен 4—12 м². Витринное стекло характеризуется высоким пределом прочности на сжатие — до 1200 МПа. Оно может быть плоским и гнутым.

Витринное полированное стекло вырабатывают способом горизонтального проката с последующей шлифовкой и полировкой поверхностей. В настоящее время внедряется новый метод получения витринного полированного стекла по методу плавающей ленты. По этому методу исключена необходимость шлифовки и полировки поверхностей; стеклянная лента после расплава приобретает полированную поверхность. Применяют витринное стекло для остекления внутренних и наружных витрин и проемов в магазинах, ресторанах, аэропортах и т. д.

Стеклянную коврово-мозаичную плитку изготовляют в форме квадратов 18×18×4; 22×22×4; 23×23×4 мм из непрозрачного прессованного или прокатного стекла различного цвета с глянцевой или матовой поверхностью 18×18×4; 22×22×4; 23×23×4 мм.

Плитки характеризуются высокой долговечностью и постоянством цвета. Стеклянную коврово-узорчатую плитку применяют для наружной облицовки стеновых панелей и внутренней отделки помещений. Она позволяет обеспечить индустриальную отделку железобетонных панелей.

Стеклянные трубы получили широкое распространение в пищевой, фармацевтической, химической и других отраслях промышленности, для удаления или транспортирования агрессивных жидкостей. Трубопроводы из стекла прозрачны, гигиеничны и имеют гладкую поверхность, что уменьшает сопротивление перемещаемым в них жидкостям. Стеклянные трубы изготовляют способом вертикального или горизонтального вытягивания и центробежным способом. Соединение стеклянных труб осуществляют с помощью соединительных и уплотняющих устройств — муфт, резиновых манжет с затяжкой металлическими поясами. Коррозионноустойчивые трубы выпускают диаметром 15—65 и длиной 100—300 мм для жидкости температурой до 120° С и давления 0,3 МПа.

Стеклобетонные конструкции в зависимости от несущей способности, свето- и звукоизоляции, а также других свойств подразделяют: на стеновые, конструкции покрытий и конструкции сводов и куполов. В этих конструкциях несущей частью является железобетонный каркас, а стеклянные блоки заполняют световое пространство каркаса. Стеклобетонные стеновые конструкции могут успешно использоваться для производственных и культурно-бытовых помещений, вокзалов, выставочных павильонов. Стеновые конструкции (панели, блоки и др.) обладают необходимыми тепло- и звукоизоляционными свойствами, хорошо освещают помещение, гигиеничны, не нуждаются в специальной отделке.

Стеклянная вата представляет собой материал, состоящий из тонких (5—6 мкм) гибких нитей. Стеклянная вата обладает высокой прочностью на разрыв, химической стойкостью, низкой звуко- и теплопроводностью. Стеклянную вату получают способом механического вытягивания, центробежным и дутьевым (газоструйным) способами.

При центробежном способе получения стекловаты сырьем служит стекольный бутылочный бой, который моют и загружают в специальный ковш, где он расплавляется, и при температуре 1300—1400° С стекло стекает в чашу. Далее стеклянная масса тонкой струей направляется на быстро вращающийся диск. Центробежной силой расплавленная масса отрывается от диска и вытягивается в тонкие нити.

При дутьевом способе формование волокон производят путем раздувки расплавленной стеклянной массы струей газа (рис. 30). Струя газа, выходящая с большой скоростью, вытягивает стеклянную массу в тонкие волокна, которые затем подхватываются транспортером из тонкой сетки и подаются для последующей обработки.

Стеклянную массу используют в качестве тепло- и звукоизоляционного материала в промышленности и в строительстве. Она эластична, устойчива к температурным изменениям, химически стойка, не поддается гниению и горению. Стеклянную вату

можно применять в качестве наполнителя (вместо асбеста) при изготовлении асбоцементных изделий, а также в качестве тонкого заполнителя для штукатурных и отделочных растворов. В смеси с полимерами получают материал — стеклопластик.

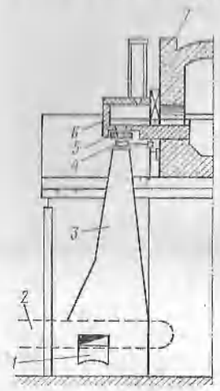


Рис. 30. Схема производства стеклянной ваты дутьевым способом:

1 — канал для отсоса; *2* — транспортер из тонкой сетки; *3* — отводной желоб; *4* — отводное паровое сопло; *5* — платиновая ванночка; *6* — фидер (капельный питатель); *7* — плавильная печь

За рубежом (в Японии и других странах) стеклянную вату используют для изготовления антикоррозионных стекломатов на фенольной смоле. Стекломаты обладают высокими диэлектрическими свойствами, стойки против коррозии в агрессивных химических средах. Стекломаты выпускают в виде рулонного материала и используют для изоляции газовых и водяных трубопроводов.

Пеностекло и газостекло получают путем вспучивания расплава размолотого стекла, смешанного с веществом (известняком, углем), которое при температуре 750—850° С способно выделять газ. Пеностекло является хорошим тепло- и звукоизоляционным материалом, обладает малой плотностью (150—750 кг/м³) и низким коэффициентом теплопроводности (0,06—0,2 Вт/м·°С). Пеностекло применяют в народном хозяйстве для теплоизоляции тепловых и холодильных установок, звукоизоляции общественных и коммунально-бытовых помещений и т. д.

§ 2. Материалы и изделия из каменного литья

Материалы из каменного литья обладают высокими прочностью, износостойкостью и стойкостью в химически агрессивных средах. Это позволяет применять изделия из каменного литья для облицовки технологических аппаратов и узлов, работающих в наиболее тяжелых условиях, заменяя другие дорогостоящие материалы, в частности металлы.

Сырьем для получения каменного литья служат горные породы магматического происхождения, преимущественно базальты и диабазы, обладающие пониженной вязкостью в расплавах. По своему химическому составу базальты более постоянны, а каменное литье из них обладает высокой химической стойкостью и прочностью на истирание.

В качестве сырья для получения светлого каменного литья используют 45% кварцевого песка, 34% доломита, 21% мела или мрамора. Кроме основных материалов, в шихту для снижения температуры плавления добавляются 3% плавикового

шпата и 0,8% окиси цинка для отбеливания расплава. Перед загрузкой в печь сырьевые материалы измельчают, просеивают и дозируют в заданном соотношении.

Для плавки шихты применяют шахтные, ванные, вращающиеся и электрические печи. Наиболее распространены ванные печи, работающие на шихте с небольшой примесью измельченных материалов. Плавку в ванных печах производят при температуре 1450° С. Готовый расплав из ванны стекает в разливочный копильник, где охлаждается до температуры 1250° С. Охлаждение расплава перед разливкой благоприятно сказывается на структуре отливаемых изделий и уменьшает количество усадочных дефектов (трещин, раковин).

Для разливки расплава применяют формы (кокили) из чугуна или жароупорной стали (постоянные формы), из силикатных материалов (временные формы) и земляные (одноразовые формы).

Для уменьшения внутренних напряжений, возникающих при охлаждении, отливки подвергают кристаллизации и отжигу. Степень кристаллизации расплава изменяется в зависимости от свойств расплава и размеров изделий. Кристаллизацию и отжиг производят в специальных печах (в муфельных, туннельных или камерных) при температуре 800—900° С, затем изделия перемещают в зону отжига, а оттуда на склад готовой продукции.

Изделия из каменного литья находят широкое применение в угольной, горнообогатительной и металлургической промышленности для футеровки бункеров, течек, корпуса 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. Изделия из каменного литья применяют на химических заводах в качестве футеровки травильных ванн, всевозможных отстойников.

§ 3. Материалы и изделия из шлаковых расплавов

Степень использования отходов промышленности для производства строительных материалов и конструкций в настоящее время весьма низка. Так, в промышленном масштабе для изготовления строительных материалов применяют только незначительную часть расплавленных шлаков; основное же количество доменных шлаков текущего производства и отвальных шлаков вовсе не используют. В 1968 г. из общего количества шлака использовано и переработано лишь около 35% и не менее 30 млн. т слито в отвалы. По данным Гипромеза, слив такого количества шлака в отвалы обходится ежегодно более 10 млн. руб., а для организации отвалов необходимы большие территории и капиталовложения до 1,5 руб. на 1 т сливаемого шлака.

Вместе с тем огненно-жидкие шлаки металлургической промышленности служат ценным сырьем для получения различных материалов и изделий. 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.

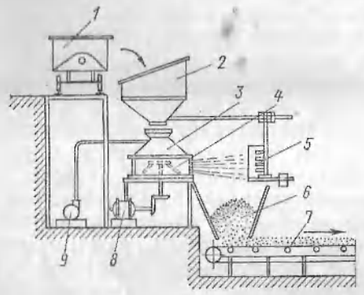


Рис. 31. Технологическая схема производства термозита (шлаковой пемзы):

1 — жидкий шлак; *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

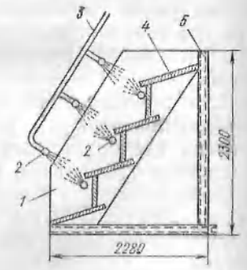


Рис. 32. Схема каскадного лотка:

1 — боковая стенка лотка; *2* — перфорированные трубы; *3* — магистральный водопровод; *4* — каскады; *5* — металлический корпус

Из огненно-жидких шлаков получают изделия для покрытий полов промышленных предприятий, облицовочные плитки, используемые в коррозионных средах, тюбинги для крепления горных выработок, легкие материалы — термозит, шлаковую вату и др.

Термозит представляет собой ячеистый материал, получаемый в результате вспучивания расплавленного шлака при быстром его охлаждении. Вспучивание шлака осуществляется на специальных машинах центробежным способом, на каскадных лотках или в бассейнах.

При центробежном способе (рис. 31) расплавленный шлак сливают в приемный бункер, из которого затем подают в центробежную машину. Одновременно в последнюю поступает и вода. Расплавленный шлак под действием вращающейся крыльчатки распыляется, вспучивается парами воды и под действием центробежной силы отбрасывается на охлаждающий экран. Под охлаждающим экраном расположен приемный бункер и транспортер для удаления готового термозита.

При производстве термозита на каскадных лотках струя шлакового расплава, стекая с полки на полку, попадает между двух струй воды, которая, испаряясь, вспучивает расплав. Каскадный лоток (рис. 32) представляет собой металлическую четырехступенчатую конструкцию с наклонными полками, впереди которых расположены перфорированные трубы для подачи воды.

Бассейновый способ заключается в том, что в металлический ящик размером 6×6 м поступает шлаковый расплав. В днище ящика имеются отверстия, а под ящиком специальные карманы, в которые под давлением поступает вода. Струи воды, поступающие снизу, пронизывают слой расплавленного шлака и вспучивают его под действием образующегося пара и выделяющихся газов.

Насыпная масса термозита — 300—1100 кг/м³ в зависимости от размеров кусков и степени вспучивания. Щебень из термозита является хорошим заполнителем для получения легких термозитобетонов. При заливке расплавленного шлака в специальные формы можно получать изделия различного профиля и конфигурации.

Для уменьшения напряжений и предотвращения образования трещин в период кристаллизации и последующего охлаждения изделий в формы перед их заливкой укладывают стальную арматурную сетку.

Таблица 17

Сравнительные технико-экономические показатели шлакопемзобетонных и керамзитобетонных панелей наружных стен

Наименование показателей	Марка бетона	Панели на основе шлаковой пемзы		Панели на основе керамзита Лисаковского завода
		Запорожского завода	Магнитогорского завода	
Толщина стены, см	50	23—35	23—40	26—30
	75	28—38	30—43	30—34
	100	35—50	33—45	32—37
Объемная масса бетона, кг/м³	50	1300—1500	1300—1450	800—900
	75	1400—1600	1400—1600	900—1000
	100	1600—1700	1400—1700	950—1100
Расход портландцемента, кг/м³	50	23—76	43—86	43—60
	75	34—91	70—113	77—90
	100	51—165	—	100—220

Проведенные НИИЭС Госстроя СССР, НИИполимеркровли Минхимпрома СССР и другими организациями исследования показывают, что в местах размещения металлургических заводов и в ближайших районах преимущественное применение в ограждающих и несущих легкобетонных конструкциях должна найти шлаковая пемза как весьма эффективный в экономическом отношении материал. Себестоимость шлаковой пемзы колеблется от 1,7 до 2,0 руб/м³, а керамзита — от 3 до 6 руб/м³. Соответст-

венно в 1,5—2 раза ниже и уровень удельных капитальных вложений на ее производство. Анализ фактических показателей производства и применения наружных легкобетонных стен на основе шлаковой пемзы и керамзита показывает, что стоимость 1 м² наружных шлакопемзобетонных стен является минимальной (табл. 17).

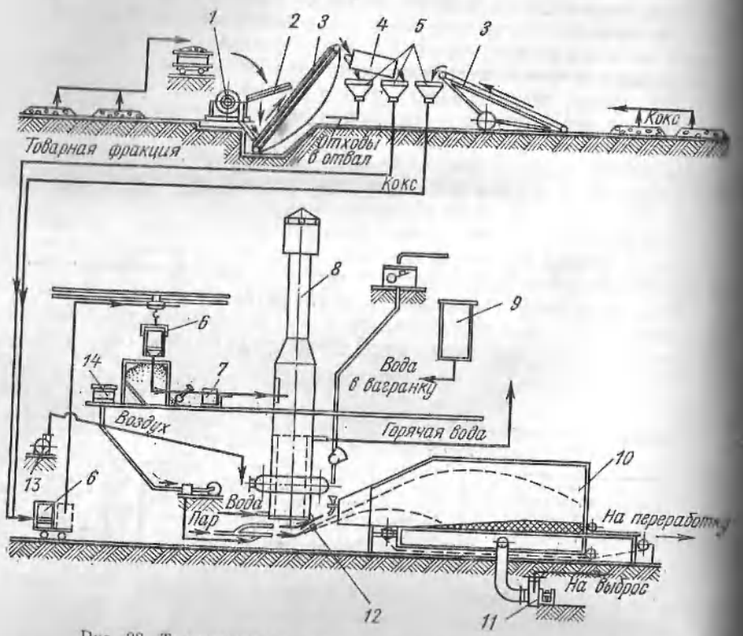


Рис. 33. Технологическая схема производства минеральной ваты:

1 — щековая дробилка; *2* — просеивание дробленого щебня; *3* — транспортер; *4* — грохот; *5* — бункера; *6* — вагонетки, транспортирующие смеси на склад; *7* — весы; *8* — вагранка; *9* — бак с водой; *10* — камера охлаждения; *11* — вентилятор; *12* — сопло подачи пара; *13* — вентилятор для подачи воздуха в вагранку; *14* — парафиновое масло

Шлаковая вата представляет собой материал, состоящий из тончайших волокон, получаемых из расплавленных огненно-жидких доменных шлаков или других минеральных расплавов, у которых модуль кислотности больше единицы.

При производстве шлаковой ваты (рис. 33) в вагранку загружают доменный шлак соответствующего состава и определенной крупности (до 50—70 мм) и топливо, обладающее высокой механической и термической прочностями. В качестве топлива используют кокс, антрацит, древесный уголь. При температуре 1200—1400° С шлаковый расплав, вытекая через летку вагранки, раздувается струей пара и в камере осаждается в виде тонких нитей. Из камеры осаждения минеральная вата с помощью транспортера перемещается в камеру охлаждения и далее на пост изготовления матов. На этом посту перемещаемый слой шлаковой ваты выравнивают, обклеивают бумагой или картоном, режут на куски заданной длины и отправляют на склад готовой продукции. Объемная масса матов 250—300 кг/м³, а коэффициент теплопроводности 0,05 Вт/м · ° С.

Изделия из минеральной ваты широко используют в качестве звуко- и теплоизоляционных материалов, они обладают высокой температуроустойчивостью и могут с успехом применяться для утепления всевозможных ограждающих строительных конструкций.

§ 4. Ситаллы и шлакоситаллы

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, получаемые из стекла в результате его полной или частичной кристаллизации. Эти материалы обладают большой прочностью (до 500 МПа) и высокой стойкостью к химическим и тепловым воздействиям. Ситаллы обладают хорошими диэлектрическими свойствами и могут широко использоваться для производства различных электротермостойких изоляторов. На основе ситаллов получают различные клеи для склеивания металла, стекла, керамики. Они могут использоваться в виде конструктивного и отделочного материала в промышленном и гражданском строительстве. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, коричневого, серого, кремового, светлого цветов, глухие (непрозрачные) и прозрачные.

Сырьем для получения ситаллов служат те же природные материалы, что и для стекла, а также ряд специальных добавок (например, соединения лития), но к чистоте сырья предъявляют очень высокие требования. Ситаллы получают методом вытягивания, выдувания, прокатки и прессования, добавляя в стеклянным расплавам специальные добавки (минерализующие катализаторы), улучшающие кристаллизацию.

По сравнению с производством изделий из стекла получение ситаллов требует дополнительной термической обработки, в процессе которой происходит превращение стекла в стеклокристаллическое состояние. В качестве катализаторов кристаллизации применяют соединения фторидов или фосфатов щелочных или щелочноземельных металлов, способных легко кристаллизоваться из расплавов.

Шлакоситаллы весьма перспективны в строительстве. Сырьем для получения шлакоситалловых изделий являются металлургические шлаки. В огненно-жидкий шлак, поступающий с металлургического предприятия, вводят добавки, корректирующие его состав, и модификаторы — вещества, катализирующие кристаллизацию шлаков (обычно TiO_2, CaF_2 и P_2O_5). Модифи-

каторы в тонкодисперсном состоянии ограниченно растворяются в массе стекла, и поэтому они служат центрами кристаллизации. Далее формуют изделия из расплава шлака с добавками. Важным элементом в формовании изделия является выбор правильного режима теплообработки.

Регулируя степень кристаллизации и состав кристаллической фазы, можно получить материал с требуемыми механическими и термическими свойствами.

Шлакоситалловые изделия характеризуются высокими физико-техническими свойствами, они обладают высокой износоустойчивостью, прочностью, химической стойкостью, хорошо сопротивляются атмосферным воздействиям, не обладают токсичностью. Объемная масса шлакоситаллов — 2500—2650 кг/м^3, прочность на сжатие 500—650 МПа, а на изгиб — 90—120 МПа, коэффициент теплопроводности — 1,2Вт/м·° С, рабочая температура — до 750° С, температура размягчения — до 950° С. Шлакоситаллы могут быть получены любого цвета, а по долговечности конкурировать с базальтами и гранитами.

Сочетание физических и механических свойств шлакоситаллов обусловливает возможность их широкого использования 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 отапливаемых и неотапливаемых промышленных зданий, облицовки слоистых панелей навесных стен зданий повышенной этажности.

Экономический эффект использования изделий из шлакоситаллов обусловливает дальнейшее расширение номенклатуры изделий.

Все более широкое развитие получает производство пеношлакоситаллов, обладающих малой объемной массой — 300—600 кг/м^3, прочностью на сжатие — до 14 МПа, коэффициентом теплопроводности — 0,08—0,16 Вт/м·° С и рабочей температурой до 750° С.

Ситаллопласты представляют собой материалы, получаемые на базе пластических масс (фторопластов) и ситаллов. Ситаллопласты обладают высокой износоустойчивостью и химической стойкостью. Они находят применение в качестве антифрикционных и конструктивных материалов, а также могут использоваться в промышленности, где ни ситаллы, ни пластмассы, отдельно взятые, не удовлетворяют требованиям высокой пластичности, износоустойчивости и химической стойкости. Для изготовления ситаллопластов ситаллы измельчаются до получения порошка заданного гранулометрического состава. Дальнейший процесс не отличается от технологии изготовления пластмасс с той лишь разницей, что с добавкой ситалла усадка пластмассы будет меньше.

§ 5. Экономика производства материалов и изделий из минеральных расплавов и пути снижения себестоимости продукции

Ассортимент производства в СССР материалов и изделий из минеральных расплавов является достаточно широким. Особенно быстрое развитие в последние годы получили термоизоляционные материалы, а также специальные виды строительного и технического стекла. Это объясняется большой экономической эффективностью изделий. Следует также подчеркнуть, что материалы и изделия из каменных и стекольных расплавов требуют значительно меньших затрат на содержание их при эксплуатации. Они не нуждаются в окраске и побелке, имеют хорошие декоративные качества, а расходы на чистку и мытье значительно ниже, чем уход за различного рода штукатуркой или другими отделочными материалами. Замена металлических трубопроводов трубами из стекла (в пищевой промышленности) обеспечивает значительную экономию металла, снижает производственные расходы по их промывке, а также не влияет на вкусовые качества продуктов. Все это обусловило высокие темпы роста производства изделий из минеральных расплавов в истекшем пятилетии. Выпуск оконного стекла в 1972 г. составил 248 млн. м^2, армированного — до 3,2 млн. м^2, полированного — 11,8 млн. м^2.

Предприятия оконного стекла характеризуются высоким уровнем концентрации (Саратовский, Гусевский, Салаватский и др.). Они оснащены мощными многомашинными системами вертикального вытягивания стекла и высокопроизводительными конвейерами для изготовления полированного стекла. Рост выпуска продукции в стекольной промышленности в последние годы осуществляется за счет совершенствования процессов стекловарения на основе повышения температуры варки стекла, увеличения площади варочных бассейнов стекловаренных печей, применения высокоустойчивых огнеупоров и внедрения новых высокопроизводительных технологических способов изготовления стекла.

Себестоимости важнейших видов изделий стекольной промышленности, данные в табл. 18, свидетельствуют о наличии значительных резервов снижения ее, особенно по оконному стеклу и закаленному неполированному плоскому стеклу.

В общей структуре затрат на производство строительного и технического стекла наибольший удельный вес занимают сырье и материалы — 40,3% (в том числе 15,6 вспомогательные материалы), заработная плата — 29,2%, топливо и электроэнергия — 14,8%. На долю амортизации приходится 8,4% и прочих денежных расходов — 8,3%.

Важнейшим фактором увеличения выпуска продукции, повышения ее качества и снижения себестоимости является совершенствование процессов варки стекла. Повышение температуры

варки с 1480 до 1550° С позволяет повысить удельную производительность печей на 30—35% и улучшить качество в результате получения более однородной стекломассы. Другим важным средством интенсификации процессов стекловарения (на 12—15%) является применение химически активных добавок в шихту.

Таблица 18

Себестоимости важнейших видов изделий стекольной промышленности 1971 г.
(по данным ПКБ Государственного института стекла)

Наименование изделий	Себестоимость, руб.	
	минимальная	максимальная
Оконное стекло, ящ.	3,84 («Пролетарий», УССР)	6,0 (Райчихинский)
Закаленное стекло, неполированное плоское, м²	2,7 («Пролетарий», УССР)	4,3 (Сумгаитский)
Стеклоблоки, 10 шт.	2,8 (Скопинский)	3,3 (Володарский)
Стеклянная облицовочная плитка, м²	2,27 (Автостекло)	3,16 (Райчихинский)

Принудительное бурление стекломассы в бассейнах ванных печей проточного типа с помощью сжатого воздуха позволяет повысить однородность стекломассы и снизить на 10—15% потери от брака. Применение газоэлектрической или электрической варки стекла для выработки стеклянной тары повышает производительность проточных ванных печей на 30—50%. Автоматизация управления режимами работы стекловаренных печей дает возможность стабилизировать теплотехнические и технологические параметры, повысить качество продукции, уменьшить технологические отходы и улучшить условия труда.

Проведенный Государственным институтом стекла анализ работы печных установок показывает, что для эффективной эксплуатации печей наиболее выгодны высокие скорости машин при небольшой площади печи на 1 м ширины ленты. Так, на заводах оконного стекла наиболее высокие съемы с 1 м² площади печи составляют 700—800 кг. Они достигнуты при больших скоростях (до 90—100 м/ч) и при площади печи 14—16 м² на 1 м² ленты. Наоборот, печи самой низкой производительности (Сылвенский завод — 377 кг) имеют непропорционально большие площади печи — 21—25 м² на 1 м² ленты.

Значительные резервы снижения себестоимости строительного и технического стекла заключены в упорядочении топливоиспользования, снижении затрат на тепловую обработку и комплексной механизации трудоемких процессов.

Затраты на топливо могут быть сокращены на 35—40% при переводе стекловаренных печей с дровяного и торфяного отопления на мазут и газ.

По данным института Гипростали, технико-экономические показатели стекольной промышленности формируются под влиянием следующих факторов: повышение технического уровня производства стекла на основе внедрения новой техники и совершенствования технологии производства; применение более дорогих огнеупоров повышенного качества; усложнение конструкций ванных печей и создание новых типов автоматически управляемых печей; увеличение высоты машин ВВС; строительства более совершенных конвейеров двусторонней шлифовки и полировки стекла — все это приводит, как правило, к росту удельных капитальных вложений при снижении себестоимости производства; внедрение высокопроизводительных механизмов и оборудований, обеспечивающих ликвидацию ручного труда на операциях резки, сортировки, группировки и упаковки стекла; создание полностью механизированной линии по производству листового стекла от загрузки шихты в печь до упаковки стекла; создание механизированных и автоматизированных линий по производству сталинита и триплекса, алюминированных зеркал, стеклопакетов и т. д. — эти факторы также обусловливают рост удельных капитальных вложений при снижении себестоимости продукции; увеличение мощности предприятий за счет установки высокопроизводительного оборудования — увеличение мощности стекловаренных печей путем интенсификации процессов варки стекла за счет увеличения температур до 1580—1600° С; увеличение скорости вытягивания стекла и ширины ленты стекла; увеличения скорости на конвейерах шлифовки и полировки стекла путем применения более эффективных шлифующих и полирующих материалов.

Блокировка цехов и совершенствование строительных решений (размещение резного и упаковочного цехов в первом этаже и др.) позволяет снизить сметную стоимость строительных работ на 8—10%. Основные цехи по варке, вытягиванию, обработке и укладированию стекла размещаются в блоке зданий — главном корпусе. Предусматривается применение эффективных строительных конструкций и материалов, обеспечивающих снижение капитальных затрат; рациональная компоновка генерального плана заводов, блокировка производственных зданий и т. д. позволят значительно сократить протяженность внутризаводских коммуникаций и затраты на их сооружение.

В результате влияния отмеченных факторов в текущем пятилетии имеет место дальнейшее снижение себестоимости производства, рост производительности труда (почти в 1,5 раза) (табл. 19).

Экономическая эффективность производства материалов из шлаковых расплавов. Удельные капитальные вложения на 1 т

гранулированного шлака, производимого гидроударным способом на отвалах без затрат на шлаковозный транспорт, составляют 1,7 руб., а с учетом затрат на перевозку огненно-жидкого шлака — 2,4 руб. Это на 15% больше, чем при производстве гранулированного шлака у домен с обезвоживанием на открытых складах.

Таблица 19

Показатели экономической эффективности производства стекла по вновь вводимым предприятиям стекольной промышленности
(ориентировочные данные)

Наименование изделий	Удельные капитальные вложения в среднем, руб.	Себестоимость в среднем, руб.
Оконное стекло, м²	0,96	0,37
Полированное стекло, м²	6,29	2,04
Коврово-мозаичная плитка, м²	4,16	3,12

Следует отметить, что строительство установок по грануляции весьма рентабельно, поскольку эксплуатационные затраты по уборке шлака от доменных печей и сливу его в отвал составляют в настоящее время в среднем 25—30 коп. на 1 т шлака, тогда как себестоимость 1 т гранулированного шлака составляет лишь 50—60 коп.

Применение в строительстве шлаковой пемзы в качестве пористого заполнителя с малой объемной массой, 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.

Производство минераловатных изделий из шлакового расплава намного выгоднее изготовления из карбонатного сырья. Удельные капитальные вложения на производство минераловатных теплоизоляционных материалов из металлургических шлаков составляют с привязкой 12—14 руб./м³ изделий, а из горных пород — на 15—20% больше (при равной мощности цеха).

Производство строительных материалов на основе шлаковых расплавов увеличивается значительными темпами. При выпуске минераловатных изделий намечено значительно повысить качество изделий и расширить их номенклатуру. Главное направление реконструкции предприятий минераловатной ваты — переход на выпуск более качественных изделий на синтетической связке.

Высокие эксплуатационные качества изделий из каменного литья обеспечивают им все более широкое применение в различных отраслях промышленности и строительства. Перспективные показатели эффективности некоторых видов материалов и изделий из каменного литья приведены в табл. 20.

Таблица 20

Перспективные показатели эффективности каменного литья
(ориентировочно)

Вид продукции	Годовая мощность, тыс. т	Удельные капитальные вложения, руб./т *	Себестоимость 1 т, руб.
Каменное литье	50	105,5	61,8
и кислотоупорный порошок	25	142,4	69,7

* Без затрат на карьеры базальта и диабаза.

гранулированного шлака, производимого гидроударным способом на отвалах без затрат на шлаковозный транспорт, составляют 1,7 руб., а с учетом затрат на перевозку огненно-жидкого шлака — 2,4 руб. Это на 15% больше, чем при производстве гранулированного шлака у домен с обезвоживанием на открытых складах.

Таблица 19

Показатели экономической эффективности производства стекла по вновь вводимым предприятиям стекольной промышленности
(ориентировочные данные)

Наименование изделий	Удельные капитальные вложения в среднем, руб.	Себестоимость в среднем, руб.
Оконное стекло, м²	0,96	0,37
Полированное стекло, м²	6,29	2,04
Коврово-мозаичная плитка, м²	4,16	3,12

Следует отметить, что строительство установок по грануляции весьма рентабельно, поскольку эксплуатационные затраты по уборке шлака от доменных печей и сливу его в отвал составляют в настоящее время в среднем 25—30 коп. на 1 т шлака, тогда как себестоимость 1 т гранулированного шлака составляет лишь 50—60 коп.

Применение в строительстве шлаковой пемзы в качестве пористого заполнителя с малой объемной массой, 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.

Производство минераловатных изделий из шлакового расплава намного выгоднее изготовления из карбонатного сырья. Удельные капитальные вложения на производство минераловатных теплоизоляционных материалов из металлургических шлаков составляют с привязкой 12—14 руб./м³ изделий, а из горных пород — на 15—20% больше (при равной мощности цеха).

Производство строительных материалов на основе шлаковых расплавов увеличивается значительными темпами. При выпуске минераловатных изделий намечено значительно повысить качество изделий и расширить их номенклатуру. Главное направление реконструкции предприятий минераловатной ваты — переход на выпуск более качественных изделий на синтетической связке.

Высокие эксплуатационные качества изделий из каменного литья обеспечивают им все более широкое применение в различных отраслях промышленности и строительства. Перспективные показатели эффективности некоторых видов материалов и изделий из каменного литья приведены в табл. 20.

Таблица 20

Перспективные показатели эффективности каменного литья
(ориентировочно)

Вид продукции	Годовая мощность, тыс. т	Удельные капитальные вложения, руб./т *	Себестоимость 1 т, руб.
Каменное литье	50	105,5	61,8
и кислотоупорный порошок	25	142,4	69,7

* Без затрат на карьеры базальта и диабаза.

ГЛАВА V

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Минеральными вяжущими веществами называют тонкоизмельченные порошки, образующие при смешивании с водой пластичное тесто, под влиянием физико-химических процессов переходящее в камневидное состояние. Это свойство вяжущих веществ используют для приготовления на их основе растворов, бетонов, безобжиговых искусственных каменных материалов и изделий.

Различают минеральные вяжущие вещества воздушные и гидравлические. Воздушные вяжущие вещества твердеют, долго сохраняют и повышают свою прочность только на воздухе. К воздушным вяжущим веществам относятся: гипсовые и магнезиальные вяжущие, воздушная известь и кислотоупорный цемент. Гидравлические вяжущие вещества способны твердеть и длительно сохранять свою прочность не только на воздухе, но и в воде. В группу гидравлических вяжущих входят: портландцемент и его разновидности, пуццолановые и шлаковые вяжущие, глиноземистый и расширяющиеся цементы, гидравлическая известь и романцемент. Их используют как в надземных, так и в подземных и подводных конструкциях.

Наряду с этим различают вяжущие вещества автоклавного твердения, эффективно твердеющие только при автоклавной обработке — давлении насыщенного пара 0,8—1,2 МПа и температуре 170—200° С. В группу вяжущих веществ автоклавного твердения входят: известково-кремнеземистые и известково-нефелиновые вяжущие, а также смеси тонкомолотого песка с портландцементом, которые хотя и могут твердеть в других условиях, но дают значительно более высокий прирост прочности при автоклавном режиме твердения.

А. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества делят на две группы — низкообжиговые и высокообжиговые. Низкообжиговые гипсовые вяжущие вещества получают при нагревании двуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) до температуры 150—160° С с частичной дегидратацией двуводного гипса и переводом его в полуводный гипс ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$). Высокообжиговые (ангидритовые) вяжущие

получают обжигом двуводного гипса при более высокой температуре до 700—1000° С с полной потерей химически связанной воды и образованием безводного сульфата кальция — ангидрита ($CaSO_4$). К низкообжиговым относится строительный и высокопрочный гипс, а к высокообжиговым — ангидритовый цемент и эстрих-гипс.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих служит природный гипсовый камень и природный ангидрит $CaSO_4$, а также отходы химической промышленности, содержащие двуводный или безводный сернокислый кальций, например фосфогипс.

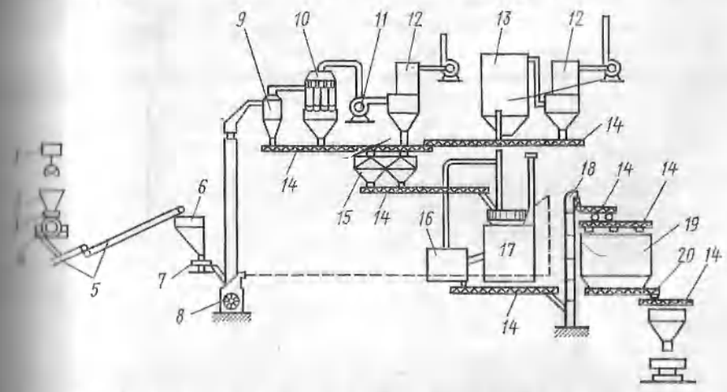


Рис. 34. Технологическая схема производства строительного гипса с применением варочных котлов:

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

Строительным гипсом называют воздушное вяжущее вещество, состоящее преимущественно из полуводного гипса и получаемое путем тепловой обработки гипсового камня при температуре 150—160° С. При этом $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, содержащийся в гипсовом камне, дегидратируется по схеме

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O = CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O$$

Производство строительного гипса складывается из дробления, помола и тепловой обработки (дегидратации) гипсового камня. Имеется несколько технологических схем производства строительного гипса: в одних помол предшествует обжигу, в других помол производится после обжига, а в третьих помол и обжиг совмещаются в одном аппарате. Последний способ получил название обжиг гипса во взвешенном состоянии.

Тепловую обработку гипсового камня производят в варочных котлах, сушильных барабанах, шахтных или других мельницах.

Наиболее распространена схема производства строительного гипса с применением варочных котлов (рис. 34).

Гипсовый камень, поступающий на завод в крупных кусках, сначала дробят, затем измельчают в мельнице, одновременно подсушивая его. В порошкообразном виде гипсовый камень направляют в варочный котел периодического или непрерывного

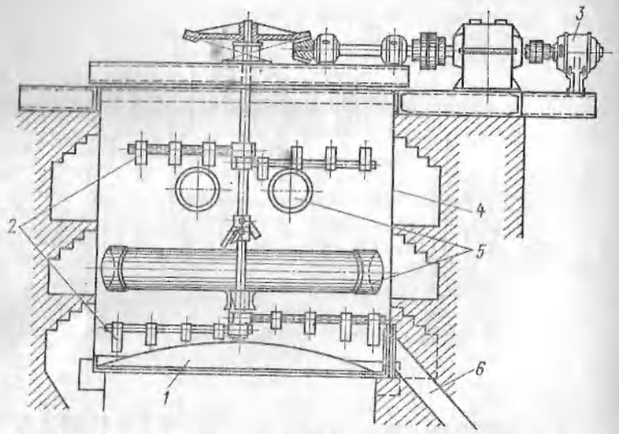


Рис. 35. Варочный котел для изготовления строительного гипса:
1 — днище; *2* — мешалка; *3* — электродвигатель; *4* — котел; *5* — жаровые трубы; *6* — выгрузочный желоб

действия. Последний имеет в 2—3 раза выше производительность, но еще находится в стадии практического освоения.

Варочный котел периодического действия (рис. 35) представляет собой обмурованный кирпичом стальной котел *1* со сферическим днищем *2*, обращенным выпуклой стороной внутрь цилиндра. Для перемешивания гипса в котле имеется мешалка *3*, приводимая в движение электродвигателем *4*. Раскаленные топочные газы обогревают днище и стенки котла, а также проходят через жаровые трубы *5* внутри котла и в охлажденном состоянии удаляются по дымовой трубе. Продолжительность варки — 90—180 мин. При варке в котле гипс не соприкасается с топочными газами, что позволяет получать чистую продукцию, не загрязненную золой топлива.

Гипс в сушильных барабанах получают путем обжига гипсового камня в виде щебня с размером зерен до 20 мм. Обжиговой частью сушильного барабана служит наклонный стальной

цилиндр диаметром до 2,5 и длиной до 20 м, установленный на роликовых опорах и непрерывно вращающийся. Гипсовый щебень подается в барабан с приподнятой стороны и в результате вращения наклонного барабана перемещается в сторону наклона. Из топки в барабан поступают раскаленные дымовые газы, которые при движении вдоль барабана обжигают гипсовый камень и вентилятором удаляются с противоположной стороны барабана. Далее гипсовый камень измельчают в мельницах.

При обжиге гипса во взвешенном состоянии совмещают две операции: измельчение и обжиг. В мельницу (шахтную, шаровую или роликовую) подают гипсовый щебень и одновременно нагнетают горячие дымовые газы. Образующиеся при размоле мельчайшие зерна гипса товарной фракции увлекаются из мельницы потоком дымовых газов и в процессе транспортирования в раскаленном газовом потоке обжигаются. Пылевоздушная смесь поступает в циклоны и фильтры для осаждения гипса.

Наибольшую производительность из трех рассмотренных схем имеет последняя, затем схема обжига в сушильных барабанах и, наконец, в варочных котлах. Однако первые две схемы существенно уступают по качеству продукции схеме с варкой гипса.

При затворении порошка гипса водой полуводный сернокислый кальций $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, содержащийся в нем, начинает растворяться до образования насыщенного раствора и одновременно гидратироваться, присоединяя 1,5 молекулы воды и переходя в двугидрат $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ по реакции

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Растворимость двугидрата примерно в 5 раз меньше растворимости исходного порошка — полугидрата $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$. В результате образовавшийся насыщенный раствор полугидрата оказывается пересыщенным по отношению к двугидрату. Пересыщенный раствор в обычных условиях не может существовать — из него выпадают мельчайшие частицы твердого вещества — двуводного сернокислого кальция. По мере накопления этих частиц они склеиваются между собой, вызывая загустевание (схватывание) теста. Затем мельчайшие частицы гидрата начинают кристаллизоваться, определяя этим образование прочного гипсового камня. Дальнейшее увеличение прочности гипса происходит вследствие высыхания твердеющей массы и более полной кристаллизации при этом. Твердение гипса можно ускорить сушкой, но при температуре не выше 65°С во избежание обратной дегидратации двуводного гипса.

Строительный гипс является быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим веществом. Начало схватывания строительного гипса по ГОСТ 125—70 должно наступать не

ранее 4 мин, а конец — не позднее 30 мин, но и не ранее 6 мин с момента затворения водой.

Тонкость помола строительного гипса, характеризуемая остатком на сите № 02 (размер ячейки сита в свету 0,2 мм) для I сорта — до 15, II — 20, а для III сорта — до 30%. Более тонкий помол гипса способствует увеличению его прочности. Предел прочности на изгиб образцов балочек размером 4×4×16 см после затворения водой через 1,5 ч должен быть не менее 2,7; 2,2 и 1,7 МПа соответственно для I, II и III сортов. Пределы прочности на сжатие половинок образцов-балочек должны быть не менее 5,5; 4,5 и 3,5 МПа для I, II и III сортов.

Быстрое схватывание гипса затрудняет в ряде случаев его использование и вызывает необходимость применения замедлителей схватывания (кератинового, известково-кератинового клея, сульфитно-дрожжевой бражки в количестве 0,1—0,3% от массы гипса). Замедлители схватывания уменьшают скорость растворения полуводного гипса и замедляют диффузионные процессы. При необходимости ускорить схватывание гипса к нему добавляют двуводный гипс, поваренную соль, серную кислоту. Одни из них повышают растворимость полуводного гипса, другие (двуводный гипс) образуют центры кристаллизации, вокруг которых быстро закристаллизовывается вся масса.

Применяется строительный гипс для производства гипсовых и гипсобетонных строительных изделий для внутренних частей зданий (перегородочных плит, панелей, сухой штукатурки, приготовления гипсовых и смешанных растворов, производства декоративных и отделочных материалов, например искусственного мрамора), а также для производства гипсоцементнопуццолановых вяжущих.

Высокопрочный гипс является разновидностью полуводного гипса. Нагревая природный гипсовый камень при нормальном давлении, получают обычный строительный гипс. В этих условиях образуются мелкие кристаллы полуводного сернокислого кальция β-модификации; такой гипс обладает повышенной водопотребностью (60—65% воды). Избыточная вода, т. е. сверх потребной на гидратацию гипса (15%), испаряется, образуя поры, вследствие чего затвердевший строительный гипс имеет высокую пористость до 40% и соответственно небольшую прочность.

При нагревании же природного гипса паром под давлением до 0,2—0,3 МПа с последующей сушкой при температуре 160—180° С получают полуводный гипс α-модификации. При этом образуются более крупные кристаллы, обусловливающие меньшую водопотребность гипса (40—45% воды), что позволяет получать гипсовый камень с бóльшей плотностью и прочностью — это высокопрочный гипс, прочность его за 7 суток достигает 15—40 МПа. Высокопрочный гипс выпускают пока в небольшом

количестве и применяют в основном в металлургической промышленности для изготовления форм. Однако он успешно может заменить обыкновенный строительный гипс, обеспечив изделиям высокую прочность.

§ 2. Ангидритовые вяжущие вещества

Ангидритовый цемент получают обжигом природного двуводного гипса при температуре 600—700° С с последующим его измельчением с добавками — катализаторами твердения (известью, смесью сульфата натрия с медным или железным купоросом, обожженным доломитом, основным доменным гранулированным шлаком и др.).

Ангидритовое вяжущее было предложено П. П. Будниковым следующего состава: известь — 2—5%; смесь бисульфата или сульфата натрия с железным или медным купоросом — по 0,5—1% каждого; доломит, обожженный при 800—900° С, — 3—8%; основной гранулированный доменный шлак — 10—15%. Железный и медный купоросы уплотняют поверхность затвердевшего ангидритового цемента, вследствие чего катализаторы не выделяются и не образуют выцветы на поверхности изделия. Действие катализаторов объясняется тем, что ангидрит обладает способностью образовывать комплексные соединения с различными солями в виде неустойчивого сложного гидрата, который затем распадается, образуя $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Ангидритовый цемент можно получить также путем помола природного ангидрита с указанными выше добавками.

Ангидритовый цемент — это медленно схватывающееся вяжущее вещество с началом схватывания не ранее 30 мин, концом не позднее 24 ч. Марки ангидритового цемента по прочности на сжатие М50, 100, 150 и 200.

Применяют ангидритовые цементы для приготовления кладочных и штукатурных растворов, бетонов, производства теплоизоляционных материалов, искусственного мрамора и других декоративных изделий.

Разновидностью ангидритовых цементов является **высокообжиговый гипс** (эстрих-гипс). Его получают обжигом природного гипса или ангидрита при температуре 800—1000° С с последующим тонким измельчением. При этом происходит не только полное обезвоживание, но и частичная диссоциация (разложение) ангидрита с образованием CaO (в количестве 3—5%) по реакции $CaSO_4 = CaO + SO_3$. При затворении эстрих-гипса водой CaO действует как катализатор по схеме твердения ангидритового цемента, рассмотренной выше.

Высокообжиговый гипс применяют для кладочных и штукатурных растворов, устройства мозаичных полов, изготовления искусственного мрамора и др. Изделия из высокообжигового гипса мало тепло- и звукопроводны, они обладают по сравнению

с изделиями из строительного гипса более высокой морозостойкостью, повышенной водостойкостью и меньшей склонностью к пластическим деформациям.

§ 3. Технико-экономические показатели производства гипсовых вяжущих

Производство гипсовых вяжущих с каждым годом увеличивается. В 1972 г. выпущено строительного гипса около 5 млн. т.

Себестоимость гипса составляет в среднем около 8,7 руб. за 1 т и существенно колеблется на различных заводах. При этом решающим фактором является степень концентрации производства: на более крупных и технически оснащенных предприятиях со среднегодовой мощностью более 100 тыс. т себестоимость гипса почти в 2 раза ниже, чем на мелких (табл. 21).

Таблица 21

Группировка гипсовых предприятий по себестоимости

Мощность среднегодовая, тыс. т	Количество заводов, %	Выпуск продукции, %	Себестоимость, руб.
До 50	40	12,8	10,3
50—100	31,1	26,6	6,8
Более 100	28,9	60,6	5,8

Как видно из табл. 21, около 40% гипса выпускают предприятия среднегодовой мощности до 100 тыс. т. Большие колебания себестоимости (в 2—4 раза) свидетельствуют о значительных резервах ее снижения.

В табл. 22 приведена структура себестоимости гипса по отдельным заводам.

Таблица 22

Себестоимость гипса по отдельным заводам, %

Статьи затрат	Заводы		
	Орловский	Московский	Курский
Сырье и основные материалы	50,0	53,9	33,0
Вспомогательные материалы	3,6	1,2	2,8
Топливо	4,5	6,9	12,2
Электроэнергия	4,1	3,1	4,3
Амортизация	7,4	7,4	9,6
Зарплата с начислениями	27,0	23,6	36,8
Прочие расходы	3,4	3,9	1,3
Итого	100,0	100,0	100,0

Обращает на себя внимание высокий удельный вес затрат на сырье и вспомогательные материалы (33,0—53,9%) и на заработную плату с начислениями (23,6—36,8%).

Себестоимость гипса заводов, работающих на привозном сырье, по данным ВНИИстрома, примерно в 1,5 раза превышает уровень себестоимости гипса заводов, работающих на собственном сырье; при этом затраты на сырье и материалы различаются в 3—3,5 раза. Отсюда задача сокращения радиуса перевозок гипсового камня и совершенствования организации производства на карьерах.

Большие резервы заключены в снижении трудоемкости производства путем механизации и автоматизации производственных процессов.

Перспективы массового применения гипсовых изделий определяются в значительной степени наличием основного сырья — строительным гипсовым камнем, а также пригодностью месторождений к промышленной эксплуатации.

Имеющиеся промышленные запасы сырья (около 6 млрд. т) достаточны как для обеспечения действующего производства гипсовых вяжущих и изделий, так и для его дальнейшего развития в целях полного удовлетворения потребностей строительства в этих эффективных видах продукции.

§ 4. Магнезиальные вяжущие вещества

Разновидностями магнезиальных вяжущих веществ являются **каустический магнезит** и **каустический доломит.**

Каустический магнезит получают при обжиге горной породы — магнезита ($MgCO_3$) в шахтных или вращающихся печах при 650—850° С. В результате $MgCO_3$ разлагается по схеме $MgCO_3 = MgO + CO_2$. Оставшееся твердое вещество (окись магния) измельчают в тонкий порошок. Каустический доломит MgO и $CaCO_3$ получают путем обжига природного доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) с последующим измельчением его в тонкий порошок. При обжиге доломита $CaCO_3$ не разлагается и остается инертным как балласт, что снижает вяжущую активность каустического доломита по сравнению с каустическим магнезитом.

Магнезиальные вяжущие затворяют не водой, а водными растворами солей сернокислого или хлористого магния (наиболее распространенного затворителя). Магнезиальные вяжущие, затворенные на растворе хлористого магния, дают бо́льшую прочность, чем на растворе сернокислого магния.

Каустический магнезит твердеет сравнительно быстро. Схватывание его должно наступать не ранее 20 мин, а конец — не позднее 6 ч с момента затворения. Марки каустического магнезита 400—600. Их устанавливают по показателям предела прочности на сжатие образцов-кубов из жесткого раствора 1 : 3 через 28 суток при воздушном хранении.

Каустический доломит — вяжущее вещество более низкого качества, так как он содержит значительное количество углекислого кальция. В каустическом доломите должно быть не

менее 15% окиси магния и не более 2,5% окиси кальция. Марки каустического доломита 100—300.

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

Каустический магнезит легко поглощает влагу и углекислоту из воздуха, в результате чего образуются гидрат окиси магния и углекислый магний. В связи с этим хранят каустический магнезит в плотной герметической таре.

На основе магнезиальных вяжущих изготовляют ксилолит (смесь вяжущего с опилками), используемый для устройства полов, а также фибролит и другие теплоизоляционные материалы. Применяют магнезиальные вяжущие и при производстве изделий для внутренней облицовки помещений, оснований под чистые полы, скульптурных изделий.

§ 5. Кислотоупорные цементы

Кислотоупорные цементы состоят из смеси водного раствора силиката натрия (растворимого стекла), кислотоупорного наполнителя и добавки — ускорителя твердения. В качестве микронаполнителя используют кварц, кварциты, андезит, диабаз и другие кислотоупорные материалы; ускорителем твердения служит кремнефтористый натрий. Вяжущим материалом в кислотоупорном цементе является растворимое стекло — водный раствор силиката натрия $Na_2O \cdot nSiO_2$ или силиката калия $K_2O \cdot nSiO_2$. (Величина n указывает на отношение числа молекул кремнезема к числу молекул щелочного окисла и называется модулем стекла, он колеблется в пределах от 2,5 до 3,5.)

Добавка кремнефтористого натрия также повышает водостойкость и кислотоупорность цемента. Отечественная промышленность выпускает кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент, состоящий из смеси тонкомолотого чистого кварцевого песка 15—30% и кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 — 4—6% от массы наполнителя.

Кислотоупорные цементы применяют для футеровки химической аппаратуры, возведения башен, резервуаров и других сооружений химической промышленности, а также для приготовления кислотоупорных замазок, растворов и бетонов. Как указывалось ранее, для приготовления кислотоупорного цемента применяют растворимое стекло.

Растворимое стекло получают при сплавлении в течение 7—10 ч в стекловарочных печах при 1300—1400° С кварцевого песка, измельченного и тщательно смешанного с кальцинированной содой, сульфатом натрия или с поташом K_2CO_3. Полученная стекломасса поступает из печи в вагонетки, где быстро охлаждается и распадается на куски. Застывшие куски называют «силикат-глыба». Это стекло растворимо в воде при обычных условиях, но при действии пара высокого давления 0,5—0,6 МПа

и температуре около 150° С сравнительно легко переходит в жидкое состояние.

Твердеет растворимое стекло (довольно медленно) только на воздухе вследствие выделения и высыхания аморфного кремнезема $SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($Si(OH)_4$) под действием углекислоты воздуха по реакции

$$Na_2SiO_3 + CO_2 + 2H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + Na_2CO_3$$

Однако глубина проникания углекислоты воздуха сравнительно невелика, и положительное ее действие наблюдается только на поверхности.

Ускоряет твердение растворимого стекла добавка катализатора — кремнефтористого натрия (Na_2SiF_6). Последний вступает во взаимодействие с растворимым стеклом, в результате чего быстро образуется гель кремнекислоты — клеящее вещество, что приводит к быстрому твердению системы.

$$Na_2SiF_6 + 2Na_2SiO_3 + 6H_2O \rightarrow 6NaF + 3Si(OH)_4$$

Силикат-глыбу можно транспортировать в таре или навалом. Растворимое стекло, имеющее сиропообразную консистенцию, транспортируют в бочках, стеклянных баллонах. Растворимое стекло применяют для приготовления кислотостойких и жаростойких обмазок. Нельзя применять растворимое стекло для конструкций, подверженных длительному воздействию воды, щелочей и фосфорной, фтористоводородной или кремнефтористоводородной кислот.

Кислотоупорный цемент неводостоек; разрушается от воздействия воды и слабых кислот. Для повышения водостойкости в состав цемента вводят 0,5% льняного масла или 2% гидрофобизующей добавки. Полученный таким образом гидрофобизованный цемент называют кислотоупорным водостойким цементом — КВЦ.

Для повышения кислотостойкости кислотоупорных бетонов рекомендуется обрабатывать их поверхность разбавленной соляной или серной кислотой, раствором хлористого кальция или хлористого магния.

§ 6. Строительная известь

Строительную известь получают путем обжига (до удаления углекислоты) кальциево-магниевых горных пород — мела, известняка, доломитизированных и мергелистых известняков, доломитов и мергелистого мела.

Тонкодисперсную строительную известь получают путем гашения водой или размола негашеной извести, в процессе которых допускается введение в ее состав минеральных тонкомолотых добавок. Строительную известь применяют для приготовления строительных растворов и бетонов, вяжущих материалов и в

производстве искусственных камней, блоков и строительных деталей.

В зависимости от условий твердения различают строительную известь воздушную, обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности в воздушно-сухих условиях, и гидравлическую, обеспечивающую твердение растворов и бетонов и сохранение ими прочности как на воздухе, так и в воде. Воздушная известь по виду содержащегося в ней основного окисла бывает кальциевая, магнезиальная и доломитовая. Гидравлическую известь по гидравлическим свойствам делят на слабогидравлическую и сильногидравлическую. По внешнему виду различают гидравлическую известь комовую и порошкообразную; в свою очередь порошкообразная известь бывает двух видов — молотая и гидратная (пушонка), которая получается путем гидратации (гашения водой) кальциевой, магнезиальной и доломитовой извести.

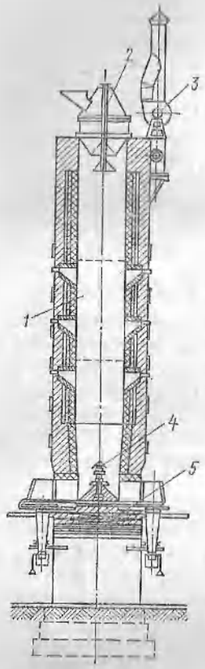


Рис. 36. Шахтная печь для обжига извести:

1 — шахта; *2* — загрузочный механизм; *3* — дымосос; *4* — гребень для подачи воздуха; *5* — разгрузочный механизм

Строительную воздушную известь получают из кальциево-магниевых горных пород, содержащих более 6% глинистых примесей. Технологический процесс получения извести состоит из добычи известняка в карьерах и его подготовки (дробления и сортировки) и обжига. После обжига производят помол комовой извести, получая молотую негашеную известь, или гашение комовой извести водой, получая гашеную известь.

Основным процессом при производстве извести является обжиг, при котором известняк декарбонизуется и превращается в известь по реакции $CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$. Диссоциация карбонатных пород сопровождается поглощением тепла (1 г-мол $CaCO_3$ требует для разложения примерно 190 кДж). Реакция разложения углекислого кальция обратима и зависит от температуры и парциального давления углекислого газа. Диссоциация углекислого кальция достигает заметной величины при температуре выше 600° С. Теоретически нормальной температурой диссоциации считают 900° С. В заводских условиях температура обжига известняка зависит от плотности известняка, наличия примесей, типа печи и ряда других факторов и составляет обычно 1000—1200° С.

При обжиге из известняка удаляется углекислый газ, составляющий до 44% его массы, объем же продукта уменьшается примерно на 10%, поэтому куски комовой извести имеют пористую структуру.

Обжиг известняка производят в различных печах: шахтных вращающихся, в «кипящем слое», во взвешенном состоянии и т. д. Наибольшее распространение получили экономичные по расходу топлива шахтные пересыпные известеобжигательные печи, однако известь в них оказывается загрязненной золой топлива.

Шахтная печь (рис. 36) состоит из шахты, загрузочного и выгрузочного устройств, воздухоподводящей и газоотводящей аппаратуры. Известняк в шахтную печь загружают периодически или непрерывно сверху. Материал по мере выгрузки извести опускается вниз и навстречу обжигаемому материалу просачиваются горячие дымовые газы.

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 не выше 900° С известняк подсушивается, подогревается и в нем выгорают органические примеси. В средней части печи — в зоне обжига, где температура достигает 900—1200° С, происходит разложение $CaCO_3$ и выделение углекислого газа. В нижней части печи — зоне охлаждения — известь охлаждается поступающим снизу воздухом с 900 до 50—100° С.

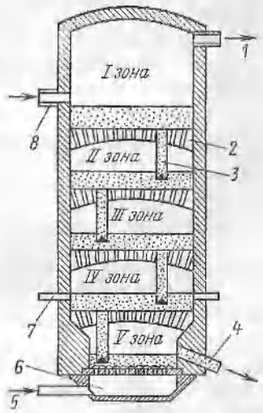


Рис. 37. Схема установки для обжига извести в «кипящем слое»

1 — отвод отходящих газов на очистку; *2* — решетчатый свод; *3* — переливная труба; *4* — выгрузка обожженной извести; *5* — подача сжатого воздуха; *6* — воздушная коробка с непровальной решеткой; *7* — горелки; *8* — загрузка известняка

Газовые печи позволяют получать «чистую» известь, они проще в эксплуатации, процесс обжига в них можно механизировать и автоматизировать.

Вращающаяся печь позволяет получать известь высокого качества, но характеризуется большим расходом топлива.

Получают применение высокопроизводительные агрегаты с обжигом в «кипящем слое». Обжиг в «кипящем слое» (рис. 37) производится в реакторе, представляющем собой металлическую шахту, отфутерованную внутри и разделенную по высоте решетчатыми сводами на 3—5 зон. Передача материала из зоны в зону производится через трубки, имеющие ограничитель. Высота «кипящего слоя» определяется от обреза переливной трубки до решетки. По периферии реактора имеются горелки для газа или

мазута. Многозонность реактора позволяет получать известь высокого качества при небольшом расходе топлива. Полученный при обжиге карбонатных пород полупродукт носит название негашеной комовой извести — кипелки. В дальнейшем она поступает на помол или гашение.

Молотая негашеная известь. Строительную воздушную негашеную известь выпускают трех сортов: I, II и III. Негашеная комовая или молотая известь должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 23.

Таблица 23

Технические требования к негашеной комовой извести

Наименование показателей	Нормы для					
	кальциевой извести сортов			магнезиальной и доломитовой извести сортов		
	I	II	III	I	II	III
Содержание активных CaO+MgO в пересчете на сухое вещество, %, не менее						
в негашеной извести без добавок	90	80	70	85	75	65
в негашеной извести с добавками	64	52	—	64	52	—
Содержание активной MgO, %, не более	5	5	5	20 (40) *	20 (40) *	20 (40) *
Содержание углекислоты CO_2, %, не более	3	5	8	5	8	11
Содержание непогасившихся зерен в негашеной комовой извести, %, не более	7	10	12	10	15	20
Потери при прокаливании, %, не более	5	7	10	7	10	13

* В скобках указано содержание MgO для доломитовой извести.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9179—70 негашеную известь следует измельчать до тонкости, при которой остаток при просеивании пробы через сита № 023 и 008 должен быть соответственно не более 1 и 10%. Обычно заводы выпускают известь, характеризующуюся остатком на сите № 008 до 2—7%, что примерно соответствует удельной поверхности 3500—5000 $см^2/г$.

Молотую негашеную известь транспортируют в герметически закрытых металлических контейнерах или в бумажных битумнизированных мешках. Хранить молотую известь до употребления можно не более 10—15 суток в сухих складах. При работах с известью необходимо соблюдать требования по охране труда. Попадание частиц молотой извести в легкие, а также на слизистые оболочки, особенно глаз, опасно.

Молотая негашеная известь может применяться без ее предварительного гашения, что имеет ряд преимуществ: исключаются отходы в виде непогасившихся зерен, используется тепло, которое выделяется при гидратации извести, что ускоряет процессы твердения извести. Изделия на этой извести имеют и большую плотность, прочность и водостойкость.

Для ускорения твердения растворных и бетонных смесей на молотой негашеной извести в их состав вводят хлористый кальций, а для замедления твердения в начальный период (схватывания) к извести добавляют гипс, серную кислоту и сульфитно-спиртовую барду. Добавка гипса и хлористого кальция, кроме того, повышает прочность растворов и бетонов, а добавки замедлителей твердения предупреждают образование трещин, что возможно при отсутствии определенных условий твердения.

Гашеная известь. Известь воздушная отличается от других вяжущих веществ тем, что может превращаться в порошок не только при помоле, но и путем гашения — действием воды на куски комовой извести с выделением значительного количества тепла по реакции

$$CaO+H_2O=Ca(OH)_2+65{,}5\ кДж$$

1 г-мол CaO выделяет 65,5 кДж тепла, 1 кг извести-кипелки выделяет 1160 кДж.

Теоретически для гашения извести в пушонку необходимо 32% воды от массы CaO. Практически в зависимости от состава извести, степени ее обжига и способа гашения количество воды берут в 2, а иногда и в 3 раза больше, так как в результате выделения тепла при гашении происходит парообразование и часть воды удаляется с паром. На скорость гашения извести оказывают влияние температура и размеры кусков комовой извести. С повышением температуры ускоряется процесс гашения. Особенно быстро процесс гашения протекает при гашении паром при повышенном давлении в закрытых барабанах.

В зависимости от скорости гашения различают воздушную негашеную известь: быстрогасящуюся со скоростью гашения не более 8 мин; среднегасящуюся со скоростью гашения до 25 мин и медленногасящуюся со скоростью гашения не менее 25 мин.

Гидратная известь-пушонка должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 24.

Гашение извести в пушонку производят в специальных машинах — гидраторах.

Для гашения извести-кипелки в известковое тесто применяют известегаситель «ЮЗ», в котором комовая известь одновременно размалывается, перемешивается с водой до образования известкового молока и сливается в сепаратор-отстойник. После отстаивания известкового молока образуется известковое тесто. Нельзя применять известковое тесто с большим содержанием непогасившихся полностью зерен извести, так как гашение этих зерен может произойти в кладке, что приведет к растрескиванию

затвердевшего известкового раствора. Измельчение извести в гасителе «ЮЗ» способствует практически полному гашению извести, тогда как в других машинах количество непогасившихся зерен (отходов) может достигать 30%.

Таблица 24

Технические требования к гидратной извести

Наименование показателей	Нормы для сортов	
	I	II
Содержание в гидратной извести активных $CaO + MgO$ в пересчете на сухое вещество, %, не менее		
без добавок	67	60
с добавками	50	40
Содержание углекислоты CO_2, %, не более	3	5
Влажность извести, %, не более	5	5
Дисперсность — остаток частиц, %, не более, на ситах с сеткой:		
№ 063	2	2
№ 008	10	10

Твердение воздушной извести может происходить только в воздушно-сухих условиях. Испарение воды (что имеет место при этом) вызывает слипание мельчайших частиц $Ca(OH)_2$ в более крупные и их кристаллизацию. Кристаллы $Ca(OH)_2$ срастаются друг с другом, образуя каркас, окружающий частицы песка. Наряду с этим происходит карбонизация гидрата окиси кальция за счет поглощения углекислоты и воздуха по реакции

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + nH_2O = CaCO_3 + (n+1)H_2O$$

Таким образом, твердение известковых растворов есть следствие их высыхания и образования кристаллического сростка $Ca(OH)_2$, а также процесса образования углекислого кальция на поверхности изделия. Твердеет гашеная известь медленно и прочность известковых растворов невысокая. Это объясняется тем, что кристаллизация гидрата окиси кальция проходит неинтенсивно и кристаллы слабо связаны друг с другом. Кроме того, образовавшаяся на поверхности корка $CaCO_3$ препятствует прониканию воздуха внутрь известкового раствора и тормозит дальнейшее развитие процесса карбонизации.

Гидрат окиси кальция кристаллизуется тем быстрее, чем интенсивнее испаряется вода, поэтому для твердения извести необходима положительная температура.

Применение, транспортирование и хранение. Воздушную известь широко применяют для приготовления строительных растворов в производстве известково-пуццолановых вяжущих, для изготовления искусственных каменных материалов — силикатного кирпича, силикатных и пеносиликатных изделий, шлакобетонных блоков, а также в качестве покрасочных составов.

Транспортируют комовую известь навалом, защищая от увлажнения и загрязнения, а молотую — в специальных бумажных мешках или в металлических закрытых контейнерах. Известковое тесто перевозят в специально для этого приспособленных кузовах самосвалов. Известь негашеная должна храниться в закрытых складах, защищенных от попадания влаги.

Гидратная известь может храниться непродолжительное время в мешках и сухих складах.

Молотую известь не следует хранить более 30 суток, так как она постепенно гасится влагой воздуха и теряет активность.

§ 7. Технико-экономические показатели производства извести и пути снижения себестоимости продукции

Себестоимость 1 т строительной комовой извести около 12 руб./т, молотой — 12,5—13 руб./т, пушонки — более 14 руб./т, т. е. выше среднеотраслевых издержек производства цемента. Причиной такого положения является недостаточно высокий технический уровень производства извести, слабая концентрация производства, повышенные издержки на сырье и топливо (табл. 25).

Таблица 25

Структура цеховой себестоимости извести

Статьи калькуляции	Затраты, % к итогу	Статьи калькуляции	Затраты, % к итогу
Сырье	52,1	Заработная плата с начислениями	9,0
Топливо	22,5	Цеховые расходы	14,7
Электроэнергия	1,7		
Итого	100		

Колебания в уровне себестоимости извести велики. Так, по Белгородскому заводу себестоимость извести составляет около 7 руб./т, а по ряду других предприятий (Жуковский, Татоуровский, Уссурийский) — 20—30 руб.

Таблица 26

Себестоимость извести на предприятиях различной мощности

Группа предприятий с объемом выпуска извести, тыс. т/год	Цеховая себестоимость, руб./т	Группа предприятий с объемом выпуска извести, тыс. т/год	Цеховая себестоимость, руб./т
Свыше 100	8,82	10—30	14,57
50—100	10,81	Менее 10	16,97
30—50	11,6		

Решающим образом на себестоимость извести влияет средняя мощность предприятия (табл. 26). На мелких, технически слабо оснащенных предприятиях выпускается более половины

всей продукции. При этом себестоимость на мелких заводах с среднегодовой мощностью до 10 тыс. т почти в 2 раза выше, чем на крупных предприятиях. Следовательно, экономически целесообразно строительство цехов извести большей мощности по новым типовым проектам с применением более совершенных конструкций известково-обжигательных печей.

Производство извести на предприятиях по изготовлению силикатных изделий осуществляется в основном в шахтных и вращающихся печах. Среднегодовое время работы шахтных печей в целом по СССР колеблется в очень широких пределах — от 187 до 346 суток.

Характеристика работы печей по величине съема продукции приведена в табл. 27.

Таблица 27

Группировка заводов по съему извести с 1 м³ объема шахтных печей

Съем с 1 м³ объема печи в сутки, кг	Количество заводов	Удельный вес, %	
		в количестве заводов	в выпуске извести
До 500	5	9,2	5,1
501—700	11	20,4	14,4
701—900	18	33,3	28,6
Свыше 900	20	37,1	51,9
Итого . . .	54	100	100

Улучшение работы шахтных печей по съемам и использованию их во времени дает возможность на 10—12% увеличить выпуск товарной извести и снизить ее себестоимость. Свыше 50% себестоимости извести составляют материальные затраты, среди которых особенно велики затраты на сырье. Исследования ВНИИстрома показали, что эти затраты на предприятиях, работающих на собственном сырье, в 2,5 раза меньше, чем на предприятиях, получающих известняк со стороны. Привозной известняк в большинстве случаев является нефракционированным, что вынуждает организовывать дробление и сортировку.

Осуществление концентрации карьерного хозяйства и комплексной механизации работ на карьерах позволяет снизить себестоимость камня на 30—40% и расходы на его транспортировку. Упорядочение карьерного хозяйства и снабжение известково-обжигательных цехов силикатных заводов позволит снизить цеховую себестоимость извести на 7—8%.

Затраты на топливо также являются весьма значительными в себестоимости извести (22,5%). Перевод предприятий на газообразное топливо не только удешевляет продукцию (1,5—2 руб./т), но и улучшает качество извести. Важное условие сокращения расхода топлива и улучшения качества извести — обеспечение оптимального режима сжигания топлива в печи.

Предприятия известковой промышленности характеризуются невысоким уровнем механизации труда (30—60%), поэтому важнейшей задачей является механизация погрузочно-разгрузочных работ и транспортирование известняка и топлива к печам.

Осуществление мероприятий по снижению себестоимости обжига извести, организации снабжения заводов фракционированным известняком и углем, механизация трудоемких работ и улучшение организации труда позволят снизить себестоимость извести на действующих предприятиях не менее чем на 20—25%.

В 1972 г. в СССР было произведено 9,4 млн. т строительной извести. Производство извести в ближайшие годы будет увеличено. В ближайшей перспективе будет существенно повышена степень концентрации и техническая оснащенность производства на базе строительства специализированных известковых заводов годовой мощностью 300 тыс. т и более; осуществлена постепенная ликвидация мелких и нерентабельных предприятий и цехов, оснащенных устаревшими типами печей, созданы крупные специализированные карьеры, обеспечивающие известковые заводы фракционированным известняком; повышено качество и расширен ассортимент известковых вяжущих. Важнейшей задачей наращивания мощностей при этом является строительство новых высокомеханизированных предприятий с эффективными обжиговыми агрегатами.

Б. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Гидравлическая известь

Гидравлическая известь — продукт умеренного обжига при температуре 900—1100° С мергелистых известняков, содержащих 6—20% глинистых примесей. При обжиге мергелистых известняков после разложения углекислого кальция часть образующейся CaO соединяется в твердом состоянии с окислами SiO_2; Al_2O_3; Fe_2O_3, содержащимися в минералах глины, образуя силикаты $2CaO \cdot SiO_2$, алюминаты $CaO \cdot Al_2O_3$ и ферриты кальция $2CaO \cdot Fe_2O_3$, обладающие способностью твердеть не только на воздухе, но и в воде.

Так как в гидравлической извести содержится в значительном количестве свободная окись кальция CaO, то она, так же как и воздушная известь, гасится при действии воды. Причем, чем больше содержание свободной CaO, тем меньше ее способность к гидравлическому твердению.

Строительную гидравлическую известь выпускают в виде тонкоизмельченного порошка, при просеивании которого остаток частиц на сите № 008 не должен превышать 10%. Кроме глинистых и песчаных примесей, мергелистые известняки обычно содержат до 2—5% углекислого магния и некоторые другие примеси. Для производства гидравлической извести необходимо применять известняки с возможно более равномерным распре-

делением глинистых и других включений, так как от этого в значительной степени зависит качество получаемого продукта.

Для характеристики химического состава сырья, содержащего известняк и глину, а также готового вяжущего вещества обычно пользуются гидравлическим или основным модулем, который для гидравлической извести составляет 1,7—9.

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

Различают гидравлическую известь двух видов: слабогидравлическую с модулем 4,5—9 и сильногидравлическую с модулем 1,7—4,5. Если продукт обжига имеет гидравлический модуль менее 1,7, то его относят к романцементу ($m = 1{,}1—1{,}7$), если же более 9, то к воздушной извести.

Гидравлическая известь, затворенная водой, после предварительного твердения на воздухе продолжает твердеть и в воде, при этом физико-химические процессы воздушного твердения сочетаются с гидравлическими. Гидрат окиси кальция при испарении влаги постепенно кристаллизуется, а под действием углекислого газа подвергается карбонизации. Гидравлическое твердение извести происходит в результате гидратации силикатов, алюминатов и ферритов кальция так же, как в портландцементе.

Таблица 28

Технические требования к гидравлической извести

Наименование показателей	Нормы для извести	
	слабогидравлической	сильногидравлической
Содержание активных $CaO + MgO$ в пересчете на сухое вещество, %:		
не менее	15	1
не более	60	15
Содержание активной MgO, %, не более	5	5
Содержание углекислоты (CO_2), %, не более	7	5
Потери при прокаливании, %, не более	9	7
Предел прочности на сжатие образцов, 10^{-1} МПа, не менее:		
через 7 суток	—	10
» 28 »	20	50
Тонкость помола — остаток частиц на ситах с сеткой, %, не более		
№ 02	1	1
№ 008	10	10

Строительная гидравлическая известь должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 28. Гидравлическую известь применяют в тонкоизмельченном виде для приготовления

строительных растворов, предназначенных для сухой или влажной среды, бетонов низких марок и т. д. Гидравлическая известь дает менее пластичные, чем воздушная, растворы, быстрее и равномернее твердеющие по всей толще стены и обладающие большей прочностью.

§ 2. Романцемент

Романцемент — продукт тонкого помола обожженных не до спекания чистых и доломитизированных мергелей, содержащих не менее 25% глинистых примесей. Для регулирования свойств в романцемент вводят до 15% активных минеральных добавок и до 5% природного двуводного гипса.

Сырьем для производства романцемента служат мергели — природная смесь углекислого кальция и глин. Наиболее желательны мергели с таким сочетанием известняка и глин, при котором в процессе обжига не до спекания получается продукт, не содержащий свободной окиси кальция. Это мергели с невысоким содержанием углекислого кальция и гидравлическим модулем, равным 1,1—1,7. Производство романцемента заключается в добыче мергеля, его дроблении на куски требуемого размера, обжига и последующем помоле обожженного материала. Обжиг сырья ведут в основном в шахтных, а иногда и во вращающихся печах при температуре 1000—1100° С. Помол обожженного материала в шаровых мельницах лучше производить совместно с гипсом и активными минеральными добавками, так как при этом получается более однородный продукт.

Схватывание и твердение романцемента основано на гидратации силикатов и алюминатов кальция, аналогичных имеющимся в гидравлической извести и в основном составляющих романцемент. Начало схватывания романцемента должно наступать через 15 мин, а конец схватывания — не позднее 24 ч с момента затворения водой.

Романцемент — медленнотвердеющее вяжущее вещество с относительно низкой марочной прочностью: 25, 50 и 100. Тонкость помола романцемента характеризуется остатком на сите № 02 не более 5%, а на сите № 008 — не более 25%.

Применяют романцемент для штукатурных и кладочных строительных растворов, бетонов низких марок; производства стеновых камней и мелких блоков, особенно с применением тепловой обработки паром.

§ 3. Портландцемент

Портландцемент является важнейшим вяжущим веществом. По производству и применению он занимает первое место среди всех других вяжущих веществ. В 1973 г. выпуск портландцемента отечественной промышленностью достиг 109,5 млн. т, значи-

тельно превысив уровень производства цемента в других странах, в том числе США.

Состав портландцемента. Портландцемент — гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. Он получается тонким измельчением обожженной до спекания сырьевой смеси известняка и глины, обеспечивающей преобладание в клинкере силикатов кальция. Спекшаяся сырьевая смесь в виде зерен размером до 40 мм называется клинкером. От качества его зависят важнейшие свойства цемента: прочность, скорость ее нарастания, долговечность, стойкость в различных эксплуатационных условиях.

Для регулирования сроков схватывания цемента при помоле к клинкеру добавляют гипс не менее 1,5 и не более 3,5% от массы цемента в пересчете на ангидрид серной кислоты SO_3. Портландцемент выпускают без добавок или с активными минеральными добавками в количестве до 15% от массы цемента.

Качество клинкера зависит от его химического и минералогического составов. Для производства портландцементного клинкера применяют известняк и глину. Известняк в основном состоит из двух окислов — CaO и CO_2, а глина — из различных минералов, содержащих в основном три окисла — SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. В процессе обжига сырьевой смеси удаляется CO_2, а оставшиеся четыре окисла CaO, SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 образуют клинкерные минералы. Содержание окислов в цементе примерно следующее: 62—68% CaO, 21—24% SiO_2, 4—8% Al_2O_3, 2—5% Fe_2O_3.

Кроме указанных основных окислов, в портландцементном клинкере могут присутствовать MgO и щелочные окислы K_2O и Na_2O, снижающие качество цемента. Окись магния, обожженная при температуре около 1500° С, при взаимодействии с водой очень медленно гасится и вызывает появление трещин в уже затвердевшем растворе или бетоне, поэтому содержание окиси магния в портландцементе не должно быть более 5%. Наличие в цементе щелочных окислов выше 1% может вызвать разрушение отвердевшего бетона на таком цементе.

Указанные выше основные окислы находятся в клинкере не в свободном виде, а образуют при обжиге четыре основных минерала, относительное содержание которых в портландцементе следующее (%):

Трехкальциевый силикат $3CaO \cdot SiO_2$ (алит)	45—65
Двухкальциевый силикат $2CaO \cdot SiO_2$ (белит)	15—35
Трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$	4—14
Четырехкальциевый алюмоферрит (целит) $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	10—18

Сокращенное обозначение этих минералов следующее: C_3S, C_2S, C_3A и C_4AF.

При правильно рассчитанной и тщательно подготовленной и обожженной сырьевой смеси клинкер не должен содержать свободной окиси кальция CaO, так как пережженная при температуре около 1500° С известь, так же как и магнезия MgO, очень медленно гасится, увеличиваясь в объеме, что может привести к растрескиванию уже затвердевшего бетона.

Портландцемент, получаемый на заводах из различных видов природного сырья и с неодинаковой технологией производства, отличается как по химико-минералогическому составу, так и по свойствам. Требования стандарта не отражают полностью некоторых важных для строительства свойств цемента: стойкости цементного камня в агрессивных средах, морозостойкости, интенсивности тепловыделения, деформативной способности и т. д. Однако в этом значительную помощь оказывает знание минералогического состава клинкера, который имеет прямую связь с основными физико-механическими свойствами цемента, что позволяет предопределить свойства портландцемента и проектировать портландцемент для бетона конкретных эксплуатационных условий.

Портландцемент по минералогическому составу клинкера (%) условно делят на несколько видов:

Высокоалитовый, содержащий	C_3S	более	60
Алитовый	C_3S	»	50—60
Белитовый	C_2S	»	35
Алюминатный	C_3A	менее	12
Алюмоферритный	C_3A	более	2
	C_4AF		18

Кроме указанных видов, могут быть и промежуточные, например алито-алюминатный цемент.

Производство портландцемента. Сырье для производства портландцемента должно содержать 75—78% $CaCO_3$ и 22—25% глинистого вещества. Горные породы, удовлетворяющие указанным требованиям, в природе встречаются редко. Поэтому для производства портландцемента наряду с известняком и глиной следует применять так называемые корректирующие добавки, содержащие значительное количество одного из окислов, недостающих в сырьевой смеси. Так, недостаточное количество SiO_2 компенсируется введением высококремнеземистых веществ (опоки, диатомита, трепела). Увеличить содержание окислов железа можно путем введения колчеданных огарков или руды. Повышение содержания глинозема Al_2O_3 достигается добавлением высокоглиноземистых глин.

Кроме того, цементная промышленность все шире начинает использовать побочные продукты, например, отходы разных отраслей промышленности — доменные шлаки, нефелиновый шлам и др. Нефелиновый шлам получают в виде отхода при производстве глинозема. В нем содержится 25—30% SiO_2; 50—58% CaO; 2—5% Al_2O_3; 3—5% Fe_2O_3 и 3—8% других окислов. Если к сырью такого состава добавить 15—20% известняка, то состав смеси получается аналогичный используемому для получения портландцемента.

В качестве топлива применяют измельченный каменный уголь (или антрацит), мазут и природный газ. В настоящее время отечественная цементная промышленность в значительной мере работает на газообразном топливе как наиболее эффективном.

Технологический процесс производства портландцемента состоит из следующих основных операций: добычи известняка и глины, подготовлении сырьевых материалов и корректирующих добавок, приготовления из них однородной смеси заданного состава, обжига смеси и измельчения клинкера в тонкий порошок совместно с гипсом, а иногда с добавками.

В зависимости от приготовления сырьевой смеси различают два основных способа производства портландцемента: *мокрый* и *сухой*. При мокром способе сырьевые материалы измельчают и смешивают в присутствии воды, и смесь в виде жидкого шлама обжигают во вращающихся печах; при сухом способе материалы измельчают, смешивают и обжигают в сухом виде. В последнее время все шире начинает применяться комбинированный способ приготовления сырьевой смеси, по которому сырьевую смесь подготовляют по мокрому способу, затем шлам обезвоживают и из него приготовляют гранулы, которые обжигают по сухому способу.

Каждый из способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В водной среде облегчается измельчение материалов и быстро достигается однородность смеси, но расход топлива на обжиг смеси в 1,5—2 раза больше, чем при сухом способе. Развитие сухого способа длительное время ограничивалось вследствие низкого качества получаемого клинкера. Однако успехи в технике помола и гомогенизации сухих смесей обеспечили качество портландцемента, и в последнее десятилетие этот способ получает все большее развитие. В настоящее время в мировой цементной промышленности наметилась тенденция к переводу предприятий, работающих по мокрому способу, на сухой путем установки мощных вращающихся печей (Япония, ФРГ). При комбинированном способе на 20—30% снижается расход топлива по сравнению с мокрым, однако возрастает расход электроэнергии и трудоемкость производства.

В СССР до 88% цемента выпускается по мокрому способу, в США — до 58%, Канаде — 66%, в Англии — 94%. В Японии, ФРГ, Франции, Италии, Швеции и Мексике, где сырьем служат кристаллические известняки низкой естественной влажности, превалирует сухой способ.

По мокрому способу (рис. 38) сырьевые материалы, доставляемые из карьера на завод в кусках, подвергают предварительному измельчению (до крупности не более 5 мм). Твердые породы дробят в дробилках, а более мягкие (глина, мел) измельчают перемешиванием с водой в глиноболтушках. Болтушка представляет собой круглый железобетонный резервуар диаметром 5—10 и высотой 2,5—3,5 м, футерованный чугунными плитами. Вокруг вертикальной оси в болтушке вращается крестовина с подвешенными в ней на цепях стальными граблями для измельчения кусков глины. Полученный в глиноболтушке шлам с влажностью около 50% выпускается через отверстие с сеткой и перекачивается в трубную мельницу, куда непрерывно подается дробленый известняк.

Шаровая мельница (рис. 39) представляет собой стальной цилиндр длиной до 15, диаметром до 3,2 м, вращающийся на

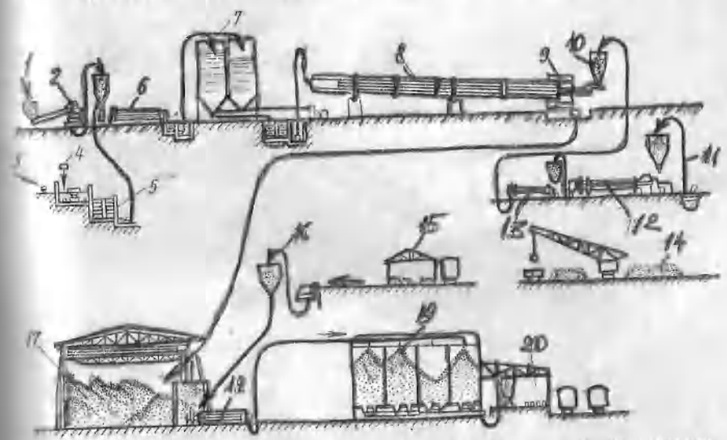


Рис. 38. Технологическая схема производства портландцемента по мокрому способу:

1 — подача известняка из карьера; *2* — дробилка для известняка; *3* — подача глины из карьера; *4* — подача воды; *5* — бассейн для размешивания глины; *6* — сырьевая мельница; *7* — шлам-бассейны; *8* — вращающаяся печь; *9* — холодильник; *10* — подача угольной пыли в печь; *11* — элеватор для подачи угля из дробилки в бункер; *12* — сушильный барабан для угля; *13* — мельница для угля; *14* — склад угля; *15* — склад гипса; *16* — элеватор для подачи гипса из дробилки в бункер; *17* — склад клинкера; *18* — шаровая мельница; *19* — силосы для цемента; *20* — упаковка цемента

полых цапфах, через которые мельницу с одной стороны загружают, а с другой — разгружают. Внутри мельница разделена перегородками с отверстиями на три камеры. В первой и второй камерах имеются стальные или чугунные шары, а в третьей — небольшие цилиндрики. Через полую цапфу шлам поступает в первую камеру трубной мельницы. При вращении мельницы шары под действием центробежной силы и силы трения прижимаются к стенкам, поднимаются на некоторую высоту и падают, разбивая и растирая зерна материала. Трубные мельницы являются непрерывно действующим оборудованием. Тонкоизмельченный материал в виде сметанообразной массы — шлама, подается насосом в шлам-бассейны, представляющие собой железобетонные или стальные резервуары цилиндрической формы. В них окончательно корректируется химический состав шлама

и создается некоторый запас для бесперебойной работы печей. Из бассейнов шлам поступает в баки, а затем равномерно подается во вращающуюся печь для обжига.

Вращающаяся печь (рис. 40) представляет собой длинный цилиндр из листовой стали, облицованный внутри огнеупорным материалом. Длина печей 150—185—230, диаметр 4—5—7 м. Барабан печи установлен с наклоном 3,5—4° и вращается вок-

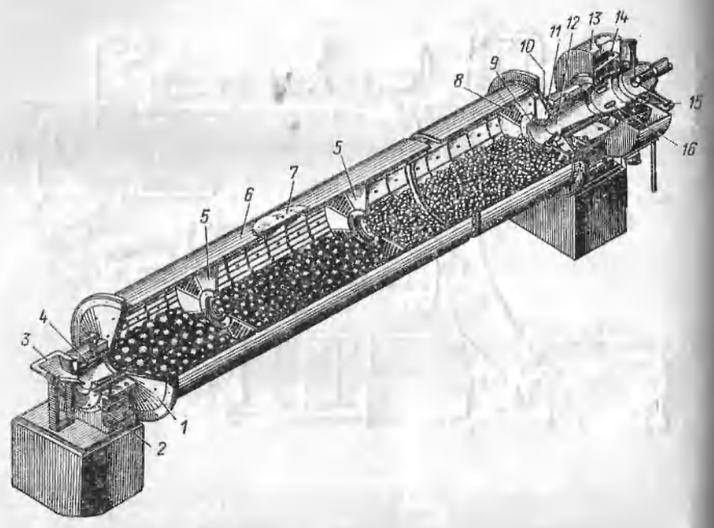


Рис. 39. Шаровая многокамерная мельница:

1 — торцевое днище; *2* — подшипник; *3* — загрузочная воронка; *4* — пустотелая цапфа; *5* — междукамерные перегородки; *6* — корпус; *7* — крышка; *8* — диафрагменная перегородка; *9* — конус; *10* — торцевое днище; *11* — лопасти; *12* — разгрузочный конус; *13* — кожух; *14* — сито; *15* — разгрузочный патрубок; *16* — разгрузочные отверстия

руг своей оси со скоростью 0,5—1,4 об/мин. Шлам загружается с верхней стороны печи и передвигается к нижнему концу.

Топливо в виде газа или пыли каменного угля вдувается вместе с воздухом с противоположного конца печи и сгорает, создавая температуру около 1500° С. Дымовые газы удаляются со стороны поднятого конца печи.

Шлам, перемещаясь вдоль барабана, соприкасается с горячими газами, идущими ему навстречу, постепенно нагреваясь. В результате этого сначала испаряется механически связанная вода; масса высыхает и образуются комья. Затем выгорают органические вещества и начинается дегидратация — удаление химически связанной гидратной воды. При температуре 800—

900° С начинается разложение карбоната кальция по реакции

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$

Образовавшийся углекислый газ удаляется вместе с продуктами горения, а CaO при температуре около 1000° С вступает в химическую реакцию с окислами глины, образуя двухкальциевый силикат, трехкальциевый алюминат и четырехкальциевый алюмоферрит. При температуре 1300° С трехкальциевый алюминат и четырехкальциевый алюмоферрит расплавляются и образуют жидкость, в которой частично растворяется CaO и $2CaO \cdot SiO_2$ до насыщения раствора; в растворенном состоянии они реагируют между собой, образуя трехкальциевый силикат $3CaO \cdot SiO_2$ — важнейший минерал портландцемента.

Образовавшийся таким образом раскаленный клинкер поступает в холодильник, где резко охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом. Клинкер, выходящий из холодильника вращающихся печей с температурой около 100° С и более, поступает на склад для окончательного охлаждения и вылеживания (магазинирования), где он находится до 15 дней. Если известь содержится в клинкере в свободном виде, то в течение вылеживания она гасится влагой воздуха. На высокомеханизированных заводах с четко организованным технологическим процессом качество клинкера оказывается настолько высоким, что отпадает необходимость его вылеживания.

Помол клинкера совместно с добавками производят в трубных многокамерных мельницах.

Готовый портландцемент (с температурой 100° С и более) пневматическим транспортом направляется в силосы для охлаждения. После этого его расфасовывают по 50 кг в многослойные бумажные мешки или загру-

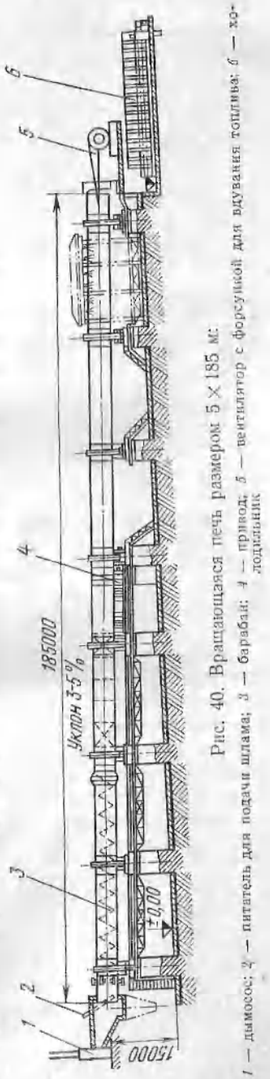


Рис. 40. Вращающаяся печь размером 5 × 185 м:

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

жают в специально оборудованный автомобильный, железнодорожный или водный транспорт.

Сухой способ производства портландцемента применяют в том случае, когда сырьем являются мергели или смеси твердых известняков и глин небольшой влажности.

Производство цемента по сухому способу проще, чем по мокрому: отсутствует процесс образования шлама; можно совместить отдельные звенья технологической схемы в одном агрегате — мельницы самоизмельчения (аэрофол), усреднительные склады, мельницы помола сырьевых материалов с подсушкой и др.

При сухом способе поступающие на завод сырьевые материалы в виде мергеля, известняка и глины подвергают дроблению в дробилках типа С-776 до зерен крупностью 2,5 мм (глинистый материал дробят в агрегатах с одновременной его сушкой). Приготовленный дробленый сырьевой материал ленточными транспортерами подают на склад сырья, где сырьевые компоненты усредняют (с помощью усреднительных машин) до установленного норматива по химическому составу и подают далее в бункера мельниц. Из последних сырьевые компоненты вместе с добавками через весовые дозаторы поступают в приемные устройства помольных агрегатов, где их измельчают до требуемой тонины, подсушивают за счет тепла отходящих газов из вращающихся печей и подвергают сепарации.

Измельченный в мельнице материал выгружают потоком газов через циклоны — разгружатели при помощи мельничного вентилятора. Далее мука поступает в коррекционные силосы, где она гомогенизируется и перегружается в расходные силосы. Из силосов сырьевую смесь подают пневмоподъемниками в загрузочное устройство, оснащенное весовыми дозаторами и далее в циклонные теплообменники вращающейся печи. В теплообменниках сырьевая смесь нагревается встречными горячими газами вращающейся печи до температуры 750—800° С и частично декарбонизуется, после чего поступает в печь на обжиг. Клинкер охлаждается до 60—80° С в колосниковом холодильнике и далее подается на измельчение в сепараторную мельницу.

Цемент транспортируют в силосы, из которых он идет на отгрузку навалом или через упаковочную машину в таре потребителю.

При комбинированном способе сырьевые материалы, подготовленные по мокрому способу, и шлам, имеющий влажность около 40%, обезвоживается на фильтрах до влажности 16—18%. Из полученного «сухаря» приготовляют гранулы и обжигают их по схеме сухого способа.

Твердение портландцемента. При затворении портландцемента водой образуется пластичное клейкое цементное тесто, постепенно густеющее и переходящее в камневидное состояние.

При твердении портландцемента происходит ряд весьма сложных химических и физических явлений. Каждый из минералов при затворении водой реагирует с ней и дает различные новообразования. Все процессы взаимодействия отдельных клинкерных минералов с водой протекают одновременно, налагаются один на другой и влияют друг на друга. Получающиеся новообразования могут в свою очередь взаимодействовать как между собой, так и с исходными клинкерными минералами и давать новые соединения. Все это создает трудности при изучении твердения портландцемента. Типичными реакциями, характерными для твердения портландцемента и других вяжущих веществ, являются реакции гидратации, протекающие с присоединением воды. Они могут идти без распада основного вещества или сопровождаться его распадом (реакции гидролиза).

Процесс твердения портландцемента в основном определяется гидратацией силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция.

Взаимодействие C_3S с водой при комнатной температуре происходит при полной гидратации по схеме:

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O = 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

Поскольку жидкая фаза твердеющей системы быстро и полно насыщается окисью кальция, полагают, что вначале образуется гидросиликат кальция C_2SH_2, который по мере выделения извести в твердую фазу переходит в CSH(B). Этому способствует также переход в раствор щелочей, снижающих в нем концентрацию извести.

Гидратация β-C_2S в тех же условиях идет по приведенной схеме, причем известь выделяется в меньшем количестве.

Взаимодействие C_3A с водой протекает с большой скоростью при температуре затворения 21° С и значительном выделении тепла

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 6H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$$

C_3AH_6 является единственно устойчивым соединением из всех гидроалюминатов кальция.

Трехкальциевый алюминат при взаимодействии с водой в присутствии двуводного гипса, гидратируясь при обычных температурах, образует комплексные соединения, называемые гидросульфоалюминатом кальция. Эта реакция протекает по схеме

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3CaSO_4 \cdot 2H_2O + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$$

Встречающийся в природе минерал такого же состава называется эттрингитом.

Алюмоферритная фаза, представленная в обыкновенных портландцементах четырехкальциевым алюмоферритом (C_4AF) в условиях гидратации портландцемента, т. е. насыщенного известью

раствора, при нормальной температуре взаимодействует с водой стехиометрически по уравнению

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + 2Ca(OH)_2 + 10H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 6H_2O$$

В результате образуются весьма устойчивые смешанные кристаллы $C_3(AF)H_6$.

Кроме описанных химических преобразований, протекающих при твердении цемента, большое значение имеют физические и физико-химические процессы, которые сопровождают химические реакции и приводят в своей совокупности к превращению цемента при затворении водой сначала в пластичное тесто, а затем в прочный затвердевший камень.

Изучению химических и физических преобразований твердеющего цементного теста было посвящено много работ.

Ле-Шателье предложил в 1882 г. так называемую кристаллизационную теорию твердения, согласно которой исходные безводные цементные минералы, обладая более высокой растворимостью в воде по сравнению с продуктами их гидратации, образуют растворы, пересыщенные по отношению к гидратным новообразованиям. Последние выделяются из пересыщенного раствора в виде кристалликов, образующих по мере развития этого процесса кристаллический сросток, обладающий достаточной прочностью.

В. Михаэлис, выдвинувший в 1893 г. коллоидную теорию, не отрицал образования при твердении портландцемента кристаллических продуктов, но считал, что важным для цементов является не прочность, а «гидравличность». Основное значение в формировании прочности, водонепроницаемости и других свойств цементного камня он приписывал возникающим при твердении гидрогелям силикатов, алюминатов и ферритов кальция. По Михаэлису, гидросиликаты не кристаллизуются при затворении цемента, а процесс твердения сводится к образованию студней (гелей) в результате набухания зерен цемента под влиянием воды и последующему затвердеванию и прорастанию этих студней кристаллическими образованиями.

Как уже отмечалось, А. А. Байков в 1923 г. выдвинул теорию твердения вяжущих веществ, в большей мере обобщающую взгляды Ле-Шателье и В. Михаэлиса. Твердение цемента А. А. Байков объяснял совокупностью кристаллизационных и коллоидных процессов. Им было высказано положение о том, что всякое гидратационно твердеющее вещество обязательно проходит стадию коллоидного состояния, даже если оно в конечном результате дает явно кристаллический сросток (например, двуводный гипс). Напомним, что, по А. А. Байкову, твердение портландцемента включает три периода. В первом периоде вяжущее растворяется в воде до образования насыщенного раствора; второй период — период коллоидации или схватыва-

ния характеризуется прямым присоединением воды к твердой фазе вяжущего и возникновением гидратных соединений высокой коллоидной дисперсности без промежуточного растворения исходного материала, одновременно происходит схватывание массы; третий период — период кристаллизации и твердения, когда гелеобразные новообразования перекристаллизовываются и превращаются в кристаллический сросток, что сопровождается твердением системы и нарастанием ее прочности.

Группа ученых под руководством П. А. Ребиндера провели обстоятельные исследования, которые позволили значительно развить и расширить наши представления о твердении вяжущих веществ. Они считали, что при твердении растворяются неустойчивые исходные вещества и выкристаллизовываются термодинамически устойчивые гидратные новообразования из пересыщенных по отношению к ним растворов. Вначале из этих новообразований и непрогидратированных частиц возникает коагуляционная структура, для которой характерна небольшая прочность и тиксотропность, т. е. способность к обратимому восстановлению структуры после ее разрушения. Затем постепенно появляется более прочная кристаллизационная структура в два этапа: формируется каркас структуры, появляются контакты между кристалликами новообразований; возникший каркас обрастает, растут кристаллики, что повышает прочность структуры, но при известных условиях может быть причиной появления нежелательных внутренних напряжений.

Возникновение кристалликов новообразований достаточной величины при минимальных напряжениях обусловливает наибольшую прочность твердеющих систем.

Таким образом, так же как и для строительного гипса, существуют две основные точки зрения на механизм гидратации портландцемента: гидратация идет через раствор, из которого выпадают новообразования, менее растворимые, чем исходные вещества; гидратация происходит в твердой фазе.

С. Д. Окороков рассматривает «коллоидацию» клинкерных зерен, как перегруппировку элементов кристаллической решетки в пространстве, подобную по механизму полиморфным превращениям. Вместе с тем он отмечает, что взаимодействие плотных клинкерных зерен с водой возможно лишь в местах контакта твердой и жидкой фаз, а не во всем объеме вещества.

Ю. С. Малинин с сотрудниками отмечает несколько циклов гидратации C_3S. Минерал алит растворяется в воде конгруэнтно, причем в раствор преимущественно переходит известь, а кремнекислота остается на поверхности зерна в твердой фазе, при этом сохраняется исходная форма минерала. Когда раствор становится насыщенным известью, происходит его взаимодействие с кремнекислотой и образуется гидросиликат кальция. Избыток извести кристаллизуется и выделяется из раствора в твердую фазу.

Наряду с этим ряд исследователей считает, что гидратация может идти и через раствор и топохимически — путем присоединения воды к твердому веществу. В зависимости от состава и свойств вяжущего, а также условий его твердения тот или иной процесс может преобладать.

При гидратации цементных зерен реакции идут сначала на их поверхности, причем образующаяся вокруг зерен гелеобразная оболочка новообразований затрудняет дальнейшее проникновение в них воды. С течением времени и внутренняя часть зерен постепенно гидратируется, что ведет к уменьшению содержания воды в геле, а следовательно, к его уплотнению. По мере распространения реакции гидратации на внутреннюю часть зерен гель все больше уплотняется, а прочность портландцемента возрастает.

В процессе твердения портландцемента основное значение имеет скорость схватывания и скорость твердения. Скорости взаимодействия клинкерных минералов с водой различны. Наиболее быстро взаимодействует с водой C_3A, за ним следует C_4AF, далее C_3S и наиболее медленно гидратируется C_2S. Скорости гидратации клинкерных минералов определяет и скорость их твердения: чем быстрее гидратируется минерал, тем быстрее нарастает его прочность. Таким образом, данные о скорости гидратации клинкерных минералов могут быть использованы для проектирования минералогического состава клинкера портландцемента, к которому предъявляются особые требования в отношении скорости твердения.

Наличие в портландцементе наряду с клинкером гипса и гидравлических добавок существенно меняет ход твердения цементного теста и состав конечного продукта — цементного камня.

Тонкоизмельченный чистый клинкер характеризуется короткими сроками схватывания (3—5 мин), в результате чего в чистом виде он непригоден для практических целей. Главная роль в этом принадлежит трехкальциевому алюминату, который быстро гидратируется, а гидраты его быстро уплотняются и кристаллизуются. Следовательно, при замедлении схватывания цемента задача сводится к тому, чтобы связать гидроалюминаты кальция в другие соединения. Эту задачу успешно выполняет гипс, который энергично реагирует с трехкальциевым гидроалюминатом и образует нерастворимую соль — гидросульфоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$. Количество введенного гипса должно находиться в соответствии с содержанием в клинкере C_3A, но не менее 1,5 и не более 3,5% в пересчете на SO_3. При таком содержании гипса в начальный момент парализуется действие гидроалюминатов кальция и исключается возможность сульфатной коррозии цементного камня, что возможно при высоком содержании гипса. Портландцемент, содержащий гипс в указанных пределах, удовлетворяет требованиям стандарта: начало схватывания его наступает не ранее 45 мин и заканчивается не позднее 12 ч от момента затворения водой.

Роль гидравлических добавок заключается в следующем. По своему составу они представлены главным образом аморфным кремнеземом, активно реагирующим с $Ca(OH)_2$. В результате растворимый гидрат окиси кальция, образующийся при гидратации C_3S, химически связывается в практически нерастворимый гидросиликат кальция $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$. Водостойкость цемента при этом повышается.

Твердение портландцемента сопровождается изменением его объема. Если процесс протекает на воздухе, то за счет испарения влаги возможно уменьшение объема, а при твердении в воде идет обратный процесс — набухание. Особенно опасна усадка, в результате которой в отвердевшем бетоне могут появиться трещины. Для предупреждения усадочных деформаций твердение бетона, особенно в первое время, должно проходить во влажной среде. Если вода испарится, то твердение практически прекращается.

Структура цементного камня. Отвердевший цементный камень представляет собой микроскопически неоднородную систему, состоящую из кристаллических сростков и гелеобразных масс, имеющих частицы коллоидных размеров. Неоднократность структуры цементного камня усиливается и тем, что в нем содержатся зерна цемента, неполностью прореагировавшие с водой.

Существенно влияют на структуру цементного камня гипс и гидравлические добавки, так как в результате их реакции с клинкерными компонентами цементного камня образуются новые продукты. Рационально подбирая минералогический состав клинкера и состав цемента с необходимым содержанием отдельных клинкерных минералов, дающих при твердении цементного камня то кристаллические сростки, то гелевую структурную составляющую, можно воздействовать на структуру и физико-механические свойства цементного камня и бетона.

Различие в физико-механических свойствах кристаллического и коллоидного гелеобразного вещества является одной из причин влияния минералогического состава клинкера на некоторые основные строительные свойства цемента: деформативность, стойкость при переменном замораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании. Путем рационального подбора минералогического состава клинкера можно регулировать свойства портландцемента и получить цемент, по качеству удовлетворяющий конкретным эксплуатационным условиям.

На структуру бетона оказывает значительное влияние пористость цементного камня, связанная с начальным содержанием воды в бетонной смеси. Для получения удобоукладываемой бетонной смеси в нее вводят в 2—3 раза больше воды, чем требуется на реакцию с цементом. Таким образом, бо́льшая часть воды затворения оказывается в свободном состоянии и образует в затвердевшем камне множество мелких пор. Поэтому для получения плотной структуры цементного камня необходимо приме-

нять бетонные смеси с минимальным содержанием воды. В результате повышается прочность и морозостойкость бетона.

Структура цементного камня, а именно наличие в нем пор и гелеобразного вещества, обусловливает склонность его к влажностным деформациям. При увлажнении он разбухает, а при высушивании дает усадку. Знакопеременные сжимающие и растягивающие напряжения, вызываемые изменением влажности окружающей среды, расшатывают структуру цементного камня и понижают прочность бетона. Степень влажностных деформаций зависит от соотношения гелеобразных и кристаллических фаз в цементном камне. С увеличением последней стойкость камня в таких условиях, называемая воздухостойкостью, повышается. В отличие от рассмотренных далее пуццолановых портландцементов обыкновенный портландцемент отличается высокой воздухостойкостью.

Расширение и растрескивание цементного камня могут вызвать также свободные CaO и MgO, присутствующие в цементе при низком качестве обжига. Гашение их сопровождается значительным увеличением в объеме и продукты этого гашения разрывают цементный камень. О таком цементе говорят, что он не отвечает требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема при твердении.

Прочность портландцемента. Согласно ГОСТ 10178—62, прочность портландцемента характеризуют пределами прочности при сжатии и изгибе. Марку цемента устанавливают по пределу прочности при изгибе образцов балочек 40×40×160 мм и при сжатии их половинок, изготовленных из пластического раствора состава 1:3 (по массе) и испытанных через 28 суток, образцы в течение этого времени хранят во влажных условиях при температуре 20° (±3°)С. Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток называется активностью цемента.

Для приготовления образцов применяют чистый кварцевый песок постоянного зернового и химического составов, что позволяет исключить влияние качества песка на прочность цемента и получить сравнимые результаты.

Таблица 29

Марки цемента

Марки цемента	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа	Марки цемента	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа
300	30	4,5	500	50	6,0
400	40	5,5	600	60	6,5

При отнесении портландцемента к той или другой марке предел прочности образцов при сжатии и изгибе в возрасте 28 суток должен быть ниже значений, приведенных в табл. 29.

Прочность портландцемента нарастает неравномерно: на третий день она достигает примерно 40—50% марки цемента, а на седьмой — 60—70%. В последующий период рост прочности цемента еще более замедляется, и на 28-й день цемент набирает марочную прочность.

Однако при благоприятных условиях твердение портландцемента может продолжаться месяцы и даже годы, в 2—3 раза превысив марочную (28-суточную) прочность. Можно считать, что в среднем прирост прочности портландцемента подчиняется логарифмическому закону (рис. 41).



Рис. 41. График прочности цемента

Прочность цементного камня и скорость его твердения зависят от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента, содержания воды, влажности, температуры среды и продолжительности хранения.

Влияние минералогического состава на прочность портландцемента. Процесс нарастания прочности клинкерных минералов портландцемента различен (рис. 42). Наиболее быстро набирает прочность трехкальциевый силикат: за 7 суток твердения он набирает около 70% от 28-суточной прочности, дальнейшее нарастание прочности у C_3S значительно замедляется.

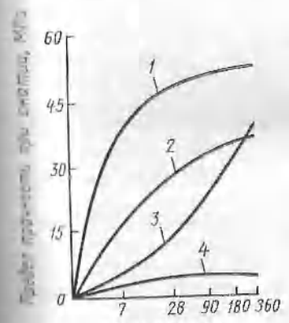


Рис. 42. Нарастание прочности минералов клинкера портландцемента:

1 — C_3S; 2 — C_4AF; 3 — C_2S; 4 — C_3A

Другая картина твердения двухкальциевого силиката. В начальный период твердения (до 28-суточного возраста) C_2S набирает незначительную прочность, составляющую примерно 15% прочности C_3S, но в последующий период твердения двухкальциевый силикат начинает быстро повышать свою прочность и в какой-то период достигает и даже может превысить прочность C_3S. Это явление объясняется тем, что трехкальциевый силикат гидратируется быстрее, чем двухкальциевый. К 28-суточному возрасту гидратация C_3S почти заканчивается, а гидратация C_2S к этому времени начинает интенсивно развиваться. Поэтому при необходимости получить бетон высокой прочности в короткие сроки применяют цемент с большим содержанием трехкальциевого силиката — так называемый алитовый цемент, и наоборот, если требуется высокая прочность

в более позднее время (например, в гидротехнических сооружениях), можно применять белитовый цемент. Трехкальциевый алюминат сам по себе имеет низкую прочность, однако значительно ускоряет твердение цемента в начальный период. Этим свойством C_3A пользуются, получая быстротвердеющий портландцемент. По минералогическому составу он отличается высоким содержанием C_3A и C_3S (около 60—70%, в том числе до 10% C_3A).

Тонкость помола. С увеличением тонкости помола прочность цемента возрастает. Средний размер зерен портландцемента, выпускаемого отечественными заводами, составляет примерно 40 мкм. Толщина гидратации зерен через 6—12 месяцев твердения обычно не превышает 10—15 мкм. Таким образом, при обычном помоле портландцемента 30—40% клинкерной части его не участвует в твердении и формировании структуры камня. С увеличением тонкости помола цемента увеличивается степень гидратации цемента, возрастает содержание клеящих веществ — гидратов минералов, и повышается прочность цементного камня.

Заводские цементы должны иметь тонкость помола, характеризуемую остатком на сите № 008 (размер ячейки в свету 0,08 мм) не более 15%. Обычно она равна 8—12%.

Тонкость помола цемента характеризуется также величиной удельной поверхности ($см^2/г$) — суммарной поверхностью зерен ($см^2$) в 1 г цемента. Удельная поверхность заводских цементов составляет 2500—3000 $см^2/г$. В ряде случаев с целью повышения активности заводского цемента и для получения быстротвердеющего цемента тонкость помола повышают. Условно считают, что прирост удельной поверхности цемента на каждую 1000 $см^2/г$ повышает его активность на 20—25%.

Влияние влажности и температуры среды. Твердение цементного камня и повышение его прочности может продолжаться только при наличии в нем воды, так как твердение в первую очередь есть процесс гидратации.

Для создания влажных условий при твердении цементного камня в практике применяют различные методы: поливают бетон водой, покрывают бетонные конструкции мокрыми опилками, песком, рогожей и периодически их поливают, покрывают битумными эмульсиями и другими материалами, которые образуют паронепроницаемую пленку, предупреждая испарение воды из бетона, а также укрывают полиэтиленовой пленкой.

Большое влияние на рост прочности цементного камня оказывает температура среды. Скорость химических реакций между клинкерными минералами и водой увеличивается с повышением температуры, а также значительно возрастает скорость уплотнения продуктов гидратации цемента. Твердение цементного камня на практике может происходить в широком диапазоне температур: нормальное твердение при температуре 15—20° С, пропаривание — 80—90° С, автоклавная обработка — до 170—200° С, при давлении пара до 0,8—1,2 МПа и твердение при

отрицательной температуре. Наиболее быстрый рост прочности цементного камня происходит при пропаривании под давлением в автоклавах, при этом бетон через 4—6 ч приобретает марочную прочность.

В условиях пропаривания при нормальном давлении твердение бетона происходит примерно в 2 раза медленнее, чем в автоклавах. Бетоны, подвергнутые тепловлажностной обработке при температуре до 100° С, в большинстве случаев приобретают только 70% марочной прочности и лишь иногда достигают марки. Дальнейший рост их прочности, как правило, не наблюдается.

Твердения портландцементного камня при отрицательных температурах не происходит, так как вода превращается в лед. Однако за счет добавки электролитов $CaCl_2$, NaCl или их смеси бетон все же набирает прочность. Добавление к цементу электролитов $CaCl_2$, NaCl в количестве 5% и более от массы цемента повышает концентрацию растворенных веществ в воде и понижает температуру ее замерзания. Кроме того, хлористые соли являются ускорителями твердения цемента. Однако применение этих солей более 2% в железобетонных конструкциях не рекомендуется из-за возможной коррозии арматуры.

Продолжительность хранения. Длительное хранение цемента даже в самых благоприятных условиях влечет за собой некоторую потерю его активности. После трех месяцев хранения потеря активности цемента может достигать 20%, а через год — 40%. Цементы более тонкого помола теряют бóльший процент активности, так как влага воздуха, соприкасаясь с цементом, вызывает преждевременную гидратацию цемента.

Восстанавливать активность лежалого цемента можно вторичным помолом. Наиболее эффективен вибродомол цемента, в процессе которого повышается тонкость помола цемента, а также происходит обдирка гидратных и инертных оболочек с цементных зерен. Наиболее целесообразным методом предотвращения потери активности цемента является гидрофобизация.

Стойкость цементного камня. 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.

Среди компонентов бетона цементный камень наиболее подвержен развитию коррозионных процессов. Следовательно, для того чтобы бетон стойко сопротивлялся агрессивному воздействию внешней среды, цементный камень должен быть коррозионностойким, морозостойким и атмосферостойким.

Коррозия цементного камня в водных условиях по ряду ведущих признаков может быть разделена на три вида:

I вид коррозии — разрушение цементного камня в результате растворения и вымывания некоторых его составных частей. Наиболее растворимой является гидроокись кальция, образующаяся при гидролизе трехкальциевого силиката. Растворимость

$Ca(OH)_2$ невелика (1,3 г CaO на 1 л при 15° С), но из цементного камня в бетоне под воздействием проточных мягких вод количество растворенного и вымытого $Ca(OH)_2$ непрерывно растет, цементный камень становится пористым и теряет прочность. Следует отметить, что $Ca(OH)_2$ хорошо растворяется в водах, которые содержат в незначительном количестве катионы кальция и магния в виде бикарбонатов $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$, придающих воде временную жесткость.

Несколько предохраняет от данного вида коррозии защитная корка из углекислого кальция, образующаяся на поверхности бетона в результате реакции между гидроокисью кальция и углекислотой воздуха

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

Растворимость $CaCO_3$ в воде почти в 100 раз меньше растворимости $Ca(OH)_2$. Однако существенное повышение стойкости цементного камня в пресных водах достигается введением в цемент гидравлических добавок. Они связывают $Ca(OH)_2$ в малорастворимое соединение — гидросиликат кальция

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + (n-1)H_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$$

Следующей мерой защиты бетона от I вида коррозии является применение цемента, выделяющего при своем твердении минимальное количество свободной $Ca(OH)_2$. Таким цементом является белитовый, содержащий небольшое количество трехкальциевого силиката.

II вид коррозии — разрушение цементного камня водой, содержащей соли, способные вступать в обменные реакции с составляющими цементного камня. При этом образуются продукты, которые либо легко растворимы и уносятся фильтрующей через бетон водой, либо выделяются в виде аморфной массы, не обладающей связующими свойствами. В результате таких преобразований увеличивается пористость цементного камня и, следовательно, снижается его прочность.

Наиболее характерны среди упомянутых обменных реакций те, которые протекают под действием хлористых и сернокислых солей. Сернокислый магний, взаимодействуя с $Ca(OH)_2$ цементного камня, образует гипс и гидрат окиси магния — аморфное вещество, не обладающее связностью и легко вымывающееся из бетона

$$Ca(OH)_2 + MgSO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + Mg(OH)_2$$

Между хлористым магнием и $Ca(OH)_2$ протекает следующая реакция:

$$Ca(OH)_2 + MgCl_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2$$

Образовавшийся хлористый кальций хорошо растворяется в воде и уносится фильтрующей водой.

Коррозия цементного камня водами, содержащими свободные углекислоту и ее соли, происходит в такой последователь-

ности. Вначале растворенная углекислота взаимодействует с $Ca(OH)_2$ по реакции

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

и образуется труднорастворимый углекислый кальций, что положительно сказывается на сохранности бетона. Однако при высоком содержании в воде CO_2 углекислота действует разрушающе на цементный камень вследствие образования легкорастворимого бикарбоната кальция

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2$$

Приведенные реакции, схематически характеризующие разрушение цементного камня под действием воды, содержащей растворенные соли, показывают, что основной причиной этого разрушения является содержание в цементном камне (бетоне) свободной гидроокиси кальция $Ca(OH)_2$. Если же ее связать в другое труднорастворимое соединение, сопротивление бетона коррозии II вида должно возрасти. Это и имеет место при использовании активных минеральных добавок.

К III виду коррозии относятся процессы, возникающие под действием сульфатов. В порах цементного камня происходит отложение малорастворимых веществ, содержащихся в воде, или продуктов взаимодействия их с составляющими цементного камня. Их накопление и кристаллизация в порах вызывают значительные растягивающие напряжения в стенках пор и приводят к разрушению цементного камня.

Характерным видом сульфатной коррозии цементного камня является взаимодействие растворенного в воде гипса с трехкальциевым гидроалюминатом. При этом образуется труднорастворимый гидросульфоалюминат кальция, который, кристаллизуясь, поглощает большое количество воды и значительно увеличивается в объеме (примерно в 2,5 раза), что оказывает сильное разрушающее действие на цементный камень. Реакция протекает по следующей схеме:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 + 25H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$$

В результате этой реакции образуются кристаллы в виде длинных тонких игл, напоминающих под микроскопом некоторые бациллы. Имея такое внешнее сходство и разрушающее действие на цементный камень, гидросульфоалюминат кальция получил название «цементная бацилла». Цемент с низким содержанием трехкальциевого алюмината должен обладать повышенной сульфатостойкостью (см. стр. 158).

Исключить или ослабить влияние коррозионных процессов при действии различных вод можно конструктивными мерами, путем улучшения технологии приготовления бетона и применения цементов определенного минералогического состава и необходимого содержания активных минеральных добавок.

Используя конструктивные меры, предотвратить действие воды на бетонную конструкцию возможно путем устройства гидроизоляции, водоотводов и дренажей. Повышение водостойкости бетона технологическими средствами достигается интенсивным уплотнением бетона при укладке или формовании, использованием бетонных смесей с минимальным водоцементным отношением, с тщательно подобранным зерновым составом заполнителей.

Роль активных минеральных добавок (трепела, опоки, диатомита, доменных гранулированных шлаков) в повышении водостойкости портландцемента рассмотрена ранее.

Морозостойкость. Совместное попеременное действие воды и мороза 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. До определенной тонкости помола (5000—6000 см²/г) морозостойкость цемента увеличивается, но при дальнейшем возрастании тонкости помола морозостойкость падает. Это объясняется пористой структурой новообразований цемента сверхтонкого измельчения.

Присутствие в цементе в значительном количестве активных минеральных добавок отрицательно влияет на морозостойкость цементного камня вследствие высокой пористости их и низкой морозостойкости продуктов взаимодействия добавок с компонентами цементного камня. Среди минералов клинкера наименее морозостойким является C_3A, поэтому его содержание в цементе для морозостойких бетонов не должно превышать 5—7%.

Увеличение водоцементного отношения понижает морозостойкость цементного камня вследствие повышения его пористости. Таким образом, для увеличения морозостойкости бетона необходимо применять цементы с низким содержанием C_3A, с минимальным содержанием активных минеральных добавок и использовать бетонные смеси с возможно меньшим водоцементным отношением, тщательно уплотняя смесь при укладке.

Значительно повышают морозостойкость бетона поверхностно-активные добавки (СДБ, мылонафт). Пластифицирующие добавки СДБ существенно снижают водопотребность бетонных смесей при сохранении заданной подвижности и тем самым уменьшают пористость цементного камня. Гидрофобизующие добавки (мылонафт) обладают воздухововлекающей способностью. Пузырьки воздуха в бетонной смеси амортизируют давление льда. Кроме того, гидрофобизующие добавки повышают однородность структуры цементного камня (придают водоотталкивающие свойства) и гидрофобизуют стенки пор и капилляров,

увеличивая тем самым сопротивляемость цементного камня действию воды.

Надо иметь в виду, что замораживание цементного камня в начальный период твердения является наиболее опасным, так как он еще не обладает достаточной прочностью и не может энергично сопротивляться давлению льда.

§ 4. Разновидности портландцемента

Пластифицированный портландцемент отличается от обыкновенного содержания поверхностно-активной пластифицирующей добавки. Последняя повышает подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси и придает затвердевшим бетонам высокую морозостойкость. В качестве пластифицирующих добавок применяют СДБ, которую можно вводить как при помоле цемента, так и непосредственно в бетонную смесь во время ее приготовления.

Молекулы СДБ образуют вокруг цементных зерен водные оболочки, выполняющие роль гидродинамической смазки, уменьшающей трение между зернами, благодаря чему повышается пластичность цементного теста. За счет пластифицирующего действия добавки появляется возможность снижения В/Ц в бетоне на 5—10%.

Введение пластифицирующих добавок не приводит к созданию новых видов цемента, а лишь придает исходному дополнительные свойства (более высокую пластичность). Поэтому пластифицированные цементы могут применяться наряду с обыкновенными, обеспечивая получение более удобоукладываемых бетонных смесей и морозостойких бетонов. Особенно широко они применяются в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве. Пластифицированный портландцемент производят трех марок: 300, 400 и 500.

Гидрофобный портландцемент отличается от обыкновенного содержанием поверхностно-активной гидрофобизующей добавки: мылонафта, асидола, асидол-мылонафта, олеиновой кислоты или окисленного петролатума, нафтеновые кислоты и их соли, синтетические жирные кислоты и их кубовые остатки, кремнийорганические полимеры и др. Эти вещества вводят в количестве 0,06—0,30% от массы цемента в расчете на сухое вещество добавки.

Гидрофобизующие добавки образуют на зернах цемента тонкие (мономолекулярные) пленки, уменьшающие способность цемента смачиваться водой. Такой цемент, находясь во влажных условиях, сохраняет активность и не комкуется. В то же время в процессе перемешивания бетонной смеси адсорбционные пленки сдираются с поверхности цементных зерен и не препятствуют, таким образом, нормальному твердению цемента.

В процессе приготовления бетонов некоторые гидрофобизующие добавки вовлекают в бетонную смесь большое количество

мельчайших пузырьков воздуха до 30—50 л на 1 м³ бетонной смеси (3—5% по объему). Вовлеченный воздух или, если нет добавочного воздухововлечения, то адсорбционные слои, активные в смазочном отношении улучшают подвижность и удобоукладываемость смеси, а наличие в отвердевшем бетоне мельчайших замкнутых пустот способствует повышению морозостойкости бетона. Гидрофобный цемент отличается и более высокими водостойкостью и водонепроницаемостью.

К недостаткам гидрофобного портландцемента следует отнести замедленный рост прочности в первые дни из-за гидрофобных пленок на зернах цемента, замедляющих взаимодействие с водой, но его марочная 28-суточная прочность равна прочности обыкновенного портландцемента. Гидрофобный портландцемент производят двух марок: 300 и 400.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) обладает более интенсивным, чем обычный, нарастанием прочности в начальный период твердения. Это достигается путем более тонкого помола цемента и регулирования его минералогического состава. При помоле быстротвердеющего портландцемента допускается введение активных минеральных добавок в количестве не более 10%, а доменных гранулированных шлаков — не более 15% по массе.

Согласно ГОСТ 10178—62, быстротвердеющий портландцемент должен иметь через 3 суток твердения предел прочности образцов, изготовленных из пластичного цементного раствора состава 1:3, не менее 4 МПа на изгиб и не менее 25 МПа на сжатие, а к 28 суткам прочность на сжатие должна быть не менее 40 МПа. В остальном свойства его не отличаются от свойств обыкновенного портландцемента.

Сульфатостойкий портландцемент применяют для получения бетонов, работающих в минерализованных и пресных водах. Его изготовляют из клинкера нормированного минералогического состава. Содержание в этом цементе C_3S должно быть не более 50%, C_3A — не более 5% и сумма C_3A+C_4AF — не более 22%. Введение инертных и активных минеральных добавок не допускается. Этот цемент, являясь по существу белитовым, обладает несколько замедленным твердением в начальные сроки и низким тепловыделением. Сульфатостойкий портландцемент выпускают марки 400. Остальные требования к нему предъявляются такие же, как и к портландцементу.

Дорожный портландцемент, применяемый для бетонных покрытий автомобильных дорог, должен обладать рядом специфических свойств: высокими прочностью, сопротивлением износу, морозостойкостью и стойкостью при действии ливневых вод. В наибольшей мере удовлетворяет указанным выше требованиям портландцемент с высоким содержанием алита и алюмоферритной фазы, тогда как содержание C_3A в клинкере не должно быть более 10%. При помоле клинкера допускается введение в качестве гидравлической добавки только гранулированного доменного шлака в количестве не более 15%, другие минеральные добавки недопустимы, так как снижают морозостойкость. Для дорожного бетона применяют портландцемент не ниже М400 при испытании в пластичных растворах, для оснований — не менее М300.

Белый портландцемент получают из сырьевых материалов, имеющих минимальное содержание окрашивающих окислов (железа, марганца, хрома). В качестве сырьевых материалов используют «чистые» известняки или мраморы и белые каолиновые глины, а в качестве топлива — газ или мазут, не загрязняющие клинкер золой. Помол цемента производят более тонкий: остаток на сите с сеткой № 008 должен быть не более 10%. Основным свойством белого цемента, определяющим его качества как декоративного материала, является степень белизны, по этому показателю белый цемент разделяют на 3 сорта: БЦ-1, БЦ-2 и БЦ-3. По прочности белый цемент выпускают трех марок: 250, 300 и 400 (испытанных в растворах жесткой консистенции). Начало схватывания белого цемента должно наступать не ранее 30 мин. Транспортировка и хранение белого цемента производятся только в закрытой таре. Вследствие особых требований к сырью и технологическому процессу стоимость белого портландцемента оказывается выше стоимости обычного цемента.

Цветные портландцементы получают путем совместного помола клинкера белого цемента со светло- и щелочестойкими минеральными красителями: охрой, железным суриком, ультрамарином, окисью хрома, сажей. П. И. Боженов предложил для получения цветных цементов в процессе приготовления сырьевой смеси вводить окислы некоторых металлов (0,05—1,0%). Эффективное окрашивание дают окислы хрома (желто-зеленый цвет), марганца (голубой и бархатно-черный), кобальта (кобальтовый). При этом получают цементы клинкеров редких цветов, трудно достигаемых при изготовлении смешиванием с пигментами.

Белые и цветные цементы применяют для отделочных работ, при приготовлении облицовочных плиток, лестничных ступеней, декоративных плит, фактурного слоя панелей, искусственного мрамора и т. д.

§ 5. Цементы с активными минеральными добавками

К этой группе гидравлических вяжущих веществ принадлежат цементы, получаемые совместным помолом портландцементного клинкера и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием указанных компонентов после раздельного измельчения каждого из них. В зависимости от вида основного вяжущего компонента и вида добавки цементы с активными минеральными добавками делятся на пуццолановые

или шлакопортландцементы, известково-пуццолановые, известково-шлаковые вяжущие.

Активными минеральными (гидравлическими) добавками называют природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с известью-пушонкой и затворении водой придают ей гидравлические свойства, а при смешивании с портландцементом повышают его водостойкость. Гидравлические добавки в порошкообразном состоянии, будучи смешаны с водой, самостоятельно не затвердевают. Активные минеральные добавки подразделяются на природные и искусственные (табл. 30).

Таблица 30

Активные минеральные добавки

Природные добавки		Искусственные добавки
вулканического происхождения	осадочного происхождения	
Вулканические пеплы	Диатомиты	Доменные гранулированные шлаки
Вулканические туфы Пемзы	Трепелы Опоки	Белитовый (нефелиновый) шлам, отход глиноземного производства, содержащий в своем составе до 80% минерала белита, частично гидратированного
Трассы — метаморфические разновидности вулканических туфов Витрофиры — породы порфировой структуры, состоящие в основном из темного вулканического стекла	Глиежи (естественно обожженные глинистые породы)	Зола-унос — отход, остающийся при сжигании некоторых видов твердого топлива

Активные минеральные добавки содержат вещество, способное при обычных условиях вступать в химическое взаимодействие с гидратом окиси кальция и давать труднорастворимые продукты реакции. В диатомитах, трепелах и других добавках осадочного происхождения этим веществом является водный кремнезем, а в вулканических и искусственных — преимущественно алюмосликаты.

Минеральная добавка считается активной, если она обеспечивает конец схватывания теста, приготовленного на основе добавки и извести-пушонки, не позднее 7 суток после затворения и обеспечивает водостойкость образца не позднее 3 суток после конца его схватывания. Активность минеральных добавок характеризуется также количеством CaO, поглощенной из раствора на 1 г добавки в течение 30 суток. Отдельные виды минеральных добавок имеют активность не менее показателей: трепелы и диатомиты — 150, трассы — 60, пемзы, туфы, пеплы — 50, глиежи — 30.

Пуццолановый портландцемент — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, необходимого количества гипса (до 3,5%) и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием раздельно измельченных тех же материалов. Добавок вулканического происхождения — обожженной глины, глиежа или топливной золы — вводят не менее 25 и не более 40% от массы цемента, а добавок осадочного происхождения — диатомитов, трепелов — 20—30%. В зависимости от активности гидравлической добавки и минералогического состава клинкера учитывается соотношение между ними. Чем активнее добавка, тем больше она способна связывать гидраты окиси кальция и тем меньше потребуется ее в пуццолановом портландцементе, и наоборот.

Водопотребность * пуццолановых портландцементов с плотными и твердыми добавками (трассы, туфы) почти такая же, как и у портландцемента, а при использовании мягких пористых добавок (диатомитов и трепелов) значительно увеличивается. По этой причине необходимая подвижность бетонной смеси обеспечивается более высокой добавкой воды, что вызывает соответственно увеличение расхода цемента, чтобы не снизить прочность бетона.

Сроки схватывания и тонкость помола пуццоланового цемента такие же, как и для обыкновенного портландцемента, однако пуццолановые портландцементы характеризуются замедленным нарастанием прочности в начальный период твердения по сравнению с портландцементом без добавок, изготовленным из того же клинкера. Пуццолановый портландцемент выпускается следующих марок: 200, 300, 400.

При твердении пуццоланового портландцемента происходят два процесса: первый — гидратация минералов портландцементного клинкера и второй — взаимодействие активной минеральной добавки с гидратом окиси кальция, выделяющимся при твердении клинкера. $Ca(OH)_2$ при этом связывается в нерастворимый в воде гидросиликат кальция по реакции

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + (n-1)H_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$$

В результате пуццолановый портландцемент оказывается более водостойким, чем обыкновенный портландцемент.

При схватывании и твердении пуццоланового цемента выделяется меньше тепла, что позволяет использовать этот цемент для массивных бетонных конструкций. Непригоден пуццолановый портландцемент для изготовления элементов, предназначенных служить в условиях попеременного систематического увлажнения и замораживания или высушивания. Пуццолановые

* Водопотребность цемента характеризуется количеством воды, потребной для получения цементного теста определенной пластичности.

цементы имеют меньшую водопроницаемость, чем портландцемент. Объясняется это набуханием добавки, уплотняющей бетон.

Пуццолановые цементы целесообразно применять для подводных и подземных бетонных и железобетонных конструкций, особенно тогда, когда от бетонов требуется большая водонепроницаемость и высокая водостойкость.

§ 6. Шлаковые цементы

Шлаковые цементы являются разновидностью цементов с активными минеральными добавками, в которых последние представлены доменными гранулированными шлаками. Способность этих шлаков к самостоятельному водному твердению позволяет получать шлаковые цементы по качеству выше, чем пуццолановые цементы (с другими видами активных минеральных добавок).

Доменные шлаки представляют собой вторичный продукт (отход), получаемый при выплавке чугуна из руд. По химическому составу доменные шлаки приближаются к портландцементу. Доменные шлаки состоят в основном из трех окислов — CaO, SiO_2 и Al_2O_3 (90—95%). Для оценки качества шлаков как активной минеральной добавки к вяжущим веществам пользуются двумя модулями — модулем основности M_o и модулем активности M_a

$$M_o = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}; \quad M_a = \frac{\%Al_2O_3}{\%SiO_2}.$$

При $M_o > 1$ шлаки называются основные, а при $M_o < 1$ — кислые.

Гидравлическая активность шлаков возрастает с увеличением значений обоих модулей, при этом чем выше оказывается модуль активности, тем быстрее твердеет шлак в измельченном состоянии. Надо иметь в виду, что шлаки одного и того же химического состава могут быть активными или почти совсем не обладать способностью образовывать гидравлическое вяжущее вещество. Это зависит от структуры шлака, получаемой охлаждением.

При медленном охлаждении шлака значительная часть его успевает выкристаллизоваться в виде различных устойчивых минералов, которые не обладают вяжущими свойствами. При быстром охлаждении шлаков кристаллизация затруднена и шлаки приобретают преимущественно стекловидную (аморфную) структуру. При такой структуре составляющие шлака находятся в неустойчивом неравновесном состоянии и активность их значительно выше, чем у закристаллизованных шлаков. Поэтому для повышения активности шлаков, применяемых для изготовления цементов, все огненно-жидкие шлаки подвергают резкому охлаждению. При этом они гранулируются, т. е. образуют в виде мелких зерен гранулы очень пористой структуры.

Гранулированные доменные шлаки получают на установках мокрой, полусухой и сухой грануляции. При мокром способе грануляции количество стекловидной фазы оказывается наибольшим — 40—95%. Но при мокрой грануляции получается высокая влажность шлака (до 40%), поэтому применение шлака мокрой грануляции в производстве шлаковых цементов нецелесообразно удорожает последние за счет большого расхода топлива на сушку шлака (до 80 кг условного топлива на 1 т сухого гранулята). Качество шлака, полученного при мокрой грануляции, пока выше, чем шлаков, полученных другими способами.

Лучшие технико-экономические показатели имеют шлаки при полусухой грануляции их. Этот метод заключается в первичном охлаждении жидкого шлака водой и окончательном охлаж-

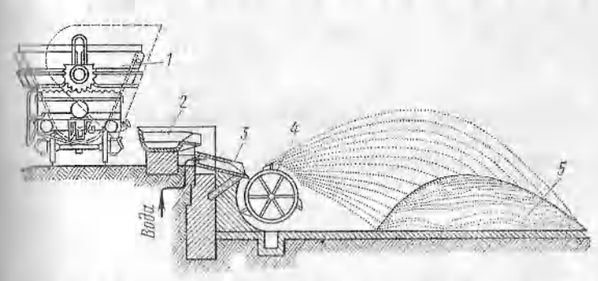


Рис. 43. Установка для полусухой грануляции жидкого шлака:
1 — ковш; *2* — приемная ванна; *3* — грануляционный желоб; *4* — барабан; *5* — приемная площадка

дении его воздухом. Влажность шлака полусухой грануляции составляет 5—10%. Для полусухой грануляции используются барабанные грануляторы, гидроударные установки и грануляционные мельницы. При этом способе грануляции на установке с барабаном (рис. 43) жидкий шлак из шлаковозного ковша выливается в приемную ванну и далее поступает на наклонный грануляционный желоб, в который через специальные сопла подается вода под давлением до 0,6 МПа из расчета 0,7—1,5 м³ 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%.

Шлакопортландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при совместном измельчении портландцементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипса

или путем тщательного смешения раздельно измельченных тех же компонентов. При совместном измельчении клинкера, шлака и гипса качество шлакопортландцемента несколько выше, так как при раздельном измельчении и последующем смешивании исходных материалов не удается получить продукт такой же однородности, как в первом случае.

Содержание доменного гранулированного шлака в шлакопортландцементе должно составлять не менее 30 и не более 60% от массы готового продукта. Допускается часть шлака в количестве не более 15% заменять природными гидравлическими добавками (трепелом, диатомитом и др.).

Наряду со шлакопортландцементом промышленность выпускает также **быстротвердеющий шлакопортландцемент,** отличающийся более интенсивным нарастанием прочности в начальный период (до 7 суток), но марочная 28-суточная прочность его равна марке обыкновенного шлакопортладцемента. Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента применяют клинкер быстротвердеющего цемента и доменные шлаки высокой активности не менее 30 и не более 50% от массы цемента.

Твердение шлакопортландцемента может быть разделено на два процесса: первичный — гидратация и твердение клинкерной части цемента и вторичный — химическое взаимодействие продуктов гидратации клинкерной части с доменными гранулированными шлаками. При гидратации трехкальциевого силиката клинкера происходит выделение гидрата окиси кальция, взаимодействующего с глиноземом и кремнеземом шлака, и образуются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция.

По сравнению с портландцементом шлакопортландцемент характеризуется замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, но марочная и последующая прочности его примерно одинаковы. С понижением температуры прирост прочности шлакопортланцемента сильно снижается. Повышенная температура при достаточной влажности среды оказывает на твердение шлакопортланддцемента более благоприятное влияние, чем на портландцемент.

По пределу прочности при сжатии и изгибе шлакопортландцемент делится на марки: 200, 300, 400 и 500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент должен иметь в трехсуточном возрасте предел прочности на сжатие не менее 20 и на изгиб не менее 3,5 МПа.

Водостойкость бетонов на шлакопортландцементе выше, чем на портландцементе из-за отсутствия свободного гидрата окиси кальция. В шлакопортландцементном бетоне она связана шлаком в труднорастворимые гидроалюминаты и низкоосновные гидросиликаты кальция, тогда как в портландцементном бетоне гидрат окиси кальция в значительном количестве содержится в свободном виде и может вымываться, ослабляя бетон. Шлакопортландцементный бетон обладает удовлетворительной мо-

водостойкостью и воздухостойкостью. Однако он все же менее стоек, чем бетон на портландцементе. Это объясняется тем, что низкоосновные гидросиликаты более склонны к деформациям при изменении влажности среды и менее способны сопротивляться совместному действию воды и мороза.

Применяют шлакопортландцемент для тех же целей, что и портландцемент. Но, учитывая его повышенную водостойкость, наиболее целесообразно использовать его в гидротехнических сооружениях, а также в конструкциях, находящихся в условиях влажной среды. Не следует применять этот цемент в конструкциях, подвергающихся частому замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию. Наряду с указанными видами цементов в качестве местных вяжущих веществ в строительстве применяют известково-шлаковое вяжущее, гипсо-шлаковый, шлаковый бесклинкерный, известково-пуццолановый цементы и др.

§ 7. Гипсоцементнопуццолановое вяжущее

Исследования проф. А. В. Волженского и других в области придания гидравличности гипсовым вяжущим привели к созданию гипсоцементнопуццоланового вяжущего (ГЦПВ). Это вяжущее получают тщательным смешением 50—70% полуводного гипса с 15—25% портландцемента и 10—25% активной минеральной добавки, содержащей кремнезем в активной форме (диатомит, трепел, опока, активные вулканические породы, золы, обожженные при 600—700° С, и т. п.). Получаемые вяжущие вещества относят к гидравлическим.

Если бы активная минеральная добавка не входила в состав ГЦПВ, то при твердении получился бы неустойчивый материал, который через несколько месяцев мог бы разрушиться. Такое поведение твердеющей смеси гипса с цементом объясняется образованием высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция, кристаллизующегося с 31—32 молекулами воды. Однако если в твердеющей композиции, состоящей из гипса и портландцемента, создать условия, при которых концентрация окиси кальция в жидкой фазе резко снизится, то происходит разложение высокоосновных гидроалюминатов кальция на низкоосновные. При этом $Ca(OH)_2$ и SiO_2 дают гидросиликаты CSH(B). В этом случае, по мнению исследователей, должна возникнуть низкосульфатная форма гидросульфоалюмината кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$, гидрогранаты $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O\ (6-2n)H_2O$, гидросиликоалюминат $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSiO_3 \cdot 11H_2O$, гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и их твердые растворы, при которых не возникают опасные напряжения.

Переход эттрингита в односульфатную форму сопровождается уменьшением абсолютного объема твердой фазы исходного вещества и образованием воды в жидком виде, чем обеспечива-

ется снижение опасных напряжений, которые могли возникнуть в начале твердения системы.

По данным проф. Г. И. Книгиной, путем смешения двуводного гипса, доменного шлака и горных пород, богатых содержанием активных кремнезема и глинозема, можно получить ГЦПВ.

ГЦПВ выпускают М100 и 150 с началом схватывания не ранее 4 и концом — не позднее 20 мин; тонкость помола характеризуется остатком на сите № 02 для М100 не более 15%, а для М150—10%. Бетоны на ГЦПВ, полученном на основе гипса и портландцемента М300, можно получать М150—200 при расходе вяжущего 300—450 кг/м³. Бетоны на ГЦПВ с использованием высокопрочного гипса через 2—3 ч достигают прочности 10—15 МПа, а через 7—15 суток нормального твердения — 30—40 МПа.

Бетоны на ГЦПВ через 2—3 ч набирают 30—40% марочной прочности. Ускорить твердение изделий можно пропариванием их при температуре 70—80° С. Морозостойкость изделий на ГЦПВ равна 20—50 циклам замораживания и оттаивания и зависит от состава вяжущих, их вида, удельного расхода, плотности бетона и других факторов.

Гипсоцементнопуццолановые 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. Прокатные панели основания пола изготовляют из бетона на ГЦПВ с объемной массой 1300 кг/м³ и пределом прочности на сжатие не менее 7 МПа. Панели армируют деревянным каркасом. Эти панели относятся к категории «теплых».

§ 8. Глиноземистый цемент

Глиноземистым цементом называют быстротвердеющее (но нормально схватывающееся) гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при тонком измельчении обожженной до плавления (или спекания) сырьевой смеси бокситов и извести с преобладанием в готовом продукте низкоосновных алюминатов кальция.

Глиноземистые цементы выпускают без добавок или с добавками до 2% различных минеральных веществ, которые улучшают некоторые свойства цемента и снижают его стоимость.

Глиноземистый цемент должен удовлетворять требованиям ГОСТ 969—66.

Твердение глиноземистого цемента. В состав клинкера цемента входят низкоосновные алюминаты, при этом главной составной частью является однокальциевый алюминат $CaO \cdot Al_2O_3$. При затворении порошка глиноземистого цемента водой образо-

вание пластичного теста, последующее его уплотнение и твердение протекают аналогично обыкновенному портландцементу. Однокальциевый алюминат при взаимодействии с водой гидратирует, образуя в конечном итоге двухкальциевый восьмиводный гидроалюминат $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$ и гидрат окиси алюминия.

В дальнейшем происходит уплотнение геля двухкальциевого гидроалюмината и кристаллизация продуктов гидратации. Уплотнение и кристаллизация геля глиноземистого цемента протекают очень интенсивно, что обеспечивает быстрое нарастание прочности. Примерно через 5—6 ч прочность глиноземистого цемента может достичь 30% и более от марочной, через сутки твердения — выше 90%, а в 3-суточном возрасте — марочную прочность.

Глиноземистый цемент является быстротвердеющим, но не быстросхватывающимся вяжущим веществом. По ГОСТ 969—66, начало схватывания его должно наступать не ранее 30 мин, а конец — не позднее 12 ч.

Свойства глиноземистого цемента. По величине предела прочности при сжатии глиноземистый цемент делится на три марки — 400, 500 и 600. Марка цемента обозначается по пределу прочности при сжатии образцов, изготовленных в виде кубов размером 7,07×7,07×7,07 см из жесткого раствора состава 1:3 (по массе) и подвергнутых испытанию в возрасте 3 суток после твердения в нормальных условиях.

Наиболее благоприятными для твердения глиноземистого цемента являются влажные условия и нормальная температура (20±5° С). Нарастание прочности цемента в условиях температуры выше 25° С уменьшается. Возможно даже падение достигнутой прочности и разрушение бетона в результате перекристаллизации двухкальциевого гидроалюмината в трехкальциевый. Это называют болезнью глиноземистого цемента. Поэтому пропаривание изделий на глиноземистом цементе не допускается.

При температуре ниже нормальной и близкой к нулю твердение глиноземистого цемента происходит удовлетворительно, что объясняется его высокой экзотермией. В течение 1—3 суток глиноземистый цемент выделяет в 1,5—2 раза больше тепла, чем портландцемент.

Большое тепловыделение ограничивает применение глиноземистого цемента в массивных конструкциях, так как разогрев бетона внутри массива и охлаждение его снаружи вызывают растягивающие напряжения в наружных слоях и образование трещин.

Бетоны на глиноземистом цементе водостойки, воздухостойки и морозостойки, а также стойки в условиях пресных и сульфатных вод, однако разрушаются в щелочных водах. Высокая воздухостойкость глиноземистого цемента объясняется уплотнением и кристаллизацией продуктов гидратации цемента и их незначительной деформативной способностью при изменении влаж-

ности воздуха. Бетоны на глиноземистом цементе обладают значительной плотностью что и определяет их высокую морозостойкость. Повышению плотности способствует гель гидрата окиси алюминия, образующийся при гидратации однокальциевого алюмината, который имеет плотное строение.

Применение глиноземистого цемента существенно ограничивается его стоимостью (он в 3—4 раза дороже портландцемента), хотя по своим физико-механическим свойствам (скорости твердения, стойкости в различных средах) он превосходит все другие вяжущие вещества, в том числе и портландцемент. Применяют глиноземистый цемент в тех случаях, когда наиболее рационально используются его специфические свойства, например при срочных восстановительных работах (ремонт плотин, труб, дорог, мостов, при срочном возведении фундаментов).

Химическая стойкость глиноземистого цемента делает целесообразным его использование для тампонирования нефтяных и газовых скважин, на предприятиях пищевой промышленности, на травильных и красильных предприятиях, для футеровки шахтных колодцев и туннелей.

Глиноземистый цемент по сравнению с другими вяжущими обладает стойкостью против действия высоких температур (1200—1400° С и выше), что позволяет использовать его для изготовления жаростойких бетонов, применяемых в качестве футеровки тепловых аппаратов.

§ 9. Расширяющийся цемент

К этой группе вяжущих относятся цементы, несколько увеличивающиеся в объеме при твердении во влажных условиях или не дающие усадки при твердении на воздухе.

Отечественная промышленность производит два вида расширяющихся цементов: водонепроницаемый и гипсо-глиноземистый.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент представляет собой быстросхватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом или смешением в шаровой мельнице тонко измельченных глиноземистого цемента, гипса и высокоосновного алюмината кальция. Высокоосновный алюминат кальция ($4CaO \cdot Al_2O_3$) получают гидротермической обработкой в течение 5—6 ч при температуре 120—150° С смеси глиноземистого цемента с известью (1:1), затворенной 30% воды. Полученный продукт высушивают и измельчают. Начало схватывания цемента — не ранее 4 мин, а конец — не позднее 10 мин. Схватывание можно замедлить добавкой СДБ, уксусной кислоты и буры. Предел прочности при сжатии образцов из цементного теста должен быть ниже: через 6 ч — 7,5; 3 суток — 30 и 28 суток — 50 МПа. Через одни сутки твердения образцы должны быть полностью водонепроницаемы при давлении в 0,6 МПа.

Линейное расширение через одни сутки твердения цемента должно быть не менее 0,2 и не более 1%.

Применяют водонепроницаемый расширяющий цемент при восстановлении разрушенных бетонных и железобетонных конструкций, для гидроизоляции туннелей, стволов шахт, в подземном и подводном строительствах, при создании водонепроницаемых швов.

Гипсо-глиноземистый расширяющийся цемент является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим, получаемым путем совместного тонкого помола или смешения высокоглиноземистого шлака и природного двуводного гипса (30%). Гипсо-глиноземистый цемент бывает трех марок — 300, 400 и 500 с началом схватывания не ранее 20 мин, а концом — не позднее 4 ч после затворения водой. Образцы из теста гипсо-глиноземистого цемента через 1 сутки должны быть водонепроницаемы при гидростатическом давлении в 1 МПа. Величина линейного расширения цемента через 1 сутки твердения должна быть не менее 0,15%, а через 28 суток — 0,1—0,3%, но и не более 1,0%.

Применяют гипсо-глиноземистый цемент для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых растворов и бетонов, для зачеканки швов, гидроизоляции шахт.

§ 10. Пути повышения экономической эффективности и снижения себестоимости производства цемента

Цементная промышленность СССР в послевоенный период развивалась высокими темпами. В семилетии с 1959—1965 гг. выпуск цемента увеличился более чем в 2 раза, в 1965 г. достиг 72,4 млн. т, а в 1972 г. — 104,3 млн. т (табл. 31). В 1973 г. было изготовлено у нас 109,5 млн. т цемента. СССР занимает, начиная с 1962 г., первое место в мире по выпуску этого важнейшего строительного материала. Прирост производства цемента в истекшем пятилетии был достигнут как за счет ввода новых производственных мощностей, так и улучшения использования действующего оборудования.

Улучшилось качество цемента и расширился его ассортимент. Средняя марка цемента возросла по всем основным его видам, снизилась доля низкомарочных цементов в общем из выпуска и увеличилась доля цементов высоких марок.

Значительно возросло производство быстротвердеющего, а также специальных видов цемента (сульфатостойкого, дорожного, тампонажного и др.).

Производительность труда в цементной промышленности ежегодно растет, а себестоимость снижается. Вместе с тем следует отметить, что имеются дальнейшие резервы повышения эффективности производства и снижения себестоимости продукции (табл. 32).

ности воздуха. Бетоны на глиноземистом цементе обладают значительной плотностью что и определяет их высокую морозостойкость. Повышению плотности способствует гель гидрата окиси алюминия, образующийся при гидратации однокальциевого алюмината, который имеет плотное строение.

Применение глиноземистого цемента существенно ограничивается его стоимостью (он в 3—4 раза дороже портландцемента), хотя по своим физико-механическим свойствам (скорости твердения, стойкости в различных средах) он превосходит все другие вяжущие вещества, в том числе и портландцемент. Применяют глиноземистый цемент в тех случаях, когда наиболее рационально используются его специфические свойства, например при срочных восстановительных работах (ремонт плотин, труб, дорог, мостов, при срочном возведении фундаментов).

Химическая стойкость глиноземистого цемента делает целесообразным его использование для тампонирования нефтяных и газовых скважин, на предприятиях пищевой промышленности, на травильных и красильных предприятиях, для футеровки шахтных колодцев и туннелей.

Глиноземистый цемент по сравнению с другими вяжущими обладает стойкостью против действия высоких температур (1200—1400° С и выше), что позволяет использовать его для изготовления жаростойких бетонов, применяемых в качестве футеровки тепловых аппаратов.

§ 9. Расширяющийся цемент

К этой группе вяжущих относятся цементы, несколько увеличивающиеся в объеме при твердении во влажных условиях или не дающие усадки при твердении на воздухе.

Отечественная промышленность производит два вида расширяющихся цементов: водонепроницаемый и гипсо-глиноземистый.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент представляет собой быстросхватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом или смешением в шаровой мельнице тонко измельченных глиноземистого цемента, гипса и высокоосновного алюмината кальция. Высокоосновный алюминат кальция ($4CaO \cdot Al_2O_3$) получают гидротермической обработкой в течение 5—6 ч при температуре 120—150° С смеси глиноземистого цемента с известью (1:1), затворенной 30% воды. Полученный продукт высушивают и измельчают. Начало схватывания цемента — не ранее 4 мин, а конец — не позднее 10 мин. Схватывание можно замедлить добавкой СДБ, уксусной кислоты и буры. Предел прочности при сжатии образцов из цементного теста должен быть ниже: через 6 ч — 7,5; 3 суток — 30 и 28 суток — 50 МПа. Через один сутки твердения образцы должны быть полностью водонепроницаемы при давлении в 0,6 МПа.

Линейное расширение через одни сутки твердения цемента должно быть не менее 0,2 и не более 1%.

Применяют водонепроницаемый расширяющий цемент при восстановлении разрушенных бетонных и железобетонных конструкций, для гидроизоляции туннелей, стволов шахт, в подземном и подводном строительствах, при создании водонепроницаемых швов.

Гипсо-глиноземистый расширяющийся цемент является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим, получаемым путем совместного тонкого помола или смешения высокоглиноземистого шлака и природного двуводного гипса (30%). Гипсо-глиноземистый цемент бывает трех марок — 300, 400 и 500 с началом схватывания не ранее 20 мин, а концом — не позднее 4 ч после затворения водой. Образцы из теста гипсо-глиноземистого цемента через 1 сутки должны быть водонепроницаемы при гидростатическом давлении в 1 МПа. Величина линейного расширения цемента через 1 сутки твердения должна быть не менее 0,15%, а через 28 суток — 0,1—0,3%, но и не более 1,0%.

Применяют гипсо-глиноземистый цемент для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых растворов и бетонов, для зачеканки швов, гидроизоляции шахт.

§ 10. Пути повышения экономической эффективности и снижения себестоимости производства цемента

Цементная промышленность СССР в послевоенный период развивалась высокими темпами. В семилетии с 1959—1965 гг. выпуск цемента увеличился более чем в 2 раза, в 1965 г. достиг 72,4 млн. т, а в 1972 г. — 104,3 млн. т (табл. 31). В 1973 г. было изготовлено у нас 109,5 млн. т цемента. СССР занимает, начиная с 1962 г., первое место в мире по выпуску этого важнейшего строительного материала. Прирост производства цемента в истекшем пятилетии был достигнут как за счет ввода новых производственных мощностей, так и улучшения использования действующего оборудования.

Улучшилось качество цемента и расширился его ассортимент. Средняя марка цемента возросла по всем основным его видам, снизилась доля низкомарочных цементов в общем из выпуска и увеличилась доля цементов высоких марок.

Значительно возросло производство быстротвердеющего, а также специальных видов цемента (сульфатостойкого, дорожного, тампонажного и др.).

Производительность труда в цементной промышленности ежегодно растет, а себестоимость снижается. Вместе с тем следует отметить, что имеются дальнейшие резервы повышения эффективности производства и снижения себестоимости продукции (табл. 32).

Таблица 31

Технико-экономические показатели работы цементной промышленности СССР

Наименование показателей	1965 г.	1972 г.
Выпуск цемента всего, млн. т	72,4	104,3
В том числе:		
портландцемента	48,7	67,7
шлакопортландцемента	18,2	28,5
пуццоланового цемента	3,9	6,1
Средняя марка цемента	481	391*
Средняя часовая производительность, т:		
вращающихся печей	21,8	27,0
цементных мельниц	22,8	26,9
Удельный расход условного топлива на 1 т цемента, кг	196	181
Производительность труда (средняя выработка на одного работающего), т	861	1183
Полная себестоимость 1 т цемента, в пересчете на М 500, руб.	8,31	11,2**

* Марка цемента определена в пластичном растворе.
** Показатели себестоимости приведены с учетом новых оптовых цен, введенных 1 июля 1967 г.

Таблица 32

Структура полной себестоимости цемента

Наименование затрат	Себестоимость, % к полной себестоимости		
	1958 г.	1965 г.	1972 г.
Сырье и основные материалы	15,3	12,8	14,8
Вспомогательные и прочие материалы	10,0	9,2	10,2
Топливо	27,1	24,7	23,9
Электроэнергия	8,7	14,3	12,2
Заработная плата с начислениями	21,7	16,1	14,8
Амортизация основных средств	9,7	14,1	13,1
Прочие денежные расходы	7,5	8,8	10,5

Из этих данных видно, что в структуре себестоимости цемента повысился удельный вес затрат овеществленного и снизился удельный вес затрат живого труда.

Обращает на себя внимание высокая топливо- и энергоемкость производства цемента и сравнительно высокий уровень затрат на амортизацию основных средств. В силу этого очень большое значение в современном цементном производстве приобретают вопросы рационального использования оборудования и топливоиспользования. На передовых цементных заводах себестоимость портландцемента относительно низка, например на

Себряковском — 8,2 руб./т, Новороссийском — 7,8 руб./т, Белгородском — 8,5 руб./т и т. д. В то же время имеются заводы (Ангренский и др.) с чрезмерно высокой себестоимостью цемента — 23 руб./т и более.

Несмотря на некоторое улучшение в использовании календарного времени печного парка, фактически простои печей на ряде заводов превышают технически необходимое время, это же имеет место и при использовании мельниц.

Цементное производство весьма топливоемко: в 1971 г. для производства цемента израсходовано более 18 млн. т условного топлива (только на технологические цели). На производство клинкера по сухому способу расходуется топлива примерно на 20% меньше, чем по мокрому. По печам длиной более 150 м расход топлива составляет 231—238 кг, т. е. ниже в 1,5 раза, чем по малопроизводительным печам.

Снижение расхода топлива на производство 1 т клинкера объясняется прежде всего внедрением новых высокопроизводительных печей, экономичных в теплотехническом отношении. На сокращении расхода топлива сказались следующие технические мероприятия, одновременно являющиеся путями дальнейшей рационализации использования топлива в цементной промышленности: внедрение рациональных теплообменных устройств и высокостойких огнеупоров; применение разжижителей шлама для снижения его влажности, что обеспечивает снижение расхода топлива на 2,5—3%; интенсификация обжига и внедрение его автоматического регулирования; перевод предприятий на газообразное топливо.

Снижение удельного расхода топлива на обжиг клинкера также зависит от повышения коэффициента использования действующих печей и быстрейшего достижения проектной производительности нового оборудования.

Из общего количества потребляемой цементной промышленностью электроэнергии примерно 40% расходуется на помол цемента, 30% — на обжиг клинкера, поэтому наибольшие резервы снижения энергоемкости заключены в повышении эффективности работы мельниц. Весьма перспективно в этой связи внедрение ударно-центробежных дробилок производительностью до 60 т/ч для предварительного дробления клинкера, внедрение мероприятий по установке аспирационных шахт взамен циклонов и др.

В перспективе предусматривается дальнейшее развитие цементной промышленности. Намечается оснащение мощных вращающихся печей встроенными теплообменными и рациональными цепными завесами, что повысит производительность печей на 8—10%, снизит расход топлива и уменьшит пылевынос с отходящими газами; предусмотрено увеличение использования для футеровок вращающихся печей эффективных огнеупоров. На цементных заводах устанавливаются высокопроизводительные печи размером 7×230 и 5×75 м с циклонными

теплообменниками, а также печи производительностью до 3000 т/суток, предназначенные для работы по мокрому и сухому способам производства, мельницы сухого помола размером 4×13,5 м, работающие по замкнутому циклу, роторные мельницы для переработки мягкого сырья.

Наряду с установкой на расширяемых заводах современного высокопроизводительного оборудования осуществляется модернизация действующих малопроизводительных вращающихся печей, работающих с высокими расходами тепла. Так, реконструкция печей размером (3,3÷3,6)×150 на печи (3,6÷4,0)×150 м по методу Николаевского завода позволяет увеличить производительность печи на 30—35%. Начат постепенный вывод из эксплуатации устаревшего малопроизводительного оборудования и неэкономичных заводов.

Намечается также увеличение в 1,5 раза производство быстротвердеющего и высокопрочного портландцемента, освоение выпуска белого и цветных цементов с широкой цветной гаммой. Производство их по сравнению с 1970 г. возрастет в 2,5 раза, расширится выпуск сульфатостойкого, дорожного и других специальных видов цемента. Будет увеличено производство и улучшено качество шлакопортландцемента. Значительно возрастет объем производства цемента на наиболее крупных заводах с печами 5×185 м.

Строительство новых предприятий позволит значительно повысить эффективность работы цементной промышленности.

Дальнейшее улучшение показателей экономической эффективности в цементной промышленности обеспечивается применением наиболее эффективных технологических способов и совершенного оборудования, широким внедрением катализаторов и интенсификаторов процессов обжига клинкера, помола цемента и коренными усовершенствованиями процессов пылеулавливания.

В ближайшей перспективе будет продолжено изыскание и разработка более эффективных технологических схем добычи, переработки, транспортировки и подготовки сырьевой смеси; более эффективных способов получения цементного клинкера при скоростном обжиге сырьевой смеси в реакторах различной конструкции во взвешенном состоянии и в «кипящем слое»; усовершенствована технология обжига клинкера в высокопроизводительных вращающихся печах, работающих по мокрому и сухому способам производства, с разработкой новых высокоэффективных теплообменных устройств для регенерации тепла в зонах подготовки материала и клинкерных холодильников. Будут разработаны новые и усовершенствованы существующие способы измельчения сырья и цементного клинкера с целью создания высокоэффективных схем помольных агрегатов и малогабаритных классификаторов для мокрого и сухого способов помола цемента.

ГЛАВА VI

БЕТОНЫ

§ 1. Основные сведения о бетоне

Бетон — это искусственный камень, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды и заполнителей (песка и щебня или гравия). Смесь этих материалов до затвердевания называют бетонной смесью.

Зерна песка и щебня составляют каменный остов в бетоне. Цементное тесто, образующееся после затворения бетонной смеси водой, обволакивает зерна песка и щебня, заполняет промежутки между ними и играет роль смазки заполнителей, придающей бетонной смеси подвижность (текучесть). Цементное тесто, затвердевая, связывает зерна заполнителей, образуя искусственный камень — бетон.

Бетон в сочетании со стальной арматурой называют железобетоном.

Получение смеси и бетона хорошего качества возможно только при глубоком знании их технологии; умелом подборе составляющих материалов надлежащего качества и в оптимальных соотношениях; режимах приготовления бетонной смеси, методах ее укладки, уплотнения и условиях твердения, обеспечивающих получение бетонных конструкций высокой прочности, долговечности и низкой стоимости.

Бетон является одним из важнейших строительных материалов во всех областях современного строительства. Это объясняется изменением свойств бетона в широком диапазоне путем использования компонентов соответствующего качества и применения специальных методов механической и физико-химической обработки, возможностью изготовления самых разнообразных по форме и размерам долговечных строительных конструкций, возможностью полной механизации бетонных работ, экономичностью бетона, т. к. до 80—90% объема его составляют заполнители из местных каменных материалов.

§ 2. Классификация бетонов

Бетоны классифицируют по следующим ведущим признакам: объемной массе, прочности, долговечности, виду вяжущего вещества, назначению.

Основной считается классификация бетона по **объемной массе**, в результате чего бетон делят на особо тяжелый с объемной массой более 2500 кг/м³, тяжелый — 1800—2500 кг/м³, легкий — 500—1800 кг/м³, особо легкий (теплоизоляционный) — менее 500 кг/м³.

В зависимости от наибольшей крупности применяемого заполнителя бетоны бывают на мелкозернистом заполнителе (до 10 мм) и крупнозернистом (10—150 мм).

Важнейшими показателями качества бетона являются его **прочность и долговечность.** По показателям прочности при сжатии бетоны имеют следующие марки: тяжелые бетоны — М100—600, легкие — М 25—300 и особо тяжелые М 100—200. Долговечность бетона оценивают степенью морозостойкости. По этому показателю бетоны делят на марки по морозостойкости: для тяжелых бетонов Мрз — 50—300 и легких бетонов — Мрз 10—200.

По **виду вяжущего** вещества бетоны бывают: цементные, изготовленные на гидравлических вяжущих веществах — портландцементах и его разновидностях; силикатные — на известковых вяжущих в сочетании с силикатными или алюминатными компонентами; гипсовые — с применением гипсоангидритовых вяжущих; бетоны на органических вяжущих материалах.

В настоящей главе рассмотрены бетоны на минеральных вяжущих веществах. Тяжелые бетоны изготовляют на цементе и обычных плотных заполнителях, а легкие — на цементе с применением естественных или искусственных пористых заполнителей. Разновидностью легкого бетона является ячеистый бетон, представляющий собой отвердевшую смесь вяжущего вещества, воды и тонкодисперсного кремнеземистого компонента. Он отличается высокой пористостью до 80—90% с равномерно распределенными порами размером до 3 мм. Силикатные бетоны получают из смеси извести и кварцевого песка с последующим твердением сформованных изделий в автоклаве при давлении 0,8—1,2 МПа и температуре 170—200° С.

По назначению бетон бывает следующих видов: обычный — для бетонных и железобетонных несущих конструкций зданий и сооружений (колонны, балки, плиты); гидротехнический — для плотин, шлюзов, облицовки каналов и др.; для стен зданий и легких перекрытий; для полов и дорожных покрытий и оснований; специальный — кислотоупорный, жароупорный, особо тяжелый для биологической защиты; особо тяжелый на цементе с применением специальных видов заполнителей с высокой плотностью.

§ 3. Материалы для тяжелого бетона

Тяжелый бетон, применяемый для изготовления фундаментов, колонн, балок, пролетных строений мостов и других несущих элементов и конструкций промышленных и жилых зданий и инженерных сооружений, должен приобретать определенную

прочность в заданный срок твердения, а бетонная смесь должна быть удобной в укладке и экономичной. При использовании в незащищенных от внешней среды конструкциях бетон должен иметь повышенную плотность, морозостойкость и коррозиестойкость. В зависимости от назначения и условий эксплуатации бетона в сооружении предъявляются соответствующие требования к составляющим его материалам.

Материалы для бетона предопределяют его состав и свойства, оказывают влияние на технологию производства изделий, их долговечность и экономичность.

Цемент. Для приготовления тяжелых бетонов применяют портландцемент, пластифицированный портландцемент, портландцемент с гидравлическими добавками, шлакопортландцемент и др.

Цемент выбирают с учетом требований, предъявляемых к бетону (прочности, морозостойкости, химической стойкости, водонепроницаемости и др.). Выбор цемента необходимо производить, наряду с соответствием его свойств требованиям ГОСТа, с учетом технологии изготовления изделий, их назначения и условий эксплуатации.

Марку цемента рекомендуется выбирать в зависимости от проектируемой марки бетона на сжатие:

Марка бетона	100	150	200	250	300	400	500	600
Марка цемента в растворе	300	300	400	400—500	500	500—600	600	600

Требования, предъявляемые к этим цементам, изложены в гл. V.

Вода для затворения и поливки бетона применяется питьевая, а также любая вода, не содержащая вредных примесей, кислот, сульфатов, жиров, растительных масел, сахара), препятствующих нормальному твердению бетона. Нельзя применять воды болотные и сточные, а также воды, загрязненные вредными примесями, имеющие водородный показатель pH менее 4 и содержащие сульфаты в расчете на ионы SO_4 более 2700 мг/л и всех солей — более 5000 мг/л. Морскую и другие воды, содержащие минеральные соли, можно применять, если общее количество солей в ней не превышает 2%. Пригодность воды для бетона устанавливают химическим анализом и сравнительными испытаниями прочности бетонных образцов, изготовленных на данной воде и на чистой питьевой воде и испытанных в возрасте 28 дней при хранении в нормальных условиях. Воду считают пригодной, если приготовленные на ней образцы имеют прочность не меньше, чем у образцов на чистой питьевой воде.

Добавки к бетонам и растворам. Для улучшения свойств бетонов и растворов, а также по технико-экономическим соображениям применяют различные добавки. По виду и назначению добавки можно разделить на следующие группы: ускорители

твердения; поверхностно-активные; пено- и газообразователи; комбинированные, специальные.

К *ускорителям твердения* цемента, увеличивающим нарастание прочности бетона, особенно в ранние сроки, относятся: хлористый кальций $CaCl_2$, хлористый натрий NaCl, соляная кислота HCl, сернокислый глинозем $Al_2(SO_4)_3$, хлорное железо $FeCl_3$, поташ K_2CO_3, нитрат кальция $Ca(NO_3)_2$. Применение хлористого кальция позволяет уменьшить количество воды и расход цемента за счет повышения подвижности бетонной смеси. Влияние хлористого кальция на повышение прочности бетона объясняется его каталитическим воздействием на гидратацию C_3S и C_2S, а также реакцией с C_3A и C_4AF. Ускорители твердения не рекомендуется применять в железобетонных конструкциях и предварительно-напряженных изделиях с диаметром арматуры менее 5 мм и для изделий автоклавного твердения, эксплуатирующихся в среде с влажностью более 60%.

Поверхностно-активные добавки представляют собой особую группу органических веществ, введение которых в бетонные (растворные) смеси позволяет существенно улучшить их удобоукладываемость. Вместе с тем поверхностно-активные добавки позволяют уменьшить водоцементное отношение и соответственно сократить расход цемента без снижения прочности материалов и изделий.

Использование поверхностно-активных добавок в малых дозах (0,05—0,2% от массы цемента) позволяет на 7—10% уменьшать удельный расход цемента в бетонах и растворах. Так, на некоторых предприятиях удалось сэкономить до 30 т цемента на 1000 м³ бетона и экономия в денежном выражении составила примерно 400 руб. на 1000 м³ бетона. Вместе с тем поверхностно-активные добавки повышают водонепроницаемость, морозостойкость, коррозиеустойчивость и вообще долговечность материалов в конструкциях. Этим самым применение поверхностно-активных добавок способствует повышению эффективности капиталовложений в строительство. По указанным причинам поверхностно-активные добавки в цементно-бетонной технологии приобретают все большее и большее значение как у нас, так и за рубежом.

Действие поверхностно-активных добавок на цементные системы основано на следующих положениях физической химии. Поверхностно-активные вещества способны повышать поверхностное натяжение у данной поверхности раздела фаз, например на границах раздела фаз вода — твердое тело, вода — воздух. Мельчайшие частицы поверхностно-активных веществ адсорбируются, т. е. прочно связываются с внутренней поверхностью раздела тел, обычно образуя на этих поверхностях молекулярные слои толщиной в одну молекулу. Величина этого адсорбционного слоя относится к диаметру цементной частицы так же, как толщина спички к высоте 30-этажного здания. Однако применение в малых дозах добавок поверхностно-актив-

ных веществ к цементным системам существенно меняет свойства их.

Поверхностно-активные добавки, используемые в цементах, растворах и бетонах, по определяющему эффекту действия на цементные системы можно условно разделить на три группы: гидрофилизующие, гидрофобизующие и воздухововлекающие.

Гидрофилизующие добавки при затворении вяжущего водой предотвращают на определенный срок слипание отдельных цементных частиц между собой. В этом случае несколько замедляется коагуляция новообразований, а вместе с тем высвобождается некоторое количество воды, которое обычно как бы застревает в коагуляционных структурах. По этой причине требуемая удобоукладываемость смеси с добавкой достигается при меньшем количестве воды затворения, чем у смеси без добавки. Наибольшее распространение получили гидрофилизующие добавки на основе лигносульфонатов: сульфитно-спиртовая барда (ССБ) и сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ).

Гидрофобизующие добавки, как правило, существенно повышают нерасслаиваемость, связность бетонной (растворной) смеси, находящейся в покое. При действии внешних механических факторов (при перемешивании, вибрировании, укладке и т. п.) бетонная или растворная смесь с добавкой отличается повышенной пластичностью. Такое свойство гидрофобизующих смесей объясняется специфическим смазочным действием тончайших слоев поверхностно-активных веществ, распределенных в смеси. Кроме того, эти добавки предохраняют цементы от быстрой потери активности при перевозке или хранении. В качестве гидрофобизующих добавок раньше применялись в основном природные продукты — некоторые животные жиры, олеиновая и стеариновая кислоты. Развитие химической промышленности дало возможность широко использовать новые гидрофобизующие добавки — битумные дисперсии (эмульсии и эмульсосуспензии), нафтеновые кислоты и их соли, окисленные петродатумы, синтетические жирные кислоты и их кубовые остатки, кремнийорганические полимеры и др.

Воздухововлекающие добавки позволяют получать бетонные (растворные) смеси с некоторым дополнительным количеством воздуха. Чтобы повысить пластичность смеси, обычно увеличивают объем вяжущего теста. Вовлекая воздух, мы увеличиваем объем вяжущего теста без введения лишнего цемента. Поэтому удобоукладываемость такой системы повышается. К тому же воздухововлекающие добавки образуют и ориентированные слои, активные в смазочном отношении. Широко применяют воздухововлекающие добавки на основе смоляных кислот: смолу нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ), омыленный древесный пек (ЦНИПС-1) и др.

Пено- и газообразователи применяют для изготовления ячеистых бетонов. К пенообразователям относятся клееканифольные, смолосапониновые, алюмосульфонафтеновые добавки, а

также пенообразователь ГК. В качестве газообразователей применяют алюминиевую пудру ПАК-3 и ПАК-4.

Комбинированные добавки, например, пластификатор СДБ, ускоритель твердения (хлористый кальций) с ингибитором (нитритом натрия) способствуют экономии цемента. При этом ускоритель твердения нейтрализует некоторое замедление твердения смеси в раннем возрасте.

Специальные добавки обеспечивают получение водонепроницаемых растворов или бетонов, регулируют сроки схватывания и др.

Песок — рыхлая смесь зерен крупностью от 0,14 до 5 мм, образовавшаяся в результате естественного разрушения массивных горных пород (природные пески). Кроме природных песков, применяют искусственные, получаемые при дроблении или грануляции металлургических и топливных шлаков или специально приготовленные материалы — керамзит, аглопорит и др.

Для тяжелого бетона преимущественно используют природные пески, которые по минералогическому составу подразделяются на кварцевые, полевошпатовые, известняковые, доломитовые. Из природных песков наибольшее применение для тяжелого бетона получили кварцевые пески.

Дробленый песок из невыветренных изверженных, метаморфических или плотных карбонатных осадочных пород пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии не менее 40 МПа должен иметь форму зерен, близкую к кубической.

На качество бетона большое влияние оказывает зерновой (гранулометрический) состав песка и количественное содержание в песке различных примесей: пылевидных, илистых, глинистых и органических (ГОСТ 10268—70). Содержание этих примесей устанавливают отмучиванием. Количество их не должно превышать 3% в природном песке и 5% в дробленом. Наиболее вредной в песке является примесь глины, которая обволакивает отдельные зерна песка и препятствует сцеплению их с цементным камнем, понижая прочность бетона. Глинистые и пылевидные примеси в песке повышают водопотребность бетонных смесей и приводят к понижению прочности и морозостойкости бетона. Очищать песок от глинистых и пылевидных частиц можно, промывая его водой в специальных машинах — пескомойках. В природных песках могут содержаться также в большом количестве органические примеси (гуминовые кислоты, остатки растений, перегной), которые вступают в реакцию с твердеющим цементом и понижают этим прочность бетона. Содержание органических примесей устанавливают колориметрическим методом — обработкой пробы песка 3%-ным раствором едкого натра. Если после обработки песка цвет раствора не оказывается темнее эталона (цвета крепкого чая), то песок признается доброкачественным.

Испытуемый песок можно также считать пригодным, если прочность образцов раствора из него оказывается не меньше прочности образцов с тем же песком, но промытым сначала известковым молоком, а затем водой.

Зерновой (гранулометрический) состав песка имеет особое значение для получения качественного бетона. Песок для бетона должен состоять из зерен различной величины (0,14—5 мм), чтобы объем пустот в нем был минимальным; чем меньше объем пустот в песке, тем меньше требуется цемента для получения плотного бетона. Зерновой состав песка определяют просеиванием сухого песка через стандартный набор сит с размерами отверстий сверху вниз: 10; 5, 2,5; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают сквозь сита с круглыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Остатки на этих ситах взвешивают и вычисляют с точностью до 0,1%.

Из пробы песка, прошедшего сквозь указанные выше сита, отвешивают 1000 г (G) песка и просеивают ее последовательно сквозь набор сит с отверстиями размером 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм. Остатки на каждом сите взвешивают (G_i) и вычисляют:

частный остаток на каждом сите — как отношение массы остатка на данном сите к массе просеиваемой навески (a_i); частные остатки вычисляют с точностью до 0,1% по формуле

$$a_i = \frac{G_i}{G} 100\%;$$

полный остаток (A_i) на каждом сите — как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите; полные остатки вычисляют с точностью до 0,1% по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \ldots + a_i\%,$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$ — частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита размером отверстий 2,5 мм, %; a_i — частный остаток на данном сите, %; модуль крупности песка $M_к$ (без фракций гравия с размером зерен крупнее 5 мм) — как частное от деления на 100 суммы полных остатков на всех ситах, начиная с сита с размером отверстий 2,5 мм и кончая ситом с размером отверстий 0,14 мм; модуль крупности песка вычисляют с точностью до 0,1по формуле

$$M_к = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100},$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,14}$ — полные остатки на ситах, %.

По величине модуля крупности пески делят на крупный с $M_к$ более 2,5, средний $M_к = 2,5 - 2,0$, мелкий $M_к = 2,0 - 1,5$ и очень мелкий $M_к = 1,5 - 1,0$; полные остатки на сите № 063 (% по массе) соответственно равны: более 50, 30—50, 10—30 и меньше 10.

Зерновой состав песка в бетоне должен соответствовать кривой просеивания, выбираемой при проектировании состава бетона в пределах, указанных на рис. 44.

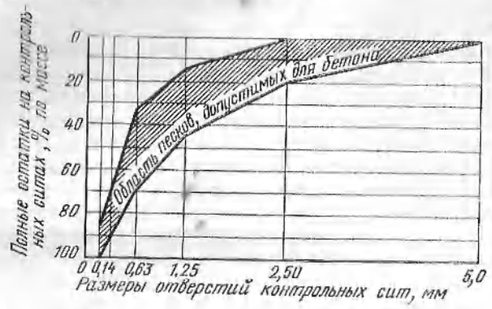


Рис. 44. График зернового состава песка

Для обеспечения качественного зернового состава песка и его постоянства в составе бетонной смеси применяют фракционированный песок, составленный из двух фракций: крупной и мелкой, раздельно дозируемых при приготовлении бетонной смеси. Разделение исходного песка на две фракции производят по граничному зерну, соответствующему размеру отверстий контрольных сит 1,25 или 0,63 мм.

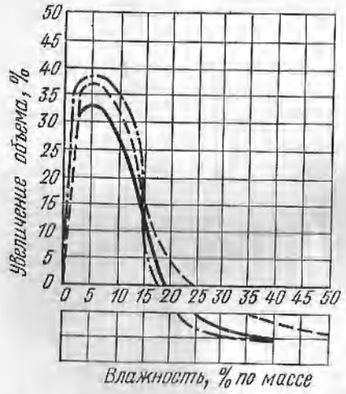


Рис. 45. Изменение объема песка в зависимости от влажности

В песке, предназначенном для бетонов, не допускаются зерна гравия или щебня размером более 10 мм; наличие зерен размером 5—10 мм допускается в количестве не более 5% по массе.

Насыпная масса кварцевого песка зависит от степени уплотнения, влажности и пустотности. Сухой и рыхло насыпанный кварцевый песок имеет насыпную массу 1500—1600 кг/м³.

На рис. 45 приведены кривые изменения объема разных песков в зависимости от их влажности. Наименьшая насыпная масса кварцевых песков соответствует влажности 5—7%. При дозировке песка для изготовления бетона или приемке песка необходимо учитывать содержание в нем воды.

В качестве *крупного заполнителя* для тяжелого бетона применяют гравий или щебень из горных пород, реже шлаковый и кирпичный щебень.

Гравий (ГОСТ 8268—62) — зерна окатанной формы и гладкой поверхности размером 5—70 (150) мм, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород. Для бетона наиболее пригодна малоокатанная (щебневидная) форма зерен, хуже яйцевидная (окатанная), еще хуже пластинчатая и игловатая, понижающие прочность бетона. Содержание пластинчатых и игловатых зерен в составе гравия не допускается более 15% по массе, а зерен слабых (пористых) пород — не более 10% по массе.

По крупности зерен гравий делят на следующие фракции: 5—10; 10—20; 20—40 и 40—70 мм.

Часто гравий залегает вместе с песком. При содержании в гравии песка 25—40% материал называют песчано-гравийной смесью.

Гравий, подобно песку, может содержать вредные примеси соли, ила, глины, органических кислот. Количество в гравии глинистых, илистых и пылевидных примесей, определяемых отмучиванием, не должно превышать 1% по массе. Содержание органических примесей устанавливают колориметрическим методом. Гравий при обработке его раствором едкого натра не должен придавать раствору окраску темнее цвета эталона.

Предварительную оценку прочности гравия производят испытанием на дробимость в цилиндре. Последняя определяется путем раздавливания пробы гравия в цилиндре статической нагрузкой. После этого пробу просеивают через сито с размером отверстия, соответствующим наименьшему размеру зерна в исходной пробе гравия, и устанавливают величину потери в массе. В зависимости от этой величины гравий (щебень) делят на марки: Др8 (при потере в массе 8%), Др 12 (при 9—12%), Др16 (при 13—16%).

Для предварительной оценки пригодности гравия и щебня из гравия по их прочности (дробимости в цилиндре для бетона различных марок) пользуются данными табл. 33.

Таблица 33

Зависимость марки бетона от марки крупного заполнителя

Марка бетона	Марка гравия и щебня из гравия по дробимости в цилиндре по ГОСТ 8268—62 и ГОСТ 10260—62
300 и выше	Др 8
200	Др 12
Ниже 200	Др 16

Окончательную пригодность гравия для бетона требуемой марки устанавливают по результатам испытания бетона на этом гравии.

При строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений прочность зерен гравия должна быть более чем в 1,5 раза выше прочности бетона ниже М 300 и не менее чем в 2 раза выше прочности бетона М 300 и выше. Для бетона М 400 и выше допускается использовать гравий только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Гравий для бетона должен характеризоваться также петрографическим составом, с указанием количества в нем зерен слабых пород, а также механической прочности на истирание и удар. Истираемость гравия определяют в полочном барабане. При этом необходимо знать сопротивляемость каменного материала скалыванию кромок, удару и истиранию при падении и изнашивании, при трении зерен гравия друг о друга или при ударе падающих с полки шаров. Показателем истираемости считают потерю гравия в массе от первоначальной массы (%). По истираемости гравий делят на четыре марки: 20, 30, 45 и 55. Потеря в массе при истирании соответственно равна 20, 21—30, 30—45 и 45—55%. В зависимости от сопротивления удару при испытании на копре «ПМ» гравий подразделяют на три марки: У 75, 50 и 40.

Гравий, предназначенный для бетонных конструкций, подвергающихся действию воды и низких температур, должен обладать определенной степенью морозостойкости. По степени морозостойкости гравий делят на марки: Мрз 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300. Морозостойкость гравия определяют непосредственным замораживанием или испытанием в растворе сернокислого натрия. Гравий считается морозостойким, если в насыщенном водой состоянии он выдерживает без разрушения многократные (15 и более циклов) попеременные замораживание при температуре —17° С и оттаивание. При этом потеря в массе после испытания составляет не более 10%.

Морозостойкость гравия можно определить не только непосредственным замораживанием и оттаиванием, но и ускоренным испытанием с применением раствора сернокислого натрия. Сущность этого метода заключается в том, что вместо замораживания образцы погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия и затем высушивают при температуре 105—110° С. Кристаллы сульфата натрия, при этом образующиеся в порах материала, давят на стенки пор сильнее, чем частицы льда. При испытании сернокислым натрием число циклов меньше, чем при замораживании: один цикл в растворе сернокислого натрия приравнивается 5—20 циклам испытания замораживанием в зависимости от степени морозостойкости гравия. В случае получения неудовлетворительных результатов при испытании сернокислым натрием производят испытание непосредственным замораживанием; результаты этого испытания являются окончательными.

Зерновой состав. Наиболее экономично для приготовления бетона применять крупный гравий, так как благодаря меньшей

его суммарной поверхности требуется меньше цемента для получения прочного бетона. Допустимая крупность зерен гравия зависит от размеров бетонируемой конструкции. Для хорошей укладки бетонной смеси гравий должен применяться не крупнее $^1/_4$ части минимального размера сечения конструкции и не больше наименьшего расстояния между стержнями арматуры. В плитах, где бетонная смесь укладывается легче, допускается применять наибольшую крупность зерен, равную $^1/_2$ толщины плиты. Для бетонирования массивных гидротехнических сооружений применяют гравий крупностью зерен более 70 мм.

Хорошим зерновым составом гравия считается тот, в котором имеются зерна разной величины, при этом пустотность гравия оказывается наименьшей. Зерновой состав гравия определяется просеиванием сухой пробы его в количестве 10 кг через стандартный набор сит с размерами отверстий 70, 40, 20, 10 и 5 мм. Зерновой (гранулометрический) состав каждой фракции или смеси нескольких фракций гравия должен находиться в пределах, указанных на графике рис. 46. За наибольшую крупность зерен гравия $Д_{наиб}$ принимается размер отверстий сита, на котором полный остаток не превышает 5% навески и наименьшую крупность гравия $Д_{наим}$, соответствующих размеру отверстия первого из верхних сит, через которое проходит не более 5% просеиваемой пробы.

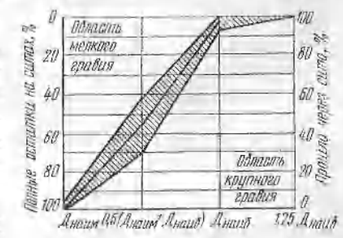


Рис. 46. График зернового состава гравия (щебня)

Щебень (ГОСТ 10260—62 и 10268—70) получают путем дробления массивных горных пород, гравия, валунов или искусственных камней на куски размером 5—70 мм. Для приготовления бетона обычно используют щебень, полученный дроблением плотных горных пород, гравия и доменных и мартеновских шлаков.

Дробление горных пород или гравия производят на камнедробилках. При этом получают не только зерна щебня, но также более мелкие фракции, относящиеся по крупности к песку и пыли. При дроблении камня получаются зерна щебня неправильной формы. Лучшей считается форма, приближающаяся к кубу и тетраэдру. Вследствие шероховатой поверхности зерна щебня лучше сцепляются с цементным камнем в бетоне, чем гравий, но бетонная смесь со щебнем менее подвижна.

По дробимости, морозостойкости, зерновому составу, истираемости и сопротивлению удару к щебню предъявляют такие же требования, как и к гравию.

Марку щебня определяют пределом прочности горной породы при сжатии в водонасыщенном состоянии. Щебень имеет сле-

дующие марки: 1200, 1000, 800, 600, 400, 300 и 200. При этом щебень из изверженных горных пород должен иметь марку не ниже 800, из метаморфических — не ниже 600 и осадочных карбонатных пород — не ниже 300. По прочности исходной горной породы марка щебня при сжатии в насыщенном водой состоянии должна быть выше марки бетона: в 1,5 раза для бетона ниже М 300, в 2 раза — для бетона М 300 и выше. В отдельных случаях допускается применение щебня марки ниже указанной, но только при условии испытания в бетоне и при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Содержание зерен слабых пород в щебне не должно быть более 10% по массе, а зерен пластинчатой и игловатой формы — не более 15%. Количество глинистых и пылевидных частиц в щебне, определяемых отмучиванием, не должно превышать величин, указанных в табл. 34.

Таблица 34

Допускаемое количество глинистых и пылевидных частиц в щебне

Вид крупного заполнителя	Допускаемое количество частиц, не более, % по массе	
	для бетона марок	
	ниже М 300	М 300 и выше
Щебень из изверженных и метаморфических пород	2	1
Щебень из карбонатных пород	3	2

В щебне не должно быть комков глины, суглинка и посторонних засоряющих примесей.

Шлаковый щебень получают дроблением шлака, который образуется в процессе доменной плавки металлов (доменный шлак) или при сжигании минерального топлива (топливный шлак). Шлаки должны обладать кристаллической структурой и не иметь признаков распада. Шлаковый распад является результатом перехода одних соединений шлака в другие под действием газов, содержащихся в воздухе, и влаги. Этот переход сопровождается увеличением объема образующихся новых соединений, что вызывает растрескивание и распад кусков шлака. По физико-механическим свойствам шлаковый щебень должен удовлетворять тем же требованиям, что и щебень из природного камня.

§ 4. Свойства бетонной смеси и бетона

Тяжелый бетон должен приобрести проектную прочность к определенному сроку и обладать другими качествами, соответствующими назначению изготовляемой конструкции (водостойкостью, морозостойкостью, плотностью и т. д.). Кроме того,

требуется определенная степень подвижности бетонной смеси, которая соответствовала бы принятым способам укладки бетонной смеси.

Прочность бетона. В конструкциях зданий и сооружений бетон может находиться в различных условиях работы, испытывая сжатие, растяжение, изгиб, скалывание. Лучше всего бетон работает на сжатие и этот показатель служит основной характеристикой механических свойств бетона.

По величине предела прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 20 см, изготовленных из рабочей бетонной смеси, после твердения их в течение 28 суток в нормальных условиях определяют марку бетона. Допускается определение прочности бетона на образцах 30×30×30, 15×15×15 и 10×10×10 см. Результаты испытаний таких образцов приводятся к нормальным умножением показателей на соответствующие коэффициенты 1,1; 0,9; 0,85. Отклонения от заданной проектной прочности допускаются только в сторону увеличения, но не более чем на 15%. Излишнее увеличение прочности бетона влечет за собой перерасход цемента и, следовательно, удорожание бетона.

Прочность бетона при сжатии зависит от активности цемента, водоцементного отношения, качества заполнителей, степени уплотнения бетонной смеси и условий твердения. Основными факторами при этом оказываются активность цемента и водоцементное отношение. Цементы высокой активности дают более прочные бетоны, однако при одной и той же активности цемента можно получить бетон различной прочности в зависимости от изменения количества воды в смеси. Эта зависимость была установлена в 1895 г. проф И. Г. Малюгой.

Для получения удобоукладываемой бетонной смеси отношение воды к цементу обычно принимают В/Ц=0,4—0,7, в то время как для химического взаимодействия цемента с водой требуется не более 20% воды от массы цемента. Избыточная вода, не вступившая в химическое взаимодействие с цементом, испаряется из бетона, образуя в нем поры, а это ведет к снижению плотности и соответственно прочности бетона. Исходя из этого, прочность бетона можно повысить путем уменьшения водоцементного отношения и усиленного уплотнения.

Всесторонние исследования советских ученых (Н. М. Беляева, Б. Г. Скрамтаева и др.) расширили и уточнили выводы И. Г. Малюги о влиянии различных факторов на свойства бетона и установили зависимости, графически изображенные на рис. 47 или представленные в виде следующих формул:

$$\text{при } \text{В/Ц} > 0{,}4\ (\text{Ц/В} \leqslant 2{,}5) \quad R_б = AR_ц\left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} - 0{,}5\right);$$

$$\text{при } \text{В/Ц} < 0{,}4\ (\text{Ц/В} > 2{,}5) \quad R_б = A_1R_ц\left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} + 0{,}5\right),$$

где $R_б$ — предел прочности бетона при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения, Па; $R_ц$ — активность цемента, т. е. предел прочности при сжатии образцов (половинок балочек) цементного раствора по ГОСТ 310—60; Ц/В — цементно-водное отношение в бетоне; отношение массы цемента к массе воды в единице объема бетонной смеси за вычетом воды, поглощаемой заполнителями; A, A_1 — безразмерные коэффициенты, зависящие от свойств и качества применяемых материалов (табл. 35).

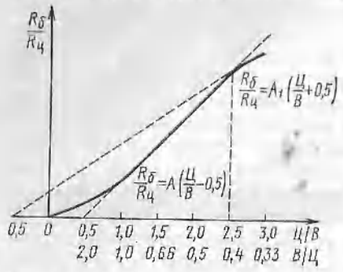


Рис. 47. График зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения

К высококачественным материалам относятся: щебень из плотных горных пород высокой прочности; песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки, заполнители чистые, промытые, фракционированные, с оптимальным зерновым составом смеси фракций. К рядовым материалам относятся: заполнители среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент. К материалам пониженного качества относятся: крупные заполнители низкой прочности и мелкие пески, заполнители, отвечающие пониженным требованиям ГОСТ 10268—70, цементы низкой активности.

Таблица 35

Значения коэффициентов A и A_1

Заполнители и вяжущие	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Приведенные выше зависимости прочности бетона от различных факторов, выраженные в виде формул и графиков, позволяют определить ориентировочную прочность бетона в 28-суточном возрасте при известных водоцементном отношении, марке цемента и виде заполнителя и определить величину водоцементного отношения, обеспечивающую получение бетона заданной прочности.

Наряду с приведенными выше факторами (активностью и качеством цемента, водоцементным отношением и качеством заполнителей) на прочность бетона в значительной степени влияют степень уплотнения бетонной смеси, продолжительность и условия твердения бетона.

Прочность заполнителей не оказывает значительного влияния на прочность бетона до тех пор, пока она больше проектируемой марки бетона. Применение низкопрочных заполнителей с прочностью ниже требуемой марки бетона может существенно снизить прочность последнего или потребует высокого расхода цемента.

Шероховатость поверхности заполнителей также оказывает влияние на прочность бетона. В отличие от гравия зерна щебня имеют развитую шероховатую поверхность, чем обеспечивается лучшее сцепление с цементным камнем, а бетон, приготовленный на щебне, при прочих равных условиях имеет большую прочность, чем бетон на гравии.

На скорость твердения бетона влияет минералогический состав цемента (см. гл. V) и начальное количество воды в бетонной смеси. Последнее определяет подвижность (или жесткость) ее. Жесткие бетонные смеси (с низким содержанием воды) обеспечивают более быстрое твердение бетона, чем подвижные.

Прочность тяжелого бетона в благоприятных условиях температуры и влажности непрерывно повышается. В первые 7—14 суток прочность бетона растет быстро, затем к 28 суткам рост прочности замедляется и постепенно затухает; во влажной теплой среде прочность бетона может нарастать несколько лет. При нормальных условиях хранения бетонных образцов их средняя прочность в 7-суточном возрасте составляет 60—70% прочности 28-суточных образцов. Прочность образцов в 3-месячном возрасте примерно на 25%, а в 12-месячной — на 75% оказывается выше, чем у образцов в 28-суточном возрасте.

Прочность бетона со временем изменяется примерно по логарифмическому закону; исходя из этого, при расчетах прочности Па бетона для разных сроков пользуются приближенной эмпирической формулой

$$R_n = R_{28}\frac{\lg n}{\lg 28},$$

где R_n — прочность бетона в возрасте n *дней*, Па; R_{28} — прочность бетона в возрасте 28 дней, Па; n — число дней твердения бетона.

Эта формула применима для ориентировочных расчетов прочности бетона на портландцементах средних марок в возрасте более 3 суток. Действительную прочность бетона в конструкции устанавливают только испытанием контрольных образцов, приготовленных из рабочей бетонной смеси. Большое влияние на рост прочности бетона оказывает среда. Нормальными условиями твердения бетона считаются: относительная влажность воздуха 90—100% и температура 20±2° С. Высокая влажность воздуха необходима, чтобы избежать испарения

воды из бетона, что может привести к прекращению твердения. Твердение бетона ускоряется с повышением температуры и замедляется с ее понижением. Так, за 10—14 ч твердения в атмосфере насыщенного пара (пропаривание) при температуре 80—90° С прочность бетона достигает 60—70% от марочной 28-суточной прочности.

Для ускорения твердения бетона применяют также добавки — ускорители твердения: хлористый кальций и хлористый натрий. Это имеет большое практическое значение при производстве бетонных работ в зимних условиях, так как эти добавки позволяют также получать бетоны, твердеющие на морозе.

Свойства бетонной смеси. Даже при материалах высокого качества прочный и долговечный бетон может быть получен только при тщательном уплотнении бетонной смеси. Формовочную способность бетонной смеси определяют двумя показателями — пластичностью и подвижностью. Пластичность характеризует внутреннюю связность бетонной смеси, способность ее формоваться, приобретая заданную форму без разрывов и расслаивания на отдельные составляющие.

Подвижность бетонной смеси оценивается способностью ее растекаться под собственной массой или при вибрации. Для определения этого показателя используют форму — конус (рис. 48), который заполняют бетонной смесью. После уплотнения последней форму снимают. Образовавшийся при этом конус бетонной смеси под действием собственной массы оседает. Величина осадки конуса (см) служит оценкой подвижности бетонной смеси. По этому показателю различают смеси: литые с осадкой конуса более 15 см; подвижные — 4—15 см; малоподвижные — 1—3 см; жесткие и особо жесткие — 0 см. Для определения степени жесткости жестких смесей используют технический вискозиметр (рис. 49), состоящий из цилиндрического сосуда *1* высотой 200 и диаметром 300 мм с плоским дном; цилиндрического кольца *2* диаметром 216 и высотой 130 мм с тремя опорными планками *3*, при помощи которых это кольцо может помещаться в цилиндрический сосуд и удерживаться в цилиндре; формы — конуса *4* с насадкой *5*; штатива, закрепленного в петлях, приваренных к цилиндрическому сосуду плоского диска, перемещающегося вертикально на штанге *6* и укрепляемого зажимом.

Для определения жесткости бетонной смеси на виброплощадку устанавливают цилиндрический сосуд, в который вставляют и закрепляют цилиндрическое кольцо, а затем в кольцо помещают форму — конус. Последнюю заполняют бетонной смесью на полную высоту с насадкой, одновременно уплотняя смесь штыкованием. Окончательно бетонная смесь уплотняется вибрированием до момента, пока на поверхности смеси и из-под нижнего основания конуса начнется заметное выделение цементного клея. Время вибрирования должно быть не менее 5 и не более 30 с. Затем насадку снимают, избыток смеси срезают

ровень с краями конуса, а конус поднимают строго вертикально.

После этого освобождают зажимной винт штатива с диском и опускают диск на поверхность отформованного конуса бетонной смеси. Включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за опусканием штанги; когда риска штанги совпадет с верхней плоскостью направляющей головки штатива, выключают секундомер и вибратор и отмечают время, прошедшее от

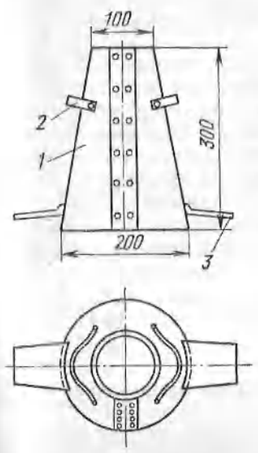


Рис. 48. Стандартный конус для определения подвижности бетонной смеси:
1 — конус; *2* — ручки; *3* — упоры

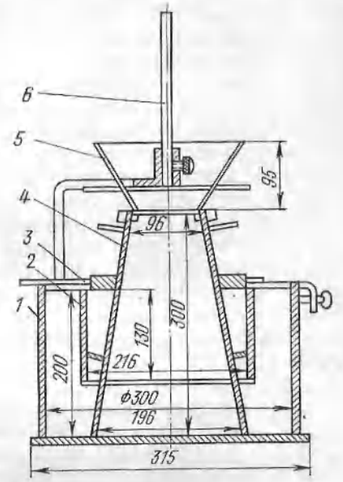


Рис. 49. Технический вискозиметр:
1 — цилиндрический сосуд; *2* — кольцо; *3* — планка; *4* — конус; *5* — насадка; *6* — штанга

момента включения вибратора до его выключения. Это время характеризует жесткость бетонной смеси. Литые и подвижные смеси имеют жесткость 0с, малоподвижные — 15—25с, жесткие — 30—200с и особо жесткие — более 200с.

На подвижность бетонной смеси влияет ряд факторов: вид цемента, содержание воды и цементного теста, крупность заполнителей, форма зерен заполнителей, содержание песка.

Бетонные смеси одного и того же состава, но на разных цементах обладают неодинаковой подвижностью. Это объясняется различной водопотребностью цемента. Чем она выше, тем меньше подвижность или больше жесткость смеси. Бетонные смеси на портландцементах с гидравлическими добавками имеют подвижность меньше, чем смеси на портландцементе, при

одном и том же количестве воды, взятой для приготовления смеси.

С увеличением содержания воды при неизменном расходе цемента подвижность бетонной смеси возрастает, но прочность бетона уменьшается. С увеличением содержания цементного теста подвижность бетонной смеси также повышается при сохранении практически той же прочности после затвердевания. Это объясняется тем, что при более высоком содержании цементного теста оно не только заполняет пустоты и обволакивает зерна заполнителей, но и раздвигает их, создавая между ними обильные прослойки, уменьшающие трение между зернами, а это повышает подвижность смеси.

При более крупных заполнителях суммарная поверхность зерен получается меньше, следовательно, при том же количестве цементного теста прослойки его между зернами заполнителей оказываются толще, что увеличивает подвижность бетонной смеси. Увеличение количества песка сверх оптимального, установленного опытом, уменьшает подвижность бетонной смеси вследствие возрастания суммарной поверхности заполнителей.

Форма зерен влияет на подвижность смеси — при округлой и гладкой поверхности зерен заполнителей суммарная поверхность их и трение между ними меньше, чем при острогранной форме и шероховатой поверхности. Поэтому бетонная смесь с гравием и окатанным песком подвижнее, чем смесь со щебнем и горным песком.

Таблица 36

Рекомендуемая подвижность бетонной смеси для различных конструкций

Вид конструкций, изделий и методы их изготовления	Осадка конуса, см	Показатель жесткости, с
Монолитные конструкции		
Подготовка под фундаменты и основания дорог	0	50—60
Полы, покрытия дорог и аэродромов, массивные неармированные конструкции (подпорные стенки, блоки массивов, фундаменты)	0—2	25—35
Массивные армированные конструкции	2—4	15—25
Конструкции защиты из особо тяжелых бетонов	2—4	15—25
Плиты, балки, колонны большого и среднего сечений, бетонируемые на месте	2—4	15—25
Тонкостенные конструкции, сильно насыщенные арматурой	4—6	10—15
Бетонные и железобетонные изделия		
Изделия, формуемые с немедленной распалубкой (частичной или полной)	0	80—100
Стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении с вибропригрузом	0	60—80
Железобетонные элементы, формуемые на стенах вибропрокатом	0	50—60

Наиболее экономичными являются жесткие бетонные смеси, так как они требуют меньшего расхода цемента, чем подвижные. Подвижность бетонной смеси следует выбирать более низкую, но в то же время она должна обеспечить удобную и качественную укладку смеси. При выборе подвижности бетонной смеси учитывают размеры и характер конструкции, простоту армирования и способы укладки смеси (табл. 36).

§ 5. Проектирование состава бетона

Проектирование состава имеет цель установить такой расход материалов на 1 м³ бетонной смеси, при котором наиболее экономично обеспечивается получение удобоукладываемой бетонной смеси и заданной прочности бетона, а в ряде случаев необходимой морозостойкости, водонепроницаемости и специальных свойств бетона.

Состав бетонной смеси выражают в виде соотношения по массе (реже по объему — менее точному) между количествами цемента, песка и щебня (или гравия) с указанием водоцементного отношения. Количество цемента принимают за единицу. Поэтому в общем виде состав бетонной смеси выражают соотношением цемент : песок : щебень $=1:x:y$ при В/Ц$=z$ (например, 1:2, 4:4,5 при В/Ц=0,45).

Различают два состава бетона: номинальный (лабораторный), принимаемый для материалов в сухом состоянии, и производственный (полевой) — для материалов с естественной влажностью.

К моменту расчета состава бетонной смеси нужно определить качество исходных материалов: цемента, воды, песка и щебня (гравия), согласно требованиям ГОСТов.

Состав тяжелого бетона рассчитывают по методу «абсолютных объемов», разработанному проф. Б. Г. Скрамтаевым и его школой. В основу этого метода положено условие, что тяжелый бетон, уплотненный в свежем состоянии, приближается к абсолютной плотности, т. е. сумма абсолютных объемов исходных материалов в 1 м³ равна объему уплотненной бетонной смеси.

Исходными данными для расчета состава бетона являются: заданная марка бетона $R_б$, характеристика бетонной смеси по степени подвижности или жесткости, а также характеристика исходных материалов — активность цемента $R_ц$, объемные массы и плотности песка, щебня или гравия и пустотность щебня или гравия.

В зависимости от условий, в которых будет находиться бетон в сооружении или конструкции, к нему могут предъявляться также и другие требования, например степень морозостойкости, стойкость к воздействию агрессивных вод, водонепроницаемость. Высокая морозостойкость и непроницаемость плотноуложенного бетона регулируются величиной В/Ц и расходом вяжущего,

отсюда вытекает необходимость нормирования В/Ц в гидротехническом, дорожном и других специальных бетонах.

Состав бетонной смеси, т. е. количество цемента, воды, песка и щебня или гравия, вначале устанавливают ориентировочно методом расчета, а затем уточняют испытанием пробных замесов бетонной смеси.

Расчет состава бетона производят в следующем порядке: определяют цементно-водное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной прочности и расход воды; рассчитывают потребный расход цемента, а затем щебня (или гравия) и песка; проверяют подвижность (жесткость) бетонной смеси при отклонении этих показателей от проекта; производят корректирование состава бетонной смеси; приготавливают образцы для определения прочности и испытывают в заданные сроки; пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный.

Определение цементно-водного отношения производят по следующим формулам:

для бетонов с Ц/В$\leqslant$2,5

$$R_б = AR_ц\left(\frac{Ц}{В} - 0{,}5\right), \text{ откуда } \frac{Ц}{В} = \frac{R_б}{AR_ц} + 0{,}5;$$

для бетонов Ц/В>2,5

$$R_б = A_1R_ц\left(\frac{Ц}{В} + 0{,}5\right), \text{ откуда } \frac{Ц}{В} = \frac{R_б}{A_1R_ц} - 0{,}5.$$

Определение расхода воды. Оптимальное количество воды в бетонной смеси (водосодержание, л/м³) должно обеспечить необходимую подвижность (или жесткость) бетонной смеси. Ориентировочно количество воды устанавливают по табл. 37, учитывая также качество исходящих материалов.

Определение расхода цемента. При определенном из формулы значении Ц/В и принятой по табл. 37 водопотребности бетонной смеси В рассчитывают ориентировочный расход цемента в кг на 1 м³ бетона по формуле

$$Ц = \frac{Ц}{В} В.$$

Расход цемента на 1 м³ бетона должен быть не менее минимального, допускаемого СНиП I-В. 3—62. Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется ниже допускаемого, то необходимо довести его до нормы или ввести тонкомолотую добавку.

Определение расхода заполнителей (песка и щебня или гравия) на 1 м³ бетона. Для определения расхода песка и щебня (гравия) задаются двумя условиями:

1) сумма абсолютных объемов всех составных частей бетона (л) равна 1 м³ (1000 л) уплотненной бетонной смеси

$$\frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{В}{\rho_в} + \frac{П}{\rho_п} + \frac{Щ}{\rho_щ} = 1000,$$

где Ц, В, П, Щ — содержание цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м³; $\rho_ц$, $\rho_в$, $\rho_п$, $\rho_щ$ — плотности этих материалов, кг/м³;

Таблица 37

Водосодержание бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси		Водосодержание бетонной смеси (л/м³) при крупности гравия, мм		
осадка конуса, см	удобоукладываемость, с	10	20	40
0	150—200	145	130	120
0	90—120	150	135	125
0	60—80	160	145	130
0	30—50	165	150	135
0	15—30	175	160	145
1	15—30	185	170	155
2	15—30	190	175	160
3	15—30	195	180	165
5	15—30	200	185	170
7	15—30	205	190	175
8	15—30	210	195	180
10	15—30	215	200	185

Примечание. Данные таблицы справедливы для бетона на портландцементе, щебне средней крупности и при использовании в качестве крупного заполнителя гравия. При других условиях водосодержание смеси, приведенное в таблице, увеличивается: при применении пуццоланового портландцемента — на 15—20 л/м³; замене гравия щебнем — на 10 л/м³, при мелком песке — на 10 л/м³.

2) цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен

$$\frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{П}{\rho_п} + В = V_{пуст.\,щ\,(г)}\frac{Щ\,(Г)}{\gamma_{щ\,(г)}}\alpha.$$

Решая совместно эти два уравнения, находят формулу для определения потребности в щебне или гравии

$$Щ\,(Г) = \frac{1000}{V_{пуст.\,щ\,(г)}\dfrac{\alpha}{\gamma_{щ\,(г)}} + \dfrac{1}{\rho_{щ\,(г)}}},$$

где $V_{пуст.\,щ\,(г)}$ — пустотность щебня или гравия в стандартном рыхлом состоянии (в формулу подставляется в виде относительной величины); α — коэффициент раздвижки зерен щебня (или гравия раствора); принимают для жестких смесей α=1,05—1,10, для подвижных смесей α=1,2—1,4 и более; $\gamma_{щ\,(г)}$ — насыпная масса щебня или гравия, кг/л; $\rho_{щ\,(г)}$ — плотность щебня или гравия, кг/л.

После определения расхода щебня или гравия рассчитывают расход песка в кг на 1 м³ как разность между проектным объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов крупного заполнителя, цемента и воды

$$П = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_ц} + В + \frac{Щ\,(Г)}{\rho_{щ\,(г)}}\right)\right]\rho_п.$$

Если гравий или щебень составляют из нескольких фракций, необходимо заранее установить оптимальное соотношение между ними, пользуясь графиком наилучшего зернового состава или подбирая смесь с минимальным количеством пустот.

Проверка подвижности бетонной смеси. После произведенного предварительного расчета состава бетона делают пробный замес и определяют осадку конуса или жесткость. Если бетонная смесь получилась менее подвижной, чем требуется, то увеличивают количество цемента и воды без изменения цементно-водного отношения. Если подвижность будет больше требуемой, то добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя отношение их постоянными. Таким путем добиваются заданной подвижности бетонной смеси.

Уточнение расчетного состава бетона на пробных замесах. Производят опытные замесы бетона при трех значениях водоцементного отношения, из которых одно принимается расчетное, а два других соответственно больше или меньше на 10—20%. Количество цемента, воды, песка и щебня (или гравия) для бетона с водоцементным отношением, неравным расчетному, определяют по вышеизложенному методу. Из каждой приготовленной смеси готовят по три образца куба размером 20×20×20 см, которые выдерживают в нормальных условиях и испытывают в возрасте 28 дней при определении марки бетона (или в другие сроки). По результатам испытаний строят график зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения, с помощью которого выбирают величину Ц/В, обеспечивающую получение бетона заданной марки.

При пробных замесах проверяют также подвижность или жесткость бетонной смеси (она должна удовлетворять проектной), определяют ее объемную массу и по результатам испытания пробных замесов вносят соответствующие коррективы в рассчитанный состав бетона. При изменении содержания песка и щебня (гравия) учитывают их влажность. Количество влажных заполнителей изменяется настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшалось на величину, равную содержанию воды в заполнителях.

При перемешивании бетонной смеси мелкие зерна компонентов ее располагаются между более крупными зернами, а пустоты в песке заполняются цементным тестом. Объем бетонной смеси ($V_б$) поэтому будет всегда меньше, чем сумма насыпных объемов составляющих его сухих материалов. В связи с этим вводят понятие «коэффициент выхода бетона» β. Он равен отношению объема полученной бетонной смеси $V_б$ в уплотненном состоянии к сумме насыпных объемов сухих исходных компонентов ($V_ц$, $V_п$, $V_{щ(г)}$)

$$\beta = \frac{V_б}{V_ц + V_п + V_{щ(г)}}.$$

Коэффициент выхода бетона является технико-экономической характеристикой качества заполнителей и бетона. Чем выше коэффициент выхода, тем экономичнее бетон. Обычно для крупнозернистых бетонов β=0,67—0,70 и для мелкозернистых β=0,70—0,80.

Пользуясь величиной β, рассчитывают потребность материалов на замес бетоносмесителя определенной емкости V или для выполнения заданного объема строительно-монтажных работ (кг):

$$Ц_V = \frac{\beta V}{1000} Ц; \qquad В_V = \frac{\beta V}{1000} В;$$

$$П_V = \frac{\beta V}{1000} П; \qquad Щ_V = \frac{\beta V}{1000} Щ(Г),$$

где $Ц_V$, $В_V$, $П_V$, $Щ_V$ ($Г_V$) — соответственно количества цемента, воды, песка, щебня (гравия), требуемые на замес бетоносмесителя, кг; β — коэффициент выхода бетона; Ц, В, П, Щ(Г) — расходы соответственно цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м³ бетонной смеси.

§ 6. Приготовление и транспортирование бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси. Основными технологическими операциями приготовления бетонной смеси являются дозировка исходных материалов и их перемешивание.

Важнейшим условием приготовления бетонной смеси с заданными показателями свойств, а также обеспечения постоянства этих показателей от замеса к замесу является точность дозировки составляющих материалов в соответствии с рабочим составом бетона. Дозирование материалов производят дозаторами (мерниками) периодического или непрерывного действия. Первые могут иметь ручное, полуавтоматическое или автоматическое управление. Наиболее совершенны автоматические дозаторы по массе (рис. 50 и 51), обладающие высокой точностью дозирования, малой продолжительностью цикла взвешивания (15—45 с) и легкостью управления.

У полуавтоматических дозаторов загрузочные затворы открываются и закрываются автоматически после наполнения мерника. Выгрузочное отверстие управляется вручную. Автоматические дозаторы управляются с центрального пульта. Отвешивание требуемого количества материала осуществляется автоматически в два этапа, сначала примерно на 90%, а затем — остаточное довешивание материала. Управление автоматическими дозаторами может осуществляться также с помощью перфорированных карт, представляющих зашифрованный код, соответствующий заданному количеству дозируемых материалов. Эта система позволяет дозировать неограниченное количество составов смеси и повторять заданный режим дозирования любое число раз. По существующим нормам допускаемое отклонение

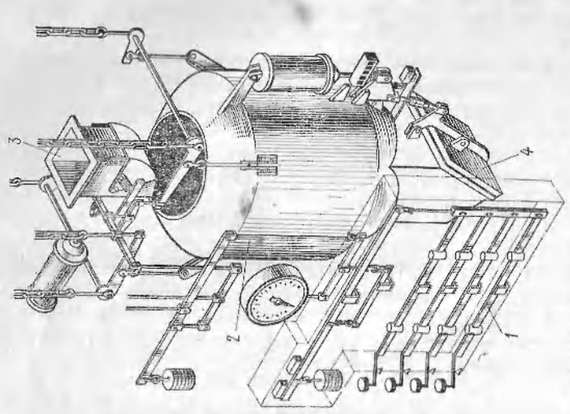


Рис. 51. Автоматический дозатор по массе для заполнителей:
1 — автоматические весы; *2* — бункер; *3* — приемная воронка; *4* — выпускной затвор днища

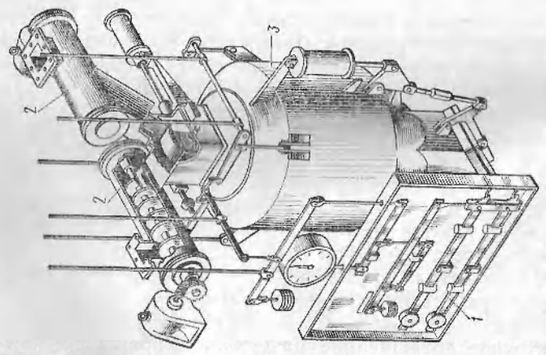


Рис. 50. Автоматический дозатор по массе для цемента:
1 — автоматические весы; *2* — шнек; *3* — бункер

в дозировании должно быть не более ±1% по массе для цемента и воды и не более ±2% для заполнителей. Такая точность может быть обеспечена только при дозировании по массе.

Перемешивание бетонной смеси производится в бетоносмесителях периодического и непрерывного действия. В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы машины проте-

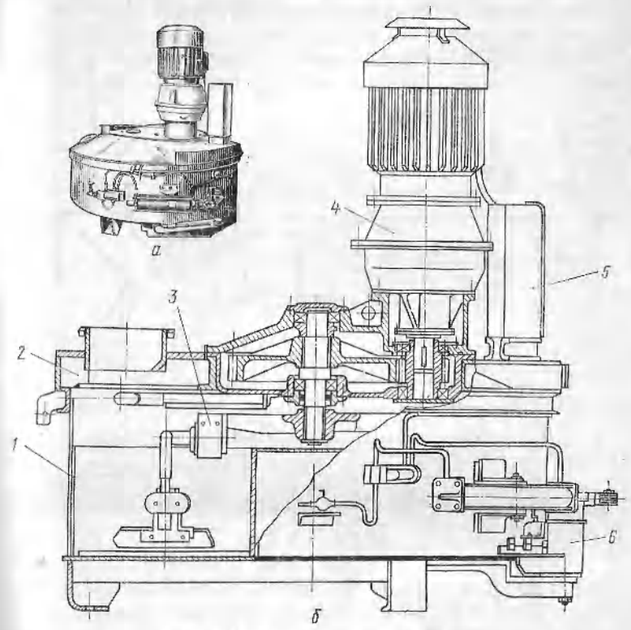


Рис. 52. Бетоносмеситель С-773а:
а — общий вид; *б* — конструктивная схема; *1* — чаша; *2* — рама; *3* — смесительное устройство; *4* — мотор-редуктор; *5* — электрооборудование; *6* — затвор

кают с перерывами, т. е. в них периодически загружаются отвешенные порции материалов, перемешиваются и далее бетонная смесь выгружается (рис. 52). В бетоносмесителях непрерывного действия все три операции производятся непрерывно (рис. 53).

По способу перемешивания материалов бетоносмесители делят на машины с принудительным и с гравитационным перемешиванием (при свободном падении) материалов. В гравитационных бетоносмесителях перемешивание достигается вращением барабана, на внутренней поверхности которого имеются

лопасти. При вращении барабана лопасти захватывают составляющие бетонную смесь материалы, поднимают их на некоторую высоту, откуда смесь падает, перемешиваясь при этом. Гравитационные бетоносмесители выпускают емкостью смесительного барабана 100, 250, 425, 1200, 2400 и 4500 л. Емкость бетоносмесителя определяется не выходом готового бетона, а суммой объемов загружаемых материалов (без воды). В бетоносмесителях принудительного перемешивания (рис. 54) материалы перемешиваются в неподвижном смесительном барабане при помощи вращающихся лопастей, насаженных на вал. Их применяют для приготовления жестких бетонных смесей.

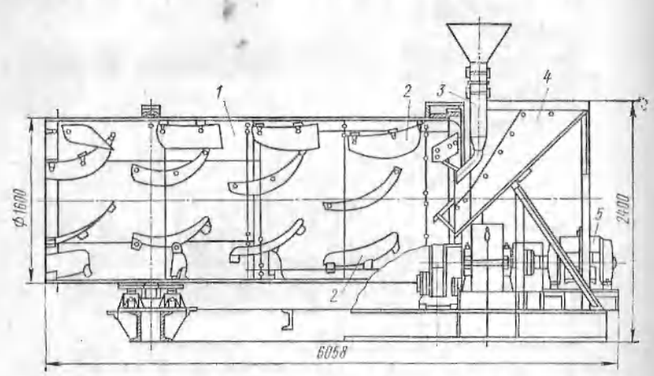


Рис. 53. Бетоносмеситель непрерывного действия СМ-314:

1 — смесительный барабан; *2* — лопасти; *3* — воронка для подачи воды; *4* — воронка для загрузки компонентов; *5* — электродвигатель с редуктором

Перемешивание должно обеспечить сплошное обволакивание зерен заполнителя и равномерное распределение раствора в массе крупного заполнителя.

Продолжительность перемешивания бетонной смеси зависит от подвижности бетонной смеси и емкости бетоносмесителя. Чем меньше подвижность бетонной смеси и чем больше рабочая емкость бетоносмесителя, тем больше оптимальное время перемешивания. Так, для бетоносмесителя емкостью до 400 л она равна 1 мин, а емкостью 4500 л — около 3 мин. Время перемешивания жестких бетонных смесей должно быть увеличено примерно в 2 раза по сравнению с временем перемешивания подвижных смесей.

На автоматизированных бетонных заводах применяют бетоносмесители непрерывного действия, в которых бетонная смесь принудительно перемешивается и одновременно перемещается от загрузочного отверстия к другому концу, где происходит выгрузка бетонной смеси.

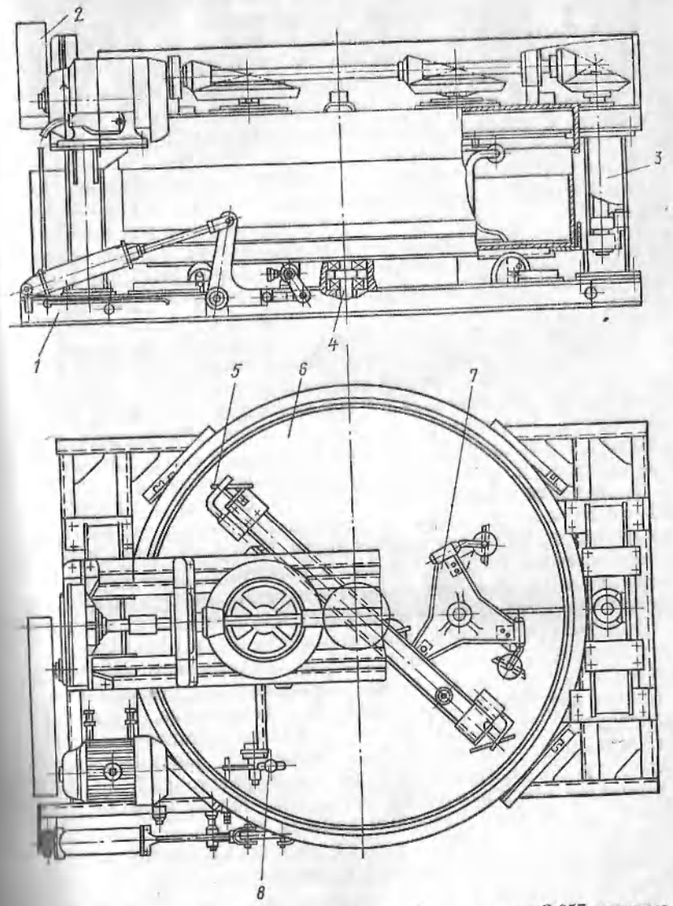


Рис. 54. Бетоносмеситель принудительного перемешивания С-357 емкостью 1000 л:

1 — рама; *2* — привод; *3* — станина; *4* — разгрузочное устройство; *5* — неподвижные гребки; *6* — смесительная чаша; *7* — смесительные лопатки; *8* — очистной гребок

Для приготовления жестких и особо жестких бетонных смесей созданы так называемые вибросмесители, в которых перемешивание составляющих материалов осуществляется в сочетании с вибрацией, а в некоторых конструкциях — только вибрацией.

При соответствующем режиме вибрации, когда силы трения и сцепления между частицами смеси нарушены, а силам тяжести противодействует значительно превосходящее их давление возбуждения в смеси, последняя переходит во взвешенное состояние с высокой подвижностью, что способствует интенсивному перемешиванию смеси.

В настоящее время ведутся работы по струйному перемешиванию бетонной смеси, заключающемуся в интенсивном взаимодействии ее составляющих в турбулентных потоках псевдокипящего слоя, создаваемых энергосмесителями. К ним относятся сжатый воздух с давлением 0,3 МПа и перегретый пар с температурой 85—95° С, подаваемые в специальный струйный смеситель.

В технологию приготовления бетонной смеси начинает внедряться перемешивание с нагреванием смеси. Суть этого метода состоит в том, что разогрев бетонной смеси до 60—65° С производят паром, подаваемым внутрь смесителя в процессе ее перемешивания. Такое нагревание происходит равномерно, проще и во много раз быстрее, чем при предварительном нагреве воды и заполнителей, а также электроразогреве смеси.

Транспортирование бетонной смеси. Способ доставки бетонной смеси к месту укладки должен обеспечить сохранение ее однородности и степени подвижности. При длительной перевозке бетонная смесь загустевает вследствие гидратации цемента, поглощения воды заполнителями и испарения, однако подвижность смеси к моменту укладки ее должна быть не меньше проектной.

При выборе способа транспортирования необходимо учитывать дальность и скорость перевозки, подвижность смеси и экономичность способа. На заводах бетонные смеси транспортируют бетонораздатчиками, самоходными тележками, ленточными транспортерами; в цехах малой и средней мощности — электротельферами и электрокарами с кюбелями. Подвижные смеси можно транспортировать на большие расстояния по трубам с помощью пневматических установок. На строительные площадки, где ведутся бетонные работы, бетонную смесь доставляют на автосамосвалах или автобетоносмесителях, в которые бетонную смесь перемешивают примерно за 5 мин до прибытия на место.

Завод-изготовитель на каждую партию бетонной смеси выдает паспорт с указанием наименования и адреса завода-изготовителя, номера и даты выдачи паспорта, количества смеси ($м^3$), расхода цемента на 1 $м^3$ бетонной смеси, крупности щебня или гравия, подвижности и жесткости, марки бетона, а также результатов испытания контрольных образцов бетона на прочность.

В последние годы у нас большое развитие получают крупные, полностью автоматизированные заводы товарных бетонов и растворов, имеющие в 2,5 раза больше среднюю выработку (в руб.) на одного работающего по сравнению с механизированными предприятиями. Вместе с тем повышается качество продукции и уменьшается ее себестоимость. На автоматизированных бетонно-растворных узлах все технологическое оборудование и пульт управления скомпонованы так, что один оператор имеет возможность наблюдать в соответствии с полученными сигналами за работой всех механизмов, участвующих в процессе приготовления бетонных и растворных смесей.

Когда водитель бетоно- или растворовоза приезжает на завод, то он ставит свою автомашину под лоток, через который выдается готовая смесь, и опускает жетон определенной конфигурации в щель кассового аппарата. Конфигурация жетона отвечает определенной требуемой марке бетона или раствора. Жетон замыкает соответствующие контакты в кассовом аппарате и при этом включает промежуточные реле данной марки бетона или раствора и сразу автоматически вступают в работу двигатели механизмов, питающих дозаторы, куда материалы поступают из расходных бункеров. Исходные материалы поступают в смеситель автоматически. По окончании перемешивания смесь срабатывает реле времени, опускается лоток, под которым находится автомашина, и готовая смесь автоматически поступает в кузов автомашины.

От момента, когда жетон опущен в кассовый аппарат, до окончания загрузки кузова автомашины проходит (на современных заводах товарного бетона и раствора) примерно 3 мин, далее весь цикл повторяется.

Очень важным является четкое выполнение заявок строительных организаций на каждый день и определение наиболее выгодных маршрутов автотранспорта. Всем этим обычно занимается специальная лаборатория АСУ (автоматизированная система управления), которая с помощью электронно-вычислительных машин планирует оптимальные маршруты и графики доставки растворов и бетонов на объекты. В целях предотвращения преждевременного загустевания смесей, особенно при дальних маршрутах перевозки, в жаркую погоду в бетонные смеси при их изготовлении вводят поверхностно-активные вещества, замедляющие структурообразование смесей в первые 1—1 ч. Хорошие качества показала добавка «флегматор», применяемая на Московском заводе товарного бетона и раствора. Эта добавка представляет собой высокоразбавляемую эмульсию кубовых остатков синтетических природных кислот в сульфитно-дрожжевой бражке. Повышая жизнеспособность смесей, «флегматор» вместе с тем их пластифицирует, что дает возможность сокращать удельный расход цемента на 5—7%, а также улучшает свойства отвердевших материалов по отношению к действию воды и замораживания.

Централизованное заводское изготовление бетонных смесей и их доставка на строительную площадку имеет большие технико-экономические преимущества, поскольку смеси готовятся на полностью механизированных и автоматизированных заводах и имеют высокое качество, снижается их стоимость и отпадает необходимость в организации сложного бетонного хозяйства на строительной площадке.

§ 7. Укладка бетонной смеси. Уход за бетоном и контроль качества

Укладка бетонной смеси. Одной из наиболее трудоемких и энергоемких операций является укладка бетонной смеси и ее уплотнение в форме (или опалубке). Эти операции в настоящее время выполняются при помощи бетоноукладчиков или более простых машин — бетонораздатчиков. Бетоноукладчики позволяют в большей степени механизировать процесс распределения бетонной смеси в форме. Бетонная смесь должна быть уложена в форме так, чтобы в ней не оставались свободные места; особенно тщательно нужно заполнять углы и суженные места формы. После укладки бетонной смеси производят уплотнение ее вибрированием, виброштампованием, центрифугированием, вакуумированием, прокатом (см. гл. XI).

Наиболее распространенным видом уплотнения бетонной смеси является вибрирование. Степень уплотнения бетонной смеси с помощью вибраторов зависит в основном от частоты и амплитуды колебаний, а также продолжительности вибрирования.

По роду двигателя различают вибраторы электромеханические, электромагнитные и пневматические; наиболее распространены электромеханические вибраторы.

В зависимости от вида, формы и размеров бетонируемой конструкции применяют вибраторы различных типов. Для укладки бетона с большими открытыми поверхностями (полы, плиты, дороги) используют поверхностные вибраторы (рис. 55, *а*), передающие колебания бетонной смеси через металлическую площадку, к которой они прикреплены. Глубина распространения колебаний в толщу бетонной смеси достигает 20—30 см, продолжительность вибрирования на одном месте — около 1 мин, после чего вибратор переставляют на смежный участок.

Глубинные вибраторы применяют при уплотнении бетонной смеси в массивных конструкциях большой глубины (толщины). В качестве глубинных вибраторов применяют: вибробулавы (рис. 55, *б*), в нижнем корпусе которых помещен электродвигатель с эксцентриковыми грузами, возбуждающими колебания булавы; высокочастотный (до 7000 кол/мин) вибратор с гибким валом (рис. 55, *в*), заканчивающийся тонкой цилиндрической рабочей частью, внутри которой расположен эксцентрик.

Повысить качество бетона можно вакуумированием смеси, при этом из бетонной смеси извлекается часть избыточной воды и воздуха, одновременно под действием атмосферного давления бетонная смесь уплотняется, ускоряется твердение и повышается прочность бетона. Еще лучшие результаты дает повторное вибрирование после вакуумирования, при котором закрываются мелкие поры, образовавшиеся при вакуумировании, и бетонная смесь еще больше уплотняется.

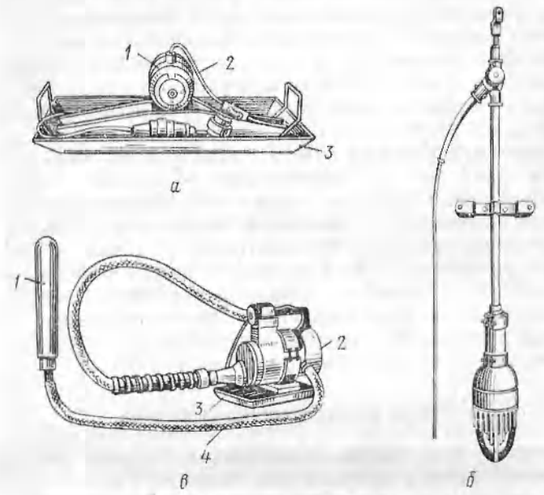


Рис. 55. Электровибраторы:

а — поверхностный И-7; *1* — электродвигатель; *2* — бронированный провод; *3* — площадка; *б* — вибробулава; *в* — внутренний с вибронаконечником И-21А; *1* — рабочий наконечник; *2* — электродвигатель; *3* — подставка; *4* — гибкий вал

Твердение бетона и уход за ним. Сумма мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия твердения уплотненной бетонной смеси, а также способы, предохраняющие бетон от повреждения его структуры в раннем возрасте, составляют уход за бетоном. Организация ухода за бетоном должна быть проведена сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси. Для этого прежде всего нужно защитить поверхность от высыхания.

Одним из эффективных методов ухода за свежеуложенным бетоном в строительстве является покрытие его поверхности пленкообразующими веществами. В качестве последних применяют битумные эмульсии, латекс, синтетический каучук и др. Наряду с этим методом горизонтальные поверхности схватывания бетона покрывают песком или опилками и периодически увлажняют. Длительность срока увлажнения зависит от

атмосферных условий: в жаркие дни — до двух недель, а в прохладную погоду — несколько дней.

В холодные дни бетон следует предохранять от охлаждения, а тем более от замерзания, чтобы не замедлилось твердение.

Загрузка конструкции может производиться только после испытания контрольных образцов бетона.

Контроль качества бетона. Правильно организованный контроль качества бетонных работ на всех стадиях технологического процесса изготовления бетонных конструкций — одно из важнейших условий получения прочного и долговечного бетона и снижения стоимости конструкций. Контроль состоит в испытании и выборе материалов для бетона, в их дозировании и перемешивании, укладке, уплотнении и уходе за ним, а также в определении прочности затвердевшего бетона испытанием пробных образцов.

Прочность и качество бетона в конструкции можно ориентировочно определить и без разрушения — с помощью акустических приборов. Сущность их действия основана на скорости распространения ультразвукового импульса или волны удара в материале и зависит от его плотности и прочности. Прочность бетона в конструкции без разрушения можно также определить и механическим способом, например прибором, действие которого основано на характеристике прочности, определяющейся глубиной лунки в бетоне, образованной шариком при его вдавливании, или величины отскока маятника от бетона.

§ 8. Особые свойства бетона

Плотность и непроницаемость бетона. Высокая плотность бетона достигается рациональным подбором зернового состава заполнителей (с минимальной пустотностью), применением бетонных смесей с низким водоцементным отношением, интенсивным уплотнением, введением в бетонную смесь пластифицирующих и гидрофобизующих поверхностно-активных добавок (см. гл. V).

Следует иметь в виду, что даже выполнение указанных мероприятий не дает возможности получить абсолютно плотный бетон. Поры в бетоне образуются в результате испарения воды, не вступившей в химическую реакцию с цементом при его твердении, а также вследствие неполного удаления воздушных пузырьков при уплотнении бетонной смеси. Поэтому бетон является материалом газопроницаемым. Для придания бетонным сооружениям газопроницаемости на внутреннюю поверхность их наносят газонепроницаемые пленки, например из пластмасс.

Плотно приготовленный бетон при мелкопористой структуре и достаточной толщине конструкции оказывается практически водонепроницаемым. Водонепроницаемость бетона характеризуется наибольшим давлением воды, при котором она еще не просачивается через образцы. По водонепроницаемости

бетон делится на 4 марки: В2, В4, В6 и В8, выдерживающие соответственно давление 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 МПа.

В более тонких конструкциях добиваются высокой водонепроницаемости бетона использованием гидрофобного цемента, а также применением водоизоляционных покрытий, наносимых на поверхность пневматическим способом (торкретированием).

Плотный бетон может быть непроницаем не только для воды, но и для жидких нефтяных продуктов вязкой консистенции — мазута и тяжелой нефти. Легкие средние нефтяные фракции, например бензин и керосин, проникают через бетон легче, чем вода. С целью защиты бетонных и железобетонных сооружений, предназначенных для хранения тяжелых нефтепродуктов, поверхности сооружений покрывают жидким стеклом, а от проникания легких и жидких нефтяных продуктов (бензина, керосина и др.) применяют специальные бензинонепроницаемые мембраны, специальные поверхностные покрытия — оклейки из пластмасс или изготовляют бетон на непроницаемом для указанных жидкостей расширяющемся цементе.

Морозостойкость является одним из главных требований, предъявляемых к бетону гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, опор мостов и других подобных конструкций. Морозостойкость бетона характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдерживать образцы 28-суточного возраста без снижения предела прочности при сжатии более чем на 25% и без потери в массе более 5%.

ГОСТ 10060—62 на тяжелый бетон, в том числе и на гидротехнический, устанавливает пять марок по морозостойкости: 50, 100, 150, 200 и 300. Марку бетона по морозостойкости назначают в зависимости от климатических условий (числа переходов уровня воды на омываемой поверхности бетона или числа смен замораживания и оттаивания за зимний период). Морозостойкими оказываются, как правило, бетоны высокой плотности. Способы получения таких бетонов рассмотрены выше. Не менее важную роль в морозостойкости бетона играет морозостойкость заполнителей. Марка заполнителей по морозостойкости должна быть не ниже этого показателя для бетона.

Усадка и расширение бетона. В процессе твердения происходят объемные изменения бетона. Твердение бетона на воздухе (за исключением бетонов на безусадочном и расширяющемся цементах, сопровождается уменьшением объема, т. е. усадкой). При твердении бетона в воде вначале объем его несколько увеличивается, и в воздушно-сухих условиях бетон дает усадку. Значительную усадку имеют бетоны из жидких смесей (с большим расходом цемента, а также водоцементным отношением). Наибольшая усадка в бетоне происходит в начальный период твердения — за первые сутки она составляет 30—70% от величины месячной усадки. Объясняется это тем, что указанный период особенно интенсивно обезвоживается

тесто вследствие испарения и поглощения влаги гидратирующимися зернами цемента. В результате обезвоживания частицы сближаются между собой и цементный камень дает усадку.

Объемные изменения в бетоне в первый период твердения вызываются расширением от нагревания (иногда до 50° С внутри массивных конструкций) в результате экзотермических реакций цемента с водой. Объемные изменения бетона могут вызвать значительные деформации конструкций и даже появление трещин. Для предотвращения их в массивных бетонных конструкциях устраивают специальные температурные швы. Чтобы уменьшить экзотермию бетона, применяют цементы с малым выделением тепла. Величина усадки бетона на портландцементе зависит от минералогического состава и тонкости помола цемента. Усадка бетона возрастает с увеличением тонкости помола цемента.

Агрессивная среда и меры защиты от нее. Практика эксплуатации водопроводно-канализационных бетонных сооружений показала, что в ряде случаев под влиянием физико-химического действия жидкостей и газов бетон может разрушаться. Коррозия бетона вызывается главным образом разрушением цементного камня. Физико-химические процессы, происходящие при коррозии цемента, изложены в гл. V. Коррозия бетона возникает в результате проникания агрессивного вещества в толщу бетона и она особенно интенсивна при постоянной фильтрации такого вещества через трещины или поры бетона. Поэтому основной мерой предохранения бетона от коррозии является придание ему возможно большей плотности и правильное конструирование элементов сооружений, обеспечивающее равномерную (без образования трещин) деформацию бетона в процессе твердения.

Для предохранения бетона от коррозии следует применять цементы с минимальным выделением гидроокиси кальция и малым содержанием трехкальциевого алюмината. К таким цементам относятся портландцементы с гидравлическими добавками, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент, сульфатостойкие цементы. С целью устранения пор в поверхностных слоях бетона применяют импрегнирование в бетон цементного раствора, силикатирование, флюатирование. Защитить бетон от проникания агрессивных веществ можно с помощью поверхностных покрытий, облицовки их плотными керамическими плитками или камнями, выложенными на кислотоупорном цементе, созданием водонепроницаемой оболочки вокруг бетона из слоя жирной утрамбованной глины, покрытия гидроизоляционными битуминозными материалами и др.

Отношение к действию высоких температур. Бетон — огнестойкий материал, выдерживающий высокие температуры во время пожаров. Огнестойкость бетона позволяет применять его для устройства дымовых труб промышленных печей, их фунда-

ментов. В последние годы бетон специального состава все смелее применяют для футеровки тепловых аппаратов, работающих при температуре 1000° С и выше.

Огнестойкость бетона зависит не только от вида цемента, но и природы заполнителей. Если в качестве заполнителей применяют горную породу, в состав которой входит кристаллический кварц, то при температуре около 600° С в бетоне могут появиться трещины вследствие значительного увеличения объема кварца.

При проектировании бетонных конструкций, подвергающихся длительному воздействию температур, необходимо учитывать, что при температуре 150—250° С прочность бетона на портландцементе снижается на 25%. При нагревании бетона выше 500° С и последующем увлажнении он разрушается. Вначале происходит дегидратация гидроокиси кальция [$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$], а затем при последующем увлажнении образовавшаяся CaO гасится с увеличением в объеме, что приводит к разрушению цементного камня и бетона.

Для строительных конструкций, подвергающихся длительному воздействию высоких температур (свыше 250° С), применяют специальный жароупорный бетон.

§ 9. Особенности бетонирования в зимнее время

Бетон, укладываемый зимой, необходимо предохранять от замерзания в течение срока твердения, необходимого для приобретения им 50%-ной проектной прочности. Обеспечение нормальных условий твердения бетона зимой достигают двумя способами: использованием внутреннего тепла бетона и дополнительной подачей бетону тепла извне.

В настоящее время зимнее бетонирование успешно внедрено в практику строительства СССР. Среди советских ученых, давших наиболее рациональные решения в области зимнего бетонирования, следует назвать проф. С. А. Миронова, В. Н. Сизова, И. Г. Совалова.

Для сокращения сроков твердения до 3—5 дней применяют высокопрочные и быстротвердеющие цементы (портландцементы марок 400, 500 и глиноземистый цемент), пониженное водоцементное отношение и интенсивное уплотнение бетонной смеси, а также вводят в бетонную смесь ускорители твердения (хлористый кальций и др.).

Внутренний запас тепла создают путем подогрева составляющих бетонной смеси (воды, песка и щебня или гравия) в такой мере, чтобы температура бетонной смеси по выходе из бетоносмесителя не превышала 30° С, так как при более высокой температуре она быстро густеет и теряет удобоукладываемость. Воду для затворения можно подогревать до 80° С, заполнители — до 40° С. Кроме того, тепло, выделяющееся при химической реакции цемента с водой (экзотермия цемента), препятствует охлаждению конструкции.

Чтобы сохранить запас тепла в течение определенного срока, конструкции со свежеуложенной бетонной смесью покрывают теплоизоляционными материалами (опилками, шлаком, камышитом, шевелином); толщина покрытия определяется теплотехническим расчетом. Указанный способ носит название «термоса». Применяется он для бетонирования массивных конструкций, имеющих модуль поверхности (отношение охлаждающейся поверхности бетона к его объему $F:V$) не более 6.

В тонких конструкциях, а иногда и в массивных, свежеуложенную бетонную смесь подогревают снаружи паром или электрическим током (электропрогрев). Пар для обогрева бетона с температурой (50—80° С) обычно вводят в промежутки между стенками двойной опалубки или в каналы, вырезанные с внутренней стороны опалубки; иногда его пропускают по трубам, уложенным внутри бетона. Такой способ дает возможность получить через 1—2 суток прочность, равную 60—70% от марочной (28-суточной).

Электропрогрев бетона производят переменным током. Ток передается электродами двух типов: поверхностными (в виде стальных пластинок, укладываемых на поверхность) и внутренними (в виде стальных стержней, уложенных в горизонтальном или вертикальном направлении). При изготовлении железобетонной конструкции в качестве одного из электродов используют арматуру.

При прохождении через бетон электрического тока выделяется тепло, в результате чего бетон разогревается и быстро твердеет. Однако подогреваемый бетон должен иметь температуру не выше 60° С. Иначе возможна местная пересушка бетона.

§ 10. Специальные виды тяжелых бетонов

Гидротехнический бетон является разновидностью тяжелого бетона и характеризуется повышенной водостойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, низким тепловыделением, а в ряде случаев и стойкостью к химически агрессивной среде. Гидротехнический бетон применяют для строительства сооружений или их отдельных частей, постоянно или периодически омываемых водой.

В зависимости от зон гидротехнических сооружений он делится на: бетон подводный, находящийся постоянно в воде; бетон зоны переменного уровня воды; надводный, находящийся выше зоны переменного уровня воды.

В зависимости от условий работы гидротехнических сооружений и их конструктивных элементов бетон применяют М 100—300, а те части сооружения, которые подвергаются истиранию водой, выполняют из бетона М 400 и 500.

По пределу прочности при сжатии гидротехнический бетон имеет восемь марок от 100 до 600 (марку гидротехнического бетона определяют в возрасте 180 дней).

Марки по морозостойкости для гидротехнического бетона — от Мрз 50 до Мрз 300.

По водонепроницаемости гидротехнические бетоны делятся на четыре марки: В2, 4, 6 и 8, т. е. выдержавшие давление воды (0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 МПа), при котором еще не наблюдается просачивания воды через образцы 180-дневного возраста.

Подводный бетон и бетон зоны переменного уровня, а также бетон, подвергающийся действию грунтовых вод, должен быть стойким против агрессивного действия воды данного состава.

Положительное влияние на качество гидротехнического бетона оказывают вводимые в портландцемент активные минеральные добавки, которые при взаимодействии с гидратом окиси кальция уплотняют бетон, повышают его водостойкость и уменьшают экзотермию.

Для уменьшения водопотребности бетонной смеси и расхода цемента, а также повышения плотности и морозостойкости гидротехнического бетона применяют поверхностно-активные добавки.

Природные заполнители (песок и гравий) для гидротехнического бетона должны удовлетворять более высоким требованиям, чем заполнители для обычного бетона. Содержание глины, ила и мелких пылевидных фракций не должно превышать 1—2%. По крупности зерен допускается применение крупных и средних песков; мелкие пески используют только при технико-экономическом обосновании. Зерновой состав заполнителей должен иметь минимальный объем пустот при возможно большем количестве крупных зерен. Это снижает расход цемента, и результате чего уменьшается выделение тепла и деформативность при твердении бетона.

За твердеющим бетоном нужно обеспечить тщательный уход, необходимый влажностный и температурный режимы, при которых предотвращаются объемные деформации конструкций.

Требования, предъявляемые к гидротехническому бетону и материалам для его изготовления, изложены в ГОСТ 4795—68 и 4797—69.

Кислотоупорный бетон получают на кислотоупорном цементе и кислотоупорных заполнителях. Затворяют бетонную смесь растворимым стеклом в количестве, обеспечивающем необходимую подвижность бетонной смеси. Кислотоупорный бетон используют для различных конструкций и облицовки аппаратов в химической промышленности, заменяя им дорогие материалы: листовой свинец, кислотоупорную керамику, тесаный камень.

Для изготовления кислотоупорного бетона, обладающего стойкостью при действии неорганических кислот (кроме плавиковой), применяют смесь растворимого стекла (силиката натрия) с 15% кремнефтористого натрия Na_2SiF_6, а также песок кварцевый, щебень из бештаунита, андезита или кварцита и

пылевидную фракцию (мельче 0,15 мм), приготовляемую из кислотостойких материалов.

Твердение кислотоупорного бетона должно проходить в теплой воздушно-сухой среде (в отличие от обычного бетона).

Кислотоупорный бетон характеризуется прочным сцеплением со стальной арматурой, стойкостью по отношению к действию таких кислот, как серной, соляной, азотной и др., за исключением плавиковой, пределом прочности при сжатии через 3 суток около 11—12, через 28 суток — 15 МПа.

При действии воды и слабых кислот кислотоупорный бетон постепенно разрушается; действию концентрированных кислот этот бетон сопротивляется хорошо, но растворы щелочей легко разрушают его.

Жаростойкий бетон способен сохранять в заданных пределах свои физико-механические свойства при длительном воздействии высоких температур. В зависимости от применяемого вяжущего жаростойкие бетоны бывают следующих видов: бетоны на портландцементе (шлакопортландцементе); на высокоглиноземистом цементе; на периклазовом цементе; на жидком стекле.

Высокоглиноземистый цемент представляет собой гидравлическое вяжущее, содержащее не менее 75% окиси алюминия и не более 1% окисла железа.

Периклазовый цемент — воздушное вяжущее, полученное тонким помолом высокообжигового магнезита, содержащего не менее 85% окиси магния MgO; этот цемент затворяют водным раствором сернокислого магния или некоторых других солей.

По степени огнеупорности жаростойкие бетоны бывают: высокоогнеупорные (огнеупорность выше 1770° С), огнеупорные (огнеупорность 1580—1770° С), жароупорные (огнеупорность ниже 1580° С).

Высокоогнеупорные бетоны приготовляют следующих составов: из портландцемента с фосфорным ангидритом и тонкомолотой добавкой, песком и щебнем из хромита; высокоглиноземистого цемента, песка и щебня из высокоглиноземистого кирпича. Эти бетоны имеют минимальную прочность — 25 МПа. Деформации бетона под нагрузкой 0,2 МПа наступают при температуре 1500°, а при температуре, превышающей 1600° С, бетон разрушается. Огнеупорность выше 1770° С. Эти бетоны стойки против основного шлака.

Огнеупорные бетоны приготовляют из: глиноземистого цемента, песка и щебня из хромита; жидкого стекла с кремнефтористым натрием и тонкомолотой добавкой, песка и щебня из боя магнезитового кирпича или хромита.

Огнеупорные бетоны имеют минимально допустимую прочность 25—15 МПа в зависимости от вида используемых материалов. Деформация под нагрузкой 0,2 МПа наступает при температуре 1100—1350° С.

Жароупорные бетоны. В качестве вяжущих для жароупорных бетонов применяют глиноземистый цемент, портландцемент,

шлакопортландцемент и жидкое стекло с кремнефтористым натрием. Для приготовления бетона на портландцементе в качестве тонкомолотой добавки применяют шамот, лёсс, лёссовидный суглинок, цеменянку, топливный шлак, пемзу, золу-унос, гранулированный доменный шлак; в качестве песка и щебня используют шамот, бой обыкновенного глиняного кирпича, топливный шлак, отвальный доменный шлак, базальт, диабаз, андезит, артикский туф. В качестве мелкого и крупного заполнителей жароупорного бетона на глиноземистом цементе используют шамот.

При правильно выбранных вяжущих и заполнителях бетон может длительное время выдерживать, не разрушаясь, действие температуры до 1200° С. Из такого бетона можно изготовлять железобетонные дымовые трубы, фундаменты доменных, мартеновских и других промышленных печей.

Жароупорный бетон на портландцементе имеет достаточно высокие физико-механические показатели. Минимально допустимая прочность его 10—25 МПа. При нагрузке в 0,2 МПа деформация начинается при 1100—1250° С, разрушение жароупорных бетонов наблюдается при температуре 1150—1400° С в зависимости от вида исходных материалов. Термическая стойкость жароупорных бетонов соответствует термической стойкости обычных шамотных изделий. Коэффициент линейного расширения равен $(6—8)\cdot10^{-6}$, пористость — 20—35%, водопоглощение — 10—20%, объемная масса — 1700—2000 кг/м³.

Цветные бетоны получают при введении в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов в количестве 8—10% от массы цемента (охру, мумию, сурик и др.) или применении цветных цементов. В отдельных случаях используют заполнители, обладающие необходимым цветом, например туфы, красные кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы. Цветные бетоны используют для декоративных целей в строительстве зданий и сооружений, устройства пешеходных переходов, разделительных полос на дорожных покрытиях, парковых дорожек, а также изготовления элементов городского благоустройства.

Бетон дорожный применяют для однослойных и верхнего слоя двухслойных бетонных покрытий, для нижнего слоя двухслойных покрытий, а также для оснований усовершенствованных покрытий.

Условия работы дорожного бетона неблагоприятны. Он многократно подвергается увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию, а также воздействию транспортных средств. В связи с этим к дорожному бетону предъявляют повышенные требования к его прочности, износостойкости, морозостойкости и воздухостойкости.

Марка бетона по прочности принимается в зависимости от вида покрытия. Так, для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий — М 300—500, для нижнего слоя двухслойных покрытий — М 250—350 и для оснований усовершенствованных капитальных покрытий — М 100—250. При этом важным пока-

зателем прочности дорожного цементобетона является предел прочности на растяжение при изгибе. Он составляет 2—5,5 МПа и более в зависимости от марки бетона. Степень морозостойкости бетона для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий должна быть Мрз 100—200, а для оснований — не ниже Мрз 50.

Долговечность дорожного бетона достигается не только благодаря правильной технологии производства работ, но и применением качественных материалов.

Для приготовления дорожного бетона применяют дорожный портландцемент и его разновидности — пластифицированный и гидрофобный портландцементы. Марка цемента для покрытий должна быть не менее М 400, а для оснований — не ниже М 300.

В качестве ускорителей твердения особенно в зимних условиях применяют добавки хлористого кальция и хлористого натрия для неармированных покрытий до 3%; армированных до 2%. В предварительно напряженных покрытиях эти добавки не допускаются.

Бетон для защиты от радиоактивного воздействия. Для использования атомной энергии в мирных целях в нашей стране потребовалась надежная защита обслуживающего персонала от радиоактивных воздействий ядерных реакторов, атомных электростанций, предприятий по выработке и переработке изотопов и других предприятий. Среди лучей ядерного распада наибольшую опасность для живых организмов представляют γ-лучи и нейтронное излучение. Степень защиты от последних определяется толщиной ограждения и его объемной массой. Установлено, что от нейтронного излучения эффективнее защищает то вещество, которое содержит значительное количество водорода в своем химическом составе. Таким веществом является в первую очередь вода. Но последняя обладает небольшой плотностью. При одновременном достижении защиты от нейтронного и γ-излучения требуется очень большая толщина водяного ограждения, что сложно и дорого. Материалом, в котором сочетаются эти два качества, необходимые для защиты от ядерного излучения, является бетон.

В качестве заполнителей для такого бетона применяют тяжелые материалы — барит, магнетит, лимонит, а также металлический скрап в виде чугунной дроби, обрезков арматурного полосового и профильного металла, металлической стружки и др. (табл. 38). Объемная масса защитных особо тяжелых бетонов зависит от вида заполнителя и его объемной массы.

Марки особо тяжелых бетонов по прочности на сжатие установлены М 100, 150 и 200.

В качестве вяжущих для приготовления особо тяжелых защитных бетонов применяют портландцементы, шлакопортландцементы и глиноземистые цементы. В специальных бетонах наиболее эффективным вяжущим может быть такое вещество, ко-

торое в результате твердения присоединяет большое количество воды (с целью увеличения содержания в бетоне водорода). Таким веществом является гидросульфоалюминат кальция, который образуется при взаимодействии трехкальциевого алюмината, содержащегося в портландцементе, с гипсом. Поэтому один из видов цемента специального назначения содержит повышенное количество трехкальциевого алюмината и гипса. Для предупреждения его возможного самопроизвольного разрушения к нему добавляют гидравлические добавки (трепел, диатомит и др.).

Таблица 38

Объемная масса защитных бетонов

Наименование бетона	Объемная масса бетона, кг/м³	Наименование бетона	Объемная масса бетона, кг/м³
Лимонитовый	2800—3000	Комбинированный бетон с лимонитовым песком и крупным заполнителем:	
Магнетитовый	2800—4000		
Баритовый	3300—3600		
Бетон на чугунной дроби диаметром 0,8—2 мм	3500—3900	обычным щебнем	2500—2600
		магнетитовым щебнем	2900—3800
Бетон с чугунным скрапом	3700—5000	баритовым щебнем	3000—3200
		чугунным скрапом	3600—5000

Кроме портландцемента применяют также глиноземистые, расширяющиеся и безусадочные цементы. Но последние вяжущие имеют высокую стоимость.

Для улучшения защитных свойств гидратных бетонов (такое название эти бетоны получили за большое содержание в них воды) вводят добавки, повышающие содержание в бетоне водорода, карбида бора, хлористого лития, сернокислого кадмия и других добавок, содержащих легкие элементы — водород, литий, кадмий и борсодержащие вещества.

§ 11. Легкие бетоны, их классификация и основные свойства

Бетоны с объемной массой 500—1800 кг/м³ относятся к группе легких бетонов, отличающихся высокой пористостью.

По **способу создания искусственной пористости** легкие бетоны делят на: легкие бетоны на легких пористых заполнителях; крупнопористые (беспесчаные) бетоны, изготовляемые с применением однофракционного плотного или пористого крупного заполнителя без песка; ячеистые бетоны, структура которых представлена искусственно созданными ячейками, заменяющими зерна заполнителей.

По **назначению** легкие бетоны делят на: теплоизоляционные, основное назначение которых — обеспечивать необходимое термическое сопротивление ограждающей конструкции (объемная масса их — менее 500 кг/м³; коэффициент теплопровод-

ности — до 0,20 Вт/м·°С); конструктивные, предназначенные воспринимать значительные нагрузки в зданиях и сооружениях (объемная масса их — 1400—1800 кг/м³; марка по прочности — не менее 50, морозостойкость — не ниже Мрз 15); конструктивно-теплоизоляционные, в которых совмещаются свойства предыдущих видов легких бетонов (объемная масса их — 500—1400 кг/м³, коэффициент теплопроводности — не более 0,6 Вт/м·°С, марка по прочности — не менее М 35).

Далее рассматриваются легкие бетоны на пористом заполнителе. Ячеистые легкие и теплоизоляционные бетоны даны в § 14.

Легкие бетоны на пористых заполнителях имеют принципиальные отличия от обычных тяжелых бетонов, обусловленные особенностями пористых заполнителей. Последние имеют меньшую объемную массу, чем плотные, значительно меньшую прочность, зачастую ниже заданной марки бетона; обладают сильно развитой и шероховатой поверхностью. Эти качества легкого заполнителя влияют как на свойства легкобетонных смесей, так и на свойства бетона.

В зависимости от заполнителя — плотного или пористого, резко меняется водопотребность и водосодержание бетонной смеси, меняются и основные свойства легкого бетона.

Одним из решающих факторов, от которых зависит прочность легкого бетона, является расход воды. При увеличении количества воды до оптимального прочность бетона растет.

Оптимальный расход воды в легких бетонах соответствует наибольшей плотности смеси, уложенной в заданных условиях, и устанавливается по наибольшей прочности бетона или же по наибольшей объемной массе уплотненной смеси. Если же количество воды превышает оптимальное для данной смеси, то плотность цементного камня уменьшается, а с ним уменьшается и прочность бетона. Для легкого бетона оптимальный расход воды можно установить по наибольшей объемной массе уплотненной бетонной смеси или наименьшему выходу бетона. Следует также иметь в виду, что в легких бетонах в отличие от тяжелых некоторый избыток воды менее вреден, чем ее недостаток. Оптимальному расходу воды для бетона данного состава соответствует наилучшая удобоукладываемость, при которой наиболее компактно располагаются составляющие бетона.

Стремление максимально плотно уложить заполнитель объясняется тем, что наиболее легкий бетон заданной прочности получается при минимальном расходе вяжущего и наибольшем сближении зерен пористого заполнителя, т. е. при предельной степени уплотнения смеси. Хорошее уплотнение смеси достигается вибрацией с применением равномерно распределенного пригруза на поверхности формуемой массы (вибропрессованием, виброштампованием).

Оптимальное количество воды для приготовления легких бетонов зависит главным образом от водопотребности заполни-

теля и вяжущего, интенсивности уплотнения смеси и состава бетона. Водопотребность заполнителя зависит от зернового состава и пористости и обычно тем она больше, чем больше суммарная поверхность и открытая пористость его зерен.

Отсос воды из цементного теста или раствора пористыми заполнителями в период приготовления и укладки бетонной смеси вызывает относительно быстрое ее загустевание, что делает смесь жесткой и трудноукладываемой. Это специфическое свойство усиливается и шероховатой, развитой поверхностью пористого заполнителя. Для повышения подвижности смеси необходимо вводить в нее большее количество воды, чем в обычные (тяжелые) бетоны.

Объемная масса и прочность легкого бетона зависят главным образом: от насыпной массы и зернового состава заполнителя, расхода вяжущего и воды, а также от метода уплотнения легкобетонной смеси. По качеству пористого заполнителя можно ориентировочно судить, какая прочность легкого бетона может быть получена.

В строительной практике ограждающие и несущие конструкции получают из относительно плотных легких бетонов значительной прочности (5—15 МПа). Снижение объемной массы достигается тщательным подбором зернового состава пористого заполнителя, а также наименьшим расходом вяжущего для бетона заданной прочности, т. е. максимальным заполнением объема бетона пористым заполнителем, так как заполнитель легче цементного камня.

Наиболее насыщенный заполнителем объем бетона можно получить при правильном соотношении крупных и мелких фракций заполнителя. Для разных видов заполнителей будет свой оптимальный зерновой состав. Оптимальное содержание мелких фракций соответствует наименьшей объемной массе бетона и наименьшему расходу цемента. Однако следует учитывать, что с увеличением количества мелких фракций заполнителя сверх оптимального растет объемная масса бетона и ухудшается удобоукладываемость смеси. Оптимальный зерновой состав заполнителя подбирают опытным путем.

Для снижения объемной массы бетона без уменьшения его прочности целесообразно применять высокоактивные вяжущие вещества. При отсутствии последних активизацию цемента можно повысить мокрым домолом его. Кратковременный домол цемента позволяет получать более подвижные легкобетонные смеси с интенсивным нарастанием прочности. По данным проф. Н. А. Попова и других ученых, наиболее целесообразно применять вяжущие, активность которых в заданных условиях твердения в 4—6 раз выше проектируемой марки бетона.

Особенностью легких бетонов является то, что их прочность зависит не только от качества цемента, но и его количества. С увеличением расхода цемента растут прочность и объемная масса бетона. Это связано с тем, что с увеличением количества

цементного теста легкобетонные смеси лучше уплотняются, а также возрастает содержание в бетоне наиболее прочного и тяжелого компонента — цементного камня.

Теплоизоляционные свойства легких бетонов зависят от степени их пористости и характера пор. В легком бетоне тепло передается через твердый остов и через воздушные пространства, заполняющие поры, а также в результате конвекционного движения воздуха в замкнутом объеме. Поэтому чем меньше объем пор, тем меньше подвижность воздуха в бетоне и лучшими теплоизолирующими свойствами обладает бетон.

Легкие бетоны в силу своей высокой пористости менее морозостойки, чем тяжелые, но достаточно морозостойки для применения в стеновых и других конструкциях зданий и сооружений. Хорошую морозостойкость легких бетонов можно получить, применяя искусственные пористые заполнители, обладающие низким водопоглощением, например керамзит, а также путем поризации цементного камня. Повышают морозостойкость легких бетонов также путем введения гидрофобизующих добавок.

Легкие бетоны ввиду универсальности свойства применимы в различных строительных элементах зданий и сооружений. Так, из легких бетонов на пористых заполнителях, обладающих низкой теплопроводностью, изготовляют панели для стен и перекрытий отапливаемых зданий; из напряженного армированного бетона выполняют пролетные строения мостов, ферм, плит для проезжей части мостов; из легких бетонов строят плавучие средства.

§ 12. Материалы для приготовления легких бетонов

Вяжущие вещества. Для приготовления легких бетонов применяют все виды вяжущих веществ, рассмотренные в предыдущей главе. Выбор вида вяжущего зависит от многих причин: требуемой прочности бетона, необходимой стойкости в данных условиях среды, режима твердения и других факторов.

В соответствии с требованиями СНиПа для приготовления легких бетонов в зависимости от их прочности рекомендуется применять вяжущие следующих марок:

Марка бетона	до 35	50—75	100—150	200 и более
Марка вяжущего . . .	200—300	250—300	400—500	500 и более

Вяжущие, имеющие марки выше приведенных, должны применяться совместно с тонкомолотыми гидравлическими добавками.

Для легких бетонов неавтоклавного твердения используют портландцемент и его разновидности. Местные вяжущие вещества (известково-шлаковые, известково-пуццолановые, известково-зольные) применяют в основном для изготовления изделий автоклавного твердения. Выбор вида вяжущего осуществляют с учетом условий твердения изделий из легкого бетона (естественное, пропаривание, автоклавная обработка и др.). Однако общим критерием в целях снижения объемной массы является применение вяжущих высоких марок.

Заполнители. В качестве заполнителей для легких бетонов применяют природные и искусственные сыпучие пористые материалы с насыпной массой не более 1200 кг/м³ при крупности зерен до 5 мм (песок) и не более 1000 кг/м³ при крупности зерен 5—10 мм (щебень, гравий).

Природные пористые заполнители получают дроблением легких горных пород — пемзы, вулканических шлаков и туфов, пористых известняков, известняков-ракушечников, известковых туфов.

Искусственные пористые заполнители получают из отходов промышленности или путем термической обработки силикатного сырья, подвергнутых рассеву или дроблению и рассеву. Из отходов промышленности песок и щебень получают преимущественно из гранулированного или вспученного металлургического шлака.

Гранулированный шлак — мелкозернистый пористый материал, полученный при быстром охлаждении расплавов металлургических шлаков.

Шлаковую пемзу (термозит) получают в виде глыб ячеистой структуры путем вспучивания шлакового расплава с помощью воды, воздуха или их смеси.

Существующие способы поризации делят на две основные группы. К первой относятся методы поризации расплава, осуществляющиеся в периодически действующих агрегатах, например в бассейнах; ко второй — методы поризации расплава в непрерывно действующих агрегатах (например, гидроэкранная установка). Фиксацию пористой структуры осуществляют быстрым охлаждением расплава. Куски шлаковой пемзы дробят и рассевают на щебень и песок.

В зависимости от насыпной массы щебня (от 400 до 800 кг/м³) прочность заполнителя составляет от 0,4 до 2,0 МПа.

Аглопорит представляет собой искусственный пористый заполнитель с размером гранул 5—20 мм, насыпной массой 400—700 кг/м³ и пределом прочности 0,4—1,5 МПа. Сырьем для производства аглопорита служат глинистые породы (суглинок, супесь, аргиллит, глинистый сланец), а также отходы промышленности — глинистые отходы от добычи и обогащения углей, горелая порода, топливные шлаки, зола ТЭС и другие кампевидные глинистые породы. Технология производства аглопоритового гравия из зол ТЭС методом спекания сырцовых гранул на решетках агломерационных машин позволяет получать искусственный пористый заполнитель в виде гранул округлой формы определенного зернового состава со спекшейся поверхностной оболочкой повышенной прочности.

К специально изготовленным заполнителям относится гравий и песок керамзитовый — материал округлой формы, который получают при обжиге глин. Создание пористой структуры достигается вспучиванием глинистого вещества, нагретого до пластического состояния газами, выделяющимися из него в процессе нагревания. Керамзитовый гравий выпускают прочностью 0,6—6 МПа, насыпной массой 150—800 кг/м³. Средняя марка

керамзита 500, а средняя прочность 2,6 МПа. Керамзитовый песок получают дроблением и рассевом керамзитового гравия или щебня или как самостоятельную фракцию при обжиге.

Гравий керамический полый — материал округлой формы, получают обжигом специально изготовленных пустотелых глиняных гранул.

Вспученный перлит изготовляют в виде щебня и песка путем кратковременного обжига вулканических водосодержащих стекловидных пород. Процесс теплообработки перлитов в зависимости от свойств сырья и вида готового продукта (щебня и песка) осуществляют путем одно- или двухстадийного обжига в коротких вращающихся печах и во взвешенном состоянии — в вертикальных печах. Перлитовый щебень и песок для бетонов имеет насыпную массу 150—450 кг/м³, а для теплоизоляционных засыпок перлитовый песок производят с насыпной массой 50—100 кг/м³.

По форме и характеру поверхности пористые заполнители могут иметь округлую, относительно гладкую или угловатую и шероховатую (ноздреватую) поверхность. По крупности зерен их делят на следующие фракции: песок до 1,2 и 1,2—5,0 мм, щебень или гравий — 5—10, 10—20 и 20—40 мм. По показателям насыпной массы в сухом состоянии (кг/м³) пористые заполнители имеют М 100—1000 для щебня (гравия) и до М 1200 только для песка. Прочность пористых заполнителей может быть 0,4—20 МПа. Прочность заполнителей определяют испытанием в цилиндре в соответствии с ГОСТ 9758—69. Прочность исходной горной породы должна быть не менее 50% от требуемой прочности бетона, а коэффициент размягчения — не менее 0,6.

Добавки. В качестве добавок для легких бетонов применяют тонкомолотые доменные гранулированные шлаки, диатомит, трепел, опоки, туф, пемзу, трасс. Кроме указанных, в легкие бетоны вводятся добавки, являющиеся замедлителями или ускорителями твердения. В качестве последних применяют хлористый кальций в количестве 1,0—2% от массы цемента (для железобетонных изделий — до 1%). В качестве порообразователей для снижения объемной массы в состав легких бетонов вводят алюминиевый порошок, пергидроль, смоло-сапониновый порообразователь и другие добавки.

Вода. Для приготовления и увлажнения легкого бетона используют чистую питьевую воду, отвечающую тем же требованиям, что и для тяжелых бетонов.

Защита стальной арматуры в легких бетонах. Повышенная пористость легких бетонов способствует возникновению и развитию коррозии арматуры в железобетонных изделиях. Поэтому в агрессивной среде легкий бетон армированной конструкции должен быть плотным. Как показывает практика, в таком бетоне содержание цемента должно быть не менее 250 кг/м³. Иногда арматуру покрывают различными составами: цементно-казеиновой суспензией с нитритом натрия; битумной мастикой с молотым песком, золой и растворителем — толуолом, битумоцементной мастикой.

§ 13. Подбор состава легких бетонов

При подборе состава легких бетонов исходят из условия получения экономичного бетона на данных материалах, обеспечивающего не только удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона, но и заданную объемную массу при наименьшем расходе цемента.

Задача подбора состава легкого бетона усложняется по сравнению с подбором состава тяжелого бетона. Подбирая состав тяжелого бетона, обычно находят соотношение между щебнем и песком, требуемое В/Ц и расход цемента. В легком бетоне трудно установить расчетом В/Ц, а удобоукладываемость колеблется в больших пределах. Это связано с тем, что пористые заполнители обладают значительным водопоглощением, интенсивно отсасывая воду из цементного теста. Шероховатая поверхность пористых заполнителей затрудняет получение точных показателей удобоукладываемости смеси. Эти обстоятельства приводят к тому, что состав легкобетонной смеси подбирают опытным путем, определяя оптимальный расход воды для каждого состава бетона, устанавливая зависимость прочности бетона от расхода цемента при оптимальных расходах воды.

Чтобы обеспечить минимальный расход цемента и получить требуемую объемную массу бетона, необходимо найти оптимальное соотношение между песком и щебнем. Существует несколько методов подбора состава легкого бетона, но чаще всего применяют метод подбора состава легкого бетона по оптимальному расходу воды. При этом пользуются способом опытных затворений, который включает следующие операции: выбор наибольшей крупности и определение содержания крупного и мелкого заполнителей; определение расхода вяжущих и добавок для пробного замеса; предварительный расчет расхода заполнителей на 1 м³ смеси для приготовления пробных замесов; уточнение расхода воды по заданной подвижности или выявление оптимального содержания воды по наибольшей объемной массе уплотненной легкобетонной смеси; установление зависимости между расходом вяжущего и прочностью бетона при заданной подвижности смеси. Одновременно устанавливают зависимость между расходом цемента и объемной массой бетона при принятых условиях уплотнения смеси.

Обычно для приготовления легкого бетона принимают наибольшую крупность гравия до 40 мм, а щебня — до 20 мм. При использовании пористого заполнителя с предельной крупностью до 20 мм бетон при прочих равных условиях получают более однородным, чем при заполнителе большей крупности.

Зерновой состав заполнителей определяют по идеальным кривым просеивания и данным табл. 39.

Наименьший расход вяжущего будет в том случае, если кривая просеивания заполнителя окажется в пределах заштрихованных площадей (рис. 56). Затем установленный по табл. 39 или

Таблица 39

Зерновой состав пористых заполнителей для виброуплотняемых бетонов

Виды пористого заполнителя	Предельная крупность заполнителя, мм	Содержание (% по объему) фракций		
		менее 1,2 мм	1,2—5 мм	более 5 мм
Щебень	10	45—65	0—20	25—55
	20	30—50	0—20	50—70
	40	20—35	0—20	65—80
Гравий	10	20—60	0—20	40—60
	20	25—45	0—20	55—75
	40	15—30	0—20	70—85

графику рис. 56 зерновой состав заполнителя уточняют путем приготовления нескольких серий образцов бетона с разными зерновыми составами заполнителя, расходами цемента и воды (не меньше трех по расходу цемента), при этом один расход

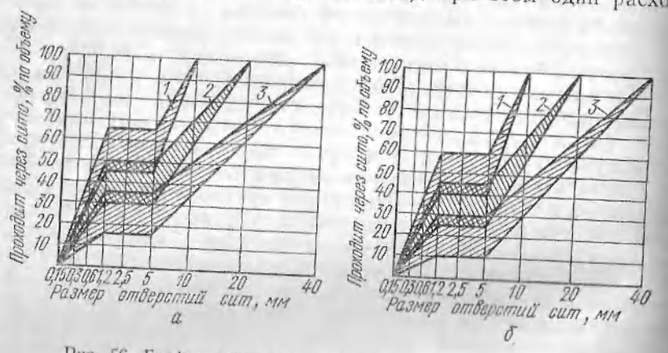


Рис. 56. График зернового состава пористых заполнителей:

а — пористого щебня и песка; *б* — пористого гравия и песка: *1* — предельная крупность заполнителя 10 мм; *2* — то же, 20 мм; *3* — то же, 40 мм

цемента заданной марки назначают по табл. 40, а два других — на 25% меньше и на 35% больше этого расхода.

В табл. 39 дан расход цемента применительно к заполнителям с насыпной массой 1000 кг/м³; при использовании более легких заполнителей указанный расход цемента необходимо умножить на поправочный коэффициент:

Марка заполнителя по насыпной массе, кг/м³	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000
Поправочный коэффициент	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0

Таблица 40

Исходный расход (кг) цемента М 400 на 1 м³ виброуплотненного бетона

Пористый заполнитель	Предельная крупность заполнителя, мм	Марки бетона						
		15	25	35	50	75	100	130
Щебень	10	90—100	110—130	130—150	150—170	170—190	190—210	250—270
	20	100—120	120—140	140—160	160—180	180—220	220—240	290—320
	40	110—130	140—160	160—180	180—200	210—300	260—280	340—380
Гравий	10	80—90	90—100	100—115	115—130	130—145	145—160	175—190
	20	90—100	100—110	110—125	125—140	140—160	160—180	200—225
	40	100—110	110—120	120—135	135—150	160—180	180—200	210—270

Очень важно при подборе состава легкого бетона установить оптимальный расход воды. Для каждого зернового состава и вида заполнителя, расхода вяжущего и добавок и способа уплотнения имеется один расход воды, при котором бетон имеет наибольшую прочность. Этот оптимальный расход воды находят по наибольшей прочности бетона или, пользуясь косвенным показателем объемной массы уплотненной бетонной смеси. Для этого приготавливают и испытывают несколько (3—5) серий образцов бетона с разным содержанием воды. За оптимальный расход воды принимают тот, при котором получается наибольшая прочность бетона при заданном зерновом составе заполнителя, расходе цемента и условиях уплотнения.

Бетонные смеси с легкими заполнителями приготавливают аналогично обыкновенным бетонным смесям. Однако легкобетонную смесь следует более тщательно перемешивать. Уплотнение легкого бетона производят теми же методами, что и тяжелого бетона. При этом следует учитывать, что плотность легкого бетона можно повысить не только подбором соответствующего гранулометрического состава бетонной смеси, расходом воды и применением пластифицирующих добавок, но и интенсивным и длительным уплотнением. Воздействие вибрирования на легкобетонные смеси отличается рядом особенностей. Большая разница в объемных массах заполнителя и цементного теста приводит при вибрировании к слабому уплотнению в нижней зоне и разуплотнению смеси в верхней зоне изделия, поэтому легкобетонные смеси требуют вибрирования с пригрузом, компенсирующим недостаток собственной массы заполнителей и препятствующим разуплотнению смеси в верхней зоне. Чем меньше объемная масса заполнителя, тем большая требуется пригрузка.

Свежеотформованные предельно уплотненные легкие бетоны обладают высокой структурной прочностью, позволяющей немедленную распалубку. Легкобетонные изделия можно формовать всеми способами, применяемыми для формования тяжелых бетонов (гл. XI). Аналогичным образом организуется и ускоренное твердение их.

§ 14. Ячеистые бетоны, их классификация и основные свойства

Ячеистые бетоны являются разновидностью легких бетонов с равномерно распределенными порами (до 85% от общего объема бетона); их получают в результате затвердевания предварительно вспученной порообразователем смеси вяжущего, воды и кремнеземистого компонента.

По **виду применяемого вяжущего** ячеистые бетоны делят на следующие группы: газобетоны и пенобетоны, получаемые на основе портландцемента или цементно-известкового вяжущего, газосиликаты и пеносиликаты, получаемые на основе смеси извести-кипелки и кварцевого песка; газошлакобетоны и пеношлакобетоны, получаемые из смеси извести и тонкомолотых доменных гранулированных шлаков или золы-уноса.

По **условиям твердения** различают ячеистые бетоны пропаренные и автоклавного твердения.

По **назначению** ячеистые бетоны делят на теплоизоляционные с объемной массой в сухом состоянии до 500 кг/м³ и маркой по прочности на сжатие до 25; конструктивно-теплоизоляционные с объемной массой 500—900 кг/м³ и М25—75 и конструктивные объемной массой 900—1200 кг/м³ и М75—200.

Ячеистые бетоны, будучи материалами весьма пористыми, отличаются низкой объемной массой и соответственно относительно невысокой прочностью. Такая же связь, но несколько другого порядка, существует между объемной массой и коэффициентом теплопроводности — показателем, особо важным для ячеистых бетонов. Коэффициент теплопроводности ячеистых бетонов изменяется от 0,07 до 0,25 Вт/м·°С.

В идеальном случае структура ячеистого бетона представляет замкнутые ячейки размером 0,4—1,5 мм.

Равномерность размеров и замкнутый характер пор уменьшают концентрацию напряжений в цементной оболочке ячеек, распределение напряжений происходит равномерно по сечению элемента, и прочность ячеистого бетона увеличивается.

При неудовлетворительной структуре наряду с мелкими замкнутыми порами присутствуют открытые крупные ячейки, которые могут сообщаться не только между собой, но и с окружающей средой. При такой структуре ячеистого бетона уменьшается прочность и морозостойкость, увеличиваются теплопроводность и водопоглощение. Высокая морозостойкость ячеистых бетонов объясняется особенностями их строения — большим количеством замкнутых пор, наполненных воздухом или газом. Для ячеистых бетонов установлены следующие марки морозостойкости: Мрз 10, 15, 25, 35, 50, 100 и 200.

Важным показателем прочности ячеистого бетона является прочность камня-оболочки ячейки, которая зависит не только от вида вяжущего, но и от условий его твердения. Наиболее высокую прочность получают бетоны после автоклавной обра-

ботки; при этом значительно экономится клинкерное вяжущее вещество.

Значительные усадочные деформации вызываются изменением влажности при высыхании бетона, их величина зависит главным образом от начальной влажности изделий после тепловлажностной обработки. После автоклавного твердения влажность изделий доходит до 25% по массе, а после пропаривания — 50%. Усадка после высыхания достигает соответственно 1,2; 2,5 мм/м. От усадочных деформаций могут появиться трещины, значительно снижающие долговечность изделий.

Введение в состав ячеистого бетона немолотого песка или снижение расхода воды затворения, а также применение более совершенной технологии изготовления изделий — вибровспучивания с последующей автоклавной обработкой позволяет значительно снизить усадочные деформации.

Вяжущим для приготовления ячеистых бетонов обычно служит портландцемент, молотая негашеная известь, а также вяжущие вещества, получаемые из отвальных и природных горелых пород. В качестве кремнеземистого компонента используют измельченный кварцевый песок, молотые доменные шлаки и золу-уноса. Вода для ячеистых бетонов должна удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к воде для бетонов. Для образования ячеистой структуры бетона применяют пено- и газообразователи. В качестве пенообразователей используют несколько видов поверхностно-активных веществ, способствующих получению устойчивых пен.

Клееканифольный пенообразователь приготавливают из мездрового клея, канифоли и водного раствора едкого натра; смолосапониновый — из мыльного корня и воды, иногда для увеличения стойкости пены в него вводят жидкое стекло; алюмосульфонафтеновый — из керосинового контакта, сернокислого глинозема и едкого натра; пенообразователь ГК — из гидролизованной боенской крови и сернокислого железа.

В качестве газообразователей используют алюминиевую пудру марки ПАК-3 или ПАК-4 с содержанием активного алюминия 82% и тонкостью помола 5000—6000 см²/г. Расход алюминиевой пудры зависит от объемной массы получаемого газобетона и составляет 0,25—0,6 кг/м³.

Пенобетоны получают смешиванием цементного теста или раствора с устойчивой пеной. После затвердевания пенобетонной смеси ячейки пены образуют бетон ячеистой структуры. Пену получают взбиванием жидкой смеси канифольного мыла и животного клея или водного раствора сапонина (вытяжки из растительного мыльного корня). Такая пена имеет длительно устойчивую структуру, хорошо смешивается с цементным тестом и раствором, которые распределяются по пленкам, окружающим воздушные ячейки, и в этом положении затвердевают. Лучшими пенообразователями являются алюмосульфонафтеновые и препарат ГК (гидролизованная боенская кровь).

Пену, цементное тесто или раствор, а также их смесь приготавливают в специальных пенобетоносмесителях, состоящих из трех барабанов, внутри которых вращаются валы с лопастями. Готовое тесто из верхнего барабана переливается в нижний, туда же из второго верхнего барабана поступает готовая пена, после чего тесто и пена тщательно перемешиваются в течение 2—3 мин. Приготовленная пенобетонная смесь поступает в бункера, из которых разливается в формы для изделий. Предварительно до тепловлажностной обработки смесь некоторое время выдерживают в формах. За это время пеномасса приобретает начальную прочность, не разрушается при встряхивании. Сократить время выдержки можно путем использования быстросхватывающихся цементов или путем введения добавок — ускорителей твердения.

По физико-механическим свойствам различают пенобетон теплоизоляционный, конструктивно-теплоизоляционный и конструктивный.

Теплоизоляционный пенобетон отливается в виде блоков размером 100×50×50 см и больше, которые после затвердевания распиливают на плиты. Теплоизоляционный пенобетон имеет прочность до 2,5 МПа, коэффициент теплопроводности — 0,1—0,2. Этот вид пенобетона применяют для теплоизоляции железобетонных покрытий, перегородок и т. д.

Конструктивно-теплоизоляционный пенобетон имеет прочность 2,5—7,5 МПа, коэффициент теплопроводности 0,2—0,4 Вт/м·°С, применяют его для ограждающих конструкций.

Из *конструктивного пенобетона* изготовляют армированные изделия для покрытий. Их армируют двумя сетками из проволоки толщиной 3—5 мм. Конструктивный пенобетон имеет прочность до 2,0 МПа и коэффициент теплопроводности 0,4—0,6 Вт/м·°С. Теплоизоляционный пенобетон широко используют в трехслойных ограждающих конструкциях отапливаемых зданий.

Газобетон получают из смеси вяжущего вещества — портландцемента, кремнеземистого компонента и газообразователя. Широкое применение в качестве газообразователя получила алюминиевая пудра, которая, реагируя с водным раствором гидроокиси кальция, выделяет водород:

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3H_2\uparrow$$

Выделяющийся водород вызывает вспучивание цементного теста, которое, затвердевая, сохраняет пористую структуру.

В портландцементных бетонах гидроокись кальция образуется в результате гидролиза трехкальциевого силиката, для ускорения этого процесса в смесь добавляют известь до 10% от массы цемента.

Алюминиевую пудру применяют в виде водной суспензии для ее лучшего распределения в смеси. Поскольку алюминиевый порошок при изготовлении на заводе парафинируют и частицы

алюминия не смачиваются водой, то для удаления пленки парафина алюминиевую пудру предварительно прокаливают в электропечах при температуре около 200° С, чтобы исключить возможность воспламенения порошка или взрыва.

Для изготовления изделий из газобетона смесь молотого песка и воды подают в мешалку и смешивают с цементом, алюминиевым порошком, водой и немолотым песком. Затем смесь разливают в формы. В настоящее время на заводах страны для приготовления ячеистого бетона различных видов применяют современные смесители типа виброгазобетоносмеситель СМС-40 и гидродинамический смеситель ГДС-3. Эти машины обеспечивают хорошее перемешивание, они позволяют получать высокогомогенные и активированные смеси с пониженным содержанием воды затворения (до 35—40%), при этом продолжительность процесса приготовления смеси не превышает 3 мин.

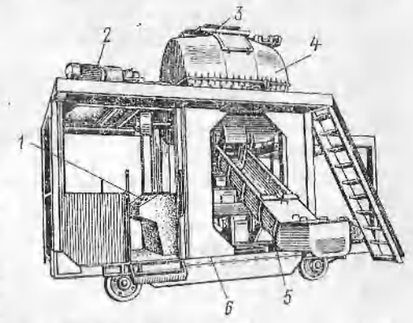


Рис. 57. Гидродинамический смеситель ГДС-3:

1 — пульт управления; *2* — привод смесителя; *3* — загрузочное устройство; *4* — горизонтальная смесительная камера; *5* — лоток; *6* — самоходный портал

Гидродинамический смеситель ГДС-3 (рис. 57) состоит из горизонтальной смесительной камеры с лопастным валом, активаторами, загрузочным и разгрузочными устройствами, самоходного портала, щита снабжения электроэнергией и системы управления.

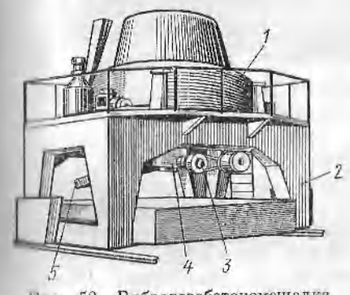


Рис. 58. Виброгазобетономешалка СМС-40:

1 — корпус; *2* — самоходный портал; *3* — привод вертикального вала; *4* — вертикальный вал; *5* — лоток

Виброгазосмеситель СМС-40 (рис. 58) состоит из корпуса, вертикального вала с лопастями, вибрационной системы и самоходного портала. На внутренней поверхности корпуса смонтированы отбойные лопасти. По всей длине вала по винтовой линии установлены попарно лопасти, образующие двухлопастный пропеллер. Привод вертикального вала осуществляется снизу через клиноременную передачу и конический редуктор. В конструкции вибрационного устройства предусмотрено регулирование частоты

вибрации и амплитуды колебаний. Исходные материалы загружаются через люки, имеющиеся в крышке. Готовая смесь выгружается через затвор, под которым расположен лоток, предназначенный для заливки газобетонной смеси в форму.

Формование ячеистобетонных массивов производят на виброплощадках со специальной бортоснасткой. После непродолжительной выдержки массивы разрезают машиной СМ-1211 на мелкие блоки и направляют в автоклавы. Режим автоклавной обработки изделий поддерживается по заданной программе автоматической системой регулирования. Твердение изделий происходит при температуре 175° С и давлении 0,8 МПа. Твердение газобетона в автоклаве обеспечивает высокую прочность и, кроме того, позволяет существенно уменьшить расход цемента путем частичной или полной замены его известью. Из автоклавов изделия поступают в пакетах на склад готовой продукции.

По свойствам газобетон аналогичен пенобетону и применяется наряду с пенобетоном. Однако он проще в изготовлении и позволяет получать изделия более устойчивого качества, чем пенобетонные. Способ производства ячеистых бетонов методом комплексной вибрации позволяет не только управлять процессом структурообразования, но и дает ряд технико-экономических преимуществ: интенсифицирует технологический процесс, улучшает свойства ячеистых бетонов, снижает влажность готовых изделий.

Вследствие этого, а также возможности использования местного сырья (извести, песка, шлака и золы) изготовление автоклавного газобетона, газосиликата и газошлакобетона стало основным направлением развития производства ячеистых бетонов.

§ 15. Экономическая эффективность легких бетонов

Снижение массы крупноразмерных бетонных изделий — одно из основных направлений технического прогресса в сборном строительстве.

Исследованиями, проведенными в НИИЭС Госстроя СССР, установлено, что технически возможный удельный вес легких бетонов в основных конструкциях полносборного строительства может составить примерно 60%. Суммарный объем выпуска легких бетонов к 1972 г. составил 15 млн. м³, а в ближайшей перспективе увеличится до 40—45 млн. м³, что предопределяет значительный рост объема производства пористых заполнителей.

В табл. 41 даются основные технико-экономические показатели наружных стен из легких бетонов. Из таблицы видно, что применение облегченных стеновых конструкций позволяет снизить массу 1 м² стены с 1080—1250 кг до 175—560 кг, т. е. примерно 2—7 раз (в зависимости от вида кирпичных и легкобетонных стен). Толщина ограждающих конструкций для принятых климатических условий снижается с 52—66 см до 25—40 см.

Таблица 41

Технико-экономические показатели стеновых конструкций для жилых зданий (из различных материалов на 1 м² стены при расчетной температуре —31° С)

(данные НИИЭС Госстроя СССР)*

Наименование показателей	Стеновые конструкции									
	из однослойных панелей на искусственных пористых заполнителях					из панелей на основе ячеистого бетона		из штучного кирпича		
	керамзитобетон с керамзитом		аглопоритбетон с аглопоритом на базе глин, $\gamma_{об}$ = 690 кг/м³	шлакопемзобетон со шлаковой пемзой, $\gamma_{об}$ = 650 кг/м³	перлитобетон с перлитом $\gamma_{об}$ = 300 кг/м³	на основе цемента, $\gamma_{об}$ = 700 кг/м³	на основе извести, $\gamma_{об}$ = 700 кг/м³	обыкновенного глиняного плотного кирпича	глиняного эффективного семищелевого	силикатного кирпича
	$\gamma_{об}$ = 350 кг/м³	$\gamma_{об}$ = 550 кг/м³								
Объемная масса бетона, кг/м³	900	1200	1400	1400	800	700	700	—	—	—
Толщина конструкций, см	26	32	40	35	25	25	25	66	52	55
Масса, кг	234	284	560	490	200	175	175	1185	1080	1250
Стоимость смонтированных сборных конструкций, руб.	11,54	13,1	15,5	11,8	11,2	10,4	9,8	18,5	15,5	13,9
Капитальные вложения, руб.	13,8	15,9	16,2	13,6	14,5	12,0	10,6	16,2	14,2	12,4
В том числе:										
на организацию производства конструкций	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,2	8,7	15,6	13,2	11,4
на организацию производства строительного сырья и полуфабрикатов (вяжущих, заполнителей, утеплителей, арматуры и др.)	5,4	7,6	7,8	5,2	6,1	3,8	2,1	1,1	1,1	1,1
Приведенные затраты	13,2	15,1	17,4	13,5	12,9	11,8	11,9	20,5	17,2	15,3

* Показатели определены как расчетные с учетом прогрессивных проектов отрасли и фактических данных по передовым предприятиям. В целях сопоставимости в расчете приняты равные мощности предприятий по производству стеновых конструкций, одинаковые транспортные схемы по перевозке изделий, одинаковый уровень заводской готовности стеновых конструкций. Потребность в капитальных вложениях определена по нормативам удельных капитальных вложений.

Трудоемкость изготовления и монтажа конструкций уменьшается соответственно с 1,3—1,65 чел-дн на 1 м² стены до 0,75—0,8 чел-дн, т. е. на 30—55%.

Стоимость смонтированных конструкций уменьшается с 18,6 руб/м² стены из полнотелого глиняного кирпича до 9,7—11,5 руб/м², причем наиболее значительное снижение этих затрат имеют конструкции стен из ячеистых бетонов и легких бетонов на пористых заполнителях пониженной объемной массы (300—350 кг/м³).

Объем капитальных вложений на развитие материально-технической базы строительства по конструкциям из пористых

заполнителей примерно одинаков с кирпичными стенами, а по ячеистым бетонам — на 15—20% меньше. При этом важным фактором, определяющим технико-экономическую эффективность применения газосиликатных панелей, является значительное уменьшение капитальных вложений на создание сырьевой базы для заводов силикатного домостроения.

Таблица 42

Расчет удельных капитальных затрат на создание сырьевой базы для производства (1 м²) панелей наружных стен

Вид сырья и полуфабрикатов	Панель							
	трехслойная железобетонная с минераловатным утеплителем		однослойная керамзитобетонная		однослойная ячеистая			
					на цементе		из извести (газосиликатная)	
	расход материалов	удельные капиталовложения	расход материалов	удельные капиталовложения	расход материалов	удельные капиталовложения	расход материалов	удельные капиталовложения
Цемент, кг	34,0	1,3	53,0	2,0	70,0	2,8	2,0	0,08
Известь, кг	—	—	—	—	—	—	40,0	0,62
Щебень, м³	0,06	0,5	—	—	—	—	—	—
Песок, м³	0,04	0,16	0,20	0,8	0,08	0,3	0,07	0,20
Утеплитель, м²	0,16	3,0	—	—	—	—	—	—
Прочие материалы, м³	—	0,1	—	2,6	—	0,7	—	1,3
Итого	—	6,0	—	5,4	—	3,8	—	2,1

В табл. 42 дается расчет удельных капитальных вложений в сырьевую базу для производства панелей наружных стен из различных материалов. Из этих данных видно, что снижение капитальных вложений на развитие смежных отраслей для газосиликатных панелей обусловлено сокращением норм расхода вяжущих и уменьшением удельных капитальных вложений на производство извести (по сравнению с цементом) и песка (по сравнению со щебнем). В целом капитальные вложения на создание сырьевой базы крупнопанельного домостроения из ячеистых бетонов в 1,5—2,5 раза меньше, чем по другим видам крупнопанельного домостроения.

Перспективным является снижение массы крупноразмерных изделий путем применения легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. Расчеты, подтвержденные практическим опытом ряда строек, говорят о том, что применение пористых заполнителей в производстве сборных элементов жилых домов дает значительный экономический эффект.

По данным ВНИИЭС, приведенные затраты на 1 м² конструкций стен жилых зданий (серия I-464) из легких бетонов на 2,8 руб. ниже, чем трехслойных стен из тяжелого бетона; экономия в расчете на 1 м³ легкого бетона составляет 9,3 руб. При

изготовлении наружных стен промышленных зданий экономия приведенных затрат в расчете на 1 м³ легкого бетона составляет 6 руб.

Эффективно также применение легких бетонов при изготовлении несущих внутренних стен промышленных зданий. Экономия приведенных затрат на 1 м² стены составляет 0,6 руб., что в расчете на 1 м³ легкого бетона дает экономический эффект по приведенным затратам 5 руб. Экономически эффективно применение легких бетонов при изготовлении несущих конструкций. Экономия приведенных затрат на 1 м² междуэтажного перекрытия составляет 1,4 руб., что в расчете на 1 м³ бетона (при приведенной толщине 10 см) дает экономию 14 руб.

Наибольший экономический эффект достигается при комплексном использовании легких бетонов во всех конструктивных элементах здания. Так, сметная стоимость 1 м² жилой площади в пятиэтажных домах из легкого бетона на 4—5% ниже, чем в аналогичном доме из тяжелого бетона. Применение легких бетонов в ограждающих и несущих конструкциях одноэтажного промышленного здания в сопоставлении с аналогичным зданием из тяжелого бетона позволяет снизить массу конструкций на 1/3, уменьшить трудоемкость изготовления на 5—6% и снизить приведенные затраты на 1 м² площади на 7—8%.

В связи с высокой экономической эффективностью легкие бетоны на пористых заполнителях за последние годы во всех развитых странах нашли широкое применение в гражданском, промышленном, гидротехническом строительстве, а также в строительстве инженерных сооружений.

В СССР наиболее широко легкие бетоны применяются в жилищном строительстве для изготовления стеновых панелей (наружных и внутренних стен) и перекрытий размером на комнату, крупных и мелких блоков для возведения наружных и внутренних стен, т. е. для изготовления таких конструкций, где наиболее рационально используются прочностные и теплоизоляционные свойства легких бетонов.

В меньшей мере легкие бетоны используются в несущих конструкциях, хотя, как показала практика строительства и расчеты экономической эффективности, применение их весьма выгодно также и в несущих конструкциях больших пролетов.

Характерной особенностью в развитии производства легких бетонов является постепенное снижение доли низкомарочных бетонов в общем их выпуске, расширение сырьевой базы для производства пористых заполнителей, повышение коэффициента конструктивного качества легкого бетона.

ГЛАВА VII

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

§ 1. Классификация строительных растворов

Строительным раствором называют отвердевшую смесь вяжущего вещества, мелкого заполнителя (песка) и воды. По своему составу строительный раствор является мелкозернистым бетоном и для него справедливы закономерности, присущие бетонам. Среди большого разнообразия растворов отдельные виды их имеют много общего. В основу групповой классификации положены следующие ведущие признаки: объемная масса, вид вяжущего вещества, назначение и физико-механические свойства растворов.

По объемной массе в сухом состоянии растворы делят на: тяжелые с объемной массой 1500 кг/м³ и более, для их изготовления применяют тяжелые кварцевые или другие пески; легкие растворы, имеющие объемную массу менее 1500 кг/м³, заполнителями в них являются легкие пористые пески из пемзы, туфов, шлаков, керамзита и других легких мелких заполнителей.

По виду вяжущего вещества строительные растворы бывают: цементные, приготовленные на портландцементе или его разновидностях; известковые, вяжущим в которых служат воздушная или гидравлическая известь; гипсовые, приготовленные на основе гипсовых вяжущих веществ — строительного гипса, ангидритовых вяжущих; смешанные, полученные на цементно-известковом, цементно-глиняном вяжущем.

Выбор вида вяжущего производят в зависимости от назначения раствора, предъявляемых к нему требований, температурно-влажностного режима твердения и условий эксплуатации здания или сооружения.

По **назначению** строительные растворы делят на: кладочные для каменных кладок и кладки стен из крупных элементов; отделочные для штукатурки, изготовления архитектурных деталей, нанесения декоративных слоев на стеновые блоки и панели; специальные, обладающие некоторыми ярко выраженными или особыми свойствами (акустические, рентгенозащитные, тампонажные и т. д.), специальные растворы имеют узкое применение.

В основу общей классификации растворов по **физико-механическим свойствам** приняты два важнейших показателя: прочность и морозостойкость, характеризующие долговечность раст-

вора. По величине прочности на сжатие строительные растворы подразделяют на девять марок от 4 до 300. По степени морозостойкости в циклах замораживания растворы имеют девять марок морозостойкости Мрз от 10 до 300.

Состав раствора обозначают количеством (по массе или объему) материалов на 1 м³ раствора или относительным соотношением (также по массе или объему) исходных сухих материалов. При этом расход вяжущего принимают за 1. Для простых растворов, состоящих из одного вида вяжущего и не содержащих минеральных добавок (цементных или известковых растворов), состав будет обозначен, например, 1:6, т. е. на 1 весовую или объемную ч. вяжущего приходится 6 ч. песка. Смешанные растворы, состоящие из двух вяжущих или содержащие минеральные добавки, обозначаются тремя цифрами, например, 1:0,4:5 (цемент: известь или глина: песок). Однако следует учитывать, что в цементных смешанных растворах за вяжущее принимают цемент совместно с глиной или известью.

В качестве мелкого заполнителя применяют: для тяжелых растворов кварцевые и полевошпатовые природные пески, а также пески, полученные дроблением плотных горных пород; для легких растворов — пемзовые, туфовые, ракушечные, шлаковые пески. Для обычной кладки кирпича, камней правильной формы, в том числе блоков, наибольший размер зерен песка не должен превышать 2,5 мм; для бутовой кладки, а также замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций и для песчаного бетона — не более 5 мм; для отделочного слоя штукатурки — не более 1,2 мм.

Для получения удобоукладываемой растворной смеси при использовании портландцементов применяют минеральные и органические добавки. В качестве эффективных минеральных добавок в цементные растворы вводят глину или известь в виде теста в таком количестве, чтобы соотношение цемент : тесто не превышало 1 : 1 для зданий I и II степени долговечности и 1 : 0,75 — для зданий III степени долговечности. Добавка глины и извести в цементных растворах повышает водоудерживающую способность, улучшает удобоукладываемость и дает экономию цемента. В качестве неорганических дисперсных добавок применяют также активные минеральные добавки — диатомит, трепел, молотые шлаки и т. д.

Поверхностно-активные добавки используют для повышения пластичности растворной смеси и уменьшения расхода вяжущего, вводя в растворы десятые и сотые доли процента от количества вяжущих. В качестве поверхностно-активной органической добавки применяют сульфатно-дрожжевую бражку (СДБ), гидролизованную боенскую кровь (ГК), мылонафт, гидрофозно-пластифицирующую добавку «флетматор» и др.

Требования к качеству вяжущих, заполнителей, добавок и воды такие же, как и к материалам, применяемым для приготовления бетонов.

§ 2. Свойства строительных растворов

Основными свойствами растворной смеси являются подвижность, удобоукладываемость, водоудерживающая способность, а растворов — прочность и долговечность.

Подвижность. Растворная смесь в зависимости от состава может иметь различную консистенцию от жесткой до литой. Строительные растворы для каменной кладки, отделки зданий и других работ изготовляются достаточно подвижными. Степень подвижности растворной смеси определяют глубиной погружения в смесь металлического конуса массой 300 г с углом при вершине 30°. Подвижность растворной смеси определяет **удобоукладываемость** — способность легко, с минимальной затратой энергии укладываться на основание тонким, равномерным по плотности слоем, прочно сцепляющимся с поверхностью основания.

Растворная смесь, приготовленная на одном портландцементе, часто содержит мало цементного теста и получается жесткой, неудобоукладываемой. В таких случаях применяют добавки минеральных или органических поверхностно-активных пластификаторов из рассмотренных выше.

Водоудерживающая способность характеризуется свойством раствора не расслаиваться при транспортировании и сохранять достаточную влажность в тонком слое на пористом основании. Растворная смесь, имеющая низкую водоудерживающую способность, при транспортировании расслаивается, а при укладке на пористое основание (глиняный кирпич, бетон, дерево) быстро отдает ему воду. Степень обезвоживания раствора может оказаться столь значительной, что воды будет недостаточно для твердения раствора, и он не достигнет необходимой прочности. Повышают водоудерживающую способность минеральные и органические пластификаторы.

Прочность затвердевшего раствора зависит от активности вяжущего вещества и величины цементно-водного отношения.

Прочность (Па) растворов на портландцементе определяют по формуле проф. Н. А. Попова

$$R_р = 0{,}25 R_ц \left(\frac{Ц}{В} - 0{,}4 \right),$$

где $R_ц$ — активность цемента, Па; Ц/В — цементно-водное отношение.

Приведенная формула верна для растворов, уложенных на плотное основание; при пористом основании, которое отсасывает из раствора воду и уплотняет этим раствор, прочность увеличивается примерно в 1,5 раза.

Прочность (Па) растворов зависит также от расхода цемента и качества песка:

$$R_р = k R_ц (Ц - 0{,}05) + 4,$$

где k — коэффициент, применяемый для мелкого песка 0,5—0,7; для среднего — 0,8 и для крупного — 1,0; Ц — расход цемента, т/м³ песка.

Прочность смешанных растворов зависит также от вводимых в них тонкомолотых добавок. Каждый состав цементного раствора имеет свою оптимальную величину добавки, при которой смесь обладает наилучшей удобоукладываемостью и дает раствор наибольшей прочности.

Прочность раствора характеризуется, как отмечалось, маркой. Марка раствора обозначается по пределу прочности на сжатие (Па), образцов размером 70,7×70,7×70,7 мм, изготовленных из рабочей растворной смеси на водоотсасывающем основании после 28-суточного твердения их при температуре 15—25° С. Средняя относительная прочность цементных растворов (в том числе смешанных), твердеющих в условиях нормального влажностного режима при температуре 15—25° С в возрасте 3 дней, составляет 0,25 от марочной 28-суточной прочности, в возрасте 7 дней — 0,5; 14 дней — 0,75; 60 дней — 1,2 и в 90-дневном возрасте — 1,3.

Если твердение цементных и смешанных растворов происходит при температуре, отличной от 15° С, то величину относительной прочности этих растворов принимают по специальным таблицам.

При применении растворов, изготовленных на шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе, следует учитывать замедление нарастания прочности при температуре твердения ниже 10° С. Для приготовления растворов на цементах высоких марок в целях экономии вяжущего необходимо вводить минеральные тонкомолотые добавки.

§ 3. Растворы для каменных кладок

Составы кладочных растворов и вид исходного вяжущего зависят от характера конструкций и условий их эксплуатации.

Растворы для каменных кладок и для изготовления крупных элементов стен и их монтажа приготавливают на вяжущих следующих видов: на *портландцементе* и *шлакопортландцементе* — для монтажа стен из панелей и крупных бетонных и кирпичных блоков, для изготовления виброкирпичных панелей и крупных блоков, для обычной кладки на растворах высоких марок, а также для кладки, выполняемой способом замораживания; на основе *извести*, если не требуются растворы высоких марок, и *местных вяжущих* (известково-шлаковых, известково-пуццолановых) — для малоэтажного строительства; растворы на местных вяжущих не следует применять при температуре ниже 10° С; на *пуццолановом* и *сульфатостойком портландцементе* применяют для конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных и сточных вод.

Строительные кладочные растворы изготовляют четырех видов: цементные, цементно-известковые, цементно-глиняные и известковые.

Цементные растворы применяют для подземной кладки и кладки ниже гидроизоляционного слоя, когда грунт насыщен водой, т. е. в тех случаях, когда необходимо получить раствор высокой прочности и водостойкости.

Цементно-известковые растворы представляют собой смесь цемента, известкового теста, песка и воды. Эти растворы обладают хорошей удобоукладываемостью, высокой прочностью и морозостойкостью. Цементно-известковые растворы применяют для возведения подземных и надземных частей зданий.

Цементно-глиняные растворы, состоящие из цемента, глиняного теста, песка и воды, обладают хорошей удобоукладываемостью, прочностью и достаточной морозостойкостью; их, как и цементно-известковые, применяют для кладки стен подземных и надземных частей зданий.

Известковые растворы обладают высокой пластичностью и удобоукладываемостью, хорошо сцепляются с поверхностью, имеют малую усадку. Они отличаются довольно высокой долговечностью, но являются медленно твердеющими. Известковые растворы применяют для конструкций, работающих в надземных частях зданий, испытывающих небольшое напряжение. Состав известковых растворов зависит от качества применяемой извести.

Подвижность кладочных растворов принимают в зависимости от их назначения и способа укладки в следующих пределах: для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных и виброкирпичных панелей и для расшивки вертикальных и горизонтальных швов — 5—7 см; для изготовления крупных блоков из кирпича, заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных блоков, блоков из кирпича, бетонных камней и камней из легких пород (туф и др.) — 9—13 см; для бутовой кладки — 4—6 см, а для заливки пустот в ней — 13—15 см.

Расход цемента на 1 м³ песка при подборе состава раствора устанавливают в зависимости от требуемой долговечности и условий, в которых будет находиться здание или сооружение во время эксплуатации.

Для надземной кладки стен зданий I, II и III степени долговечности с относительной влажностью воздуха помещений до 60% и кладки фундаментов в маловлажных грунтах расход цемента должен быть не менее 75 кг в цементно-известковых растворах и не менее 100 кг в цементно-глиняных растворах для зданий I и II степени долговечности. Для надземной кладки с относительной влажностью воздуха помещений свыше 60% и кладки фундаментов в очень влажных и насыщенных водой грунтах расход цемента в цементно-известковых растворах должен составлять не менее 100 кг и в цементно-глиняных растворах для зданий I и II степени долговечности расход цемента должен составлять не менее 125 кг на 1 м³ песка. Указанные расходы цемента относятся к песку в рыхлонасыщенном состоянии при естественной влажности 1—3%.

Кладочные растворы приготавливают на песке для кладки стен из камней правильной формы крупностью до 2,5 мм, а для бутовой кладки из бутовых камней — до 5 мм.

Для получения растворов необходимой подвижности и водоудерживающей способности в их состав вводят неорганические или органические пластификаторы.

При надземной кладке стен помещений с относительной влажностью воздуха до 60% и для кладки фундаментов в маловлажных грунтах в цементно-глиняных растворах отношение объема вводимого глиняного теста к объему цемента должно быть: в зданиях I и II степени долговечности — не более 1 : 1; в зданиях III степени долговечности — не более 1,5 : 1. Для надземной кладки стен помещений с относительной влажностью воздуха свыше 60% и для кладки фундаментов в очень влажных и насыщенных водой грунтах в цементно-глиняных и цементно-известковых растворах отношение объема вводимого известкового или глиняного теста к объему цемента должно быть: в зданиях I и II степени долговечности — не более 0,7 : 1, в зданиях III степени долговечности — не более 1 : 1.

Объемные отношения неорганических пластификаторов к цементу указаны для глиняного теста с глубиной погружения в него стандартного конуса на 13—14 см и для известкового теста с объемной массой 1400 кг/м³. Применение добавок для кладки ниже наивысшего уровня грунтовых вод не допускается.

Для каменной кладки наружных стен применяют цементно-известковые и цементно-глиняные растворы марок: не ниже 10 для зданий при относительной влажности воздуха помещений 60% и менее и при I и II степени долговечности конструкций; при повышении влажности до 75% марка раствора должна быть не менее 25, а при влажности 75% и более — не менее 50. Для каменной кладки наружных стен зданий III степени долговечности марка раствора должна быть не менее соответственно 4, 10 и 25. Для каменной кладки наружных стен зданий I и III степени долговечности и относительной влажностью воздуха до 60% применяют известковые растворы не ниже М4.

Для подземной каменной кладки и кладки цоколей ниже гидроизоляционного слоя применяют цементные, цементно-известковые и цементно-глиняные растворы не ниже М25—50. При армированной кладке стен марка растворов по прочности должна быть: в сухих условиях эксплуатации (относительная влажность воздуха помещений до 60%) не менее 25, а во влажных (относительная влажность воздуха помещений выше 60%) — не менее 50. Для кладки столбов, простенков, карнизов, перемычек, сводов и других частей зданий применяют растворы

М25—50. Для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных панелей используют растворы не ниже М100 для панелей из тяжелого бетона и не ниже М50 — для панелей из легкого бетона.

При кладке стен из панелей, крупных блоков и обычной каменной кладки в зимних условиях марка раствора по прочности назначается в зависимости от температуры наружного воздуха и с учетом несущей способности конструкции и должна быть не ниже: для кладки из кирпича и камней правильной формы: стен и фундаментов — 10, столбов — 25, карнизов и рядовых перемычек — 50; для кладки из бута: стен и фундаментов — 25, столбов — 50; для кладки, возводимой с искусственным обогревом в тепляках или при применении химических добавок, — 25; для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных и виброкирпичных панелей — 100.

В растворы, применяемые при монтаже стен из бетонных и виброкирпичных панелей и крупных блоков в зимних условиях при температуре от —11° С и выше, вводят поташ в количестве 10—15% от массы воды затворения или нитрит натрия 5—10% (чаще).

§ 4. Отделочные растворы

Различают отделочные растворы для обычных штукатурок и декоративные. Штукатурные растворы приготавливают на цементах, цементно-известковых, известковых, известково-гипсовых и гипсовых вяжущих.

В зависимости от области применения отделочные растворы делят на растворы для наружных и внутренних штукатурок. Составы штукатурных растворов устанавливают с учетом их назначения и условий эксплуатации зданий и сооружений. Штукатурные растворы должны обладать необходимой степенью подвижности, иметь хорошее сцепление с основанием и мало изменяться в объёме при твердении, чтобы не вызывать образования трещин штукатурки.

Подвижность штукатурных растворов (глубина погружения стандартного конуса) и предельная крупность применяемого песка для каждого слоя штукатурки различны. Подвижность раствора для подготовительного слоя при механизированном нанесении составляет 6—10 см, а при ручном нанесении — 8—12 см. Наибольшая крупность песка при этом не должна превышать 2,5 мм. Отделочные слои растворов, содержащих гипс, должны иметь бóльшую подвижность — 9—12, чем растворы без гипса — 7—8 см. Для регулирования сроков схватывания в гипсовые растворы вводят замедлители твердения. Для отделочного слоя применяют мелкие пески крупностью не более 1,2 мм. Для увеличения подвижности штукатурных растворов вводят органические пластификаторы.

Для наружных штукатурок каменных и монолитных бетонных стен зданий с относительной влажностью воздуха помещений до 60% применяют цементно-известковые растворы, а для наружных штукатурок деревянных и гипсовых поверхностей в районах с устойчиво сухим климатом применяют известково-гипсовые растворы. Для наружной штукатурки цоколей, поясков, карнизов и других участков стен, подвергающихся систематическому увлажнению, используют цементные и цементно-известковые растворы на портландцементах. Для внутренней штукатурки стен и перекрытий здания при относительной влажности воздуха помещений до 60% применяют известковые, гипсовые, известково-гипсовые и цементно-известковые растворы.

Декоративные цветные растворы используют для заводской отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков, для цветных штукатурок фасадов зданий и элементов городского благоустройства, а также для цветных штукатурок внутри общественных зданий.

Декоративные растворы, применяемые для отделки железобетонных панелей, должны иметь марку не менее 150, а для отделки панелей из легких бетонов — не менее 50; для штукатурки фасадов зданий — не менее 50. Марка отделочных растворов по морозостойкости должна быть не менее 35; водопоглощение растворов с заполнителями из кварцевого песка — не более 8%, а растворов с заполнителями из пород с пределом прочности ниже 40 МПа — не более 12%.

Для приготовления декоративных растворов в качестве вяжущих применяют: портландцементы (обычный, белый и цветной) — для отделки слоистых железобетонных панелей и панелей из бетонов на легких пористых заполнителях; известь или портландцемент (обычный, белый и цветной) — для лицевой отделки панелей из силикатного бетона и для цветных штукатурок фасадов зданий; известь и гипс — для цветных штукатурок внутри зданий.

В качестве заполнителей для цветных декоративных растворов применяют промытый кварцевый песок и песок, получаемый дроблением гранита, мрамора, доломита, туфа, известняка и других белых или цветных горных пород.

Для придания отделочному слою блеска в состав раствора вводят до 1% слюды или до 10% дробленого стекла. В качестве красителей применяют щелочестойкие и светостойкие приводные и искусственные пигменты (охру, сурик железный, мумию, окись хрома, ультрамарин и др.).

Подбор состава декоративного раствора производят опытным путем. Ориентировочный расход цемента для раствора, идущего на отделку панелей и крупных блоков, принимают по табл. 43.

Подвижность декоративных растворов принимается такой же, как и растворов для обычной штукатурки.

Таблица 11

Ориентировочный расход цемента для отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков

Вид раствора	Марка раствора	Расход цемента (кг/м³) при марке		
		300	400	500
Раствор с заполнителем из песка и дробленых горных пород	75	320	270	240
	100	370	310	280
	150	470	390	350

Подвижность декоративных растворов для отделки панелей и крупных блоков устанавливают техническими условиями на изготовление этих изделий.

Подвижность, водоудерживающая способность и атмосферостойкость декоративных цветных растворов может быть повышена введением гидрофобизующих добавок (мылонафтах) или пластифицирующей добавки СДБ.

Иногда применяют сухие растворные смеси, которые на месте работ затворяют водой.

§ 5. Специальные растворы

К специальным относятся растворы для заполнения швов между элементами сборных железобетонных конструкций, инъекционные растворы для полов, гидроизоляционные, тампонажные, акустические и рентгенозащитные.

Растворы для заполнения швов между элементами сборных железобетонных конструкций приготавливают на портландцементе и кварцевом песке подвижностью 7—8 см. Растворы, воспринимающие расчетную нагрузку, должны иметь марку, равную марке бетона соединяемых конструкций, а растворы, не воспринимающие расчетную нагрузку, не менее М 100. В тех случаях, когда в швах имеется арматура или закладные детали, растворы не должны содержать добавок, вызывающих коррозию металла, в частности хлористого кальция.

Инъекционные растворы представляют собой цементно-песчаные растворы или цементное тесто, применяемые для заполнения каналов предварительно напряженных конструкций. К инъекционным растворам предъявляются повышенные требования по прочности (не менее М 300), водоудерживающей способности и морозостойкости. Для уменьшения вязкости раствора применяют добавки СДБ или мылонафта в количестве до 0,2% от массы цемента. Для инъекционных растворов применяют цемент М 400 и выше. Расход цемента для цементного теста 1300—1600 и для цементно-песчаных растворов — 1100—1400 кг/м³.

Растворы для полов используют цементно-песчаные, цементные, цементно-опилочные и полимерцементные. Цементно-

песчаные растворы, применяемые для стяжки полов, должны обладать необходимой прочностью и хорошей подвижностью (11—13 см).

Цементно-песчаные растворы, применяемые для полов из брусчатки, клинкерного кирпича, бетонных плит, мозаичных и керамических плиток, а также чугунных дырчатых плит и ксилолитовых плиток, должны иметь необходимую прочность и повышенную вязкость (глубина погружения конуса 1,5—3,5).

Металлоцементные растворы М 500 и выше и низкой подвижностью (не более 1 см) изготовляют из обезжиренной стальной стружки крупностью 1—3 мм, цемента и воды.

Цементно-опилочные смеси для устройства основания под полы состоят из портландцемента или ангидритового вяжущего, песка и мелких древесных опилок.

В строительной практике за последние годы все шире применяют для полов полимерцементные растворы, которые получают затворением цемента водной дисперсией полимера (синтетические латексы). Полы на таких растворах обладают достаточной прочностью, коррозионной стойкостью, гигиеничностью и высоким сопротивлением износу.

Гидроизоляционные растворы приготавливают на цементах повышенных марок (400 и выше) и кварцевом песке или искусственно полученном песке из плотных горных пород. Для устройства гидроизоляционного слоя, подвергающегося воздействию агрессивных вод, в качестве вяжущих для раствора применяют сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий пуццолановый портландцемент. Ориентировочный состав растворов для гидроизоляционной штукатурки 1 : 2,5 или 1 : 3,5 (цемент: песок по массе). Для заделки трещин и каверн в бетоне и для устройства штукатурки по бетону или каменной кладке путем торкретирования или обычным способом используют цементные растворы с добавками алюмината натрия, полимеров или битумных эмульсий.

При необходимости обеспечить водонепроницаемость швов и стыков в сооружении применяют гидроизоляционные растворы, приготовленные на водонепроницаемом расширяющемся цементе.

Тампонажные растворы — цементно-песчаные, цементно-песчано-суглинистые и цементно-суглинистые — применяют для тампонирования нефтяных скважин. Они должны обладать высокими однородностью, водостойкостью, подвижностью; сроками схватывания, соответствующими условиям нагнетания раствора в скважину; достаточной водоотдачей под давлением с образованием в трещинах и пустотах горных пород плотных водонепроницаемых тампонов прочностью, противостоящей напору подземных вод, и стойкостью в агрессивной среде. Тампонажные растворы изготовляют четырех марок от 25 до 100, объемной массой 1650—2000 кг/м³. В качестве вяжущих для тампонажных растворов применяют портландцемент, при агрессивных водах — шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и сульфа-

тостойкий портландцемент, а при наличии напорных вод — тампонажный портландцемент. Состав тампонажных растворов назначают в зависимости от гидрогеологических условий, типа крепи и способа ведения тампонажных работ. При проходке горных выработок с замораживанием и креплением бетоном применяют цементно-песчано-суглинистые растворы с добавкой до 5% хлористого кальция.

Акустические растворы применяют в качестве звукопоглощающей штукатурки для снижения уровня шумов. Их объемная масса 600—1200 кг/м³. В качестве вяжущих используют портландцемент, шлакопортландцемент, известь, гипс или их смеси и каустический магнезит. Заполнителями служат однофракционные пески крупностью 3—5 мм из легких пористых материалов: пемзы, перлита, шлаков, керамзита и др. Количество вяжущего и зерновой состав заполнителя в акустических растворах должны обеспечивать открытую незамкнутую пористость раствора.

Рентгенозащитные растворы применяют для штукатурки стен и потолков рентгеновских кабинетов. Это тяжелые растворы с объемной массой более 2200 кг/м³. В качестве вяжущих используют портландцемент и шлакопортландцемент, а в качестве заполнителей — барит и другие тяжелые породы в виде песка крупностью до 1,25 мм и пыли. Для улучшения защитных свойств в рентгенозащитные растворные смеси вводят добавки, содержащие легкие элементы: водород, литий, кадмий и борсодержащие вещества.

§ 6. Приготовление строительных растворов

Строительные растворы приготавливают двух видов: в виде готовых растворных смесей необходимой подвижности и в виде сухих растворных смесей, требующих перед употреблением смешивания с водой и в необходимых случаях ведения специальных добавок.

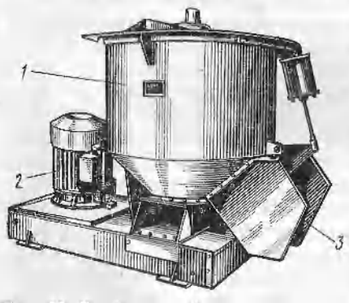


Рис. 59. Турбулентный растворосмеситель СБ-81:

1 — цилиндрический бак; *2* — электродвигатель; *3* — разгрузочный люк

Строительные растворы готовят в централизованном порядке на бетоно-растворных заводах или растворосмесительных узлах (рис. 59). Приготовление растворов на механизированных приобъектных или передвижных установках производят лишь при малых объемах работ и отдаленном расположении централизованного производства раствора. Целесообразность изготовления и поставки сухих растворных смесей устанавливают с учетом условий перевозки и производства работ.

Составы растворов для получения заданной марки следует подбирать любым обоснованным способом, обеспечивающим получение заданной прочности раствора к определенному сроку твердения при наименьшем расходе цемента. При этом необходимо обеспечивать подвижность и водоудерживающую способность растворной смеси, соответствующие условиям применения раствора. Подобранный состав уточняется контрольными испытаниями.

Дозирование вяжущих материалов производят по массе. Сухие растворные смеси с известью-пушонкой, без цемента и активных минеральных добавок можно приготовлять на песке с естественной влажностью, а при введении цемента или активных минеральных добавок — только с просушенными песком и добавками.

Приготовление раствора производят в растворосмесителях периодического действия емкостью 150, 375 и 750 л или в растворосмесителях непрерывного действия. Продолжительность перемешивания обычных растворов 1,5—2,5 мин, легких растворов 2,5—3,5 мин и до 5 мин растворов с гидравлическими и другими добавками.

В смесителях новейших конструкций длительность перемешивания растворов составляет всего 30—40 с.

В настоящее время товарные растворы приготовляют централизованно на специальных установках, и на стройку они поступают в виде сухих смесей или готовых растворов определенной консистенции, марки и качества. Строительные растворы перевозят в специально оборудованных автоцистернах с автоматической разгрузкой или автосамосвалах; на строительных площадках раствор транспортируют растворонасосами. Для предохранения растворов от расслаивания автомобили оборудуют смесителями.

Для предотвращения преждевременного схватывания растворных смесей (при транспортировании и хранении) в них вводят добавки — замедлители схватывания.

Контроль качества при проверке исходных материалов заключается в проверке качества исходных материалов, их дозирования и времени перемешивания. Кроме того, определяют удобоукладываемость и прочность раствора в определенные сроки твердения.

ГЛАВА VIII

ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Искусственные каменные изделия получают из растворных или бетонных смесей на основе минеральных вяжущих веществ в процессе их формования и последующего затвердевания. В качестве заполнителей для этих смесей применяют кварцевый песок, пемзу, шлак, золу, древесные опилки. Для повышения прочности при изгибе изделия армируют волокнистыми материалами — асбестом, древесиной (в виде шерсти, дробленых отходов), бумажной макулатурой, листовой бумагой и др.

Искусственные каменные изделия по виду минерального вяжущего можно разделить на следующие четыре группы: гипсовые и гипсобетонные; изделия на основе магнезиальных вяжущих; силикатные; асбестоцементные, изготовляемые на основе портландцемента с добавкой асбеста.

А. ГИПСОВЫЕ И ГИПСОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

§ 1. Общие сведения и технико-экономическая оценка гипсовых и гипсобетонных изделий

Изделия на основе гипса можно получать как из гипсового теста, т. е. из смеси гипса и воды, так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют гипсовыми, во втором — гипсобетонными. Вяжущими для изготовления гипсовых и гипсобетонных изделий в зависимости от их назначения служат строительный или высокопрочный гипс, водостойкие гипсоцементнопуццолановые смеси, а также ангидритовые цементы. В качестве заполнителей в гипсобетоне используют естественные материалы — песок, пемзу, туф, топливные и металлургические шлаки, а также легкие пористые заполнители промышленного изготовления — шлаковую пемзу, керамзитовый гравий, аглопорит и др. Органическими заполнителями (их называют еще наполнителями) являются древесные опилки, стружка или шерсть, бумажная макулатура, стебли и волокно камыша, льняная костра и др.

Для получения высокопористых теплоизоляционных гипсовых изделий — газогипса — в состав гипсовой массы вводят газообразующие добавки — разбавленную серную кислоту и углекислые соли, едкий натр и перекись водорода, при взаимодействии которых с гипсом выделяется газ, вспучивающий гипсовую массу.

Наряду с рядом положительных технических свойств гипс обладает значительной хрупкостью, особенно это свойство сказывается при использовании тонкостенных листовых материалов и изделий (гипсовой сухой штукатурки). Поэтому производят искусственное упрочнение путем применения армирующих материалов (волокнистых), вводимых в состав формовочной массы или являющихся частями конструкции самого изделия. Так, в гипсовой сухой штукатурке роль арматуры выполняет внешняя картонная оболочка, в прокатных перегородочных гипсобетонных панелях — деревянные рейки. Роль арматуры могут также выполнять металлические стержни, проволока или сетка, однако следует иметь в виду, что стальная арматура в гипсовых изделиях подвергается коррозии, поэтому ее применять без защитного слоя нельзя. В качестве арматуры могут также использоваться органические волокна, равномерно распределенные в самой формовочной массе.

Гипсовые и гипсобетонные изделия по своему назначению делятся на панели и плиты перегородочные; листы обшивочные (гипсовая сухая штукатурка); плиты теплоизоляционные; камни для наружных стен; изделия для перекрытий; изделия огнезащитные; архитектурные детали.

Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

Гипсовые изделия имеют ряд ценных качеств: сравнительно небольшую объемную массу, несгораемы, обладают хорошей звукоизоляцией и т. д. К числу недостатков гипсовых изделий следует отнести: значительное понижение прочности при увлажнении, высокую ползучесть изделий под нагрузкой, особенно при увлажнении. Изделия на основе гипса допускается применять в условиях, исключающих систематическое увлажнение, и в помещениях с относительной влажностью воздуха не более 60%. Для повышения влаго- и водостойкости изделий последние покрывают водонепроницаемыми защитными красками или пастами (масляными, казеиновыми), а также применяют добавки к гипсу молотого доменного гранулированного шлака и пуццоланового портландцемента. В последнем случае получают достаточно водостойкие гипсовые изделия на вяжущем, называемом гипсоцементнопуццолановым.

Гипсовые и гипсобетонные изделия формуют различными способами: литьем, вибрированием, прессованием, прокатом, в процессе которых изделия быстро приобретают значительную прочность. Технологический процесс производства изделий из гипсовых или гипсобетонных смесей принципиально не отличается от рассмотренного в гл. X и состоит из следующих операций: дозирования всех компонентов формовочной массы

(вяжущего, заполнителей, воды и материалов, регулирующих сроки схватывания гипса); приготовления растворной и бетонной смеси; формования изделий; твердения изделия — сушки до воздушно-сухого состояния.

§ 2. Гипсобетонные панели для перегородок

Гипсобетонные панели применяют для устройства несущих перегородок в жилых, общественных и производственных зданиях с относительной влажностью воздуха не более 60%.

Для жилищного строительства панели изготовляют как сплошными, так и с проемами для дверей и фрамуг размером «на комнату» высотой до 3 и длиной 6 м, толщиной 80 и 100 мм. Прочность панелей при сжатии гипсобетона должна быть не менее 3,5 МПа, влажность в поверхностных слоях на глубине до 2 см при отпуске потребителю — не более 8%.

К гипсовым крупноразмерным изделиям относятся перегородочные плиты и панели, получаемые из гипсобетонных и гипсоволокнистых масс, панели для санитарных узлов и кабин, получаемые на основе водостойкого гипсоцементнопуццоланового вяжущего, плиты для настила полов под линолеум, вентиляционные блоки и др.

При изготовлении перегородочных панелей предъявляются в основном требования по звукоизоляции и прочности. Этим требованиям удовлетворяет гипсобетон с объемной массой 1250 — 1400 кг/м³, получаемый при равных соотношениях по объему гипса, песка и опилок (1:1:1). Наряду с песком и опилками заполнителями могут служить шлак, зола, сечка соломы, камыш и другие материалы.

Панели из гипсобетона изготовляют методом непрерывного формования на прокатных станах и в кассетах.

Производство крупноразмерных гипсобетонных перегородочных панелей методом непрерывного проката благодаря высоким технико-экономическим показателям получило особенно широкое распространение. Гипсобетонную смесь приготавливают в дозировочно-смесительном отделении формовочного цеха (рис. 60), где имеется четыре бункера: два для гипса и по одному для песка и опилок. Отдозированные материалы поступают в приемный лоток для сухого смешивания, а оттуда — в гипсобетоносмеситель непрерывного действия для перемешивания с водой и замедлителем схватывания. Затем приготовленная гипсобетонная масса поступает для формования на прокатную установку. Заранее приготовленные из деревянных реек арматурные каркасы укладывают на ленту прокатного стана (см. рис. 60, участок *I*) и подают ее к шнеку-укладчику бетонной смеси, равномерно распределяющему по ширине панели гипсобетонную массу. Под шнеком-укладчиком лента опирается на балку с двумя периодически включающимися вибраторами, что обеспечивает лучшее распределение массы.

Прокатный стан придает гипсобетонной массе форму готовой панели. Принцип его действия основан на том, что гипсобетонная масса, равномерно распределенная между резиновыми лентами двух движущихся в одном направлении с одинаковой скоростью транспортеров (нижнего, несущего реечный каркас, и верхнего, уплотняющего и сглаживающего массу), проходит через щель между прокатными (калибрующим) валками, которые прессуют массу и придают панели окончательные размеры по толщине. Калибрующие валки не соприкасаются с гипсобетоном, так как находятся один под нижней, а другие над верхней лентами транспортера. При дальнейшем движении панели между нижней и верхней лентами, а затем на одной ленте гипсобетонная масса схватывается. Сформованная панель поступает на обгонный рольганг, движущийся с большей скоростью, чем скорость передвижения панели на стане. Рольганг транспортирует панель на опрокидыватель (кантователь), который разворачивается на угол 90°. Панель снимается и устанавливается в кассетную сушильную вагонетку, отправляемую затем в тупиковые сушила. Сушат панели дымовыми газами или нагретым воздухом.

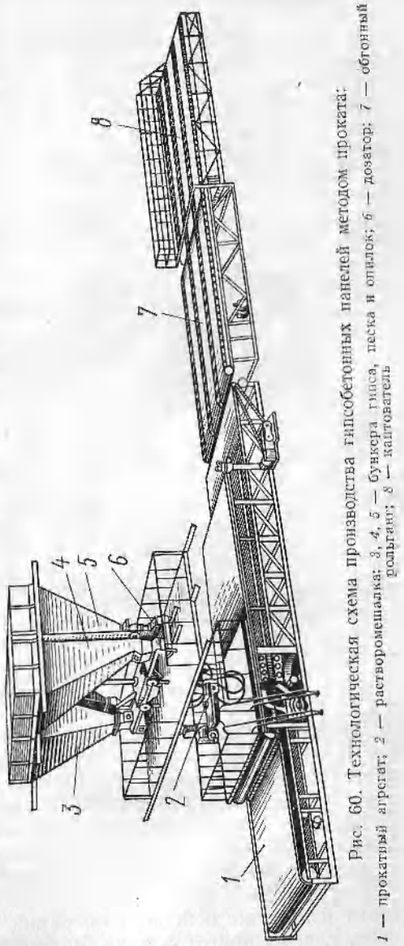


Рис. 60. Технологическая схема производства гипсобетонных панелей методом проката:
1 — прокатный агрегат; *2* — растворомешалка; *3, 4, 5* — бункера гипса, песка и опилок; *6* — дозатор; *7* — обгонный рольганг; *8* — кантователь

Температура теплоносителя при входе 110—130° С, длительность сушки — 20—26 ч. Высушенные панели сразу же отправляют автопанелевозами на строительные площадки или хранят в вертикальном положении.

В настоящее время для сушки строительных плитных изделий и конструкций, изготовляемых на прокатном стане, применяют автоматизированные конвейерные линии импульсно-вакуумной сушки. Линия состоит из пульсирующего конвейера и стационарных постов, оборудованных вакуумными термощитами. При подаче изделия на пост вакуумные термощиты прижимаются по периметру через упругие уплотнительные прокладки.

Сушку осуществляют при периодическом чередовании на поверхности изделия импульсов нагрева и разрежения. Материал сохнет равномерно по сечению с постоянной скоростью, что

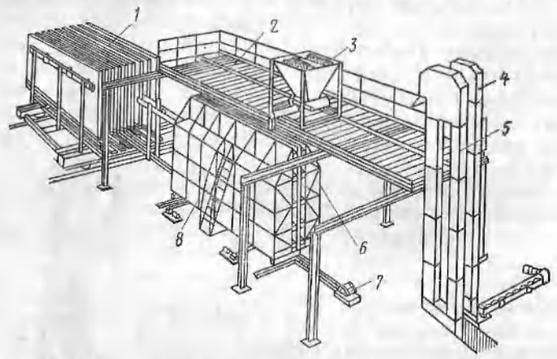


Рис. 61. Установка для производства крупноразмерных гипсошлаковых панелей в вертикальной форме:
1 — склад-тележка с готовыми панелями; *2* — площадка; *3* — гипсобетоносмеситель; *4* — элеватор для гипса; *5* — элеватор для шлака; *6* — неподвижная стенка; *7* — электролебедка; *8* — подвижная стенка

исключает возможность возникновения опасных напряжений. Контроль и регулирование процесса ведут в зависимости от температуры поверхностей изделия и глубины вакуума, создаваемого в полости термовакуумных щитов. По окончании сушки производят контрольное взвешивание пластин. Производительность линии — 600 000 м²/год; при толщине изделия в 8 см длительность сушки составляет 90—120 мин.

Изготовление панелей в вертикальных формах-кассетах состоит из тех же основных операций, что и при прокатном способе, т. е. из приготовления бетонной смеси, изготовления реечных каркасов формовки и сушки изделий. Отличие заключается в применяемом формовочном оборудовании. Процесс изготовления панелей в кассетах — периодический, что несколько снижает технико-экономические показатели этого способа по срав-

нению с прокатным. Производственная установка (рис. 61) состоит из кассетной формы, гипсомешалки непрерывного действия и поддона — тележки. Общий цикл изготовления панели в кассетных формах составляет около 1 ч, а на прокатном стане — 15 — 20 мин.

§ 3. Гипсовые плиты для перегородок

Плиты для перегородок (рис. 62) выпускают сплошные и пустотелые размером 800×400 мм, толщиной 80—100 мм.

Гипсовые плиты поддаются механической обработке, гвоздятся, огнестойки, обладают высокими звукоизоляционными свойствами. Гипсовые плиты гигроскопичны — водопоглощение составляет около 20%. Свойства плит при повышенной влажности ухудшаются. Использование плит разрешается при относительной влажности воздуха не более 70%.

При небольшом объеме производства гипсовые перегородочные плиты изготовляют в разборных формах-вагонетках. На крупных механизированных заводах изготовление плит ведут на высокопроизводительных карусельных формовочных машинах (рис. 63), работающих на быстротвердеющей массе. Конец схватывания гипса должен наступать не позднее 5—6 мин, поэтому в состав гипсовой массы вводят ускорители схватывания в виде двуводного гипса (2—3%). Воду подогревают до 35—40° С, что ускоряет схватывание гипса и сокращает длительность сушки изделий. Составляющие материалы (гипс, древесные опилки, замедлитель схватывания) со склада поступают в бункера, а затем через дозирующие устройства — в винтовой смеситель и далее в быстроходный горизонтальный гипсосмеситель, где перемешиваются сначала в сухом состоянии, а затем с водой до получения массы необходимой консистенции. Из гипсосмесителя готовая масса через воронку равноверно распределяется в ячейки сдвоенной формы. Карусель имеет 28 сдвоенных форм, которые, предварительно покрытые масляной эмульсией, заполняются гипсовым тестом и движутся до полного поворота формовочного стола. За это время гипс схватывается, приобретая прочность, позволяющую выталкивать плиту из формы. Для облегчения выталкивания стенки формы раскрываются. После освобождения формы выталкиватель принимает первоначальное положение, стенки формы закрываются, форма очищается и смазывается, и цикл снова повторяется. Производительность карусельной машины до 600 пл/ч.

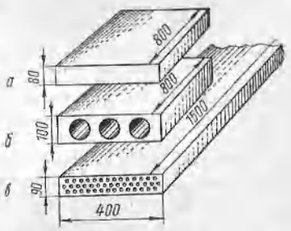


Рис. 62. Перегородочные плиты на основе гипса:
а — сплошная; *б* — пустотелая; *в* — армированная камышом

Отформованные плиты укладывают ребром на сушильные вагонетки и направляют в сушила. Сушат плиты дымовыми газами или нагретым в калориферах горячим воздухом. Более экономична сушка дымовыми газами. Температура дымовых газов, поступающих в сушила, составляет 110—130° С, а отработанных при выходе из сушила — 40—50° С. Обычно плиты сушат в туннельном сушиле с рециркуляционной системой. Вагонетки

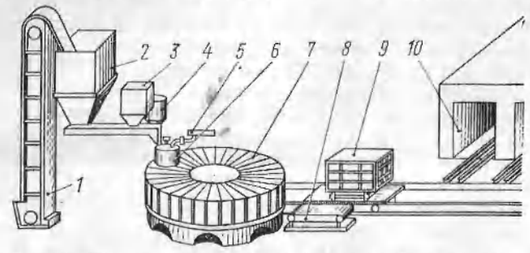


Рис. 63. Технологическая схема производства перегородочных плит на карусельной машине:

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

с плитами передвигаются по камере из зоны с температурой меньшей, чем у окружающей среды, в зону с более высокой температурой, а затем снова попадают в зону с меньшей температурой. Этим достигается более свободное перемещение влаги на поверхность изделия и ее испарение, в результате чего на плитах не образуется трещин. Первая зона сушила работает по принципу противотока, а вторая — прямотока. Время сушки изделия зависит от толщины плит и их начальной влажности. При толщине плит 100 мм и начальной влажности 28 — 32% время сушки составляет 20 — 28 ч. Высушенные плиты поступают на склад готовой продукции.

§ 4. Гипсовые вентиляционные блоки

Вентиляционные блоки для жилищного строительства изготовляют на гипсоцементнопуццолановом вяжущем размером «на этаж». Блоки устраивают со сквозными круглыми пустотами диаметром 140 мм, толщиной стенок 20 мм.

Технологическая схема производства вентиляционных блоков представлена на рис. 64. Сухие компоненты дозируют объемными дозаторами и с помощью ленточных питателей они поступают в сборную воронку, а оттуда в горизонтальный растворосмеситель непрерывного действия. Смесь тщательно перемешивают, а затем через форсунки подают воду. Приготовленную до

заданной консистенции массу направляют в подготовленную форму с пустообразователями — пуансонами. Форма заполняется гипсобетоном в процессе ее перемещения и проходит под ленточным транспортером, при этом поверхность блока выравнивается. Для более легкого извлечения пуансонов из блока их протачивают на конус и смазывают петролатумом или парафином, разбавленным соляровым маслом. 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 сушила на 12—13 ч с температурой поступающих газов до 120° С. Высушенные изделия отправляют на склад готовой продукции.

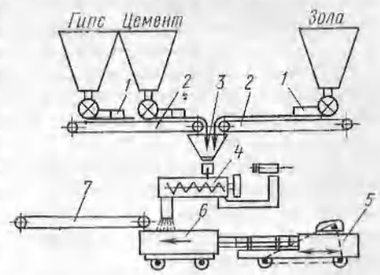


Рис. 64. Технологическая схема производства вентиляционных блоков:

1 — объемные дозаторы; *2* — ленточные питатели; *3* — сборная воронка; *4* — растворосмеситель непрерывного действия; *5* — пуансоны-пустотообразователи; *6* — приводная тележка; *7* — ленточный транспортер

Расход материалов на приготовление 1 м³ гипсобетона следующий:

Строительный гипс	700 кг
Пуццолановый цемент	100 кг
Зола ТЭС	200 кг
Песок	300 кг
Опилки	3% от массы вяжущего

Для приготовления гипсобетона для вентиляционных блоков применяют строительный гипс прочностью 12—13 МПа, полученный в гипсоварочных котлах с добавкой поваренной соли.

§ 5. Гипсовые обшивочные листы

Гипсовые обшивочные листы, или **гипсовая сухая штукатурка**, представляют собой листовой отделочный материал, изготовленный из строительного гипса, армированный растительным волокном и оклеенный с обеих сторон картоном.

В производстве сухой штукатурки применяют также вещества, регулирующие сроки схватывания (гипс-двугидрат, поваренную соль, СДБ), добавки, облегчающие массу листов и снижающие расход вяжущего (древесные опилки, фибра); пенообразователи (казеин+омыленная канифоль, каустическая сода); клеящие вещества, содействующие сцеплению картона с гипсовым сердечником (декстрин, казеиновый клей, растворимое стекло), и клеи для приклеивания кромок картона.

Листы сухой штукатурки выпускают шириной 1,2 м, длиной 2,5—3,3 м и толщиной 10—12 мм. Листы обшивочные плохо сопротивляются изгибу и разрушаются под действием влаги. Поэтому влажность обшивочных листов не должна превышать 2% по массе, а прочность на изгиб в середине пролета в 350 мм — не менее 3,2 и 2,5 МПа соответственно при толщине 12 и 10 мм. Объемная масса штукатурки с гипсовым сердечником составляет 1000—1110 кг/м³. Сухая штукатурка не горит, легко режется и гвоздится.

Технология производства гипсовой сухой штукатурки состоит из приготовления формовочной массы, подготовки картона, формовки непрерывной ленты штукатурки, ее твердения и резки на листы, сушки листов в многоярусных туннельных сушилах и складирования.

Применяют сухую штукатурку для внутренней отделки стен и потолков путем приклейки специальными мастиками. Швы между листами заделывают безусадочной шпаклевкой.

Гипсоволокнистую сухую штукатурку изготовляют из 90—95% строительного гипса, 5—10% волокнистых материалов и 0,25—2% проклеивающих добавок (растворимое стекло и др.). Армируют ее равномерно распределенным в гипсовой массе растительным волокном (бумажной макулатурой, льняной кострой и т. д.).

Изготовление гипсоволокнистой штукатурки заключается в приготовлении жидкой расщепленной волокнистой массы в виде гидропульпы, смешения этой массы с проклеивающими добавками и со строительным гипсом, отливке плит на вакуумформовочной машине с последующей их допрессовкой. Отформованные плиты высушивают, обрезают и подают на склад готовой продукции.

В районах, где гипс является местным материалом и нет других эффективных стеновых материалов, из гипсобетона изготовляют камни для наружных стен зданий III и IV категорий. Камни гипсобетонные по пределу прочности при сжатии производят трех марок — М 35, 50 и 75 и морозостойкостью — не менее Мрз 15.

Из гипса и гипсобетона с легкими заполнителями изготовляют также огнезащитные изделия для облицовки металлических конструкций, шахт для лифтов и т. п.

§ 6. Технико-экономические показатели производства гипсобетонных изделий и пути снижения их себестоимости

В СССР насчитывается 107 заводов и цехов по производству гипсовых вяжущих, 55 прокатных станов для изготовления крупноразмерных панелей, 17 конвейеров для производства сухой гипсовой штукатурки, более 20 цехов с установками по изготовлению мелкоразмерных гипсовых плит.

Современная гипсовая промышленность поставляет строительству гипсовую сухую штукатурку и разнообразный ассортимент гипсовых строительных деталей. Динамика выпуска продукции гипсовой промышленности приведена в табл. 44.

Таблица 44

Выпуск продукции гипсовой промышленности

Наименование продукции	1955 г.	1960 г.	1965 г.	1972 г.
Гипс строительный, млн. т	2,87	4,6	4,3	5,0
Гипсовая штукатурка, млн. м²	44,7	67,8	52,0	56,5
Гипсовые строительные детали, млн. м³	3,5	17,2	27,2	35,4

Необходимо отметить, что до настоящего времени строительство испытывает недостаток в гипсовых материалах и изделиях. Гипсобетонные перегородки значительно выгоднее кирпичных (на 25—35%), железобетонных (на 10—15%), фибролитовых и деревянных щитовых (на 40—50%).

Высокие темпы капитального строительства, а также индивидуального жилищного строительства в городах, рабочих поселках и сельской местности требуют быстрого развития гипсовой промышленности. Одним из важнейших показателей, характеризующих работу гипсовой промышленности, является уровень себестоимости изготовляемой продукции. По производству сухой гипсовой штукатурки при средней себестоимости 1 м² 0,32 руб. относительно наименьшую себестоимость имеет гипсовая штукатурка Новомосковского гипсового комбината — 0,235 руб. Гипсовые панели выпускают 55 предприятий, оборудованных высокомеханизированными прокатными станами, имеющих среднегодовую фактическую производительность около 570 тыс. м². Наибольшей среднегодовой производительности прокатных станов достигли Магистральный завод, Дарницкий, Новомосковский комбинат (800—850 тыс. м²).

В настоящее время освоено производство панелей с каналами для скрытой проводки на заводах Новомосковском, Ленинградском, Новосибирском, Красноярском и др., что позволяет перейти на полную заводскую готовность изделия и тем самым уменьшить трудозатраты на стройплощадке и сократить сроки строительства. Себестоимость производства гипсобетонных перегородочных панелей в среднем составляет 1,85 руб/м², а на лучших заводах — Дарницком, Кунцевском, Магистральном, Волгоградском, Новомосковском — 1,4—1,6 руб/м².

Издержки производства перегородочных плит в значительной мере зависят от масштабов производства, типа применяемого оборудования, а также от сырья (привозное или

местное). Так, высокопроизводительные карусельные машины, работающие на собственном сырье, позволяют получить себестоимость 1 м² плит 0,62—0,96 руб. (на Новомосковском, Ростовском, Волгоградском, Деконском и др.).

Наибольшие затраты при производстве гипсобетонных панелей приходятся на сырье и основные материалы. Наиболее дорогостоящим исходным материалом является гипс. Эффективного снижения затрат на гипс можно достигнуть за счет уменьшения потерь при транспортировке, а также сохранения качества гипса при хранении на складах. Поскольку гипс во времени быстро теряет активность, контактируя с влагой воздуха, необходимо стремиться к тому, чтобы его запасы на заводе гипсобетонных изделий были наименьшими. Более целесообразно заводы по производству гипсобетонных изделий располагать рядом с заводом по производству гипса. Это позволит иметь меньший запас гипса на заводском складе, в связи с чем снизятся затраты на транспортировку и создастся возможность использования гипса более высокого качества. Правильное хранение и расходование других составляющих материалов также могут снизить себестоимость готовых изделий.

На производство гипсовых и гипсобетонных изделий расходуется значительное количество воды, пара и силовой электроэнергии, причем наибольшее количество энергии расходуется на сушку. Так, на сушку в гипсовой промышленности приходится примерно 25% всей потребляемой предприятиями энергии. В настоящее время разработаны и все шире внедряются скоростные методы сушки гипсовых изделий. 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.

Исследованиями советских ученых установлено, что экономическая эффективность высокотемпературной сушки при производстве гипсовых плит и гипсобетонных панелей достигается за счет уменьшения расхода тепла вследствие изменения параметров теплоносителя и увеличения производительности труда и оборудования.

Анализ кинетики сушки гипсовых строительных материалов позволил установить, что без нарушения качества гипсовых и гипсобетонных изделий процесс сушки можно ускорить за счет применения высокотемпературного увлажненного теплоносителя. Так, при сушке гипсобетонных панелей можно применить начальную температуру теплоносителя 220—240° С при влагосодержании 45—50 г/кг сух. возд. против начальной температуры теплоносителя 120—130°С и влагосодержания 25—30 г/кг сух. возд. и конечную температуру влагоносителя 60—65°С с влагосодержанием 105—110 г/кг сух. возд. Эти условия позволяют интенсифицировать как внешний под-

вод тепла, так и движение влаги из толщи материала к поверхности.

Таким образом, сушка гипсобетонных изделий с применением высокотемпературного увлажненного теплоносителя позволяет в короткие сроки (за 8—9 ч) сушить гипсобетонные панели, не вызывая дегидратации гипса и, следовательно, не понижая качества изделий.

Технико-экономическая эффективность высокотемпературной сушки листов гипсовой штукатурки достигается за счет уменьшения расхода тепла, изменения параметров теплоносителя, использования теплоносителя после первой зоны для нагревания наружного воздуха, подаваемого в смесительную камеру подтопка, разницы стоимости нагрева теплоносителя в паровых калориферах и при получении газовоздушной смеси сжигания топлива в подтопках, разницы в эксплуатационных расходах котельной установки подтопка и за счет повышения производительности труда и оборудования.

Сравнение работы сушил по старому (низкотемпературному) и новому (высокотемпературному) методам сушки приведено в табл. 45 и 46.

Таблица 45

Данные о работе туннельных сушил для гипсобетонных панелей на низко- и высокотемпературном режимах сушки

Наименование показателей	Режим сушки	
	низкотемпературный	высокотемпературный
Продолжительность сушки, ч	20–24	8—9
Производительность сушильной установки, м²/ч	125—110	200—180
Число смен работы прокатного стана в сутки	2	2
Число смен работы сушильной установки в сутки	3	2
Число работающих сушильных камер, шт.	4	3
Параметры теплоносителя:		
начальная температура, °С	120—130	220—240
конечная » »	55—60	60—65
скорость, м/с	2—2,5	2—2,5
начальное влагосодержание, г/кг сух. возд.	25—30	45—50
конечное влагосодержание, г/кг сух. возд.	50—60	105—110
Расход тепла на 1 кг испаряемой влаги при сжигании в подтопках природного газа, Дж/кг	5000—5500	3750—4000
Расход газа на 1 м² гипсобетонных панелей, м³	3—3,1	2,2—2,4
Расход электроэнергии на сушку 1 м² гипсобетонных панелей, кВт/м²	2,5—2,7	1,8—1,9

Изложенные данные свидетельствуют о высокой экономичности применения скоростной высокотемпературной сушки в производстве гипсовых и гипсобетонных изделий.

Таблица 46

Данные о работе шестиярусных сушил для листов гипсовой штукатурки толщиной 10 мм на низко- и высокотемпературном режимах сушки

Показатели	Режим сушки	
	низкотемпературный	высокотемпературный
Продолжительность сушки, мин	80	55
Производительность сушильной установки, м²/ч	730	1000
Расход пара на 1 м² листов штукатурки, кг/м²	10,4	—
Часовой расход пара, т/ч	7,6	—
Расход газа, м³/м²	—	0,46
Часовой расход газа, м³/ч	—	460
Параметры теплоносителя:		
I зона		
начальная температура, °С	145—155	220—240
конечная » »	105—110	130—140
скорость, м/с	2,3—3	2—2,5
начальное влагосодержание, г/кг сух. возд.	22—25	80—85
конечное » »	40—45	110—120
II зона		
начальная температура, °С	150—155	220—240
конечная » »	105—110	140—150
скорость, м/с	2,5—3	2—2,5
начальное влагосодержание, г/кг сух. возд.	22—25	80—85
конечное » »	40—45	110—120
III зона		
начальная температура, °С	120—135	140—150
конечная » »	70—80	60—65
скорость, м/с	2,5—3	1—1,5
начальное влагосодержание, г/кг сух. возд.	25—30	110—120
конечное » »	45—50	150—160
Расход тепла на 1 кг испаряемой влаги, Дж/кг исп. вл.	1450—1500	1000—1100
Расход условного топлива на сушку 1 м² листов штукатурки, кг/м²	1,4	0,55—0,6

Значительную долю в себестоимости изделий составляют затраты на заработную плату производственных рабочих, в связи с чем большое значение приобретает повышение производительности труда.

Рост производительности труда должен опережать рост заработной платы, в результате чего ее доля на единицу продукции будет снижаться при росте средней зарплаты на одного рабочего. Повышению производительности труда способствует рационализация производства, механизация и автоматизация производственных процессов, четкая и правильная организация труда.

Снижение себестоимости продукции заводов гипсобетонных изделий может быть получено также за счет снижения

цеховых расходов — рационализацией системы управления и учета. Важной задачей является снижение общезаводских расходов, связанных с затратами на содержание заводоуправления, вспомогательных цехов и служб, а также транспортные расходы, связанные с транспортированием сырья, готовой продукции и т. п.

Важнейшей задачей гипсовой промышленности является осуществление планомерной модернизации предприятий с созданием новых видов непрерывно действующего автоматизированного гипсоварочного оборудования, а также новых формовочных и сушильных установок.

К числу наиболее экономичных мероприятий, которые целесообразно осуществить, относятся: перевод на газ и жидкое топливо основных тепловых агрегатов (котлов, барабанов, сушил); применение пневмотранспорта; установка электрофильтров; внедрение способа высокотемпературной скоростной сушки гипсовых и гипсобетонных изделий; более широкое производство и применение для изготовления изделий водостойких гипсоцементнопуццолановых вяжущих.

В ближайшие годы должна быть увеличена добыча гипсового камня на существующих горных предприятиях за счет реконструкции, а также расширена добыча гипсового камня за счет строительства новых горных предприятий, увеличено использование гипсосодержащих отходов.

Показатели эффективности производства гипсовых изделий на ближайшую перспективу, по данным ВНИИСТРОМ и ЦНИИЭПсельстроя, приведены в табл. 47.

Таблица 47

Показатели эффективности производства гипсовых изделий для стен и перегородок

Виды изделий	Себестоимость, руб.	Удельные капиталовложения, руб.	Приведенные затраты, руб.	Трудоемкость, чел-ч
Панели перегородок, м²:				
при работе на собственном сырье	1,3	2,5	1,6	0,3
при работе на привозном сырье	1,6	2,5	1,9	0,3
Плиты для перегородок, м²:				
при работе на собственном сырье	0,6	2,8—3,5	0,94—1,0	0,2
при работе на привозном сырье	1,2	2,8—3,5	1,54—1,62	0,2
Камни стеновые, 1000 шт.	18	16—18	19,9—20,2	2,5

Для расширения номенклатуры гипсовых изделий, а вместе с тем и сферы применения гипсовых вяжущих необходимо промышленное производство и выпуск водостойких гипсоцементнопуццолановых вяжущих и изделий на их основе и в первую

очередь прокатных перегородочных панелей, панелей основания полов, прокатных панелей для санитарно-технических кабин и узлов, вентиляционных блоков, стеновых камней, блоков и панелей и др.

Так, одной из весьма прогрессивных конструкций являются панели основания пола на гипсоцементнопуццолановом вяжущем заводского изготовления. Они имеют гладкую поверхность и при их укладке не требуется создания в перекрытиях трудоемких звукоизоляционных засыпок и выравнивающих стяжек, что позволяет в 1,5—2 раза снизить общую трудоемкость работ по устройству полов.

По данным предприятий, выпускающих панели основания пола, средние издержки производства составляют 2,9—3 руб./м², а на лучших предприятиях — около 2 руб./м². При этом наибольшие затраты в себестоимости приходятся на сырье и материалы (58—60% от общих затрат на производство).

Для снижения себестоимости 1 м² панелей основания пола необходимо снизить трудоемкость и соответственно стоимость каркаса путем применения более дешевых сортов древесины или замены частично деревянного каркаса другими материалами, например стекловолокном.

В настоящее время большое применение в строительстве нашли санитарно-технические кабины на гипсоцементнопуццолановом вяжущем.

Унифицированные санитарно-технические кабины изготовляют или из отдельных гипсобетонных панелей, армированных деревянным каркасом или металлической сеткой, на прокатном стане, или формуют в виде готовых объемных элементов в специальных вертикальных формах. Кабины выпускают с совмещенными санитарными узлами размером в плане: совмещенные 1,86×1,56 м, разобщенные 2,16×1,56 м, высотой 2,39 м. Кабины изготовляют из тяжелого бетона или раствора на гипсоцементнопуццолановом вяжущем; основанием под кабины служат железобетонные поддоны.

Хорошевский завод ЖБИ домостроительного комбината №1 специализирован на изготовлении унифицированных санитарно-технических кабин методом вертикального объемного формования разобщенных (V-1) и совмещенных (V-2), выпускаемых на высокомеханизированных конвейерной и стендовой линиях.

Применение ГЦП вяжущего и метода вертикального формования (одновременная заливка всех плоскостей) при изготовлении санитарно-технических кабин позволяет отказаться от тепловлажностной обработки и получать изделия с распалубочной прочностью через 1—2,5 ч после формования; получать высокую производительность (ритм конвейера 7—10 мин); применять местное дешевое вяжущее; уменьшать расход стали.

Сушку производят горячим воздухом при температуре 80—90° С в течение 10—12 ч до влажности 10—12%.

Уровень достигнутых технико-экономических показателей производства санитарно-технических кабин на ГЦПВ и других изделий в сравнении с другими типами взаимозаменяемых конструкций позволяет рекомендовать их для массового строительства в жилых и общественных зданиях.

Б. ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ

Использование извести для получения прочных и водостойких искусственных каменных изделий долгое время не находило применения, так как в естественных условиях известь твердеет очень медленно, изделия на ее основе имеют небольшую прочность (1—2МПа) и легко размокают при действии воды.

Однако в 1880 г. было установлено, что при автоклавной обработке известково-песчаных смесей при давлении пара 0,8 МПа и температуре выше 170° С могут быть получены очень прочные, водостойкие и долговечные изделия. В настоящее время силикатная промышленность — одна из наиболее развитых отраслей промышленности строительных материалов.

Сущность превращения известково-песчаной смеси из легкоразмокающего и малопрочного материала в прочный и водостойкий камень заключается в следующем. При естественных условиях песок в известково-песчаных смесях инертен и не способен химически взаимодействовать с известью. В результате этого приобретение прочности известково-песчаными растворами в естественных условиях достигается главным образом за счет твердения извести. Однако в среде насыщенного пара (100% влажности) при температуре 170° С и выше кремнезем приобретает химическую активность и начинает быстро взаимодействовать с известью по уравнению $Ca(OH)_2+SiO_2+(n-1)H_2O=CaO\cdot SiO_2\cdot nH_2O$, образуя гидросиликаты кальция — прочное и водостойкое вещество.

Из известково-песчаных смесей изготовляют крупноразмерные изделия для сборного строительства — блоки и панели для стен и перекрытий, а также штучные изделия — силикатный кирпич и камни для стен.

Изготовление силикатных блоков и панелей не отличается от производства железобетонных изделий (см. гл. XI).

§ 1. Силикатный кирпич

Силикатный кирпич по своей форме, размерам и основному назначению не отличается от глиняного кирпича (см. гл. III).

Материалами для изготовления силикатного кирпича являются воздушная известь и кварцевый песок. Известь применяют в виде молотой негашеной, частично загашенной или га-

шеной гидратной. Известь должна характеризоваться быстрым гашением и не должна содержать более 5% MgO. Пережог замедляет скорость гашения извести и даже вызывает появление в изделиях трещин, вспучиваний и других дефектов, поэтому для производства автоклавных силикатных изделий известь не должна содержать пережога. Кварцевый песок в производстве силикатных изделий применяют немолотый или в виде смеси немолотого и тонкомолотого, а также грубомолотого с содержанием

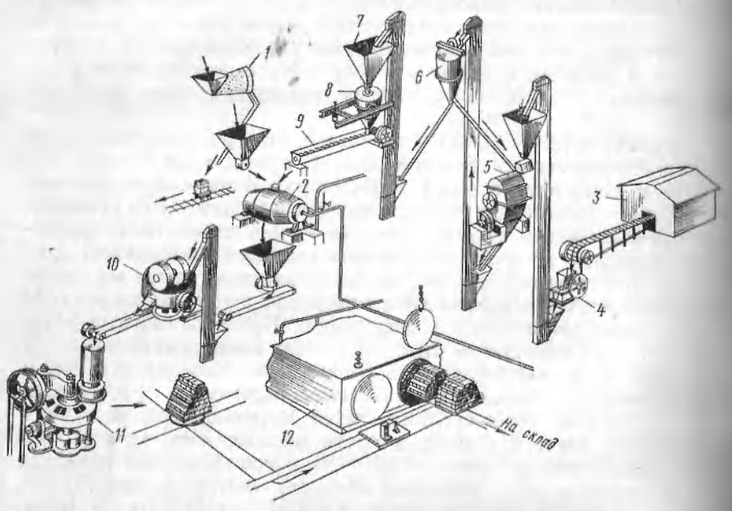


Рис. 65. Технологическая схема производства силикатного кирпича по барабанному способу:

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

кремнезема не менее 70%. 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_3. Равномерно распределенные глинистые примеси допускаются в количестве не более 10%; при таком содержании они даже несколько повышают удобоукладываемость смеси. Крупные включения глины в песке не допускаются, так как снижают качество изделий.

Состав известково-песчаной смеси для изготовления силикатного кирпича следующий: 92—95% чистого кварцевого песка, 5—8% воздушной извести и примерно 7% воды.

Производство силикатного кирпича ведут двумя способами: барабанным и силосным, отличающимися приготовлением известково-песчаной смеси.

При барабанном способе (рис. 65) песок и тонкомолотая негашеная известь, получаемая измельчением в шаровой мельнице комовой извести, поступают в отдельные бункера над гасильным барабаном. Из бункеров песок, дозируемый по объему, а известь — по массе, периодически загружаются в гасильный барабан. Последний герметически закрывают и в течение 3—5 мин

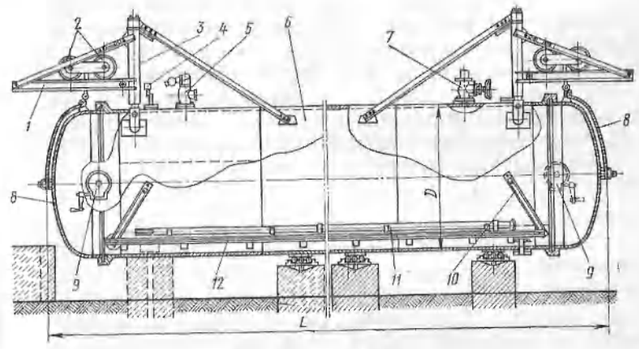


Рис. 66. Автоклав:

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

производят перемешивание сухих материалов. Затем при подаче острого пара под давлением 0,15—0,2 МПа происходит гашение извести при непрерывно вращающемся барабане. Процесс гашения извести длится до 40 мин.

При силосном способе предварительно перемешанную и увлажненную массу направляют для гашения в силосы. Гашение в силосах происходит 7—12 ч, т. е. в 10—15 раз продолжительнее, чем в барабанах, что является существенным недостатком силосного способа. Хорошо загашенную в барабане или силосе известково-песчаную массу подают в лопастную мешалку или на бегуны для дополнительного увлажнения и перемешивания и далее на прессование.

Прессование кирпича производят на механических прессах под давлением до 15—20 МПа, обеспечивающем получение плотного и прочного кирпича. Отформованный сырец уклады-

вают на вагонетку, которую направляют в автоклав для твердения.

Автоклав представляет собой стальной цилиндр диаметром 2 м и более, длиной до 20 м, с торцов герметически закрывающийся крышками (рис. 66). С повышением температуры ускоряется реакция между известью и песком, и при температуре 174° С она протекает в течение 8—10 ч. Быстрое твердение происходит не только при высокой температуре, но и высокой влажности, для этого в автоклав пускают пар давлением до 0,8 МПа и это давление выдерживают 6—8 ч. Давление пара поднимают и снижают в течение 1,5 ч. Цикл запаривания продолжается 10—14 ч.

Под действием высокой температуры и влажности происходит химическая реакция между известью и кремнеземом песка. Образующиеся в результате реакции гидросиликаты срастаются с зернами песка в прочный камень. Однако твердение силикатного кирпича на этом не прекращается. Прочность силикатного кирпича продолжает повышаться после запаривания. Часть извести, вступившей в химическое взаимодействие с кремнеземом песка, реагирует с углекислотой воздуха, образуя прочный углекислый кальций по уравнению

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

Силикатный кирпич выпускают размером 250×120×65 мм; марок — М75, 100 и 125, 150 и 200; водопоглощением — 8—16%; коэффициентом теплопроводности — 0,70—0,75 Вт/м·°С; объемной массой — 1800—1900 кг/м³, т. е. несколько выше, чем глиняного кирпича; морозостойкостью Мрз 15. Теплоизоляционные качества стен из силикатного кирпича и глиняного практически равны.

Применяют силикатный кирпич там же, где и обыкновенный глиняный кирпич, но с некоторыми ограничениями. Нельзя применять силикатный кирпич для кладки фундаментов и цоколей, так как он менее водостоек, чем глиняный, а также для кладки печей и дымовых труб, так как при длительном воздействии высокой температуры происходит дегидратация гидросиликата кальция и гидрата окиси кальция, которые связывают зерна песка, и кирпич разрушается.

По технико-экономическим показателям силикатный кирпич превосходит кирпич глиняный. На его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза меньше трудоемкости производства; в конечном итоге себестоимость силикатного кирпича оказывается на 25—35% ниже, чем глиняного.

§ 2. Известково-шлаковый и известково-зольный кирпич

Эти изделия являются разновидностью силикатного кирпича, но отличаются меньшей объемной массой и лучшими теплоизоляционными свойствами, так как в них тяжелый кварцевый

песок заменен пористым легким шлаком в известково-шлаковом кирпиче или золой — в известково-зольном кирпиче.

Для приготовления известково-шлакового кирпича берут 3—12% извести и 88—97% шлака, а для известково-зольного — 20—25% извести и 75—80% золы. Так же как и шлак, зола является дешевым сырьевым материалом, образующимся при сжигании каменного, бурого угля и другого топлива в котельных ТЭЦ, ГРЭС и т. д. Использование шлаков и зол экономически выгодно, так как при этом расширяется сырьевая база силикатных и других строительных материалов и снижается их стоимость.

Производство известково-шлакового и известково-зольного кирпича аналогично технологической схеме производства силикатного кирпича. Шлаковый и зольный кирпич выпускают размером 250×120×140 мм и больше, марками по прочности на сжатие М25, 50 и 75, морозостойкостью такой же, как и силикатного кирпича, объемной массой 1400—1600 кг/м³, коэффициентом теплопроводности 0,5—0,6 Вт/м·°С.

Применяют известково-шлаковый и известково-зольный кирпич для возведения кладки стен зданий малой этажности (до трех этажей), а также для кладки стен верхних этажей многоэтажных зданий.

§ 3. Крупноразмерные изделия из силикатного бетона

Силикатным бетоном называют затвердевшую в автоклаве уплотненную смесь, состоящую из кварцевого песка (70—80%), молотого песка (8—15%) и молотой негашеной извести (6—10%). Плотный силикатный бетон является разновидностью тяжелого бетона.

В настоящее время выпускают крупноразмерные изделия из силикатного бетона большой номенклатуры. Из силикатного бетона не ниже М150 с применением тепловлажностной обработки в автоклаве изготовляют крупные стеновые блоки внутренних несущих стен, панели перекрытий и несущих перегородок, ступени, плиты, балки. Элементы, работающие на изгиб, армируют стержнями и сетками.

Технология изготовления силикатобетонных изделий (рис. 67) состоит из следующих основных операций: добычи песка и отделения крупных фракций; добычи и обжига известняка (если известь производят на силикатном заводе), дробления извести; приготовления известково-песчаного вяжущего путем дозирования извести, песка и гипса и помола их в шаровых мельницах; приготовления силикатобетонной смеси путем смешения немолотого песка с тонкомолотой известково-песчаной смесью и водой в бетоносмесителях с принудительным перемешиванием; формования изделий и их выдерживания; твердения отформованных изделий в автоклавах при температуре до 180° С и давлении насыщенного пара до 0,8 МПа и более.

Для получения плотных силикатных изделий применяют известь с удельной поверхностью 4000—5000 см²/г, а песок — 2000—2500 см²/г.

Изделия на молотой негашеной извести можно получить повышенной прочности и морозостойкости. Для этой цели регу-

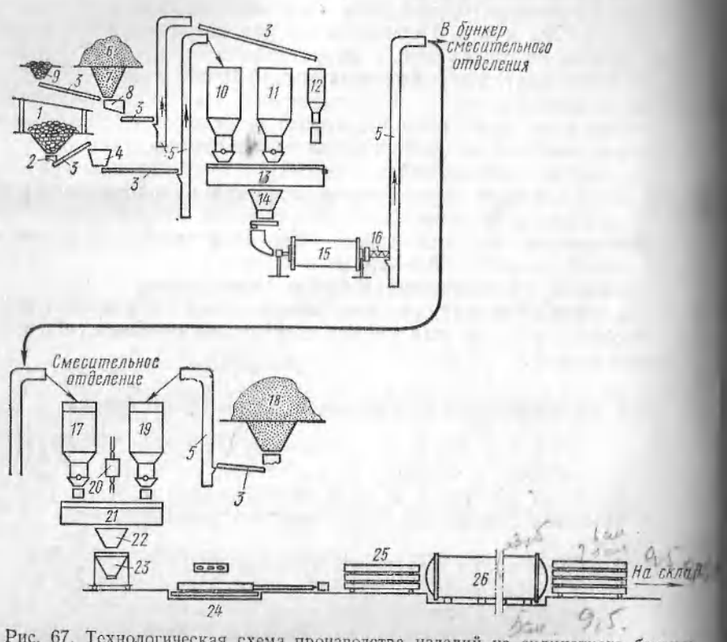


Рис. 67. Технологическая схема производства изделий из силикатного бетона:

1 — крытый склад извести; *2* — питатель; *3* — ленточный конвейер; *4* — щековая дробилка; *5* — элеваторы; *6* — склад песка; *7* — расходный бункер песка; *8* — виброгрохот; *9* — склад гипса; *10* — расходный бункер извести; *11* — расходный бункер песка; *12* — расходный бункер гипса; *13* — бетономешалка С-371; *14* — бункер смеси; *15* — шаровая мельница СМ-14; *16* — шнековый питатель; *17* — бункер вяжущего; *18* — склад песка; *19* — расходный бункер песка; *20* — мерник воды; *21* — бетономешалка С-355; *22* — расходный бункер силикатобетонной смеси; *23* — бетоноукладчик; *24* — пост формовки; *25* — пост выдержки; *26* — автоклав

лируют сроки гидратации извести путем введения гипса, поверхностно-активных веществ и т. д.

Молотую негашеную известь целесообразно применять для изделий, изготовленных на пластичной бетонной смеси. В таких свежесформованных изделиях гашение молотой извести не вызывает образования трещин, а увеличение объема способствует большому уплотнению изделия. Кроме того, при последующей

гидратации негашеной извести гидрат окиси кальция, возникающий в уже отформованных изделиях, более активно взаимодействует с кремнеземом, чем ранее образовавшийся в гашеной извести гидрат окиси кальция. В очень уплотненных прессованием изделиях из жестких смесей гашение молотой негашеной извести может повлечь образование трещин, поэтому с увеличением степени уплотнения целесообразно проводить частичное гашение извести путем совместного помола извести с влажным песком или предварительное выдерживание известково-песчаной смеси, как это предусматривается при производстве силикатного кирпича.

Для силикатных изделий с прочностью до 10—15 МПа песок можно применять в немолотом виде с дозированием извести (6—10 %) в расчете на активную CaO. Для изготовления автоклавных силикатных изделий расход извести составляет 175—250 кг на 1 м³ изделия.

Крупноразмерные изделия формуют на виброплощадках иногда с пригрузом или с вибропригрузом. Отформованные силикатные изделия подвергают запариванию в автоклавах диаметром 2,6 и 3,6 м. Режим запаривания изделий из плотного силикатного бетона следующий: подъем давления пара до 0,8 МПа — 1,5—2 ч; выдерживание при этом давлении — 8—9 ч и спуск давления — 2—3 ч.

Вибрированные крупноразмерные силикатные изделия имеют прочность на сжатие 15—40 МПа, объемную массу 1800—2100 кг/м³, морозостойкость — 50 циклов и более. При силовом вибропрокате силикатные изделия получаются прочностью до 60 МПа с объемной массой до 2300 кг/м³.

Применяют плотные силикатобетонные изделия для строительства жилых, промышленных и общественных зданий; не рекомендуется применять их для фундаментов и других конструкций, работающих в условиях высокой влажности.

§ 4. Силикатные плиты для облицовки фасадов

К облицовочным материалам предъявляются два основных требования — долговечность и высокие декоративные качества, не утрачиваемые со временем. Этим требованиям отвечают силикатные плиты. Они имеют чистый белый цвет или могут легко окрашиваться в любые цвета минеральными щелочестойкими пигментами. Легко формуются любой формы и рельефной поверхности.

Силикатные облицовочные плиты изготовляют из смеси молотой негашеной извести и кварцевого песка. Для повышения прочности и долговечности плит применяют добавку к извести молотого песка. При этом прочность и долговечность силикатных плит повышается с увеличением тонкости помола.

Изготовление облицовочных силикатных плит производят по такой же технологической схеме, как и других силикатных изде-

лий. Добавление молотого песка производят двумя способами: в виде шлама, получаемого мокрым помолом песка, и в виде смеси с известью при совместном сухом их помоле. 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%. Для повышения механической прочности облицовочных плит в массу добавляют портландцемент М 300—400.

Ориентировочный расход (кг) материала для получения 1 м³ силикатной массы для облицовочных плит следующий:

Песок немолотый	1200—1300
Песок молотый	30—40
Известь негашеная	100—150
Цемент	60—90
Вода	120—140

Формование силикатных облицовочных плит производят на виброплощадке в кассетных (плоские изделия) или одиночных (с рельефной поверхностью) формах. Отформованные изделия выдерживают при температуре 20—25° С 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 на сжатие 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 силикатных изделий составляет 18—22 ч.

Хранят плиты уложенными на ребро в штабелях на деревянных прокладках, в несколько рядов по высоте, но не более 1,5 м. Транспортируют облицовочные плиты в контейнерах или без них, но с укладкой на ребро вплотную одна к другой, с мягкими прокладками между ними (опилками, стружками и т. д.).

Облицовочные силикатные плиты характеризуются следующими физико-механическими показателями: объемная масса плит — 1900—1950 кг/м³, предел прочности на сжатие — 20—30 МПа, водопоглощение по массе — не более 16%, морозостойкость — не менее Мрз 25.

Размеры силикатных облицовочных плит обеспечивают возможность отделки кирпичных зданий при высоте этажа в 2,8 м без рубки плит, а также возможность перевязки с горизонтальными и вертикальными швами кирпичной кладки стен.

Силикатные облицовочные плиты применяют для отделки кирпичных стен жилых, гражданских и промышленных зданий, за исключением зданий с повышенной относительной влаж-

костью (бани, прачечные и т. д.); не допускается их применение без защиты водонепроницаемыми покрытиями для облицовки цоколей, парапетов, наружных подоконников, поясков и других выступающих частей зданий, подвергающихся увлажнению дождем и тающим снегом.

Силикальцит — разновидность силикатных изделий. Получают его при автоклавном твердении известково-песчаной смеси, в которой используется песок, предварительно измельченный. В результате шероховатой поверхности молотого песка из таких силикатных (силикальцитных) масс получаются изделия, отличающиеся более высокой прочностью, чем полученные на обыкновенном песке.

Однако обработка на дезинтеграторах песка, обладающего высокой твердостью, приводит к очень быстрому износу оборудования, снижению технико-экономической эффективности силикальцитных изделий и препятствует этим их широкому распространению.

Из силикальцита производят сборные армированные крупноразмерные изделия — панели и балки перекрытий, облицовочные плиты.

§ 5. Ячеистые силикатные изделия

Ячеистые силикатные изделия отличаются малой объемной массой и низкой теплопроводностью. Они бывают двух видов — пеносиликатные и газосиликатные.

Пеносиликатные изделия изготовляют из смеси извести в количестве до 25% и молотого песка (иногда часть песка берут немолотого). Молотый песок можно заменить измельченным шлаком, золой. Производство пеносиликатных изделий отличается от производства других известково-песчаных смесей добавкой пенообразователя: клееканифольного, состоящего из костного или мездрового клея, канифоли, едкого натра и воды; смолосапонинового — из растительного мыльного корня и воды; пенообразователя ГК — гидролизованной боенской крови.

В **газосиликатных изделиях** образование ячеистой структуры происходит при введении в приготовленную смесь алюминиевой пудры.

Технологическая схема производства ячеистых силикатных газоблоков (рис. 68) состоит из следующих основных операций: приготовления известково-песчаного вяжущего совместным помолом извести и части песка (количество песка берут в пределах 20—50% от массы извести); измельчения песка по сухому или мокрому способу; приготовления пено- или газобетонной массы; формования изделия.

Приготовленную массу заливают в металлические формы с уложенными арматурными каркасами и закладными деталями. В формах газосиликатная масса вспучивается, образуя

горбушку, которая затем срезается. Конец вспучивания должен совпадать с началом схватывания вяжущего.

В настоящее время на заводах ячеистого бетона все большее применение получает комплексная виброрезательная технология, которая позволяет управлять процессами структурообразования. Она имеет ряд технико-экономических преимуществ по

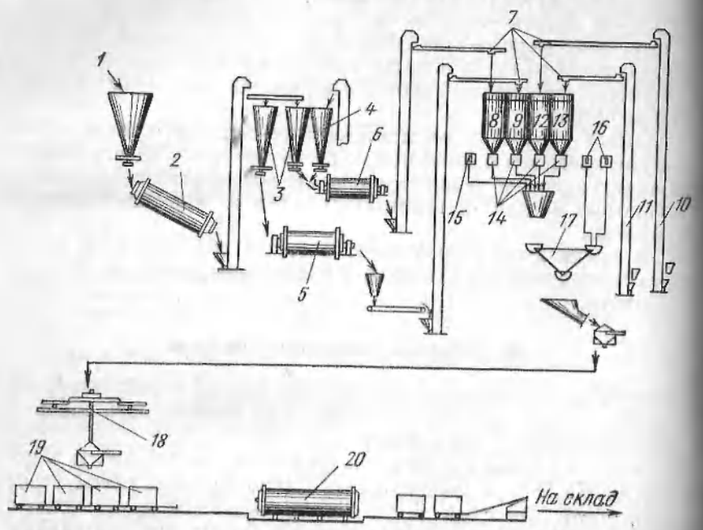


Рис. 68. Технологическая схема производства пеноблоков на смешанном вяжущем:

1 — бункер песка; *2* — сушильный барабан СМ-45; *3* — бункера сухого песка; *4* — бункер извести; *5* — шаровая мельница для помола песка; *6* — шаровая мельница для совместного помола извести и песка; *7* — система шнеков; *8* и *9* — бункера для известково-песчаной смеси и для молотого песка; *10* — элеватор подачи цемента; *11* — элеватор подачи молотой извести; *12* и *13* — бункера цемента и молотой извести; *14* — дозаторы; *15* — дозатор воды; *16* — дозатор пенообразователя; *17* — пенобетоносмеситель; *18* — розлив в формы; *19* — вагонетки с формами; *20* — автоклав

сравнению с литьевой технологией: сокращается цикл приготовления смеси, улучшаются свойства ячеистых бетонов, снижается влажность готовых изделий.

Схема производства изделий виброрезательной технологии состоит из следующих операций. В виброгазобетоносмеситель СМС-40 или гидродинамический смеситель ГДС-3 подают подогретые воду и песок в виде шлама и перемешивают 2 мин, после чего поступает вяжущее, и смесь перемешивается 1 мин. Затем вводят алюминиевую пудру и поверхностно-активные вещества и вновь перемешивают 2 мин. Приготовленную высоковязкую смесь заливают в форму, установленную на вибропло-

щадке. После кратковременного вибрирования массив выдерживают до 1 ч в нормальных условиях или в камере микроклимата с температурой около 50° С, при этом массив приобретает прочность 0,04—0,06 МПа. После этого бортоснастку снимают

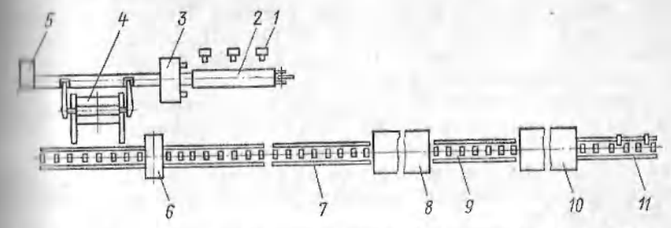


Рис. 69. Линия для калибровки фрезерованием и отделки ячеистобетонных панелей:

1 — фиксирующий упор; *2* — тележка; *3* — фрезерный агрегат; *4* — кантователь; *5* — привод тележки; *6* — фрезерный агрегат; *7* — I пост отделки; *8* — I сушильная камера; *9* — II пост отделки; *10* — II сушильная камера; *11* — пост снятия панели с линии

и массив разрезают с помощью машины СМ-1211 на отдельные блоки и направляют в автоклав. Из автоклава изделия поступают на склад готовой продукции. При необходимости получения изделий с высококачественной отделкой последние направляют на калибровочную линию.

Линия для калибровки фрезерованием и отделки ячеистобетонных изделий (рис. 69) производит высококачественную отделку фрезерованием лицевых поверхностей блоков или панелей (рис. 70), обеспечивает получение различных рельефных профилей и нанесение на них полимерминеральных составов разных цветов с приданием гладкой или шероховатой поверхности.

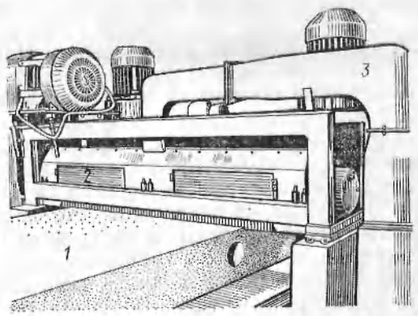


Рис. 70. Фрезерный агрегат:

1 — панель; *2* — фрезерующее устройство; *3* — вентиляционное устройство

Состав газобетона объемной массы 600 кг/м³, применяемый при виброрезательной технологии, следующий: портландцемента М400—95—110 кг, извести — 110—120 кг, песка в шламе — [illegible] кг, смеси портландцемента с молотым песком — 110 кг,

гипса двуводного — 6 кг, ПАК-3 — 0,5 кг и ПАВ — 0,075 кг.
Водотвердое отношение — 0,38.

Изделия из ячеистых бетонов изготовляют армированными и неармированными. В армированных силикатных бетонах стальная арматура, а также закладные детали больше подвержены коррозии, чем в цементных бетонах. Поэтому стальную арматуру в ячеистых изделиях покрывают цементно-казеиновыми, полимерцементными составами, а также применяют металлизацию арматурной стали.

Ячеистые силикатные бетоны делят на: теплоизоляционные, имеющие объемную массу до 500 кг/м³ и прочность на сжатие до 25 МПа; конструктивно-теплоизоляционные с объемной массой 500—800 кг/м³ и прочностью на сжатие 2,5—7,5 МПа; конструктивные с объемной массой выше 850 кг/м³ и прочностью 7,5—15,0 МПа.

Изделия из ячеистого силикатного бетона достаточно морозостойки.

Применяют ячеистые силикатные изделия для наружных стен зданий, перегородок, а также для покрытий промышленных зданий; при этом эффективно используются несущие и теплоизоляционные качества ячеистых бетонов.

§ 6. Экономическая эффективность производства и применения изделий из силикатного бетона

За период с 1960 по 1972 г. объем производства силикатобетонных конструкций увеличился более чем в 5 раз.

Значительное применение силикатобетонные конструкции нашли в жилищном строительстве. Наиболее рациональным при этом является использование газосиликатных бетонов, имеющих малые объемную массу и теплопроводность, в качестве материала для самонесущих конструкций наружных стен, а плотных силикатных бетонов с армированием, имеющих при объемной массе 2000—2200 кг/м³ достаточную прочность, — для изготовления несущих панелей внутренних стен и перекрытий.

В табл. 48, 49 приводятся технико-экономические показатели конструкций наружных и внутренних стен и перекрытий из материалов, имеющих в настоящее время массовое распространение в строительстве, а также намеченных к широкому применению в ближайшие годы.

Удельные капитальные вложения на единицу конструктивного элемента рассчитывались с учетом вложений в сопряженные отрасли, т. е. на изготовление основной конструкции и исходных материалов. Сравнительный анализ различных видов стеновых конструкций приведен на стр. 269—270.

Как видно из табл. 48, наилучшие технико-экономические показатели имеют наружные стены из газосиликатобетонных панелей, а блочные конструкции из плотного силикатного бетона имеют преимущество перед конструкциями из штучной кладки

Таблица 48

Технико-экономические показатели наружных стен из различных материалов
(на 1 м² стены)

Наименование конструкций	Тип конструкций по статической работе	Масса конструкции, кг	Стоимость в «деле», руб.	Расход основных материалов							Затраты труда (на заводе, строительной площадке), чел.-дн.	Удельные капитальные вложения с учетом затрат в смежные отрасли, руб.
				вяжущих, кг		заполнителей, м³		стали, кг	кирпича, шт.	утеплителя, м³		
				цемента	извести	щебня	песка					
Стена из обычного глиняного кирпича толщиной 66 см	Несущая	1185	18,5 19,6	30 30	—	—	1,5 1,5	1,5 1,5	256 256	—	1,4 1,65	8,3
Стена из эффективного глиняного кирпича размером 250×120×88 см, толщиной 53 см	То же	1080	15,5 18,3	20 20	—	—	1,2 1,2	1,2 1,2	204 204	—	1,12 1,32	7,6
Стена из силикатного кирпича толщиной 66 см	»	1250	13,8 16,7	29 30	—	—	1,5 1,5	1,5 1,5	256 256	—	1,11 1,28	5,6
Крупноблочная шлакобетонная стена толщиной 50 см	»	830	15,7 21,0	105 116	—	0,5 0,5	3,5 5,0	3,5 5,0	—	—	0,85 1,13	20,9
Крупноблочная стена из силикатных блоков со щелевыми пустотами толщиной 50 см	»	780	13,8 16,8	5 5	95 100	—	0,45 0,60	3,0 3,0	—	—	0,52 0,86	17,4
Трехслойная железобетонная панель, утепленная полужесткими минераловатными плитами толщиной 25 см	Самонесущая	285	14,8 16,8	34 49	—	0,06 0,06	0,04 0,04	4,3 5,4—4,3	—	0,16 0,16	0,6 0,86	14,6
Однослойная стеновая панель из газосиликата толщиной 25 см (γ = = 700 кг/м³)	То же	175	9,75 11,7	2 2	40 60	—	0,07 0,13	5 5	—	—	0,44 0,75	10,6

Примечание. В числителе — показатели по проектам передовых предприятий; в знаменателе — фактические показатели.

Таблица 49

Технико-экономические показатели внутренних стен из различных материалов (на 1 м² стены)

Наименование конструкций	Стоимость в «деле», руб.	Расход основных материалов: вяжущих, кг — цемента	вяжущих, кг — извести	заполнителей, м³ — щебня	заполнителей, м³ — песка	стали, кг	кирпича, шт.	Затраты труда (на заводе, строительной площадке), чел.-дн.	Удельные капиталовложения, руб.
Стена из обычного глиняного кирпича толщиной 38 см	11,6 12,5	17,6 18,0	4,9 4,9	—	0,10 0,10	—	152 152	1,01 1,01	9,8
Стена из силикатного кирпича толщиной 38 см	8,6 10,87	17,6 18,0	5,0 5,0	—	0,10 0,10	—	152 152	1,01 1,01	5,2
Стена из крупных шлакоблоков толщиной 40 см	13,2 16,6	86,6 97,0	1,7 1,7	—	—	4,0 4,0	—	0,54 0,70	10,3
Стена из крупных силикатных блоков плотных с круглыми пустотами толщиной 39 см	10,85 12,83	5,7 5,7	54,7 69,0	—	0,4 0,4	3,0 3,5	—	0,59 0,68	10,1
Железобетонная плоская однослойная панель, изготовленная по кассетной технологии толщиной 12 см	5,5 6,6	34,0 40,0	—	0,10 0,10	0,05 0,05	1,38 2,44	—	0,49 0,54	7,2
Железобетонная плоская однослойная панель, изготовленная по кассетной технологии Госстройпроекта толщиной 14 см	5,8 7,2	36,0 42,0	—	0,11 0,11	0,06 0,06	2,74 2,74	—	0,48 0,52	8,5
Армосиликатная панель толщиной 14 см	4,9 7,3	—	25,0 28,0	—	0,10 0,15	2,0 3,0	—	0,43 0,50	—

Примечание. В числителе — показатели по проектам передовых предприятий; в знаменателе — фактические показатели.

В группе внутренних стен (табл. 49) наиболее экономически эффективными по всем показателям являются армосиликатобетонные панели.

Анализируя работу отдельных предприятий, наблюдаются еще большие резервы снижения себестоимости производства силикатобетонных изделий. В основном эти резервы заключаются в снижении удельного расхода сырья и материалов, затраты на которые составляют около 40% всей стоимости конструкции.

Значительный экономический эффект дает организация конвейерного производства газобетона по виброрезательной технологии. Благодаря такой технологии достигается высокое качество изделий при значительном сокращении парка форм, увеличении коэффициента заполнения автоклавов, снижении издержек на автоклавную обработку в связи с сокращением расхода пара, уменьшении амортизационных расходов и затрат на текущий ремонт.

Расчеты показывают, что с применением виброрезательной технологии производства газобетона достигается снижение себестоимости в пределах 1,3—1,5 руб./м³ и снижение удельных капитальных вложений на 2,5—3 руб./м³ по сравнению с литьевой технологией, принятой в типовых проектах по производству этих изделий. Снижение удельных капитальных вложений определяется уменьшением в 1,5—2 раза металлоемкости технологического оборудования в связи с запариванием на поддонах или специальных легких решетках, а также уменьшением количества автоклавов, поскольку сокращается цикл запаривания до 12—15 ч и увеличивается коэффициент заполнения автоклавов.

Мобилизация резервов, заключающихся в ликвидации потерь и снижении непроизводственных расходов, во внедрении передовой техники и технологии, улучшении организации производства и труда, позволит уже в ближайшее время значительно снизить себестоимость крупноразмерных изделий из силикатного бетона.

Проектом плана развития промышленности строительных материалов предусматривается быстрый рост производства крупноразмерных силикатобетонных конструкций.

Сопоставление технико-экономических показателей конструкций из различных материалов с конструкциями из силикатобетона показывает, что уже при современных технико-экономических показателях производства и монтажа увеличение удельного веса применения силикатобетонных крупнопанельных конструкций в общем объеме конструкций для крупнопанельного домостроения позволяет добиться значительного снижения стоимости строительства.

В. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Материалы и изделия на основе магнезиальных вяжущих получают путем формования и последующего высушивания смеси каустического магнезита или доломита и органического заполнителя, затворенного раствором хлористого магния. В качестве органических заполнителей используют древесные опилки для получения ксилолита или древесную шерсть и стружку для получения фибролита.

Возможность использования органических заполнителей в смеси с магнезиальными вяжущими определяется полной сохранностью их в результате минерализации оксихлоридом магния, образующегося при твердении этих вяжущих. Наряду с этим органические заполнители, отличаясь небольшой объемной

массой, придают фибролиту и ксилолиту высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, изделия из этих материалов легко обрабатываются, пилятся, режутся и обладают хорошей гвоздимостью.

§ 1. Фибролит

Фибролит представляет собой искусственный камень, изготовленный из древесной шерсти или стружки, связанной магнезиальным вяжущим.

Изготовляют фибролитовые плиты по следующей технологической схеме. Каустический магнезит затворяют раствором хлористого магния или другой соли и затем тщательно смешивают с дозированной частью древесной шерсти. 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 объемной массы 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 применяют в качестве штукатурки.

§ 2. Ксилолит

Ксилолит представляет собой затвердевшую смесь древесных опилок и магнезиального вяжущего, затворенного раствором хлористого магния. В ксилолит можно вводить также добавки асбеста, трепела, кварцевого песка и красители.

Ксилолитовую массу получают тщательным перемешиванием сухих заполнителей, каустического магнезита и красителей с последующим затворением раствором хлористого магния. Если ксилолитовую массу применяют для полов, то смесь должна иметь пластичную консистенцию. Уложенную на основание ксилолитовую массу выравнивают и уплотняют вибрацией или трамбованием.

При производстве ксилолитовых плит на заводе приготовляют массу жесткой консистенции и прессуют ее в горячем состоянии под давлением 20 МПа. Состав массы для производства ксилолитовых плит: вяжущее и опилки должны находиться в соотношении 1 : 4 (по объему).

На основе магнезиальных вяжущих приготовляют также пено- и газомагнезиты — высокоэффективные теплоизоляционные материалы. Для этого каустический магнезит, затворенный раствором хлористого магния, смешивают с устойчивой пеной или с газообразователем.

Теплоизоляционные магнезиальные материалы получают также из смеси каустического магнезита или каустического доломита и асбеста (15%), затворенных раствором хлористого магния. Из массы на каустическом магнезите получают теплоизоляционные асбестомагнезиальные материалы, а на каустическом доломите — совелит.

Г. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

§ 1. Общие сведения и классификация асбестоцементных изделий

Асбестоцементом называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, воды и асбеста, который в асбестоцементе армирует цементный камень, обеспечивая высокую прочность изделий при растяжении и изгибе.

Асбестоцементные изделия имеют высокую механическую прочность при изгибе, небольшую объемную массу, малую теплопроводность, стойки против выщелачивания минерализованными водами, имеют малую водопроницаемость и высокую морозостойкость. Недостатками асбестоцемента являются пониженная прочность при насыщении водой, хрупкость и коробление при изменении влажности.

Основным сырьем для производства асбестоцементных изделий являются хризотил-асбест и портландцемент. В зависимости от вида изделий, а также качества (сорта) используемого асбеста процентное содержание его в изделиях меняется, но обычно оно не бывает менее 10 и более 20%. Портландцемента в изделиях содержится соответственно 80—90%.

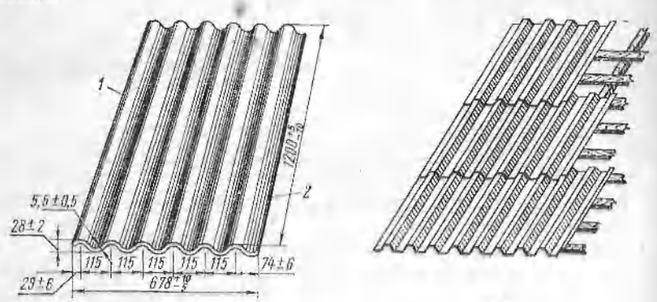
При производстве цветных асбестоцементных изделий наряду с асбестом и цементом применяют красители, а также цветные лаки, эмали и смолы. Для снижения утечки газа внутренние поверхности асбестоцементных газопроводных труб покрывают некоторыми смолами.

Из асбестоцемента изготовляют кровельные, стеновые изделия, трубы и короба, электроизоляционные доски и изделия специального назначения.

Кровельные изделия делят на изделия промышленного и жилищно-гражданского строительства. Для промышленного строительства применяют кровельные изделия для неутепленных и утепленных покрытий. Для неутепленных покрытий в горячих цехах и неотапливаемых складских зданиях используют волнистые (рис. 71, *а*) и полуволнистые (рис. 71, *б*) большеразмерные листы с фасонными деталями. Для утепленных покрытий применяют полые и лотковые плиты. Полые плиты представляют собой два профилированных асбестоцементных листа, соединенных алюминиевыми заклепками и имеющих внутри прокладку из минеральной ваты. Лотковые плиты — это асбестоцементные листы, заполненные теплоизоляционным материалом.

Листы асбестоцементные волнистые периодического профиля представляют собой строительные изделия из портландцемента и асбеста, окрашенные или неокрашенные. Их изготовляют трех профилей: А — с шагом волны 150, высотой волны 54 мм; Б — с шагом волны 100 и высотой 32 мм и В — с шагом волны 200 и высотой 50 мм. Длина листов — 2000 и 2500 мм, ширина — 1154, 1150 и 1093 мм и толщина — 6—8 мм.

По пределу прочности на изгиб листы волнистые производят двух марок — 140 и 160, объемной массой — не менее 1550 кг/м³ и Мрз 50. Волнистые листы периодического профиля применяют для устройства стеновых ограждений зданий различного назначения.



а *б*

Рис. 71. Волнистый лист обыкновенного профиля ВО (*а*) и асбестоцементные полуволнистые листы (*б*):

1 — накрывающая кромка; *2* — накрываемая кромка

Листы асбестоцементные волнистые унифицированного профиля УВ-7,5 применяют для устройства бесчердачных, а также утепленных кровель и стеновых ограждений промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Их производят длиной 1750, 2000 и 2500, шириной 1125 и толщиной 7,5 мм. Эти плиты обладают высокой прочностью на изгибе — не менее 20,0 МПа и объемной массой не менее 1700 кг/м³, морозостойкостью Мрз 50. Эти листы изготовляют на автоматизированных линиях беспрокладочным способом, который является особенностью отечественного производства асбестоцемента и пока еще не практикуется в других странах.

Листы асбестоцементные волнистые унифицированного профиля УВ-6 применяют для устройства чердачных кровель жилых и общественных зданий, а также стеновых ограждений зданий и сооружений. Их выпускают длиной 1750, 2000 и 2500, шириной 1125 и толщиной 6,0 мм, с шагом волны — 200 и высотой рядовой волны 54 мм; пределом прочности на изгиб — не менее 18 МПа, объемной массой 1,7 кг/м³ и морозостойкостью — не менее Мрз 25.

Листы асбестоцементные волнистого профиля СВ-40 используют для кровельных покрытий в массовом жилищном строительстве, а также для стеновых ограждающих конструкций, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Их выпускают длиной 1750 и 2500, шириной 1130 и толщиной 5 и 6 мм с шагом волны 150 и высотой 40 мм.

Облицовочные асбестоцементные плиты с покрытием из полифирного асбестопластика предназначены для внутренней облицовки зданий. Плиты отличаются своеобразной декоративной поверхностью, которую нельзя получить обычными методами окраски и офактуривания. Покрытие асбестоцементных плит асбестопластиками увеличивает их ударную вязкость и уменьшает водопоглощаемость. Двустороннее покрытие асбестопластическими пленками увеличивает механическую прочность облицовочных плит при изгибе до 30%. Поверхность облицовочных плит может быть глянцевой или матовой; в зависимости от состава пигментов и способа нанесения покрытия она может быть монотонной или мраморовидной, различных оттенков и самого разнообразного рисунка. Асбестоцементные плиты изготовляют размерами: 1200×800×6, 400×400×5, 150×150×5 мм, пределом прочности на изгиб — не менее 26—29 МПа, объемной массой — 1,75 кг/м³.

Цветные асбестоцементные листы ВО используют для устройства чердачных кровель, ограждения балконов, а также в качестве других отделочных элементов зданий. Выпускают их размером 1200×678×5,5 мм с шагом волны 115 и высотой 28 мм. Они имеют высокий предел прочности на изгиб (не менее 16 МПа). Лицевая поверхность асбестоцементных листов окрашивается путем распыления цветной цементной суспензии непосредственно на листоформовочной машине. Для окраски применяют минеральные пигменты: сурик железный, искусственные железоокисные пигменты, окись хрома, пиролюзит и органические фталоцианиновые пигменты.

Асбестоцементные плиты плоские облицовочные предназначаются для облицовки стен вестибюлей метро, магазинов, а также изготовления отделочных архитектурных деталей и других элементов зданий.

Цветные полированные плиты выпускают четырех типоразмеров: длиной 600—1600, шириной 300—1200 и толщиной 4—10 мм. Эти плиты обладают высокой прочностью на изгиб — не менее 25 МПа, объемной массой в высушенном состоянии — не менее 1750 кг/м³. Цветные плиты могут быть серыми или окрашенными эмалями, с рельефным рисунком. Для окраски листов применяют перхлорвиниловые, кремнийорганические, водоэмульсионные и другие эмали, фасадные краски и лаки. Окраска плит должна производиться в специальных цехах пульверизационным, наливным или электростатическим способами.

По способу производства плиты изготовляют прессованными и непрессованными. Предел прочности на изгиб прессованных

плит составляет не менее 25 МПа, а непрессованных — 16 МП. Плиты, используемые для наружной облицовки, имеют морозостойкость не менее Мрз 25, при сохранении прочности — не менее 90%.

Облицовочные асбестоцементные плитки (150×150×4 мм) с декоративным полимерным покрытием применяют для облицовки стен магазинов, кафе, метро, уличных подземных переходов, общественных помещений, а также стен ванных комнат и других помещений. Нанесение декоративного слоя в виде порошкообразного материала производится в электростатическом поле высокого напряжения или механическим способом. Последующее оплавление и отверждение полимерного слоя происходит при температуре 130—160° С в течение 1—2 ч. Покрытие обладает высокими защитными свойствами: абсолютной водостойкостью, водонепроницаемостью и высокой устойчивостью к бытовой очистке.

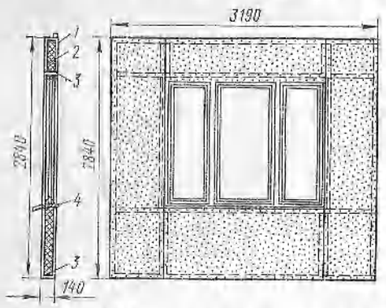


Рис. 72. Асбестоцементная стеновая панель:

1 — асбоцементный лист; *2* — утеплитель; *3* — бруски; *4* — подоконник и слив

Стеновые асбестоцементные изделия выпускают для наружной и внутренней облицовки стен, как стеновые панели (рис. 72) и перегородки. Для наружной облицовки стен применяют серые и цветные тисненые изделия, цветные прессованные плитки; для внутренней облицовки используют листы, в которых лицевая сторона окрашена водонепроницаемыми цветными эмалями и лаками.

Асбестоцементные унифицированные стеновые панели представляют собой легкую трехслойную конструкцию с креплением фасадных асбестоцементных цветных листов к деревянному каркасу алюминиевыми раскладками, а внутренней асбестоцементной обшивки из серых листов — шурупами «впотай»; в качестве утеплителя применяют стекловатные плиты (рис. 72). Стеновые панели производят длиной до 6 м, шириной до 3,3 м и толщиной 14—17 см. Расчетная стоимость 1 м² глухой стены составляет 15,5 руб.

Асбестоцементные трубы производят напорные, безнапорные и вентиляционные. Напорные трубы применяют для сетей водопровода и теплофикации, нефтепровода и газопровода. В настоящее время отечественная промышленность производит трубы асбестоцементные с газонепроницаемыми покрытиями из полимерных материалов. Эти трубы являются наиболее экономичными и достаточно надежными заменителями стальных труб. Асбестоцементные трубы с полимерными покрытиями обладают высокой водо-, бензо- и маслостойкостью, достаточной механической прочностью, хорошей адгезией к асбестоцементу.

Трубы и муфты асбестоцементные водопроводные выпускают с рабочим гидравлическим давлением 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 и 1,5 МПа. Длина труб 3,4 и 6 м, а диаметр 100—500 мм. Напорные трубы контролируют гидравлическим давлением, в два раза превышающим рабочее давление. Они надежны в эксплуатации и долговечны.

Трубы асбестоцементные безнапорные применяют для устройства наружных трубопроводов безнапорной канализации, дренажных коллекторов, мелиоративных систем, а также для строительства телефонных каналов. Безнапорные трубы производят длиной 2950—3950 мм, диаметром 100—368 мм, с толщиной стенок 9—17 мм, с пределом прочности на изгиб не менее 12 МПа. Трубы испытывают на водонепроницаемость гидравлическим давлением, равным 0,4 МПа.

Короба асбестоцементные прямоугольного сечения предназначены для устройства вентиляции воздуха производственных вспомогательных и бытовых помещений, промышленных, жилых и гражданских зданий.

Короба бесшовные без раструбов изготовляют из тонкостенных труб специальной навивки, свежесформованными на трубоформовочных машинах. Для придания свежесформованной трубе прямоугольной формы в нее вставляют деревянный сердечник, состоящий из трех частей клиновидной формы. Затем короба укладывают штабелем и выдерживают 1—2 дня, после чего сердечники вынимают, а короба складывают для дальнейшего затвердевания.

Короба изготовляют длиной 4000 мм с внутренним сечением 150×300, 200×200, 200×300 мм и толщиной стенок 9 мм. Короба имеют высокую прочность, предел прочности при изгибе — не менее 16 МПа, объемную массу — 1600 кг/м³.

Доски асбестоцементные электротехнические дугостойкие (АЦЭИД) служат для изготовления деталей, панелей, щитов и оснований электрических аппаратов и машин, подвергающихся действию высоких температур и электрического разряда.

Асбестоцементные накаты (заготовки) для АЦЭИД изготовляют на листоформовочных машинах и разрезают на форматы нужного размера. Форматы укладывают на металлические прокладки и прессуют при давлении до 20 МПа. После этого доски на прокладках твердеют 10—16 ч, затем их отделяют от прокладок, обрезают и складируют.

Доски производят длиной 1100—1200, шириной 700—800 и толщиной 10—40 мм, водопоглощением 15%; дугостойкостью 30 с при силе тока 20 МА. Доски АЦЭИД по пределу прочности на изгиб выпускают четырех марок: 350, 400, 450 и 500.

К **специальным асбестоцементным изделиям** относятся крупногабаритные фигурные листы, применяемые для сводчатых покрытий, градирен, зерносушилок и пр.

§ 2. Материалы для производства асбестоцементных изделий

Портландцемент. В качестве вяжущего для производства асбестоцементных изделий применяют портландцемент, который должен достаточно быстро гидратироваться, но сравнительно медленно схватываться. Нарастание прочности после изготовления изделий должно происходить достаточно быстро для перехода полуфабриката в готовую продукцию.

Схватывание и твердение цемента происходят в специфичных условиях. Начальная гидратация протекает при очень большом водоцементном отношении. В процессе отсоса жидкой фазы происходит фильтрование части новообразований и мелких зерен клинкера и, кроме того, физико-химическое воздействие асбеста на процессы твердения цемента в композиции. Для удовлетворения всех требований ГОСТ 9835—66 выпускается специальный портландцемент для производства асбестоцементных изделий. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы через сито № 008 проходило не менее 85 и не более 94% от массы пробы. Количество добавок в цементе устанавливают с согласия потребителя, но не более 3% (за исключением гипса). Гипс добавляют для регулирования сроков схватывания в количестве не менее 1,5 и не более 3,5, считая на SO_3.

Для асбестоцементных изделий применяют портландцемент марок 300, 400 и 500. По минералогическому составу портландцемент должен быть алитовым (с содержанием трехкальциевого силиката не менее 50%), обеспечивающим высокую производительность формовочных машин и интенсивное нарастание прочности асбестоцемента. Содержание трехкальциевого алюмината ограничивается, так как он дает малую прочность асбестоцементных изделий и низкую морозостойкость; свободная окись кальция в цементе не должна превышать 1,0%, а окись магния — не более 5%.

Формование асбестоцементных изделий продолжается дольше, чем изделий из бетона. В связи с этим начало схватывания у цемента для асбестоцементных изделий должно наступать несколько позже, чем у обычного портландцемента — не ранее 1,5 ч с момента затворения водой.

Асбестоцементные изделия получают и на песчанистом портландцементе. Содержание песка в этом цементе колеблется от 47 до 53%, а тонкость помола песка должна быть такой же, как и портландцемента. Асбестоцементные изделия, приготовленные на песчанистом портландцементе, подвергают автоклавной обработке, где под влиянием пара, высокой температуры и давления протекает достаточно быстро процесс взаимодействия кварцевого песка с гидратом окиси кальция, выделяющимся при гидратации портландцемента, с образованием гидросиликатов

кальция. Применение песчанистого портландцемента дает большой экономический эффект вследствие экономии цемента.

Асбест в природе встречается среди определенного химического состава горных пород большей частью в виде жил. Асбестовые минералы имеют волокнистое строение и при механическом воздействии способны распадаться на тончайшие волокна. Встречающиеся в природе виды асбеста можно разделить на две группы: кислотостойкие и некислотостойкие. В группу кислотостойких асбестов входят: крокидолит-асбест, антофиллит-асбест, амозит-асбест, актинолит-асбест и тремолит-асбест. В группу некислотостойких асбестов входит лишь один хризотил-асбест, имеющий большое значение в промышленности. Мировая добыча хризотил-асбеста составляет 95%, а вся группа кислотостойких асбестов — не более 5%. Химический состав хризотил-асбеста (теоретический) выражается формулой $3MgO \times 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, т. е. он является гидросиликатом магния.

Молекулы асбеста прочно связаны между собой лишь в одном направлении, боковая же связь с соседними молекулами крайне слаба. Этим свойством объясняется очень высокая прочность асбеста на растяжение вдоль волокон и хорошая распушиваемость — расщепление поперек волокон. Диаметр волокна хризотил-асбеста колеблется от 0,00001 до 0,000003 мм, практически хризотил-асбест распушивают до среднего диаметра волокон, равного 0,02 мм, следовательно, такое волокно является пучком огромного количества элементарных волокон. В среднем предел прочности на растяжение волокон асбеста равен 3000 МПа. Но так как при распушке волокна асбеста подвергаются сжимающим, ударным и другим воздействиям, то прочность волокон после распушки снижается до 600—800 МПа, что соответствует прочности высококачественной стальной проволоки.

Асбест обладает большой адсорбционной способностью. В смеси с портландцементом при смачивании водой он адсорбирует, т. е. хорошо удерживает на своей поверхности продукты гидратации цемента, связывающие волокна асбеста, поэтому асбестоцемент является как бы тонкоармированным цементным камнем. Хризотил-асбест несгораем, однако при температуре 110° С он начинает терять адсорбционную воду, предел прочности на растяжение снижается до 10%, а при 368° С испаряется вся адсорбционная вода, что приводит к снижению прочности на 25—30%. Однако после охлаждения асбест восстанавливает из воздуха потерянную влагу и прежние свойства. При нагревании асбеста до температуры более 550° С удаляется химически связанная вода, теряется эластичность и прочность, асбест становится хрупким и после охлаждения свойства его не восстанавливаются. При температуре около 1550° С хризотил-асбест плавится.

Асбест имеет малую тепло- и электропроводность, высокую щелочестойкость и слабую кислотостойкость.

Качество асбестоцементных изделий во многом зависит от качества асбеста и от тонкости помола цемента. В соответствии с ГОСТом качество хризотил-асбеста характеризуется следующими показателями: текстурой (степенью распушенности волокон), средней длиной волокна, эластичностью, влажностью, степенью засоренности пылью.

Наибольшее влияние на качество продукции оказывает длина волокон асбеста, поэтому она является основным признаком, по которому асбест делят на сорта и марки. В зависимости от длины волокон установлено восемь сортов хризотил-асбеста. Асбест с наиболее длинными волокнами (более 18 мм) относят к 0-му и 1-му сортам, а с наиболее короткими (менее 1 мм) — 7-му сорту. Для производства асбестоцементных изделий применяют 3, 4, 5 и 6-й сорта.

Вода. В производстве асбестоцементных изделий потребляют большое количество воды, которая идет на приготовление асбестоцементной смеси и на промывку сукон и сетчатых цилиндров формовочной машины. Вода, применяемая для производства асбестоцементных изделий, не должна содержать глинистых примесей, органических веществ и минеральных солей. Наиболее благоприятной является температура 20—25° С. При температуре ниже 10° С производительность формовочных агрегатов падает, а твердение изделий замедляется. Слишком же высокая температура воды может вызвать быстрое схватывание цемента.

Краски. Для окраски стеновых плиток и листов применяют цветные цементы или добавляют минеральные щелочестойкие пигменты, обладающие высокой красящей способностью, свето- и атмосфероустойчивостью и не взаимодействующие с продуктами гидратации цемента. Это редоксайд (искусственный железоокисный), сурик железный, природная мумия, охра, окись хрома, ультрамарин, перекись марганца и др.

Листы, предназначенные для облицовки стен и панелей санитарных узлов и кухонь, покрывают водонепроницаемыми эмалями и лаками, полученными на основе полимеров (глифталевых, перхлорвиниловых, нитроцеллюлозных).

§ 3. Производство асбестоцементных изделий

В настоящее время существует три способа производства асбестоцементных изделий: мокрый способ — из асбестоцементной суспензии, полусухой — из асбестоцементной массы и сухой способ — из сухой асбестоцементной смеси. Наиболее широкое распространение получил мокрый способ. Два других применяют только в опытных установках.

Технологическая схема производства асбестоцементных изделий мокрым способом состоит из следующих основных процессов: складирования и хранения основных материалов; составления смески асбеста из нескольких сортов и марок; распушки

смески асбеста; приготовления асбестоцементной массы; силосования (складирования) асбестоцементной массы; формования асбестоцементных изделий (облицовочные листы и кровельные плитки дополнительно прессуются); предварительного твердения формованных изделий; механической обработки изделий; твердения изделий; складирования.

Асбест доставляют на заводы в бумажных мешках или навалом в железнодорожных вагонах. На заводе асбест хранят в закрытом складе на деревянном полу в отдельных отсеках для разных марок и сортов. Если асбест поступил на склад в таре, то его можно хранить в штабелях. Над каждым отсеком или штабелем указывают сорт и марку асбеста.

Для изготовления каждого вида изделий устанавливают состав смески асбеста. Так, для асбестоцементных волнистых листов, применяемых для покрытия кровель жилых зданий, смеска асбеста установлена следующая: 50% асбеста 5-го сорта, 50% асбеста 6-го сорта, причем общее содержание мягкой текстуры не должно превышать 50%, в том числе содержание в смеске асбеста М-60-40 не должно быть более 15%. Сорта асбеста и их процентное содержание в применяемых смесках нормируют специальными технологическими картами.

Распушка асбеста определяет в значительной мере качество продукции. Различают три вида распушки: сухую, мокрую и полусухую.

При сухом способе (рис. 73, *б*) распушку производят на бегунах и пушителях. В бегунах разминаются пучки асбеста, нарушается связь между волокнами, а в пушителе (дезинтеграторе) происходит дальнейшее расщепление размятых пучков на отдельные волокна. Окончательно же распушиваются волокна асбеста в аппарате для приготовления асбестоцементной массы — голлендере.

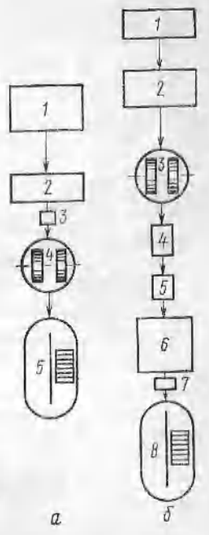


Рис. 73. Схемы распушки асбеста:

а — мокрым способом; *1* — склад асбеста; *2* — участок для составления смески асбеста; *3* — дозатор; *4* — бегуны с увлажнением асбеста; *5* — голлендер; *б* — сухим способом; *1* — склад асбеста; *2* — участок для составления смески асбеста; *3* — бегуны; *4* — дезинтегратор (пушитель); *5* — эксгаустер; *6* — камеры распушенного асбеста; *7* — дозатор; *8* — голлендер

При мокром способе (рис. 73, *а*) распушки асбест замачивают в воде 3—5 дней, затем смеску разминают в воде на бегунах. Вода проникает в микрощели и оказывает расклинивающее действие, вследствие чего волокна распушиваются легче и более полно. Увлажнение асбеста повышает эластичность волокон, что увеличивает сопротивление излому при обработке на бегунах.

В настоящее время для обминания асбеста все большее распространение получает валковая машина (рис. 74). В отличие от бегунов эта машина выпускает высококачественный обмятый асбест непрерывным потоком.

Окончательно асбест распушивается в голлендере, а затем в него добавляют цемент и воду и перемешивают до получения однородной асбестоцементной массы. Голлендер (рис. 75) представляет собой металлическую или железобетонную ванну, разделенную посередине продольной перегородкой, не доходящей до краев. В одной половине ванны расположен барабан, снаб-

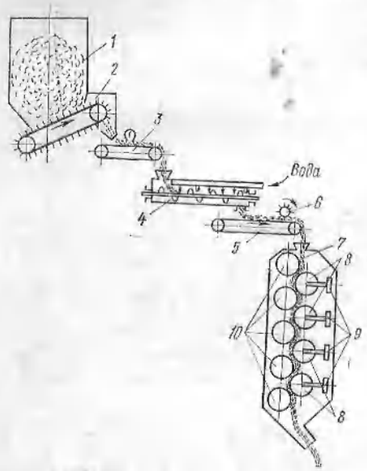


Рис. 74. Механизированная установка для смешивания, увлажнения и обминания смески асбеста:

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

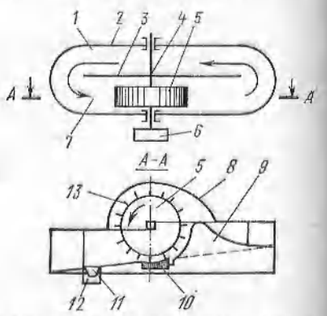


Рис. 75. Голлендер периодического действия:

1 и *7* — каналы; *2* — ванна; *3* — перегородка; *4* — вал барабана; *5* — ножевой барабан; *6* — щиты; *8* — съемный кожух; *9* — горка; *10* — рамка с ножами; *11* — клапан; *12* — патрубок; *13* — ножи

женный стальными ножами. Под барабаном, на дне ванны, помещена чугунная коробка, в которой находится гребенка. Гребенка установлена под углом в 1,5—2,5° к оси барабана для лучшего распушивания волокон асбеста. Ванну наполовину заполняют водой, затем подают предварительно распушенный асбест. При вращении барабана (180—240 об/мин) смесь увлекается в зазор между ножами барабана и гребенкой, перебрасывается через горку, проходит по ванне и вновь попадает под барабан. Циркуляция смеси продолжается до 10 мин, степень распушки волокна при этом должна составлять в пределах 90—95%. Затем загружают цемент, добавляют воду и производят дополнительное перемешивание. К концу перемешивания почти весь цемент адсорбируется на волокнах асбеста. Дозировка со-

ставляющих асбестоцементной массы равна: 10—18% асбеста, 82—90% цемента; для производства труб: воды около 97%, а при производстве листовых асбестоцементных материалов — около 95%.

Голлендер — аппарат периодического действия. Для непрерывного питания формовочной машины необходимо создать запас асбестоцементной массы в ковшовой мешалке (чане), который бы периодически пополнялся из голлендера. Перемешивание

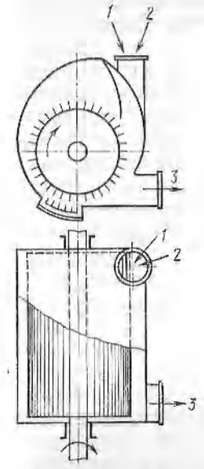


Рис. 76. Голлендер непрерывного действия:

1 — поступление асбеста; *2* — поступление воды; *3* — выход асбестовой суспензии

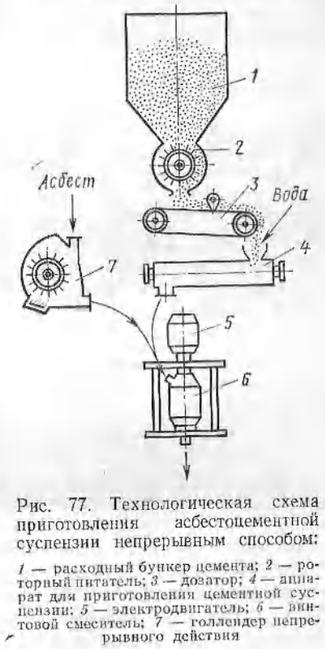


Рис. 77. Технологическая схема приготовления асбестоцементной суспензии непрерывным способом:

1 — расходный бункер цемента; *2* — роторный питатель; *3* — дозатор; *4* — аппарат для приготовления цементной суспензии; *5* — электродвигатель; *6* — винтовой смеситель; *7* — голлендер непрерывного действия

находящейся в ней массы осуществляется крестовиной с лопатями. На одном валу с крестовиной находится каркасный круг — «ковшовый элеватор». Ковши зачерпывают массу из чана и подают в приемную коробку листоформовочной или трубоформовочной машины.

В настоящее время на предприятиях отечественной промышленности внедряются голлендеры непрерывного действия (рис. 76) большой производительности. Вода и асбест непрерывно загружаются в ванну с одного конца голлендера, а готовая асбестовая суспензия выливается с другого конца. Производительность голлендера непрерывного действия соответствует производительности валкового обминателя.

При использовании голлендера и валковой машины непрерывного действия асбестоцементную массу приготовляют непрерывным потоком (рис. 77). Смешивание непрерывно поступающей асбестоцементной суспензии с цементной суспензией производится в винтовом смесителе, а оттуда асбестоцементная масса поступает в ковшую мешалку или непосредственно в ванну формовочной машины.

Формование является наиболее важным процессом в производстве асбестоцементных изделий. Формуют изделия на листоформовочных и трубоформовочных машинах. Листоформовочная машина (рис. 78) состоит из металлической ванны, в которую непрерывно по желобу подается жидкая асбестоцементная масса. В ванну помещен полый каркасный барабан (сетчатый цилиндр), обтянутый металлической сеткой. К поверхности сетчатого цилиндра валом прижимается лента конвейера. Ведущий опорный вал приводит в движение ленту, которая вращает сетчатый цилиндр. Асбестоцементная масса тонким слоем осаждается на поверхности металлической сетки барабана, частично на ней обезвоживается за счет фильтрации воды сквозь сетку и при вращении снимается с барабана, равномерно размещаясь на движущейся ленте. Асбестоцементная масса, перемещаясь на ленте, проходит через вакуум-коробку, где обезвоживается, затем переходит на вращающийся форматный барабан, навивается на него концентрическими слоями и уплотняется.

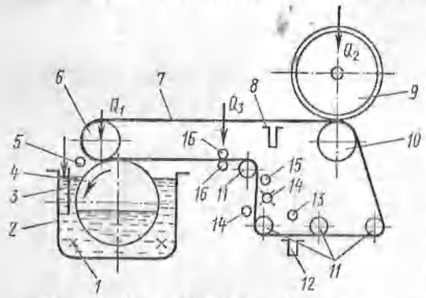


Рис. 78. Схема формовочной машины:

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 (ведущий) вал; *11* — направляющие валики; *12* — нижняя вакуум-коробка; *14* — отбойный валик; *16* — отжимные валы; Q_1, Q_2, Q_3 — давления, создаваемые грузами, пружинами или гидравлическими цилиндрами

При изготовлении листовых асбестоцементных изделий навитую на форматный барабан массу определенной толщины разрезают и снимают с барабана. Полученные листы разрезают на листы установленного размера и подают в пропарочные камеры.

Листы, предназначенные для волнировки, после снятия с форматного барабана разрезают на форматы и укладывают в формы на металлические волнистые прокладки.

В целях получения повышенной механической прочности и плотности асбестоцементные листовые изделия прессуют на гидравлических прессах под давлением до 40 МПа. Для приобретения изделиями в кратчайшие сроки необходимой прочности их

пропаривают или выдерживают сначала на воздухе при нормальной температуре, а затем в бассейнах с теплой водой.

Твердение асбестоцементных листовых изделий, изготовленных на портландцементе, происходит в две стадии. Первая — предварительное твердение в пропарочных камерах периодического действия (ямных или туннельных) при температуре 50—70° С в течение 12—16 ч. После пропаривания листовые изделия освобождают от металлических прокладок и подвергают механической обработке (обрезке кромок, пробивке отверстий и т. п.). Окончательно отформованные листы направляются в утепленный склад, где происходит вторая стадия твердения в течение не менее 7 суток.

Асбестоцементные изделия, изготовленные на песчанистом портландцементе, после формования направляют в автоклавы для запарки при температуре 172—174° С и рабочем давлении до 0,8 МПа. По достижении необходимой прочности изделия подвергают механической обработке.

Асбестоцементные листы, применяемые для стен кухонь и санитарных узлов, покрывают водонепроницаемыми эмалями и лаками на основе полимеров (перхлорвиниловые и пр.).

При изготовлении **асбестоцементных труб** технологический процесс распушки асбеста и приготовления асбестоцементной массы аналогичен процессу производства листовых материалов. Конструкция трубоформовочной машины сходна с конструкцией листоформовочной машины. Отличие заключается в том, что трубоформовочная машина имеет один сетчатый цилиндр, так как количество прокатываний формуемой трубы, от которых зависит ее плотность и прочность, уменьшается с увеличением количества цилиндра. Чем больше цилиндров, тем интенсивнее отдается масса для формования трубы и тем меньше продолжительность формования. При производстве труб вместо форматного барабана применяют форматную скалку, на которую навивают массу. При этом волокна асбеста в основном располагаются по окружности барабана в направлении его вращения. Это обстоятельство имеет существенное значение для обеспечения прочности напорных труб. Стенка асбестоцементной трубы может иметь любой толщины.

По окончании процесса навивания на форматный цилиндр скалку с трубой снимают и устанавливают новую. Для облегчения снятия трубы со скалки трубу развальцовывают и отправляют на площадку предварительного твердения. Трубы длиной 4 м поступают на площадку вместе с форматными скалками, а трубы большей длины — с деревянными сердечниками.

Предварительное твердение асбестоцементных труб происходит на конвейере (рис. 79), состоящем из металлического каркаса, по которому движутся три бесконечные цепи, приводящие в движение валики. Последние катятся по настилу, вращая при этом находящиеся на них трубы. Трубы укладываются на ванки верхней цепи и, дойдя до конца, поступают на среднюю

цепь, передвигаются в обратном направлении и попадают на нижнюю цепь, а пройдя весь конвейер, трубы отвердевают и направляются в счетно-маркировочное устройство. Дальнейшее твердение труб производится в водных бассейнах в течение

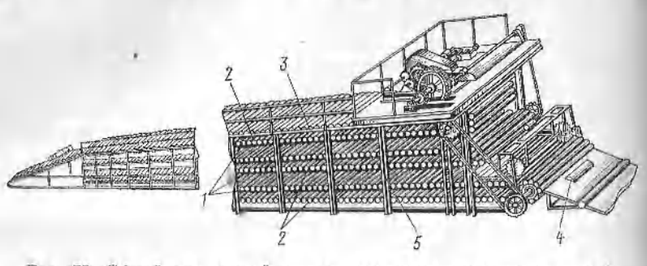


Рис. 79. Общий вид конвейера для твердения трехметровых труб:
1 — валики; *2* — бесконечная цепь; *3* — деревянные бруски; *4* — счетно-маркировочное устройство; *5* — металлический каркас

1—3 суток при температуре 40—50° С. После этого трубы поступают на склад, где выдерживаются до 14 суток.

Асбестоцементные трубы подвергают механической обработке: у всех труб обрезают концы, а у водопроводных обтачивают их; часть труб разрезают на кольца, из которых вытачивают муфты для соединения водосточных, канализационных и дымовых труб.

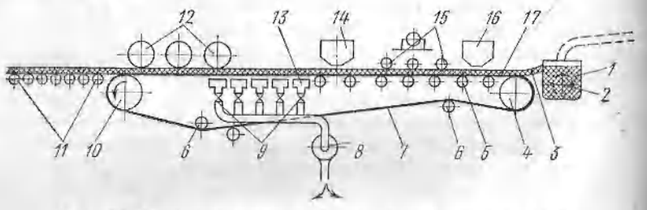


Рис. 80. Схема плоскосетчатой листоформовочной машины:
1 — приемная мешалка; *2* — лопастная мешалка; *3* — наклонная плоскость; *4* — натяжной барабан; *5* — поддерживающие валики; *6* — направляющий валик; *7* — сетчатое полотно; *8* — вакуум-насос; *9* — краны; *10* — приводной барабан; *11* — роликовый транспортер; *12* — пресс-вал; *13* — вакуум-коробки; *14* и *16* — бункера; *15* — уплотняющие вибровалики; *17* — асбестоцементная масса

В настоящее время разработан новый комплект оборудования технологической линии автоматизированного производства крупнопанельных асбестоцементных листов на базе плоскосетчатой машины (рис. 80). Технологическая линия состоит из двух участков: заготовительного, в котором производится приготовление асбестоцементной массы, и листоформовочного, в котором осуществляется формование изделий.

Приготовление асбестоцементной массы осуществляется в следующем порядке. Асбестовая шихта подается со склада в бункер питателя асбеста, далее отвешивается дозатором по массе и поступает в смеситель-увлажнитель, в котором асбест перемешивается и увлажняется до 33%. Увлажненная асбестовая шихта подается в валковую машину для обминания асбеста встречно вращающимися гладкими валками, а из нее поступает в машину для гидравлической распушки, куда одновременно подается необходимое количество воды для получения асбестовой суспензии. Приготовленная асбестовая суспензия и отдозированный дозатором по массе цемент поступают в смеситель асбестоцементной массы. Перемешивание асбеста с цементом в смесителе происходит в вертикально нисходящем потоке асбестовой суспензии при одновременном воздействии вращающихся и неподвижных лопастей. Приготовленная асбестоцементная масса поступает в ковшую мешалку, которая питает плоскосетчатую листоформовочную машину.

Производительность оборудования заготовительного отделения — 60 м³/ч асбестоцементной массы 18%-ной концентрации, что обеспечивает выпуск 12 тыс. усл. пл/ч.

Плоскосетчатая листоформовочная машина обеспечивает непрерывную выдачу асбестоцементной суспензии на сетку машины, осуществляет обезвоживание суспензии, формование асбестоцементной ленты, уплотнение и дополнительное обезвоживание асбестоцементного листа. Отформованная асбестоцементная лента дополнительно уплотняется на прессе, а затем направляется на раскрой сырой асбестоцементной ленты на листы заданных размеров. Последние подвергают волнировке, затем укладывают в стопы и помещают на 3,5—4 ч в специальные камеры предварительного твердения при температуре 40—60° С и влажности 90—95%.

Рассмотренный способ производства асбестоцементных плит снижает себестоимость продукции на 7% по сравнению с существующими. Степень автоматизации этого способа достигает 93%, при 100%-ной механизации на основных технологических линиях.

§ 4. Цветные асбестоцементные изделия

Асбестоцементная промышленность выпускает следующие основные виды окрашенных изделий: цветные листы, отформованные из цветной асбестоцементной суспензии; листы с цветной лицевой поверхностью, получаемой в процессе формования на листоформовочной машине; офактуренные листы и плиты, лицевая поверхность которых покрыта цветными эмалями. При окраске изделий по всей толщине применяют цветной портландцемент заводского изготовления или пигмент, который загружают в аппарат одновременно с цементом. Окрашенные пигментом изделия имеют высокую стоимость (большой расход

красителя), пониженную механическую прочность и уступают в декоративном отношении изделиям на цветном цементе.

Изготовление листов с цветной лицевой поверхностью производят путем окраски в процессе формования. Для нанесения на лицевую поверхность листов слоя цветного асбестоцемента на листоформовочной машине устанавливают дополнительно сетчатый цилиндр, в ванне которого находится окрашенная асбестоцементная суспензия, или на первичный слой асбестоцемента посыпают цветной цемент, перед тем как слой подходит к вакуум-коробке (посыпной метод). Этим методом получить интенсивно окрашенную поверхность не удается, так как через тонкий цветной слой просвечивает серая основная масса листа. Этот метод применяют только для плоских листов, так как при изгибе на цветном не армированном волокнами асбеста слое образуется сеть мельчайших трещин. У плоских же листов получается интенсивно окрашенная лицевая поверхность.

Нанесение покрасочного слоя можно также произвести с помощью пульверизатора или офактуриванием — прокаткой на валках, на поверхности одного из которых выгравирован рисунок.

Для предохранения облицовочных листов от коробления окрашивание их лицевой поверхности производят красками или цветными эмалями. Эти листы должны подвергаться прессованию и иметь гладкую ровную поверхность. Окрашивают листы через 3—4 недели после формования. При влажности более 7% их подсушивают при температуре 50—60° С. Лицевую поверхность предварительно покрывают глифталиевой грунтовкой, а затем окрашивают нитроэмалями, перхлорвиниловыми и другими эмалями. Для более высокой стойкости облицовочных листов от коробления при увлажнении их тыльную сторону также покрывают грунтовкой. Температуростойкость эмалей невысокая (70° С), но все они водонепроницаемы и щелочестойки.

Применяют асбестоцементные листы, покрытые эмалями, для облицовки стен кухонь, санитарных узлов, вестибюлей магазинов и т. д.

§ 5. Основные свойства асбестоцементных изделий и эффективность их применения

Свойства асбестоцементных изделий определяют 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. Асбестоцементные непрессованные изделия имеют предел прочности на растяжение 10—17 МПа, на изгиб — 16—27 МПа, а прессованные асбестоцементные изделия имеют предел прочности на растяжение 20—25 МПа, а на изгиб — 27—42 МПа. С возрастом механическая прочность и плотность изделий возрастают. Асбестоцемент легко пилится, сверлится и шлифуется. Изделия из асбестоцемента обладают высокой морозостойкостью и водонепроницаемостью, под влиянием влаги не корродируют, поэтому могут применяться без окраски. По сравнению со сталью и чугуном имеют в несколько раз меньший коэффициент теплопроводности и в 3,5—4 раза меньше объемную массу. Асбестоцемент обладает высокими электроизоляционными свойствами. Асбестоцементные трубы почти непроницаемы при транспортировании газа, особенно если газопровод проложен во влажных грунтах. Недостатком асбестоцементных изделий является малое сопротивление удару и коробление.

§ 6. Пути снижения себестоимости и повышения качества асбестоцементных изделий

Темпы развития промышленности асбестоцементных изделий значительны (табл. 50). Наряду с ростом производства улучшилось и качество асбестоцементных изделий (увеличились средняя объемная масса и механическая прочность шифера). Следует, однако, подчеркнуть, что асбестоцементная промышленность пока не обеспечивает потребностей строительства в большеразмерных эффективных профилированных листах для ограждающих конструкций неотапливаемых зданий. Так, не организовано массовое производство прогрессивных кровельных утепленных плит покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий, легких навесных панелей для гражданского и промышленного строительства, специальных гнутых профилированных листов для конвейерных галерей, офактуренных и цветных листов для отделки зданий, панелей и экранов подвесных потолков, ограждений балконов и других целей. Поэтому в перспективе наряду с дальнейшим ростом производства асбестоцементных изделий намечается дальнейшее значительное улучшение качества продукции. Увеличивается выпуск крупногабаритных асбестоцементных листов усиленного профиля и других изделий, обеспечивающих получение экономического эффекта.

Таблица 50

Объем производства асбоцементных изделий в СССР

Наименование изделий	1958 г.	1965 г.	1970 г.	1973 г.
Шифер, млн. усл. пл.	2407	4162	5840	7000
Трубы (в пересчете на условный диаметр 200 мм), тыс. усл. км . . .	15,2	32,1	55,8	—

Большие резервы совершенствования экономики асбоцементного производства заключаются в снижении себестоимости продукции. В настоящее время себестоимость асбоцементных изделий колеблется в значительных пределах по различным заводам. Так, при средней себестоимости 1000 шт. усл. пл., листа УВ-6 за 1970 г. 46,1 руб., на Себряковском комбинате себестоимость составляет 37,0 руб., Белгородском — 36,1 руб., а на Ульяновском и Тимлюйском — 55 руб. При средней себестоимости (по кубомассе) 1 усл. км труб 1367 руб. на передовых заводах их себестоимость не превышает 1070—1100 руб., а на отстающих — 1600—2000 руб. Такие разрывы в себестоимости объясняются различиями в ассортименте продукции, расстояниями поставки сырья, уровнем концентрации производства, а также свидетельствуют о значительных резервах снижения себестоимости.

Структура себестоимости основных видов изделий асбестоцементной промышленности приведена в табл. 51.

Таблица 51

Структура себестоимости основных видов изделий асбестоцементной промышленности

Статьи расхода	Расходы, % к себестоимости	
	волнистые листы ВО	водопроводные трубы
Сырье	60,5	59,8
Вспомогательные материалы	3,0	3,2
Технологическое топливо (пар)	2,8	2,8
Электроэнергия	1,7	1,5
Зарплата производственным рабочим с начислениями	10,2	10,2
Расходы по содержанию оборудования	8,5	10,0
Цеховые расходы	4,6	4,5
Расходы по освоению нового оборудования и производству новых видов изделий	0,4	0,4
Общезаводские расходы	3,3	3,2
Потери от брака	1,7	1,2
Внепроизводственные расходы	3,3	3,2

Учитывая, что сырье и материалы преобладают в общих издержках производства асбестоцементных изделий, необходимо на предприятиях усилить контроль за соблюдением технологических норм расхода цемента и асбеста (особенно высоких марок), свести к минимуму потери при хранении и транспортировании сырьевых компонентов.

Снижение удельных расходов заработной платы на единицу продукции связано прежде всего с внедрением механизации и автоматизации технологических процессов. В настоящее время заводы асбестоцементных изделий оборудованы преимущественно установками по подготовке сырьевой смеси, работающими

циклично (бегуны, пушители асбеста, голлендеры и т. д.). Внедрение машин непрерывного действия, а также автоматизация производства и повышение производительности машин и аппаратов могут значительно снизить себестоимость продукции. Агрегат беспрокладочной волнировки шифера с конвейером предварительного твердения почти полностью устраняет ручной труд, позволяет отказаться от металлических прокладок (160 т стали на одну технологическую линию), сократить цикл твердения шифера. Большие резервы заключаются в улучшении использования оборудования — увеличении коэффициента среднегодового съема шифера с одной технологической линии.

Все еще имеют место значительные потери от брака, который является результатом нарушений технологического процесса, отсутствия требуемого контроля за состоянием и работой производственного оборудования. Поэтому снижение себестоимости выпускаемой продукции, так же как и получение изделий высокого качества, — основная задача производства.

В настоящее время осваивается технология производства крупнопанельных листов. На новых и реконструируемых предприятиях намечается установка высокопроизводительных технологических линий, в том числе по производству крупноразмерных волнистых листов методом вакуумного формования с последующим прессованием окрашенных и облицовочных материалов, длинномерных асбестоцементных труб, комплектующих деталей к кровельным листам и трубам и др.

Производство утепленных асбестоцементных конструкций полной заводской готовности для покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий и стеновых панелей для гражданских зданий увеличивается до 10—12 млн. м² в 1975 г.

Доля эффективных крупноразмерных асбестоцементных волнистых листов возросла до 45—50%, а цветных облицовочных листов — до 8—10% от общего выпуска шифера.

ГЛАВА IX

Металлические материалы и изделия

Развитие народного хозяйства нашей страны неразрывно связано с развитием металлургической промышленности. Чем больше производится металлов, тем больше может быть выпущено станков, автомобилей, тракторов и других машин для народного хозяйства.

Из металлов в строительстве наиболее широко применяют стали и чугуны. Из стального проката возводят каркасы промышленных и гражданских зданий, мосты, изготовляют арматуру для железобетона, кровельную сталь, трубы, а также различные металлические изделия, заклепки, болты, гвозди.

Широкому использованию металлов в строительстве способствует ряд их ценных технических свойств: высокая прочность, пластичность, повышенная теплопроводность, электропроводность и свариваемость. Наряду с этим металлы обладают и недостатками: при действии различных газов и влаги сильно коррозируют, а с повышением температуры значительно деформируются.

Широкому использованию металлов в строительстве способствовало быстрое развитие металлургической промышленности.

Годы	1938	1940	1960	1965	1968	1973
Производство стали, млн. т	4,3	18,3	65,3	91,0	106,5	131,0

§ 1. Общие сведения о металлах и сплавах

Классификация металлов. Металлы, применяемые в строительстве, разделяются на две группы — черные и цветные.

Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме углерода, черные металлы в небольшом количестве могут содержать кремний, марганец, фосфор, серу и другие химические элементы. Для придания черным металлам специфических свойств к ним добавляют некоторые так называемые легирующие вещества — медь, никель, хром и др.

Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяются на чугуны и стали.

Чугун представляет собой сплав железа и углерода 2—4,3%. В специальных чугунах — ферросплавах — количество углерода может достигать 5% и более. Присутствующие в чугуне кремний, марганец, фосфор и сера существенно влияют на его

свойства: сера и фосфор повышают хрупкость чугуна, а специальная присадка хрома, никеля, магния, алюминия и кремния придает чугуну более высокую жаростойкость, износостойкость, повышенную сопротивляемость коррозии. Чугуны с добавкой указанных веществ называются легированными.

В зависимости от формы, в которой углерод находится в чугуне, различают чугуны серые (литейные) и белые (передельные). В серых чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита, а в белом — в связанном состоянии в виде цементита. Наличие графита в виде пластинок, перерезающих металлическую основу структуры чугуна, понижает этим его прочность. Модифицированный серый чугун имеет более высокие механические свойства благодаря шаровидной и раздробленной форме графита.

Сталь содержит углерода до 2%. В отличие от чугуна — хрупкого металла — сталь пластична, упруга и обладает высокими технологическими свойствами (способностью обрабатываться).

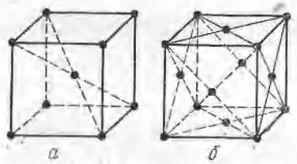
В зависимости от назначения различают стали конструкционные, содержащие углерода 0,02—0,85%, и инструментальные — 0,65—1,4%. Конструкционные стали, применяемые для строительных конструкций и арматуры железобетона, а также в машиностроении, обладают хорошей пластичностью, низкой хрупкостью. Повышение же углерода в инструментальных сталях придает им высокую твердость, но и хрупкость.

Механические и физические свойства сталей (жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость) повышаются добавкой к ним никеля, хрома, вольфрама, молибдена, кобальта, меди, алюминия и др., называемых легирующими веществами, а стали — легированными. В зависимости от величины легирующих добавок различают стали низколегированные, содержащие до 2% легирующих веществ, среднелегированные — 2—10% и высоколегированные — более 10%. Среди легированных сталей строители широко применяют низколегированную сталь. Нержавеющая сталь является высоколегированной.

Цветные металлы и сплавы подразделяются по плотности на легкие и тяжелые. К легким относятся сплавы на основе алюминия, магния, а к тяжелым — на основе меди, никеля, цинка, олова, свинца.

Строение металлов и их свойства. Металлы и металлические сплавы представляют собой кристаллические тела, состоящие из бесчисленного множества кристаллических образований, называемых зерен. Большинство их имеет кубическую объемно-центрированную (хром, ванадий, молибден, вольфрам и некоторые другие) и кубическую гранецентрированную решетки (алюминий, медь, никель, свинец, золото и серебро). Железо может существовать в нескольких кристаллических формах с различным расположением атомов. Это явление называется алло-

тропией. Аллотропические превращения железа наблюдаются при изменении температуры. Железо из расплавленной массы кристаллизуется в форме решетки объемно-центрированного куба (рис. 81, *а*) — δ-модификация железа; при охлаждении до температуры 1390° С она перекристаллизовывается в решетку гранецентрированного куба (рис. 81, *б*) — γ-модификация железа, а при 898° С снова образует решетку объемно-центрированного куба β- и α-модификации. Аллотропия железа имеет большое значение в процессах горячей механической и термической обработки чугуна и стали. Главную роль при этом играет α- и γ-модификации железа. Регулируя закалкой, отжигом и другими способами содержание этих модификаций в сталях, придают им заданные механические свойства.



а *б*

Рис. 81. Кристаллические решетки черных металлов:

а — кубическая объемно-центрированная; *б* — кубическая гранецентрированная

При затвердении расплава металла вначале образуются мельчайшие кристаллы правильной формы, затем, по мере охлаждения, они увеличиваются в размерах и срастаются между собой в виде деформированных неправильной внешней формы кристаллов, называемых *кристаллитами*. Их хорошо видно под микроскопом.

Физические свойства металлов и сплавов характеризуются цветом, плотностью, температурой плавления, теплопроводностью, коэффициентом температурного расширения.

Плотность большинства металлов превышает 7000 кг/м³, а легких металлов (алюминия, бериллия, магния) — менее 3000 кг/м³. Чем меньше плотность металла, тем легче и эффективнее оказываются строительные конструкции из него. Вот почему конструкции из сплавов на основе алюминия все шире и шире применяются в строительстве.

Температуру плавления металлов важно знать для выбора режима горячей обработки металлов и получения изделий литьем. Температура плавления металла изменяется при добавке к нему других веществ. Большинство сплавов, например на основе железа, имеют температуру плавления ниже, чем входящие в их состав металлы. Однако некоторые сплавы цветных металлов, например никеля и алюминия, имеют более высокую температуру плавления, чем чистый никель и алюминий. Изменение температуры плавления металла от содержания в нем других веществ характеризуется диаграммой состояния.

Расширение металлов при нагревании характеризуется коэффициентом линейного и объемного расширения. Это свойство металла необходимо учитывать при проектировании металлических строительных конструкций, так как последние под действием изменяющейся температуры могут вызвать

разрушение сооружения. Важно учитывать это свойство металла при сварке, так как в результате местного нагрева свариваемых деталей может произойти образование трещин.

Способность металла удлиняться при нагревании эффективно используется при производстве предварительно напряженных железобетонных изделий способом электротермического натяжения арматуры.

Механические свойства металлов характеризуются их прочностью, твердостью, ударной вязкостью, усталостью и ползучестью.

Прочность — это способность металла или сплава сопротивляться действию внешних сил. В зависимости от характера этих сил различают прочность на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Характеризуются они соответствующим пределом прочности, т. е. условным напряжением, при котором испытуемый образец металла разрушается. Универсальным является испытание на растяжение, применяемое для всех металлов и сплавов. Специфическим, например для серого чугуна, является испытание на сжатие и изгиб.

При испытании металлов на растяжение наряду с пределом прочности (временным сопротивлением) различают предел текучести — напряжение, при котором растяжение образца происходит без увеличения растягивающей нагрузки. Этот показатель служит основным при расчете металлических конструкций.

На усталость, или на выносливость, испытывают образцы из стали и цветных тяжелых и легких сплавов, детали из которых работают в условиях повторно-переменных растягивающих, изгибающих, сжимающих, крутящих, ударных и других нагрузок.

На ползучесть, т. е. способность деформироваться под постоянной нагрузкой, испытывают металлы, непрерывно работающие под напряжением. В результате ползучести могут увеличиться прогибы строительных конструкций, произойти потеря устойчивости. Особенно опасна ползучесть арматурной стали в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Как результат ее, может произойти потеря предварительного напряжения арматуры, образование трещин в бетоне и разрушение конструкции.

Твердость металла определяет противодействие его при вдавливании в него твердого стального шарика (метод Бринелля), алмазного конуса или алмазной пирамиды.

Вязкость различают статическую и ударную (динамическую). Статическая вязкость характеризуется относительным удлинением (в % длины образца при разрыве) к его первоначальной длине, а ударная вязкость — количеством работы, потребной для разрушения образца ударной нагрузки.

Технологические свойства характеризуют способность металла подвергаться обработке. К ним относятся: пластичность, позволяющая получать металлические изделия ковкой, прокаткой,

волочением; обрабатываемость резанием, свариваемость, характеризуемая способностью металла давать прочные соединения путем их местного нагрева до пластичного или жидкого состояния.

§ 2. Основы технологии черных металлов

Целью металлургических процессов является получение из руд металлических изделий требуемого качества и формы. Переработка руд на чугуны и стали, а также изготовление из них металлических конструкций и изделий представлены на схеме 1 (стр. 296).

Схема металлургического процесса



Схема 1

Производство чугуна является первичным процессом получения металла из природного сырья — железных руд. Железные руды представляют собой природную смесь окислов железа и минеральной части, называемой пустой породой, в виде кремнезема, глинозема, известняка и других соединений.

Наиболее ценными рудами для получения чугуна считаются магнитный железняк Fe_3O_4, красный железняк Fe_2O_3, бурый железняк $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и шпатовый железняк $FeCO_3$ с содержанием незначительного количества вредных примесей (серы и фосфора). Наиболее богаты окислами железа (до 70%) магнитный и красный железняк. Содержание железа в буром и шпатовом железняке обычно не превышает 50—60%. Для повышения содержания железа и уменьшения примесей руду обогащают механическим измельчением, отбором пустой породы, предварительным обжигом или спеканием руды и кокса в агломерат.

В качестве топлива при доменном процессе применяют кокс-продукт сухой перегонки каменных коксующихся углей при температуре 900—1100° С. Кокс не только расплавляет руду, но и служит восстановителем чистого железа из окислов руды.

Для понижения температуры плавления пустой породы и золы топлива в шихту вводятся флюсы (известняк, кварц, песчаник, кварцит).

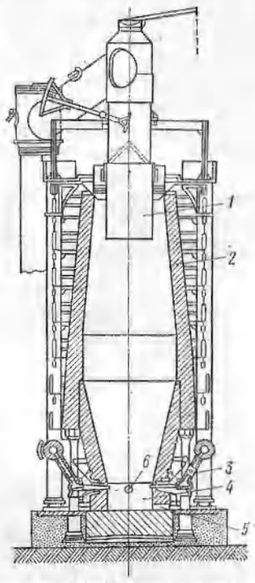


Рис. 82. Доменная печь:

1 — колошник; *2* — шахта; *3* — фурменные приборы для вдувания воздуха; *4* — горн; *5* — отверстия для выпуска чугуна (чугунная летка); *6* — отверстия для выпуска шлака (шлаковая летка)

Выплавку чугуна производят в доменных печах (рис. 82), представляющих собой шахту, заключенную в металлический кожух и футерованную внутри огнеупорным кирпичом. Исходные материалы в определенных количествах загружают в доменную печь сверху. Под собственной массой они постепенно опускаются, нагреваясь на своем пути до расплавленного состояния. Расплав в виде чугуна и шлака стекает в горн. Вследствие значительной разницы в объемных массах чугуна и шлака последний скапливается на поверхности чугуна и удаляется через шлаковую летку, расположенную выше чугунной летки.

Снизу печи, через фурменные отверстия, поступает нагретый воздух. Под действием кислорода воздуха происходит сгорание кокса ($C + O_2 = CO_2 + 410$ кДж). Образовавшийся при этом угле-

кислый газ, поднимаясь вверх печи и встречая на своем пути кокс, переходит в окись углерода ($CO_2 + C = 2CO$). Последняя восстанавливает из окислов чистое железо по следующей схеме:

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 + 69{,}7 \text{ кДж};$$
$$2Fe_3O_4 + 2CO \rightarrow 6FeO + 2CO_2 - 52{,}9 \text{ кДж};$$
$$6FeO + 6CO \rightarrow 6Fe + 6CO_2 + 37{,}8 \text{ кДж}.$$

Наряду с железом восстанавливаются также сера, фосфор, марганец и кремний, содержащиеся в руде в виде окислов.

Восстановленное железо при температуре 900—1100° С частично взаимодействует с окисью углерода ($3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2$), образуя карбид железа Fe_3C. Этот процесс носит на-

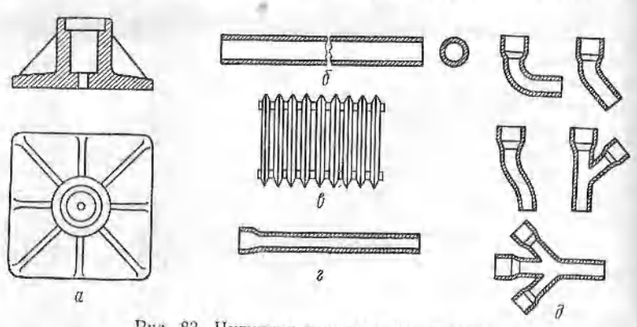


Рис. 83. Чугунные строительные изделия:
а — опорные подушки колонн; *б* — колонны; *в* — отопительные радиаторы; *г* — трубы; *д* — фасонные части к трубам

звание науглероживания. Науглероженное железо начинает плавиться при температуре примерно 1150° С, когда содержание углерода в нем достигает 4,3%. Образовавшийся чугун капельками стекает в горн печи.

Продуктами доменного производства являются чугун, доменный шлак, колошниковый газ и колошниковая пыль.

Чугун, выплавляемый в доменных печах, по своему назначению делится на три группы: литейный, передельный чугун и ферросплавы. Из всей выплавки более 80% составляет передельный чугун. Это преимущественно белый чугун, в котором весь углерод содержится в химически связанном состоянии в виде Fe_3C. Передельный чугун применяют для производства стали. Около 20% приходится на долю литейных чугунов и ферросплавов. Литейный серый чугун используют для получения фасонных отливок. Ферросплавы, содержащие повышенное количество кремния и марганца, применяют в качестве добавки при производстве стали повышенного качества.

Доменный шлак служит ценным сырьем в промышленности строительных материалов — вяжущим веществом каменного

литья, теплоизоляционным материалом (шлаковая пемза, шлаковая вата). Доменный газ используют в качестве топлива для нужд металлургического завода.

В строительстве применяют главным образом серый чугун для изготовления деталей, работающих на сжатие (башмаков, колонн), а также санитарно-технических (отопительных радиаторов, труб) и архитектурно-художественных изделий. Значительное количество чугуна расходуется для изготовления тюбингов, из которых сооружается туннель метрополитена. Некоторые виды чугунных строительных изделий показаны на рис. 83.

Марки строительных чугунов следующие: СЧ — серый чугун, МСЧ — модифицированный (повышенной прочности) серый чугун. Механические свойства чугунов: марки СЧ — от 120—280 до 280—480, а МСЧ — от 280—480 до 380—600 (первые две цифры указывают предел прочности на растяжение в МПа, а вторые — предел прочности на изгиб в МПа).

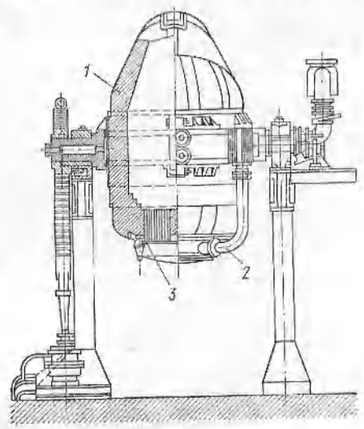


Рис. 84. Конвертер:
1 — стальной футерованный сосуд; *2* — труба для подачи воздуха; *3* — отверстия для подачи воздуха

Производство стали. Исходным материалом для производства сталей являются передельные чугуны, которые содержат около 4% углерода, до 1% марганца, 1—1,3% кремния и десятые доли процента серы и фосфора. Чтобы получить из чугуна сталь, необходимо уменьшить в чугуне содержание углерода и других примесей.

Современными способами производства стали являются бессемеровский (конвертерный), мартеновский и электроплавильный. Независимо от способа сущность процесса сталеварения заключается в окислении нежелательных примесей, содержащихся в чугуне. При этом они либо переходят в шлак, либо выгорают.

Выплавку стали при *бессемеровском способе* производят в конвертерах, поэтому этот способ и получил название конвертерного. Конвертер (рис. 84) представляет собой стальной футерованный сосуд, поворачивающийся вокруг горизонтальной оси для заливки чугуна и выпуска стали. В нижней части конвертера имеются отверстия для подачи воздуха, который подводится по трубе.

Жидкий чугун через горловину заливается в конвертер и продувается воздухом, подаваемым через фурменные отверстия в днище конвертера. Под действием кислорода воздуха начинают окисляться железо, углерод, кремний и марганец. Железо переходит в закись железа FeO, а углерод, кремний и марганец выгорают. В окислении кремния и марганца участвует также закись железа FeO, которая при этом переходит в чистое железо Fe.

В результате реакции окисления образуется большое количество тепла, поддерживающее металл в расплавленном состоянии. Образующаяся при сгорании углерода окись углерода CO восстанавливает закись железа до чистого железа.

Конвертерный способ получения стали отличается высокой производительностью, так как процесс варки стали в конвертере длится всего 15—30 мин, тогда как при других способах занимает несколько часов. Количество же конвертерной стали невысокое, так как сталь загрязнена шлаковыми включениями, имеет большое количество газовых пузырей, а быстрота варки затрудняет регулирование процесса и получение стали заданного химического состава. Эти недостатки конвертерного способа в значительной степени устраняются применением продувки чугуна кислородом сверху конвертера. Кислородные конвертеры позволяют получать сталь, близкую по качеству к мартеновской, но более дешевую благодаря высокой производительности конвертерного способа. Садка (емкость) современных кислородных конвертеров достигает 50—60 т.

Конвертерную сталь применяют для изготовления строительных профилей, заготовок для проката сварных труб, сортовой стали, листового железа, проволоки и т. д.

Плавку стали при *мартеновском способе* ведут по двум процессам: скрап-процессу и рудному процессу. Скрап-процесс применяют при переработке стального лома (скрапа) и чушкового чугуна. Рудный процесс отличается от скрап-процесса тем, что в качестве исходных материалов применяют жидкий чугун с добавлением руды и отходов металлургической промышленности. При рудном процессе возможно также использование стального лома: в этом случае процесс называют скрап-рудным.

Плавка стали при мартеновском способе происходит на поду пламенной печи, называемой мартеновской (рис. 85). Емкость ее достигает 500 т. Печь имеет свод, который отражает тепловой поток на материал и расплавляет его. В качестве топлива используют газ, предварительно подогретый в регенераторах, и подогретый воздух, идущий на горение газа. Перед входом в рабочее пространство печи газ смешивается с воздухом и воспламеняется, образуя длинное стелющееся пламя.

Сущность мартеновского способа плавки заключается в окислении нежелательных для стали примесей в чугуне и переводе их в шлак.

В мартеновских печах варка длится 4—8 ч. В это время систематически отбирают пробы для анализа, и как только оказывается соответствие химического состава расплава заданному составу стали, металл выпускают в ковш, а из него разливают по изложницам — чугунным или стальным формам. В изложницах получают слитки, из которых прокаткой, ковкой или другими способами производят стальные изделия.

Мартеновская сталь по качеству выше конвертерной. При мартеновском способе имеется возможность регулировать хими-

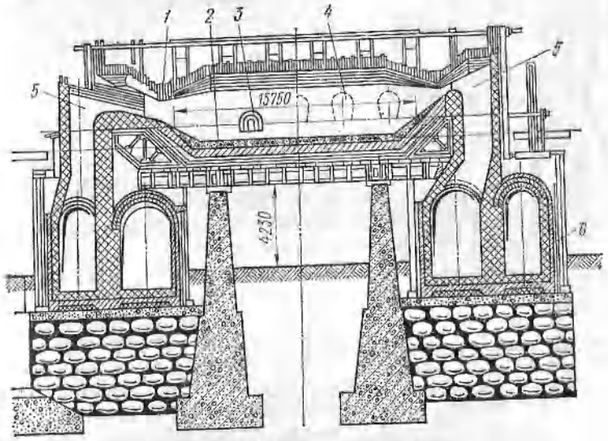


Рис. 85. Мартеновская печь:

1 — свод; *2* — под; *3* — отверстие для выпуска стали; *4* — загрузочное отверстие; *5* — отверстие для удаления шлака; *6* — воздушные каналы

ческий состав плавки и получать сталь заданного качества. Применяя различные добавки в виде ферросплавов, например феррованадий феррохром, в мартеновских печах получают легированные стали.

Мартеновскую сталь применяют для ответственных строительных конструкций (ферм, подкрановых балок, мостов, рельсов), изготовления арматуры высокой прочности. Широко используют мартеновскую сталь в машиностроении.

Электроплавильный способ по сущности протекающих процессов не отличается от мартеновского. Окисление вредных примесей чугуна также осуществляет закись железа, переводя эти примеси, уже в виде окислов, в шлак.

Электроплавку ведут в дуговых электропечах (рис. 86) емкостью 50—250 т, а также в индукционных печах. Нагрев металла в дуговых электропечах происходит теплом, выделяемым электрической дугой, образующейся между электродами и рас-

плавленным металлом в ванне. В индукционных печах нагрев металла происходит токами высокой частоты.

Электроплавка позволяет получить различные высококачественные углеродистые стали, легированные, специальные стали — нержавеющие, кислото- и жароупорные.

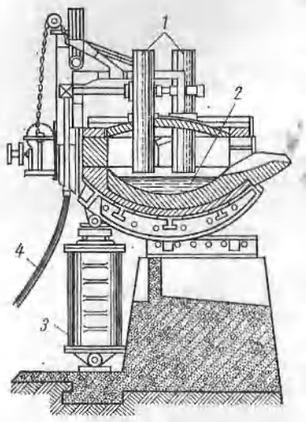


Рис. 86. Дуговая электрическая печь для выплавки стали:

1 — электроды; *2* — ванна; *3* — механизм опрокидывания ванны; *4* — электропривод

В электрической печи перерабатывают как твердую шихту, так и жидкие стали, поступающие из мартеновской печи или конвертера. Применение жидкой стали значительно удешевляет процесс электроплавки.

§ 3. Состав и сортамент сталей

По химическому составу стали делят на **углеродистые** и **легированные.** Углеродистые стали в свою очередь бывают обыкновенного качества, качественные конструкционные (для машиностроения и наиболее ответственных конструкций) и инструментальные (для изготовления режущих инструментов, штампов, матриц). Легированные стали бывают конструкционные, инструментальные и специального назначения, отличающиеся некоторыми специфическими свойствами.

Стали, применяемые для строительных целей, различаются по качеству, назначению и по способу выплавки (мартеновская или конвертерная).

По качеству и назначению сталь бывает: углеродистая обыкновенного качества (табл. 52); углеродистая горячекатаная для мостостроения марки М16С с временным сопротивлением 380 МПа; углеродистая толстолистовая и широкополосная, термически обработанная с временным сопротивлением 440 МПа; углеродистая качественная конструкционная марок 10 и 20 с временным сопротивлением 360—540 МПа; для железнодорожных и крановых рельсов марок НБ-62, М-71 и М-75 с временным сопротивлением 750—800 МПа; низколегированная конструкционная с временным сопротивлением 500 МПа и более.

В зависимости от способа обработки строительные стали делят на три группы: I — горячего проката (рис. 87), II — холодной вытяжки (выпускается в виде высокопрочной холоднотянутой проволоки круглого и периодического профиля, а также в виде холоднотянутой проволоки обыкновенного качества); III — комбинированной обработки — гнутые профили.

Таблица 52

Технические условия на сталь углеродистую обыкновенного качества

Марки стали	Предел прочности, МПа	Временное сопротивление (предел прочности), МПа	Относительное удлинение, %	Испытание на изгиб на 180° в холодном состоянии (*s* — толщина образца; *d* — диаметр оправки)
Ст0	—	Не менее 320	18—22	*d* = 2*s*
Ст1	—	320—400	28—33	*d* = 0
Ст2	190—220	340—420	26—31	*d* = 0
Ст3	210—240	380—470	21—27	*d* = 5*s*
Ст4	240—260	420—520	19—25	*d* = 2*s*
Ст5	260—280	500—620	17—20	*d* = 3*s*
Ст6	300—310	600—720	11—16	—
Ст7	—	700—750 и более	8—11	—

Сталь углеродистая обыкновенного качества находит основное применение в строительстве. Она представляет собой сплав железа с углеродом. В ней присутствуют, кроме углерода (0,06—0,62%), примеси кремния, марганца. Наиболее нежелательно

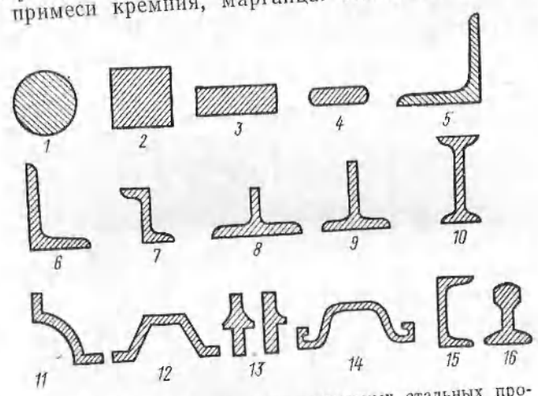


Рис. 87. Основной сортамент прокатных стальных профилей:

сталь: *1* — круглая; *2* — квадратная; *3* — полосовая; *4* — шинная; уголки: *5* — равнобокий; *6* — неравнобокий; профили: *7* — зетовый; *8* и *9* — тавровый; *10* — двутавровый; *11* — колонный; *12* — корытный; *13* — оконный; *14* — шпунтовый; *15* — швеллер; *16* — рельс

присутствие фосфора, который вызывает хрупкость стали при низких температурах (хладноломкость), и серы — при высоких температурах.

В зависимости от назначения и гарантируемых механических характеристик сталь углеродистая обыкновенного качества

делят на две группы и одну подгруппу: группа А — поставляемая по механическим свойствам; группа Б — поставляемая по химическому составу; подгруппа В — поставляемая по механическим свойствам с дополнительными требованиями по химическому составу.

Для строительных целей используют в основном сталь группы А (табл. 52).

В легированных сталях в качестве легирующих веществ применяют: кремний — С, хром — Х, никель — Н, молибден — М, марганец — Г, вольфрам — В, алюминий — А, медь — Д, кобальт — К. Обозначение марки легированной стали, например 25ХГ2С, используемой для арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций, показывает, что в ней содержится 0,25% углерода, 1% хрома, 2% марганца и 1% кремния. Таким образом, первые две цифры в обозначении марки стали показывают содержание углерода в сотых долях процента, а остальные цифры — содержание легирующего элемента, стоящего перед цифрой в целых процентах. При маркировке высококачественной легированной стали (с низким содержанием серы и фосфора) в конце ставится буква А. Например, 30ХМА — легированная хромомолибденовая сталь высокого качества.

Механические свойства некоторых легированных конструкционных сталей приведены в табл. 53.

Таблица 53

Механические свойства легированной конструкционной стали

Группа стали	Марка стали	Предел прочности, не менее, МПа	Предел текучести, не менее, МПа	Относительное удлинение, не менее, %
Хромистая	15Х	700	500	10
	40Х	1000	800	9
Хромокремнистая	33ХС	850	650	13
Хромокремнемарганцевая	30ХГСА	1100	850	10
	35ХГСА	1650	1300	9
Хромоникелевая	12ХН3	350	110	—
	12Х2Н4	1100	100	—

Высоколегированные стали подразделяются на три группы: нержавеющие и кислотостойкие, окалиностойкие и жаропрочные и сплавы с высоким электросопротивлением.

Применяют следующие стальные изделия: заклепки, болты, гайки, шайбы, винты, гвозди, поковки, а также стальные канаты. Заклепки используют для неразборного соединения металлических конструкций, а болты и гайки — для разъемных соединений, для крепления деревянной обшивки к металлическому каркасу и т. д. Болты выпускают с шестигранной головкой нормальной и повышенной точности. Болты повышенной точности

отличаются более точными размерами и обработанной поверхностью стержней. Они применяются редко.

Поковки строительные изготовляют в виде скоб, применяемых при скреплении деревянных конструкций для предотвращения их сдвига; штырей — для наращивания досок или брусьев; крючьев — для крепления настенных желобов и водосточных труб.

Канаты стальные применяют для такелажных и монтажных работ, а также для крепления подвесных ферм, висячих мостов, для оттяжек мачт и вантовых конструкций. Стальные канаты изготовляют из проволоки марки В (высшая). Проволоку применяют светлую или оцинкованную с пределом прочности при растяжении 1100—2000 МПа.

Канаты стальные изготовляют однопрядные или многопрядные с крестовой или односторонней свивкой, с органическим или металлическим сердечником.

§ 4. Термическая и химико-термическая обработка стали

Термическая обработка придает стальным изделиям определенные механические свойства: высокую твердость, повышенное сопротивление износу, меньшую хрупкость для улучшения обработки или повышения ударной вязкости и т. д. Это достигается нагревом и последующим охлаждением стали по строго определенному температурному режиму. В результате в нужном направлении изменяется структура стали, которая и определяет ее механические свойства.

Различают следующие виды **термической обработки** стали: закалку, отпуск, отжиг и нормализацию, а также обработку холодом и химико-термическую обработку.

Закалка — термическая обработка стали путем ее нагрева до определенной температуры, некоторой выдержки при этой температуре до завершения фазовых превращений с быстрым последующим охлаждением в воде, масле и других жидкостях. При закалке увеличиваются твердость и прочность, но снижается ударная вязкость. Закаленная сталь обладает большой хрупкостью, что делает ее малопригодной для практического использования.

Отпуску подвергают сталь после закалки для уменьшения хрупкости и ослабления внутренних напряжений. Отпуск стали заключается в нагреве ее ниже температуры закалки с последующим постепенным охлаждением на воздухе. В зависимости от вида отпуска изделие нагревают от 150 до 550° С. С повышением температуры отпуска сильно изменяются механические свойства закаленной стали: предел прочности и твердость понижаются, а относительное удлинение и вязкость возрастают.

Отжиг уменьшает структурную неоднородность стали, придает мелкозернистую структуру, снижает напряжения, возникшие

при обработке давлением (ковке, волочении) или литье, а также улучшает обрабатываемость стали резанием.

Нормализация — это по существу процесс отжига. Стальное изделие нагревают до температуры несколько ниже температуры закалки, выдерживают при этой температуре, а затем охлаждают на воздухе. В результате сталь получается более мелкозернистой, чем при отжиге, повышается ее твердость, прочность, ударная вязкость по сравнению с отожженной сталью.

Обработка холодом. Закаленная сталь с содержанием углерода более 0,6% состоит из мартенсита с распределенным в нем остаточным аустенитом, не успевшим перейти в мартенсит при закалке. В результате структура стали оказывается недостаточно равномерной и несколько пониженной твердости, чем если бы она состояла только из мартенсита. Если же такую сталь подвергнуть после закалки обработке холодом, процесс превращения аустенита в мартенсит продолжается, и сталь оказывается более равномерной структуры, обладающей также высокой твердостью. В качестве охлаждающих сред, температура которых может достигать —200° С и ниже, используют жидкий азот, аммиак, кислород и др.

Химико-термическая обработка стали заключается в изменении химического состава поверхностного слоя стального изделия путем насыщения его каким-либо другим веществом (углеродом, азотом, цианом, хромом) с целью повышения твердости, износостойкости или коррозионной стойкости поверхности изделий, сохранив при этом высокие механические качества внутренней части. Видами химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование, цианирование и хромирование.

Цементацию стали осуществляют насыщением углеродом поверхностного слоя стального изделия при температуре среды 880—950° С, содержащей углерод.

Азотирование — насыщение азотом поверхностного слоя стального изделия при нагревании до 500—700° С в атмосфере аммиака NH_3, при этом повышается коррозионная стойкость, твердость, износоустойчивость и предел усталости стали. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие в качестве легирующего вещества алюминий и прошедшие предварительную термическую и механическую обработку, кроме окончательного шлифования. Глубина азотированного слоя — 0,01 — 1,0 мм.

Повышение коррозионной стойкости стали при действии пресной и морской воды, азотной кислоты, окислительной среды при высокой температуре (окалиностойкость) достигается *хромированием* — насыщением поверхностного слоя хромом.

Твердость хромированного слоя низколегированной стали составляет НВ 250—300, а высокоуглеродистой — НВ 1200—1300.

§ 5. Производство металлических изделий и конструкций

При изготовлении металлических изделий расплавленный чугун или сталь разливают по специальным формам, называемым изложницами, а затем слитки металла от 500 кг до нескольких (иногда десятков) тонн подвергают дальнейшей обработке давлением или литьем, в результате которой получают изделия требуемых форм, размеров и свойств. Затем изделия соединяют в конструкцию при помощи сварки, клепки или болтов.

Обработка давлением основана на высоких пластичных свойствах металла. На практике применяют следующие способы обработки металлов давлением: прокат, ковку, волочение, штамповку и прессование.

Прокатка — наиболее распространенный и дешевый способ производства металлических изделий. Сущность прокатки заключается в обжатии металла между вращающимися валками, при этом заготовка уменьшается в сечении, вытягивается и приобретает форму, соответствующую валкам, если последние не гладкие. Прокатывают металл в холодном и горячем состоянии. Холодную прокатку применяют для металлов, обладающих высокой пластичностью (свинец, олово), или для получения тончайших стальных листов (по причине их быстрого остывания). Однако подавляющее большинство стальных изделий прокатывают в горячем состоянии при температуре 900—1250° С. Обжатие стального слитка до требуемой формы и размера производят за несколько последовательных приемов путем пропуска его через ряд валков с уменьшающимся зазором. Способом прокатки получают большинство стальных строительных изделий: балки, рельсы, листовую и прутковую сталь, арматуру, трубы.

Ковка — процесс деформации металла под действием повторяющихся ударов молота или пресса. Ковка может быть свободная, когда металл при ударе молота имеет возможность свободно растекаться во все стороны, и штампованная, когда металл, растекаясь под ударами молота, заполняет формы штампов, а избыток его вытекает в специальную канавку и отрезается. Штамповка позволяет получить изделия очень точных размеров. В условиях строительства пользуются преимущественно свободной ковкой для изготовления различных деталей (болтов, скоб, анкеров), для пробивки отверстий, рубки и резки металла. Клепка также относится к операциям ковки. В настоящее время ковку производят посредством механических молотов.

Волочение заключается в протягивании металлической заготовки через отверстие, сечение которого меньше сечения заготовки. В результате этого металл обжимается, а профиль его строго соответствует форме отверстия. В качестве заготовки используют предварительно прокатанный или прессованный

пруток или трубу. Волочение металла производят обычно в холодном состоянии, при этом получают изделия точных профилей с чистой и гладкой поверхностью. Способом волочения изготовляют тонкостенные изделия (трубки), а также круглые, квадратные, шестиугольные прутки небольшой площади сечения (до 10 мм²).

При волочении в металле появляется так называемый наклеп — упрочнение металла в результате пластической деформации. Наклеп повышает твердость стали, но снижает пластичность и вязкость. Явление наклепа вызывает старение стали — структурные изменения, повышающие ее хрупкость. Старение стали особенно опасно в конструкциях, подвергающихся ударной нагрузке (в железнодорожных мостах, рельсах, подкрановых балках). Однако явление наклепа широко используют на практике при механическом упрочнении арматурной стали для повышения предела текучести.

Холодное профилирование металла — процесс деформирования листовой или круглой стали на прокатных станах. Из листовой стали получают гнутые профили с различной конфигурацией в поперечнике, они экономичнее профилей горячей прокатки за счет сокращения толщины профиля до 2 мм.

§ 6. Стальная арматура для железобетона

Под арматурой железобетона понимают стальные элементы или целые каркасы, которые размещены в массе бетона. Арматуру располагают главным образом в тех местах конструкции, которые подвергаются растягивающим усилиям (при изгибе, растяжении, внецентренном сжатии). Арматура является важнейшей составной частью железобетона; она должна надежно работать совместно с бетоном на всех стадиях службы изделия.

С целью более рационального использования в качестве арматуры для железобетона применяют высокопрочные низколегированные стали или арматурную сталь подвергают механическому упрочнению или термической обработке.

Механическое упрочнение стали осуществляется путем волочения, вытяжки, скручивания. При **волочении** стержень проходит через коническое отверстие и обжимается. **Вытяжку** арматуры производят усилиями, превышающими предел текучести стали, при этом арматура несколько вытягивается. Способ упрочнения арматуры путем **скручивания** ее в холодном состоянии вокруг продольной оси оказывается лучшим как в техническом, так и в экономическом отношении по сравнению с другими способами упрочнения арматуры.

Механическое упрочнение изменяет структуру металла и способствует повышению предела текучести стали. Предел текучести стали после упрочнения повышается почти на 30%, на столько же можно повысить напряжение в арматуре железобе-

тона или сэкономить металл, применив стержни меньшего сечения.

Повышение качества арматурной стали производят также методом термической обработки: закалкой токами высокой частоты, изотермической закалкой, закалкой после нагрева электротоком и последующим отпуском и закалкой после нагрева

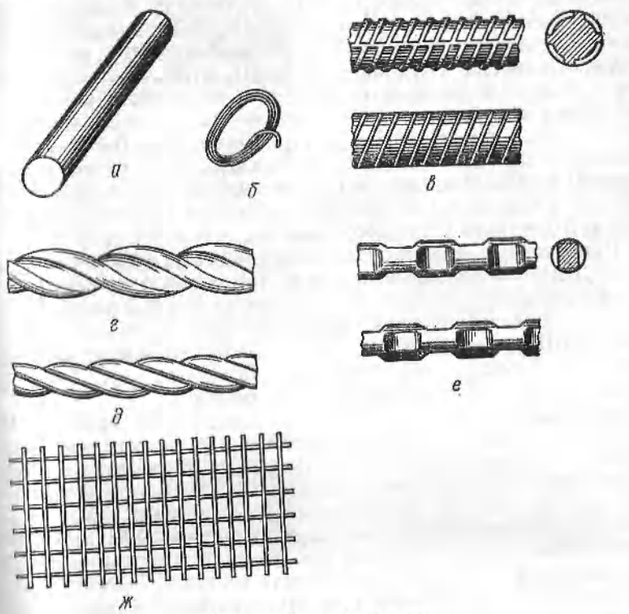


Рис. 88. Виды арматуры:

а — гладкая стержневая; *б* — гладкая проволочная; *в* — горячекатаная периодического профиля; *г*, *д* — пряди из проволок; *е* — холодносплющенная; *ж* — сварная сетка

в печи с отпуском. В результате термической обработки прочность стали повышается от 30% для стали 35ХГ2С и для стали 25, 25Г2С и 35ГС — до 60—100%, а предел текучести повышается соответственно от 65% до 130—150%. Улучшение механических свойств термически обработанной стали дает экономию арматуры в железобетоне до 35—40%.

Арматурную сталь (рис. 88) классифицируют по способу изготовления, профилю стержней и применению. По способу изготовления арматурная сталь бывает стержневой и холоднокатаной проволочной и предназначена для армирования обычных ненапряженных конструкций и напрягаемой арматуры для напряженных конструкций.

В зависимости от профиля стержней (характера их поверхности) стержневую и проволочную арматуру делят на гладкую и периодического профиля.

Стержневая арматура бывает горячекатаной, термически упрочненной и упрочненной вытяжкой — подвергнутой после прокатки упрочнению вытяжкой в холодном состоянии. В зависимости от механических свойств стержневую арматуру делят на пять классов: А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V. При обозначении класса термически упрочненной арматурной стали к индексу «А» добавляют индекс «т», например Ат-III, Ат-IV. Сталь, упрочненная вытяжкой, обозначается по классу горячекатаной стали, но при этом к марке класса добавляют индекс «в», например А-IIв.

Сортамент стержневой арматуры диаметром 6—90 мм установлен единым. Для каждого класса стержневой арматуры установлены определенные диаметры стержней. Стержни арматурной стали класса А-I выпускают гладкие, а классов А-II, А-III, А-IV и А-V — периодического профиля.

Проволочную арматуру делят на арматурную проволоку и арматурные проволочные изделия. Арматурную проволоку различают двух классов: холоднотянутую класса В-I (низкоуглеродистую), предназначенную для ненапрягаемой арматуры, и класса В-II (углеродистую), предназначенную для напрягаемой арматуры (высокопрочная арматурная проволока).

Арматурные проволочные изделия бывают:

нераскручивающиеся стальные арматурные пряди класса «П» (трехпроволочные, семипроволочные и девятнадцатипроволочные), предназначенные для напрягаемой арматуры; количество проволок в прядях обозначается соответствующей цифрой, например П-7 (семипроволочная арматурная прядь);

стальные арматурные канаты двухпрядные и многопрядные класса «К», предназначенные для напрягаемой арматуры; для обозначения типа арматурного каната к индексу «К» добавляют две цифры: первая из них соответствует количеству прядей, а вторая — количеству проволок в прядях, например К219 — двухпрядный арматурный канат, каждая прядь которого состоит из 19 проволок;

сварные арматурные сетки для ненапрягаемой арматуры;

тканые или сварные проволочные сетки для армирования армоцементных конструкций.

Проволочную арматуру выпускают диаметром 3—8 мм с пределом прочности 1400 МПа (для диаметра 8 мм) — 1900 МПа (для диаметра 3 мм); предел текучести равен соответственно 1120 и 1520 МПа. Горячекатаная сталь имеет прочность в несколько раз меньшую, чем холоднотянутая. Так, предел прочности стержневой стали достигает 900 МПа, а проволочной холоднотянутой диаметром 3 мм — 1900 МПа.

Однако получение холоднотянутой проволоки значительно осложняется с увеличением ее диаметра. В то же время применение тонкой проволоки вместо стержней повышает трудоемкость арматурных работ; для сохранения необходимой суммарной площади арматуры в железобетоне требуется вместо одного стержня уложить несколько рядов проволоки. Использование так называемых прядей или канатов, состоящих из нескольких проволок, свитых в одно целое, уменьшает трудоемкость арматурных работ.

Закладные детали предназначены для соединения посредством сварки отдельных изделий между собой при возведении сборных железобетонных конструкций. Они представляют собой стальную пластину из стали Ст3 с привареннными к ней внахлестку анкерами, изготовленными из стали Ст5 периодического профиля. Пластины располагаются на поверхности железобетонного изделия, а анкеры — в теле бетона. В ряде случаев для обеспечения более прочной связи анкеры соединяются с арматурой изделия.

Применяют 7 типов закладных деталей, причем для каждого установлена несущая способность при бетонах прочностью 5—20 МПа.

Монтажные петли, закладываемые в бетон, изготовляют из гладкой круглой стали класса А-I. Диаметр стержня определяют расчетом петли на разрыв и выдергивание из бетона.

§ 7. Сварка металлов

Существует два вида сварки: пластическая и сварка плавлением.

К **пластической сварке** относятся: электрическая сварка сопротивлением, основанная на превращении электрической энергии в тепловую при прохождении тока через свариваемые детали; с ручной или машинной поковкой; термитная сварка, при которой используется теплота горения термита, доводящая до пластического тестообразного состояния кромки свариваемых деталей.

К **сварке плавлением** относятся: газовая сварка, при которой кромки металла расплавляются теплом, получаемым при горении газа; электродуговая сварка, основанная на использовании тепла электрической дуги для расплавления кромок свариваемых деталей; газодуговая сварка, основанная на использовании тепла электрической дуги в среде защитного газа.

Для соединения стальных строительных конструкций в основном применяют электрическую сварку сопротивлением или электродуговую сварку, реже — газовую и термитную. Арматуру железобетонных конструкций сваривают преимущественно при помощи контактной электросварки (точечной и стыковой). При сваривании пространственных каркасов значительных размеров или при соединении стержней большого диаметра применяют электродуговую и газовую сварки.

Процесс **газовой сварки** (рис. 89) заключается в расплавлении металла в месте стыка деталей теплом, получаемым при горении газа или жидкого топлива в смеси с кислородом. Газовую сварку применяют для соединения тонкостенных конструкций из углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и чугуна. В строительстве она имеет ограниченное применение из-за высокой стоимости по сравнению с электросваркой.

В качестве горючих газов при газовой сварке используют ацетилен, водород, природный газ, а в качестве жидкого топлива — бензин, керосин, бензол. Наиболее дешевой и в то же

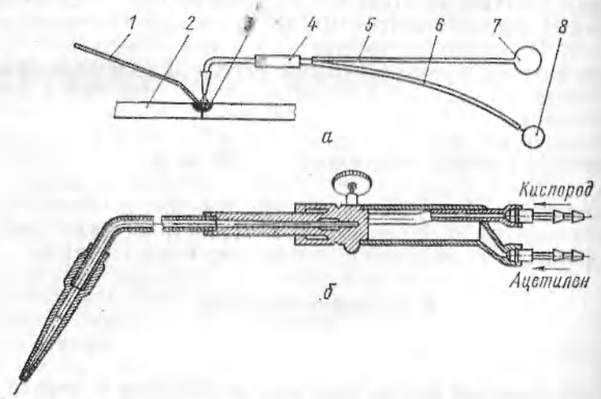


Рис. 89. Схема газовой сварки металла (*а*) и сварочная горелка (*б*):

1 — присадочный материал; *2* — свариваемый металл; *3* — наплавленный металл; *4* — корпус горелки; *5* и *6* — шланги ацетилена и кислорода; *7* — ацетиленовый генератор; *8* — баллон с кислородом

время обеспечивающей высокое качество сварного шва является ацетиленокислородная сварка.

Для заполнения шва между свариваемыми деталями применяют присадочный металл в виде проволоки, имеющий химический состав, близкий по составу свариваемому металлу. Присадочную проволоку выпускают диаметром 1—12 мм. Диаметр проволоки подбирается в зависимости от толщины свариваемых деталей. В среднем диаметр проволоки должен быть равен половине толщины детали.

Для улучшения качества сварного шва производят сварку под флюсом, который вводят в сварочную ванну. Флюсы образуют на поверхности расплавленного металла шлаковую пленку, защищающую расплав от окисления (образования окалины).

Электрическую сварку производят за счет тепла, выделяемого электрическим током. Электрическую сварку делят на сварку сопротивлением или контактную и электродуговую.

Контактная электросварка — это процесс соединения металлических деталей в результате местного сплавления их кромок теплом, образующимся при прохождении тока через свариваемые детали. При этом детали сильно прижимают друг к другу, откуда данный способ сварки называют еще электромеханическим. Он в основном находит применение при изготовлении арматурных сеток, каркасов и стыковании стальных стержней.

Различают следующие виды контактной сварки: стыковую, точечную и роликовую. Последняя применяется для получения плотного соединения листовых деталей. Для соединения стержней арматуры железобетона применяют стыковую и точечную сварки.

Стыковую сварку используют для продольного соединения деталей арматуры: наращивания стержней, приварки к торцу

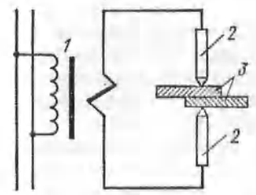


Рис. 90. Схема точечной сварки:

1 — трансформатор; *2* — электроды; *3* — свариваемый металл

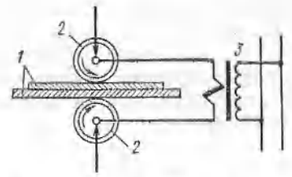


Рис. 91. Схема роликовой сварки:

1 — свариваемые листы; *2* — роликовые электроды; *3* — трансформатор

их анкеров при изготовлении арматуры преднапряженных конструкций или закладных деталей.

Точечную сварку (рис. 90) применяют для соединения деталей внахлестку или в месте их пересечения. Последнее характерно при изготовлении сеток и каркасов арматуры железобетона. При точечной сварке пересекающиеся стержни зажимают двумя электродами и включают электрический ток. Так как электроды обладают более высокой электропроводностью, наибольшее сопротивление порождению тока окажет место пересечения стержней, в результате чего произойдет разогрев металла деталей и сварка их. Благодаря применению тока большой силы 80—300 А/мм^2 точечная сварка происходит почти мгновенно, в течение доли секунды.

Для соединения листового металла с целью получения не только прочного, но и плотного герметичного соединения применяют *роликовую сварку* (рис. 91). От точечной сварки она отличается тем, что стержневые электроды в ней заменены вращающимися роликами, которые захватывают свариваемые листы и создают непрерывный шов. При прохождении тока металл под роликами нагревается и сваривается под давлением роликов.

Наибольшая общая толщина свариваемых листов составляет 6 мм. Роликовую сварку применяют для получения прочного и плотного соединения.

При *электродуговой сварке* один провод от источника тока присоединяют к свариваемой детали, а второй — к электроду (металлическому стержню). При замыкании цепи между концом электрода и деталью возникает электрическая дуга, в зоне которой температура достигает 6000° С, в результате чего плавятся кромки деталей и электрод; металл электрода заполняет зазор между деталями и образует после затвердения сварной шов. Прочность шва зависит от глубины провара.

Электроды применяют угольные (графитовые) или металлические. Угольными электродами сваривают цветные металлы, производят наплавку металла или варят тончайшие стальные листы. Конструкции и арматуру сваривают металлическим электродом — стержнем диаметром 2—12 мм, покрытым специальными обмазками из мела, крахмала, каолина, графита. Связующим веществом для удержания обмазки на электроде обычно служит жидкое стекло. Обмазка повышает устойчивость горения дуги и образует шлаковую защиту шва, предохраняя расплавленный металл от окисления в процессе сварки.

Существует несколько типов электродов, отличающихся качеством металла. Для сварки чугунов применяют электроды чугунные диаметром 4—12 мм, а для сварки алюминиевых сплавов — специальную проволоку из алюминия и его сплавов.

Электродуговую сварку осуществляют ручным и автоматическим способами.

Несмотря на большую распространенность, электродуговая сварка имеет ряд существенных недостатков: низкую скорость сварки за счет большой зоны разогрева металла, что в свою очередь вызывает коробление изделия; пористость шва и выгорание легирующих компонентов из сплавов во время окислительных процессов; затруднение сварки металлов и сплавов с различными физико-механическими свойствами. Для устранения отмеченных недостатков в последнее время все шире получает распространение электродуговая сварка в газовой среде или под флюсом.

К **газодуговой сварке** относятся атомноводородная и аргонодуговая.

Электрическая дуга при атомноводородной сварке возбуждается между двумя вольфрамовыми электродами в среде водорода. Водород стабилизирует электрическую дугу и, заполняя участок свариваемого металла, не дает возможности кислороду и азоту воздуха окислять расплавленную массу сварочного шва. Кроме того, молекулярный водород, проходя через область дуги с высокой температурой, расщепляется на атомы, забирая на это большое количество тепла, а подходя к нагреваемому металлу, где температура много ниже, чем у дуги, атомы водорода

соединяются в молекулу, отдавая взятое ранее тепло непосредственно нагреваемому участку шва.

Атомноводородная сварка обеспечивает получение шва высокого качества; ее применяют при сварке тонкостенных конструкций из легированных и высокоуглеродистых сталей.

При аргонодуговой сварке электрическая дуга возбуждается между вольфрамовым электродом и деталью в защитной среде аргона. В качестве присадочного материала берут металл свариваемого изделия. Аргонодуговая сварка обеспечивает получение шва высокого качества и защиту наплавляемого металла от воздуха. Применяют ее для сварки нержавеющих сталей, окалиностойких магниевых и алюминиевых сплавов, а также соединений, обладающих высокой антикоррозионной стойкостью.

В строительстве широко применяют газовую резку металлов, принцип которой заключается в нагревании металла до температуры воспламенения в среде кислорода, сжигании его и выдувании образовавшихся окислов струей кислорода. Железоуглеродистые сплавы, содержащие до 0,7% углерода, имеют температуру горения ниже температуры плавления и хорошо поддаются резке. С повышением содержания углерода более 0,7% температура горения приближается к температуре плавления и сплавы плохо поддаются резке. Для резки высоколегированных сталей и чугунов применяют флюсо-кислородную резку. Медь и алюминий, температура горения которых выше температуры плавления, резке не поддаются.

Газовую резку производят вручную или с помощью машин, полуавтоматов и автоматов.

Структура сварочного соединения. Структура металла в зоне нагрева при сварке значительно меняется. При сварке углеродистых сталей металл нагревается до температур выше критических, т. е. переходит в аустенитовую структуру, и в процессе последующего охлаждения в зоне термического воздействия металл перекристаллизовывается и образует новую структуру, в зависимости от скорости охлаждения.

Свариваемость металла при одном и том же виде сварки зависит главным образом от химического состава, свойств свариваемых металлов, применяемых электродов, а также режима сварки и термической обработки до и после сварки. Окисление отдельных элементов (например, углерода) может дать газообразные продукты и вызвать пористость шва.

Содержание углерода влияет на закаливаемость стали в зоне термического воздействия сварки. Стали с содержанием углерода до 0,25% свариваются хорошо. Находящиеся в сталях кремний и алюминий могут образовывать при сварке тугоплавкие окислы, которые в наплавленном металле могут оставаться в виде неметаллических включений и этим снижать качество сварки.

К дефектам свариваемых швов относят непровар, получаемый от неправильного режима сварки; пористость, образовавшуюся

от насыщения металла газами, окислами и шлаками; трещины в наплавленном и основном металле, возникающие от неправильного ведения сварки, а также пережог, получаемый от окисления при слишком большой дуге (при дуговой сварке) и при избытке кислорода (при газовой сварке).

Контроль качества сварных соединений производят путем внешнего осмотра, механическими испытаниями, а также просвечиванием рентгеновскими лучами и при помощи ультразвука, скорость прохождения которого зависит от плотности шва: чем он плотнее, тем быстрее проходит ультразвук.

§ 8. Цветные металлы и их сплавы

Для получения строительных изделий высоких технических свойств все шире стали применять металлические сплавы цветных металлов.

Цветные сплавы на основе меди и благородных металлов — золота и серебра — в своем прошлом находили довольно широкое применение в отделочной технике. Использование же их в технических целях ограничивалось стоимостью.

За последние годы в строительстве широко применяют новые металлические материалы — алюминиевые, титановые и магниевые сплавы, высокопрочные стали с пределом прочности до 3000 МПа. Применяемые в строительстве алюминиевые сплавы, приближаясь по прочности к основным маркам строительных сталей, имеют небольшую объемную массу (2,7; 2,9 т/м³) и высокую стойкость против коррозии.

Алюминиевые сплавы. Алюминий в «чистом» виде обладает многими высокими техническими свойствами: хорошей сопротивляемостью коррозионным (разрушающим) воздействиям среды, высокой электропроводностью, пластичен, что позволяет легко изготовлять из него детали самого разнообразного и весьма сложного профиля. Недостатком алюминия является незначительная прочность, всего 70—100 МПа, что не позволяет его использовать для несущих строительных конструкций. Однако алюминий резко повышает свои механические показатели при добавке к нему других металлов — меди, марганца, магния (табл. 54).

Алюминиевые сплавы широко используют для изготовления проката в виде профилей: уголков, швеллеров, двутавров, труб круглого и прямоугольного сечений. Большое количество алюминиевых сплавов расходуется на изготовление заклепок, болтов.

Изделия из алюминиевых сплавов отличаются простотой технологии изготовления и хорошим внешним видом, сейсмостойкостью, хладостойкостью, огнестойкостью, антимагнитностью и долговечностью, что позволяет им успешно конкурировать со сталью и другими строительными материалами.

Таблица 54

Требования к механическим свойствам алюминиевых сплавов, применяемых в строительных конструкциях

Марка сплава	Наименование сплава	Условный предел текучести, не менее, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
АМц-М	Алюминиевомарганцевый	50	100—170	16—22
АМц-П		120	150—170	16—22
АМг-М	Алюминиевомагниевый с содержанием магния 2—2,8%	80	160—230	10—18
		170	210—240	4—6
АМг6-М	Алюминиевомагниевый с содержанием магния 5,8—6,8%	160	320	15
АМг61-М	Алюминиевомагниевый	210	380—410	12
АВ-Т	Авиаль (сплав повышенной пластичности)	230	180—200	14—20
			270—310	8—12
Д1-Т	Дюралюмин нормальной прочности	190—250	360—410	10—15
Д16-Т	Дюралюмин конструктивный теплопрочный (повышенной прочности)	260—360	400—490	6—14
		270—340		

В настоящее время расширяется сфера применения алюминиевых конструкций и полуфабрикатов путем создания новых конструктивно-облицовочных материалов с разнообразными защитно-декоративными полимерными, лакокрасочными, эмалевыми и электрохимическими покрытиями. Алюминиевые конструкции широко внедряются в гражданское, промышленное и сельскохозяйственное строительство.

В многоэтажных общественных, административных и промышленных зданиях с высотой этажа до 5 м и шагом колонн каркаса здания 6 м применяют стеновые панели П-1А размером 1880×162×4125 мм. Каркас панели состоит из двух рам, соединенных болтами через текстолитовые прокладки. Рама заполняется двумя слоями асбестоцементных листов с внутренним утепляющим слоем. На одной стороне наклеен алюминиевый лист (пароизоляция). Наружную декоративную вставку изготовляют из шпунтовых профилей или штампованного листа. Остекление панели производят стеклопакетами. Панель П-1А имеет массу в 400 кг.

Для устройства внутренних перегородок, отвечающих повышенным архитектурно-строительным требованиям, применяют предварительно напряженную панель ПП-1 из алюминиевых сплавов с декоративным покрытием из павинола (рис. 92). В основу конструкции положено использование в качестве обшивок тонких алюминиевых листов толщиной 0,5—0,8 мм, жесткость и устойчивость которых обеспечиваются за счет предварительного натяжения. Панель включает продольно-поперечный каркас из прессованных швеллеров и уголков, соединенных аргонодуговой сваркой, к которому заклепками крепятся натянутые листы.

Между листами располагают звукоизолирующий слой минеральной ваты. На лицевую поверхность обшивки наносят декоративное покрытие из павинола или других пленочных материалов самых различных свойств, рисунка и текстуры. Панели производят размером 3500×750×62 мм, массой 35 кг.

Для покрытий отапливаемых производственных, общественных и гражданских зданий применяют панели покрытия с предварительно напряженными обшивками из рулонных алюминиевых листов. Панель (рис. 93) состоит из двух ферм, соединенных между собой по верхнему и нижнему поясам поперечинами, по которым располагаются обшивки. Нижний напрягаемый лист включается в работу растянутого пояса и одновременно выполняет функции подвесного потолка, а верхняя обшивка работает совместно с верхним сжатым поясом — является одновременно гидроизолирующим слоем. Предварительное натяжение обшивок позволяет резко увеличить жесткость панели, снизить расход алюминия и повысить надежность конструкции. Панель позволяет перекрывать пролеты до 30 м и более непосредственно «от стены до стены» здания без устройства несущих элементов шатра.

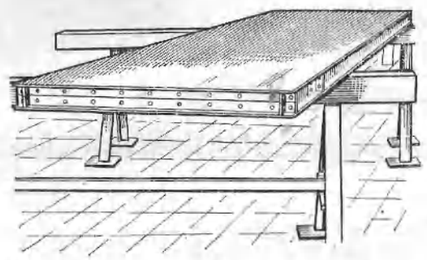


Рис. 92. Предварительно напряженная панель ПП-1 из алюминиевых сплавов с декоративным покрытием из павинола для внутренних перегородок

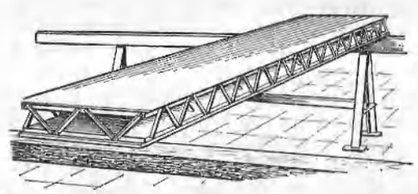


Рис. 93. Панель покрытия с предварительно напряженными обшивками из рулонных алюминиевых листов

Панели производят размером 30 000×3000×1750 мм, массой — 2000 кг, при этом расход алюминиевых сплавов на 1 м² панели составляет 12 кг.

Сплавы на основе меди. В чистом виде медь практически не находит применения в строительстве. Используют ее в виде латуни и бронзы. Латунь — это сплав меди с цинком (до 40%), а бронза — сплав меди с оловом или каким-либо другим металлом, кроме цинка. Наиболее распространены оловянистые бронзы, содержащие 10—20% олова; применяют также алюминиевые, марганцовистые, свинцовистые и другие виды бронз.

Латуни и бронзы обладают многими очень важными для технических свойствами — достаточно прочны (до 300—600 МПа), могут быть получены высокой твердости (НВ 200—250), обладают хорошими антифрикционными свойствами, благодаря чему они широко используются в подшипниках, имеют высокую коррозионную стойкость. Однако по экономическим причинам сплавы на основе меди в строительстве применяют лишь для изготовления санитарно-технической аппаратуры (кранов, вентилей), в отдельных случаях — для отделочных и декоративных целей. Основное же использование латунь и бронза находят в машиностроении и приборостроении.

Сплавы на основе олова и свинца с добавкой меди, сурьмы называют баббитами и широко применяют для подшипников. Баббиты сравнительно дороги и по этой причине их стремятся заменять другими, более дешевыми антифрикционными материалами: серыми чугунами, сплавами на основе алюминия, металлокерамическими сплавами. Последние получают путем сплавления сильно спрессованных тонкоизмельченных минеральных порошков (графита, кремнезема) с порошком металла (медью, железом, висмутом, молибденом).

Значительно шире применяют два других цветных металла — цинк и свинец. В строительстве цинк в основном используют для кровельных покрытий, карнизов и водосточных труб, свинец — для футеровки кислотостойких устройств химических аппаратов, для особых видов гидроизоляции, для зачеканки швов и стыков элементов строительных конструкций, например швов между тюбингами в туннелях метрополитена.

Магний, титан и их сплавы благодаря их низкой плотности и высоким механическим свойствам применяют в основном в самолетостроении и для специальных целей. Так, при плотности магниевых сплавов около 2000 кг/м³ (это самый легкий материал) твердость сплава достигает НВ 60—70, а прочность на разрыв — 250—300 МПа. Магниевые сплавы получают, добавляя к магнию алюминий, марганец, цинк. Титанистые сплавы обладают очень высокой жаростойкостью, твердостью (до 350) и прочностью до 1500 МПа. Эти сплавы получают путем добавки к титану хрома, алюминия, ванадия.

§ 9. Коррозия металлов и меры защиты от нее

В результате взаимодействия металла с окружающей средой может происходить его разрушение, т. е. коррозия. Различают коррозию химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия возникает при действии на металл сухих газов и растворов масел, бензина, керосина и др. Примером химической коррозии металла служит окисление его при высоких температурах; окалина, образующаяся на поверхности металла, является продуктом коррозии.

Электрохимическая коррозия возникает при действии на металл растворов кислот и щелочей. При этом металл отдает свои ионы электролиту, а сам постепенно разрушается.

Коррозия может возникать также при контакте двух разнородных металлов или в результате химической неоднородности. Каждый металл имеет определенные электрические свойства, характеризуемые рядом напряжений. При контакте двух металлов разрушается тот, который стоит ниже в ряду напряжений. Например, железо в ряду напряжений стоит выше хрома и цинка, но ниже меди и серебра. Следовательно, при контакте железа с хромом или цинком будет разрушаться хром или цинк, а при контакте железа с медью или серебром — железо. Степень разрушения при этом будет зависеть от температуры, вида и концентрации электролита. На сталь вредно действуют кислоты и щелочи, растворяя ее.

Содержащийся в воздухе углекислый или сернистый газ усиливает коррозию, так как при увлажнении на поверхности металла образуются кислоты, вступающие во взаимодействие с металлом.

Коррозия может быть *местная*, когда разрушение металла происходит на некоторых участках, *равномерная*, когда металл одинаково разрушается по всей поверхности, и *межкристаллитная*, когда разрушение происходит по границам зерен металла.

Существует несколько способов защиты металлов от коррозии, простейшим из которых является *покрытие металла различными красками, лаками, эмалями*. Образующаяся при этом пленка изолирует металл от действия внешней среды (газов, влаги). Кроме вышеуказанных, существуют более совершенные и эффективные способы защиты от коррозии: *легирование* — сплавление металла с легирующими веществами, повышающими его коррозионную стойкость; *воронение* — получение на поверхности изделия защитного слоя, состоящего из окислов данного металла; *металлическое покрытие* металла пленкой из другого металла, менее подверженного коррозии в данных условиях (цинком, оловом). Металлические покрытия производят осаждением на поверхности изделия металла из раствора (гальванические покрытия), обрызгиванием или погружением в ванну с другим расплавленным металлом.

§ 10. Технико-экономическое обоснование применения металлических конструкций

В отличие от многих строительных материалов, потребляемых исключительно в строительстве, металлы используют практически во всех отраслях народного хозяйства. Это выдвигает на первое место вопросы оценки экономической эффективности их первоочередного использования. С развитием сборного железобетона в СССР все большая часть конструкций, выполняв-

шихся ранее из металла, изготовляется из железобетона. Это позволяет добиться экономии металла в строительстве.

Институтом экономики строительства Госстроя СССР с участием ЦНИИпромзданий, НИИЖБа, Проектстальконструкции и других выявлены области первоочередного применения стальных конструкций в зданиях и сооружениях.

Для определения эффективности каркасов рассматривались здания размером: 144×144 м с подвесными кран-балками грузоподъемностью 3 т, бесфонарные, с сеткой колонн 12×18 м, высотой до низа ферм 7,2 м; 144×144 м с кранами 20 т, бесфонарные, с сеткой колонн 12×24 м, высотой до низа ферм 12,6 м; 150×144 м с кранами 50 т; бесфонарные, с сеткой колонн 12×30 м, высотой до низа ферм 16,2 м.

При сопоставлении учитывался комплекс конструкций, включающий колонны, фермы, подкрановые балки, фонари, связи, конструкции покрытий (без кровли), крановые рельсы и крепления. В результате анализа выявилось, что стоимость зданий со стальными каркасами и железобетонными плитами покрытий на 12—15% ниже стоимости зданий с железобетонными каркасами. При этом сроки возведения стальных каркасов в 1,5—2 раза меньше, чем железобетонных, а расход стали выше, чем у железобетонных каркасов на 30—40% (при применении в стальных каркасах стали марок Ст3 и 15ГС).

Масса конструкций в зданиях с железобетонными каркасами и плитами покрытий выше, чем при применении стальных каркасов и легких ограждающих конструкций.

По сумме приведенных затрат стальные конструкции каркасов на 8—12% эффективнее железобетонных.

Сборные железобетонные колонны в большинстве случаев экономичнее стальных как по расходу стали (в 2,5—5,5 раза), так и по стоимости и приведенным затратам (до 30—40%). Однако в крупных зданиях с покрытиями по стальным фермам при шаге колонн 12 м применение сборных железобетонных колонн экономически менее эффективно, чем стальных, так как требует устройства дополнительных поперечных и продольных температурных швов, установки дополнительных колонн, ферм и связей. Расстояние между температурными швами при железобетонных колоннах не превышает 72—144 м, а при стальных колоннах здания размером до 240×240 м могут строиться без температурных швов.

Применение стальных **ферм** наиболее эффективно при шаге ферм 6 м и пролете 24—36 м. При шаге ферм 12 м, пролете 18—30 м и нагрузке 450—550 кг/м² железобетонные цельные фермы покрытий со скатной кровлей экономичнее стальных по приведенным затратам на 3—11%. Таким образом, степень экономической эффективности ферм всецело зависит от величины пролета и нагрузки.

Весьма целесообразно применение стальных конструкций в **подкрановых балках.** При кранах грузоподъемностью 10—

30 т и пролетах 6—12 м железобетонные подкрановые балки дороже стальных в 1,2—2,5 раза, а приведенные затраты выше в 1,3—2,8 раза.

Стальные опоры и эстакады под трубопроводы в 1,3—2,2 раза дешевле железобетонных.

При емкости **резервуаров** 5—10 тыс. м³ для мазута и агрессивной нефти экономичнее применять железобетонные резервуары, а для малоагрессивной нефти и бензина — стальные.

Напорные водоводы из стальных труб в настоящее время дешевле, чем железобетонные и чугунные.

Стоимость сталежелезобетонных **пролетных строений** автодорожных мостов с пролетами более 33 м на 20—40% ниже, чем сборных железобетонных.

Применение сборных железобетонных опор линий электропередач напряжением 35—330 кВ вместо стальных позволяет в 1,5—2 раза снизить расход стали и на 20—30% приведенные затраты.

В различных конструкциях, в зависимости от местных условий, фактора цен и т. д., эффективность взаимозаменяемых материалов проявляется по-разному. Расчеты показывают, что в тех случаях, когда строительство ведется в труднодоступных районах, стальные конструкции оказываются, как правило, эффективнее железобетонных. При наличии сред агрессивных и повышенной влажности во многих случаях более целесообразно применять железобетон.

Экономичность металлических конструкций определяется их конструктивной формой, возможностью индустриального изготовления, степенью совершенствования монтажа зданий и сооружений.

Отечественная и зарубежная практика строительства свидетельствуют об экономической целесообразности более широкого использования легких алюминиевых сплавов в различных строительных конструкциях. Интересно, что около $^1/_5$ всего вырабатываемого в мире алюминия сегодня используется для нужд строительства. За 1955—1970 гг. объем применения алюминия и его сплавов в строительстве зарубежных стран возрос более чем в 10 раз. Алюминиевые сплавы желательно использовать в ряде несущих и ограждающих конструкций, для заполнения оконных проемов и устройства витражей, при сооружении мостов, емкостей для хранения различных материалов и продуктов, для отражательной теплоизоляции и в других целях.

Необходимо подчеркнуть, что эффективность применения алюминиевых сплавов в строительстве также зависит от места его использования. Так, наибольший экономический эффект применения алюминия получен в районах Крайнего Севера, а также в труднодоступных и сейсмических районах.

ГЛАВА X

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Железобетонные изделия для сборного строительства — относительно новый вид конструктивных элементов. Начало практического применения их относят к концу прошлого столетия. В 20-х и 30-х годах текущего столетия появились первые здания, выполненные в основном из сборных железобетонных изделий. Однако широкому и всестороннему применению сборного железобетона в то время препятствовал низкий уровень механизации строительства, отсутствие мощных монтажных кранов и оборудования для производства железобетонных изделий.

Исключительно большую роль в организации массового выпуска сборных железобетонных изделий сыграло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров от 19 августа 1954 г. «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства». За прошедшие после этого постановления годы в нашей стране создана самая крупная в мире индустриальная промышленность сборного железобетона. Если в 1954 г. было выпущено около 2 млн. м³ сборных железобетонных изделий, то в 1972 г. общий выпуск сборного железобетона составил 96,2 млн. м³. Наряду с увеличением выпуска расширяется номенклатура железобетонных изделий, увеличиваются их размеры. Накоплен некоторый опыт строительства зданий с применением объемных элементов.

Основные факторы, обеспечивающие столь быстрый подъем производства сборного железобетона в Советском Союзе, следующие: 1) применение крупноразмерных железобетонных элементов, позволяющее основную часть работ по сооружению зданий перенести со строительной площадки на завод с высокоорганизованным технологическим процессом производства изделий, что в конечном итоге дает определенный технико-экономический эффект; 2) универсальность свойств железобетонных изделий; путем определенных технологических приемов изготовления и соответствующего выбора материалов железобетонные изделия могут быть получены с различными механическими и физическими свойствами — высокопрочные, водонепроницаемые, жаростойкие, с низкой теплопроводностью и т. д.; 3) долговечность железобетона; 4) возможность в ряде конструкций значительно сократить расход стали в строительстве.

Наряду с достоинствами железобетонные конструкции обладают и недостатками. Они имеют значительную объемную массу.

Это в первую очередь относится к крупноразмерным элементам покрытий больших пролетов (фермы пролетом 24 м и более, настилы более 6 м длиной и др.). Высокой остается себестоимость изделий на заводах сборного железобетона, а также значительны транспортные расходы. Все это снижает общую технико-экономическую эффективность строительства из сборных железобетонных изделий.

Первостепенной задачей производственников и конструкторов является уменьшение массы сборных железобетонных конструкций путем применения материалов высокого качества и более рациональных форм изделий, совершенствование организации технологического процесса, более полная его механизация с широким использованием автоматического управления.

§ 1. Понятие о железобетоне

Железобетон представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали, крайне отличающихся своими механическими свойствами. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но он хрупок и слабо противодействует растягивающим напряжениям. Прочность бетона на растяжение примерно в 10—15 раз меньше прочности на сжатие. В результате этого бетон невыгодно использовать для изготовления конструкций, в которых возникают растягивающие напряжения. Сталь же, обладая очень высоким пределом прочности на растяжение, способна воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в железобетонном элементе.

Наиболее выгодно применять железобетон для строительных элементов, подверженных изгибу. При работе таких элементов возникают напряжения двух видов — растягивающие и сжимающие. При этом сталь воспринимает первые напряжения, а бетон вторые, и железобетонный элемент в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам. Таким образом сочетается работа бетона и стали в одном материале — железобетоне.

Возможность совместной работы в железобетоне двух резко различных по своим свойствам материалов определяется следующими важнейшими факторами: прочным сцеплением бетона со стальной арматурой, вследствие этого при возникновении напряжения в железобетонной конструкции оба материала работают совместно; почти одинаковым коэффициентом температурного расширения для стали и бетона, чем обеспечивается полная монолитность железобетона; бетон не только не оказывает разрушающего влияния на заключенную в нем сталь, но предохраняет ее от коррозии.

В зависимости от способа армирования и состояния арматуры различают железобетонные изделия с обычным армированием и с предварительно напряженным. К армированным железобетонным изделиям относятся такие, увеличение прочности

которых достигается путем укладки в бетон стальных стержней, сеток или каркасов. Однако этот способ армирования не предохраняет изделия, работающие на изгиб, от образования трещин в растянутой зоне бетона, так как последний обладает незначительной растяжимостью (1—2 мм на 1 м), тогда как сталь выдерживает без разрушения в 5—6 раз больше растягивающие напряжения, чем бетон. Появление трещин отрицательно влияет на работу железобетонного элемента: увеличиваются прогибы, в трещины проникают влага и газы, отчего создается опасность коррозии стальной арматуры.

Избежать образования трещин в железобетонной конструкции можно предварительным сжатием бетона в местах, подверженных растяжению. В предварительно сжатом бетоне трещины появляются только в том случае, если растягивающие напряжения перерастут напряжения предварительного сжатия. Сжатие бетона достигается предварительным напряжением (растяжением) арматуры.

Различают два вида предварительного напряжения арматуры — до затвердения бетона и после приобретения бетоном определенной прочности. Если напряжение арматуры производится до бетонирования, то уложенная в форму арматура растягивается и в таком растянутом состоянии закрепляется в форме. После заполнения формы бетонной смесью и затвердения бетона арматура освобождается от натяжения, сокращается и увлекает за собой окружающий ее бетон, обжимая железобетонный элемент в целом.

Если же напряжение арматуры производится после затвердения бетона, то в этом случае арматуру располагают в специально оставленном в бетоне канале. После затвердения бетона арматуру натягивают и закрепляют на концах конструкции анкерными устройствами. Затем заполняют канал раствором, который после затвердения сцепляется с арматурой и с бетоном конструкции, обеспечивая монолитность железобетона.

Предварительное напряжение арматуры не только предупреждает появление трещин в растянутом бетоне, но и позволяет снизить массу железобетонных конструкций, увеличить их жесткость, повысить долговечность и сократить расход арматуры. Поэтому дальнейшее развитие строительной техники направлено на значительное увеличение выпуска тонкостенных предварительно напряженных железобетонных конструкций.

§ 2. Классификация железобетонных изделий и требования к ним

В основу классификации сборных железобетонных изделий положены следующие признаки: вид армирования, объемная масса, вид бетона, внутреннее строение и назначение.

По **виду армирования** железобетонные изделия делят на предварительно напряженные и с обычным армированием.

По **объемной массе** применяемых бетонов изделия бывают: из особо тяжелых бетонов с объемной массой более 2500 кг/м³; из тяжелых бетонов — 1800—2500 кг/м³; из легких бетонов — 500—1800 кг/м³; из особо легких (теплоизоляционных) бетонов — менее 500 кг/м³.

По **виду бетонов** и применяемых в бетоне **вяжущих** различают изделия из: цементных бетонов — тяжелых на обычных плотных заполнителях, особо тяжелых бетонов и легких бетонов на пористых заполнителях; силикатных бетонов автоклавного твердения — плотных (тяжелых) или легких на пористых заполнителях на основе извести или смешанном вяжущем; ячеистых бетонов — на цементе, извести или смешанном вяжущем; специальных бетонов — жаростойких, химически стойких, декоративных, гидратных.

По **внутреннему строению** изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида — однослойные или двухслойные и многослойные, изготовленные из разных видов бетона или с применением различных материалов, например теплоизоляционных.

Железобетонные изделия одного вида могут отличаться также **типоразмерами**, например стеновой блок угловой, подоконный и т. д. Изделия одного типоразмера могут подразделяться также по **маркам**. В основу деления на марки положено различное армирование, наличие монтажных отверстий или различие в закладных деталях.

В зависимости от **назначения** сборные железобетонные изделия делят на основные группы: для жилых, общественных, промышленных зданий, для сооружений сельскохозяйственного строительства и изделий общего назначения.

Железобетонные изделия должны отвечать требованиям действующих государственных стандартов, а также требованиям рабочих чертежей и технических условий на них. Изделия массового производства должны быть типовыми и унифицированными для возможности применения их при строительстве зданий и сооружений различного назначения.

Изделия должны иметь максимальную степень заводской готовности. Составные или комплексные изделия поставляют потребителю, как правило, в законченном, собранном и полностью укомплектованном деталями виде. Железобетонные изделия с проемами, заполняемыми столярными изделиями, поставляются со вставленными оконными или дверными блоками, проолифленными или загрунтованными. Качество поверхности изделий должно быть таким, чтобы на месте строительства (если это не предусмотрено проектом) не требовалось дополнительной их отделки.

§ 3. Номенклатура и технико-экономическая оценка железобетонных изделий

В настоящем параграфе приведены некоторые наиболее распространенные виды железобетонных изделий различного назначения и дана технико-экономическая оценка эффективности их применения в строительстве.

Изделия для жилых и гражданских зданий

Изделия для фундаментов и подземных частей зданий. Фундаментные плиты и фундаментные блоки, фундаментные балки, сваи и панели, а также элементы проходных и непроходных каналов в пределах здания, железобетонные и бетонные изделия для сборных конструкций фундаментов и частей здания ниже уровня пола первого этажа изготовляют из тяжелого бетона не менее М150, а для свай и фундаментных балок — не менее М200.

Фундаментные плиты *1* (рис. 94) представляют собой массивные железобетонные элементы, армированные стальной сеткой. Плиты изготовляют шириной 120—320 см, длиной 80, 100 и 120 см при высоте 40—50 см.

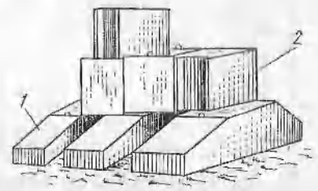


Рис. 94. Элементы фундамента:
1 — плиты; *2* — блоки

Фундаментные блоки *2* бывают обычно прямоугольной формы, длиной до 3 м, толщиной 40—60 см и высотой 60 см. На торцевых сторонах блоков делают пазы для лучшего заполнения раствором или бетоном вертикального шва между ними при монтаже фундаментов. Блоки армируют только из условий удобного монтажа. Масса элементов сборных фундаментов составляет 3 т. Фундаментные блоки применяют при кладке фундаментов и стен подвальных помещений, поэтому их называют еще блоками стен подвалов.

Применение сборных фундаментов из железобетонных элементов взамен ранее применявшихся из бутовой кладки позволяет широко механизировать сооружение фундаментов, исключить трудности строительства в зимних условиях. Это снижает трудоемкость работ в 8—12 раз и стоимость строительства фундаментов на 10—15%.

Изделия для конструкций каркасов зданий. Колонны одноэтажных и многоэтажных зданий, балки покрытий, подстропильные балки, ригели и прогоны изготовляют из армированного тяжелого бетона не ниже М200; фермы покрытий, подстропильные фермы, двухветвенные колонны и подкрановые балки — из бетона не ниже М 300.

Стеновые панели и блоки. Стеновые панели подразделяются на: панели наружных стен неотапливаемых зданий, изготовляемых из тяжелых и легких бетонов, а также крупнопористого бетона; панели наружных стен отапливаемых зданий — слоистые из тяжелого бетона с теплоизоляционным слоем и однослойные из ячеистого бетона, легкого бетона на пористых заполнителях и крупнопористого бетона; панели внутренних стен — из тяжелого или легкого бетона на пористых заполнителях, а также из ячеистого бетона; панели перегородок — из всех видов бетонов, армированных и неармированных. В качестве междукомнатных и ненесущих перегородок широко применяют гипсовые прокатные перегородки на всю ширину и высоту комнаты.

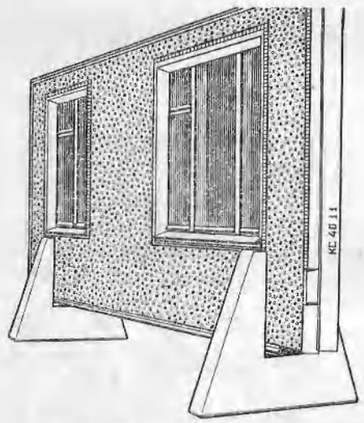


Рис. 95. Панели наружных стен

Тяжелый бетон для панелей наружных стен должен иметь не ниже М 200, а внутренних — не ниже М 150. Легкие бетоны на пористых заполнителях, ячеистые и крупнозернистые бетоны должны иметь не ниже М 50. Марка бетона неармированных перегородок должна быть в сплошных плитах не менее М 50 и пустотелых — не менее М 75.

Панели наружных стен из тяжелого бетона изготовляют с утеплителем и сплошные (рис. 95). Первые состоят из железобетонной оболочки, которая заполняется теплоизоляционным бетоном (газо- или пенобетоном); фасадная сторона панелей облицовывается обычно керамической плиткой. Имеются также и другие разновидности панелей этого типа, например панели, состоящие из двух железобетонных оболочек с уложенным между ними слоем высококачественного утеплителя — шлаковой ваты, ячеистых бетонов, пенокерамзита и др.

Панели однослойные из железобетона на легком заполнителе (шлаке, керамзите) или из ячеистого железобетона покрывают с наружной стороны декоративным слоем из раствора на цветном портландцементе. Широко используют для облицовки панелей керамическую плитку. Толщина несущих панелей наружных стен в зависимости от вида бетона и климатических условий составляет 16—40 см; площадь панели по фасаду достигает 12 м². Большинство панелей имеют проемы, заполняемые на заводе оконным или балконным дверным блоком. Масса панели достигает 5 т.

В технико-экономическом отношении наиболее высокими достоинствами обладают вибропрокатные крупноразмерные керамзитобетонные стеновые панели.

Стеновые блоки изготовляют из легкого бетона объемной массой до 1600 кг/м³. По пределу прочности на сжатие блоки выпускают четырех марок — от 50 до 200. По своему строению блоки могут быть пустотелыми и сплошными, одно-, двух- или трехслойными. Снаружи блоки имеют декоративный слой, а с внутренней стороны их покрывают слоем штукатурного раствора.

По своему назначению блоки выпускают для наружных и внутренних стен. Блоки наружных стен подразделяют по конструктивным элементам стены на простеночные, угловые, подоконные, перемычечные, карнизные, цокольные.

К панелям наружных стен предъявляются требования морозостойкости и сохранения декоративных качеств под влиянием внешних факторов. Морозостойкость изделий наружных стен должна быть не менее Мрз 15.

Фасадная поверхность панелей наружных стен может быть облицована керамическими, стеклянными или пластмассовыми плитками, покрыта фактурным слоем из декоративного бетона, окрашена атмосферостойкими красками и т. д. Облицовочный слой должен быть прочно связан с бетоном и не иметь выколов, трещин, пятен и других дефектов поверхности. Внутренние поверхности панелей и перегородок должны быть полностью подготовлены под окраску или наклейку обоев. Шероховатость поверхности не должна превышать 0,6—1,2 мм.

Сведения о технико-экономической эффективности применения стеновых панелей и блоков взамен кирпичной кладки приведены в гл. VIII, § 6.

Элементы междуэтажных перекрытий и покрытий. Перекрытия являются наиболее дорогой конструктивной частью здания. Сметная стоимость перекрытий составляет до 20% общей стоимости жилого дома.

На многих строительных площадках крыша до сих пор все еще является частью здания, возведение которой не отвечает требованиям индустриального строительства. Она сооружается обычно металлической по деревянным стропилам и обрешетке. К недостаткам этих конструкций крыш относится большой расход древесины и металла, недолговечность металлических кровель и большие эксплуатационные затраты на их ремонт. Замена кровли даже из оцинкованной, более долговечной чем сталь, по деревянной обрешетке и стропилам крышей железобетонной, совмещенной из прокатных плит, позволяет на 15—18% снизить сметную стоимость строительства, уменьшить расход стали на 1 м² крыши с 6 до 2,8 кг.

Применение прогрессивных типов железобетонных перекрытий из длинномерных настилов и панелей позволяет на 15—20% ускорить сооружение перекрытий и на 20—30% снизить

стоимость их несущих конструкций. В результате этого достигнуто снижение сметной стоимости строительства на 30—35%, уменьшение трудоемкости строительных работ, считая и изготовления настилов, на 10—12%.

Элементами перекрытий и покрытий служат панели и настилы перекрытий, панели полов и потолка при раздельных перекрытиях, плиты и панели покрытий.

Панели и плиты перекрытий по конструкции могут быть ребристые, сплошные, ребристые и пустотелые. Составные перекрытия выполняются из панелей перекрытий, совмещенных с панелями пола или потолка с необходимыми звукоизоляционными, теплоизоляционными и другими прослойками.

Настилы. Устройство перекрытий раньше сопровождалось двумя операциями: вначале укладывались балки, а затем по

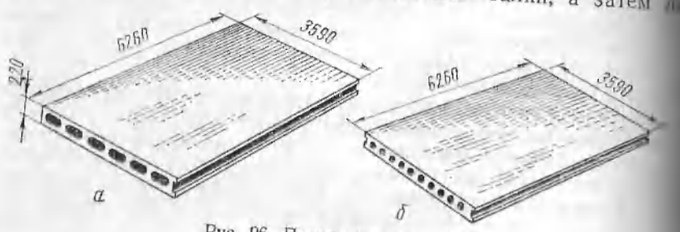


Рис. 96. Панели перекрытий:
а — с овальными пустотами; *б* — с круглыми пустотами

ним настилались плиты. Результатом стремления объединить эти два элемента в одно целое, упростив и ускорив сооружение перекрытий, явилось применение настилов. В настоящее время настилы выпускаются двух видов: с круглыми и овальными пустотами. Пустоты снижают массу настилов и уменьшают расход бетона. Длина настилов рассчитана на пролет в свету до 6 м, толщина 200—220 мм, ширина 80—1500 мм. Настилы изготовляют из бетона не ниже М 200 с обыкновенным или предварительно напряженным армированием.

Панели перекрытий (рис. 96), так же как и настилы, имеют прямоугольную форму и выпускаются с круглыми и овальными пустотами, плоскими и ребристыми. Панели бывают «на комнату», панели потолков и полов (при раздельных перекрытиях). В последнем случае между панелями укладывается слой звукоизоляционного материала. Армирование и марка бетона панелей применяются те же, что и для настилов.

Панели и плиты покрытий выпускают ребристыми, плоскими и пустотелыми. В ребристых плитах выгоднее используется совместная работа арматуры и бетона, что приводит к экономии материала и снижению массы изделия. Панели и плиты покрытий изготовляют однослойными из тяжелого и легкого бетонов на пористых заполнителях, слоистыми с несущей конструкцией

из тяжелого бетона и с теплоизоляционным слоем из ячеистого бетона или другого утеплителя и комбинированными с ребрами из тяжелого бетона и плитой из ячеистого или легкого бетона. Панели с легким бетоном применяют для теплых кровель. Марка тяжелого бетона панелей и плит должна быть не менее 200, легкого на пористых заполнителях — не менее 150 и ячеистого — не менее 50. Панели совмещенных покрытий должны удовлетворять требованиям тепло-, гидро- и пароизоляции.

Элементы сборных лестниц. Изделиями этого назначения являются лестничные марши и площадки (рис. 97), ступени и проступи.

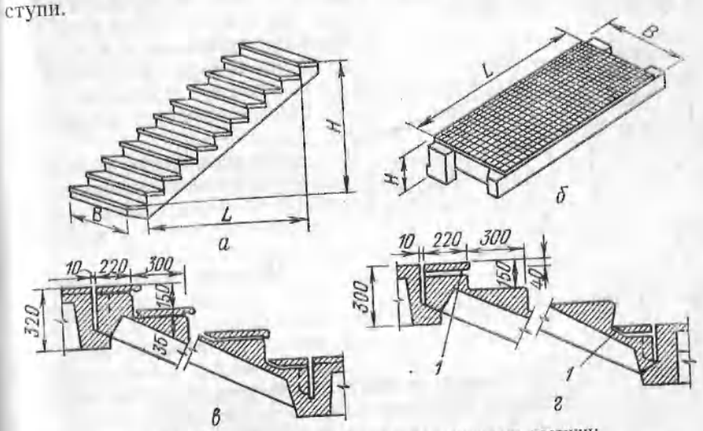


Рис. 97. Элементы и узлы крупноразмерных лестниц:
а — лестничный марш с накладными мозаичными проступями; *б* — лестничная площадка с мозаичным слоем; *в* — монтажные узлы лестниц с мозаичной отделкой; *г* — ленточные узлы лестниц без мозаичной отделки; *1* — фризовые проступи

Лестничные марши изготовляют в специальных формах, которые позволяют получать изделия заданного ступенчатого профиля. Ступени марша имеют проступи, отделанные цементным раствором с мраморной крошкой. Длина маршей может быть до 3,6 м, ширина до 1,8 м.

Лестничные площадки изготовляют в виде прямоугольной плиты из бетона М 200, армированной стальной сеткой и облицованной мозаичным раствором или керамическими плитками. Облицовочный слой должен обладать высокой износостойкостью. Аналогичны по своей конструкции лестничные площадки, балконные плиты. Элементы сборных лестниц и балконные плиты изготовляют в основном из тяжелого бетона не ниже М 200.

Объемные элементы. Стремление максимально снизить трудовые затраты и ускорить строительство вызвало появление новых конструктивных решений зданий — объемных элементов

(рис. 98). В настоящее время уже имеется опыт строительства жилых зданий из целых квартирных блоков, которые изготовляют полностью на заводе со всеми санитарно-техническими и электротехническими устройствами, оснащают встроенной мебелью и кухонным оборудованием. Такие объемные блоки или собирают на заводе из отдельных плоских элементов, или изготовляют монолитными в специальных объемных кассетах. Монолитные блоки отличаются большей жесткостью и меньшей трудоемкостью изготовления.

В зависимости от планировки блоки квартиры делят на три типа: две жилые комнаты; жилая комната, кухня и санитарный узел; лестничная клетка, кухня и санитарный узел. Такая номенклатура блоков позволяет при различных их сочетаниях получать квартиры в одну, две и три комнаты.

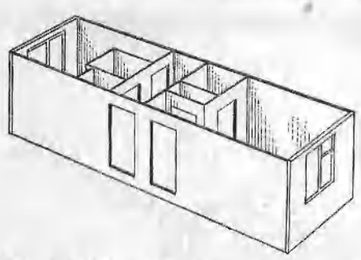


Рис. 98. Объемный элемент кухня-комната

Монтаж домов из объемных элементов является новой, более высокой ступенью индустриального строительства.

Изделия санитарно-технические. В сборном домостроении санитарно-технические устройства: сети водопровода, канализации, отопления, мусоропровода и вентиляционные каналы выполняют из сборных элементов заводского изготовления.

Все разводки сетей: металлические трубы водопровода, отопления и канализации в процессе изготовления замоноличивают в тело панелей или специальных блоков. В готовом виде такие конструкции доставляют на строительную площадку, где путем соединения стыков их монтируют в общую систему.

Отопительные панели представляют собой прямоугольную бетонную плиту толщиной 60 мм, в которую заложены металлические или стеклянные трубы, присоединяемые к системе отопления. Кроме отопительных панелей, изготовляют также панели междуэтажных перекрытий с заложенными в них отопительными трубами.

Санитарно-технические блоки представляют собой сборные железобетонные стеновые элементы с вмонтированными в них трубами и соединительными деталями для водопроводной, канализационной, газопроводной систем. Различают два вида блоков: вертикальный и горизонтальный.

Блоки вентиляционные и мусоропроводов. В качестве элементов вытяжной вентиляции в зданиях применяют бетонные вентиляционные блоки, представляющие собой прямоугольные бетонные плиты с круглыми или квадратными отверстиями. Высоту

вентиляционного блока назначают в зависимости от высоты помещения, где он будет установлен; ширину блока — от наличия каналов в блоке. В верхней части плоскости блока, выходящей в помещение, устраивают квадратное отверстие, предназначенное для сбора воздуха и соединяемое с одним из вертикальных каналов. Вентиляционные блоки устанавливают в гнездах, специально для этой цели оставленных в стене здания.

Блок мусоропровода по внешнему виду представляет собой железобетонный вертикальный элемент с круглым внутренним отверстием диаметром 350—500 мм. Внутреннее отверстие блока облицовывают асбестовой оболочкой в целях предохранения бетона от биологической коррозии и разрушения при падении мусора. Блоки мусоропровода изготовляют на высоту одного или двух этажей. На высоте 0,8—1,0 м от низа блока имеется отверстие для сброса мусора. Блоки мусоропроводов монтируют в стенах лестничной клетки.

Санитарно-технические кабины. Существенным достижением строительной техники является применение объемных элементов санитарно-технических кабин. Такое конструктивное решение оборудования жилых зданий санитарно-техническими устройствами вызвано значительными трудовыми затратами на оборудование санитарной техникой даже при использовании блоков.

Санитарно-технические кабины оборудуют ванной длиной 1,5 м, смесителем горячей и холодной воды с душем на гибком шланге, фаянсовым умывальником, унитазом с низкорасположенным бачком, полочкой для мыла, крючками для одежды, регистром для сушки полотенца и зеркалом. Кабины выпускают двух видов, отличающихся конструкцией оболочки. Первые выполняются из металлического каркаса и обшиваются асбестоцементными листами. Вторые представляют собой монолитную железобетонную объемную скорлупу, изготовляемую в специальных кассетах. Пол кабины облицовывают керамической плиткой или настилают из линолеума или релина, уложенного по двум слоям асбестоцементных листов с гидроизоляцией на мастике.

На строительную площадку кабины доставляют в совершенно законченном виде, устанавливают в проектное положение и включают (путем стыкования) в общую систему отопления, вентиляции, канализации и горячего водоснабжения.

Архитектурные детали и ограды. Сборные железобетонные изделия довольно широко применяются для изготовления элементов оград. Для этой цели используют бетоны повышенной прочности (не ниже М 300—400) и морозостойкости. Изделия для элементов оград изготовляют с предварительным напряжением арматуры самого разнообразного профиля и рельефного рисунка на поверхности. Это позволяет получать различные декоративные детали и изделия от плоских облицовочных плит до деталей сложных профилей: карнизы, барельефы, пилястры, капители колонн, розетки и др. Изготовляют эти изделия из

обыкновенного или декоративного бетона на цветном цементе с использованием цветных заполнителей. Для предупреждения быстрого загрязнения пылью поверхность не должна иметь шероховатостей. Архитектурные детали для наружной облицовки должны обладать высокой морозостойкостью (Мрз не менее 25) и атмосферостойкостью.

Изделия для промышленных зданий

Для промышленных зданий применяют изделия из бетона и железобетона, аналогичные по номенклатуре перечисленным выше.

Элементы фундаментов и подземных частей зданий промышленного назначения по своей номенклатуре и конструктивным решениям не отличаются от перечисленных ранее для жилых и общественных зданий. Сборные ленточные фундаменты сооружаются из фундаментных плит и блоков; при свайных фундаментах применяют железобетонные сваи, соединяемые фундаментными балками, образующими ленту фундамента.

Сборные элементы перекрытий промышленных зданий те же, что и в жилищном строительстве, т. е. настилы и панели, а также ребристые, железобетонные и армоцементобетонные панели используются для покрытий, а в отдельных случаях и для перекрытий зданий; применяют также для покрытий промышленных зданий больших пролетов оболочки.

Крупнопанельные железобетонные плиты являются одновременно несущими и ограждающими элементами покрытий неотапливаемых и отапливаемых зданий. Крупнопанельные железобетонные плиты изготовляют из бетона М 200 с обычной арматурой и напряженно армированные; в последнем случае плиты имеют длину 12 м. Несущая способность плит 350—800 кг/м², размер от 1,5×6 до 3×12 м, масса 1 м² плиты 170 кг.

Крупнопанельные армоцементобетонные плиты (КАП) являются одновременно несущими и теплоизоляционными элементами покрытий. Они состоят из армированной полки и двух продольных железобетонных ребер. Полка и ребра жестко связаны между собой специальными стальными стержнями. Толщина полки 100—160 мм, несущая способность плит до 800 кг/м², размер 1,5×6 м, масса 1 м² плиты 160—210 кг.

Оболочки представляют собой армированную криволинейную плиту толщиной 3—4 см, окаймленную ребрами жесткости по периметру. Размер оболочки 10×10 м. Благодаря небольшому расходу материалов при значительной полезной площади каждого элемента оболочки (до 100 м²) последние имеют значительное преимущество перед другими видами конструктивных элементов покрытий.

Сравнительно недавно появился новый вид железобетона — армоцемент, представляющий собой мелкозернистый бетон (строительный раствор), армированный несколькими рядами

сеток из тонкой стальной проволоки. Армоцементные конструкции изготовляют толщиной 1—2 см, они имеют прочность, приближенную к прочности обыкновенной стали. Полная водонепроницаемость армоцемента позволяет использовать его для покрытий.

Элементы каркаса промышленных зданий: колонны, фермы, балки, ригели (рис. 99).

Колонны из сборного железобетона при строительстве промышленных зданий и сооружений применяют одно- и двухконсольные, бесконсольные, сплошные прямоугольного или таврового сечения и решетчатые двухветвенные. Последние имеют более высокие технико-экономические показатели: при равной несущей способности масса их значительно меньше, что дает возможность увеличить высоту колонн до 35 м. Колонны изготовляют из бетона М 300—400 с обыкновенным и предварительно напряженным армированием, цельными на всю длину или составными из отдельных элементов, собираемых на месте строительства.

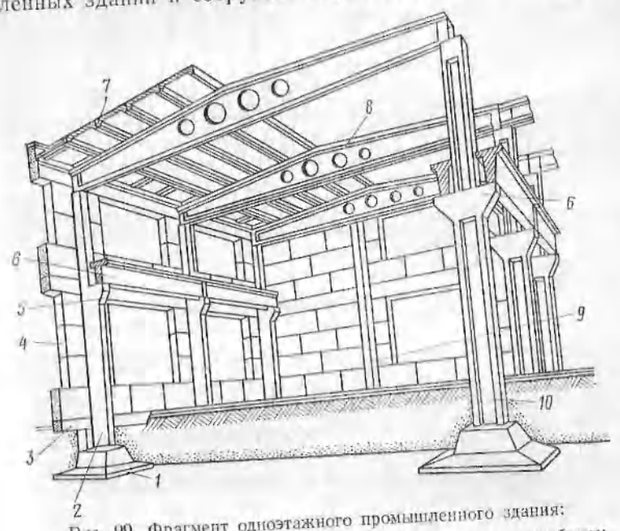


Рис. 99. Фрагмент одноэтажного промышленного здания:
1 — фундаменты; *2* — колонны наружного ряда; *3* — фундаментная балка; *4* — элементы стен; *5* — консоли колонн; *6* — подкрановая балка; *7* — пакели покрытий; *8* — балки покрытий; *9* — торцевые колонны; *10* — колонны внутреннего ряда

Балки в зависимости от перекрываемого пролета применяют прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, с обыкновенным или предварительно напряженным армированием. Балки изготовляют из бетона М 300—400, трапецеидальные и

обыкновенного или декоративного бетона на цветном цемент с использованием цветных заполнителей. Для предупреждения быстрого загрязнения пылью поверхность не должна иметь шероховатостей. Архитектурные детали для наружной облицовки должны обладать высокой морозостойкостью (Мрз не менее 25) и атмосферостойкостью.

Изделия для промышленных зданий

Для промышленных зданий применяют изделия из бетона и железобетона, аналогичные по номенклатуре перечисленным выше.

Элементы фундаментов и подземных частей зданий промышленного назначения по своей номенклатуре и конструктивным решениям не отличаются от перечисленных ранее для жилищ и общественных зданий. Сборные ленточные фундаменты сооружаются из фундаментных плит и блоков; при свайных фундаментах применяют железобетонные сваи, соединяемые фундаментными балками, образующими ленту фундамента.

Сборные элементы перекрытий промышленных зданий те же, что и в жилищном строительстве, т. е. настилы и панели, а также ребристые, железобетонные и армопенобетонные панели используются для покрытий, а в отдельных случаях и для перекрытий зданий; применяют также для покрытий промышленных зданий больших пролетов оболочки.

Крупнопанельные железобетонные плиты являются одновременно несущими и ограждающими элементами покрытий неотапливаемых и отапливаемых зданий. Крупнопанельные железобетонные плиты изготовляют из бетона М 200 с обычной арматурой и напряженно армированные; в последнем случае плиты имеют длину 12 м. Несущая способность плит 350—800 кг/м², размер от 1,5×6 до 3×12 м, масса 1 м² плиты 170 кг.

Крупнопанельные армопенобетонные плиты (КАП) являются одновременно несущими и теплоизоляционными элементами покрытий. Они состоят из армированной полки и двух продольных железобетонных ребер. Полка и ребра жестко связаны между собой специальными стальными стержнями. Толщина полок 100—160 мм, несущая способность плит до 800 кг/м², размер 1,5×6 м, масса 1 м² плиты 160—210 кг.

Оболочки представляют собой армированную криволинейную плиту толщиной 3—4 см, окаймленную ребрами жесткости по периметру. Размер оболочки 10×10 м. Благодаря небольшому расходу материалов при значительной полезной площади каждого элемента оболочки (до 100 м²) последние имеют значительное преимущество перед другими видами конструктивных элементов покрытий.

Сравнительно недавно появился новый вид железобетона — армоцемент, представляющий собой мелкозернистый бетон (строительный раствор), армированный несколькими рядами

сеток из тонкой стальной проволоки. Армоцементные конструкции изготовляют толщиной 1—2 см, они имеют прочность, приближенную к прочности обыкновенной стали. Полная водонепроницаемость армоцемента позволяет использовать его для покрытий.

Элементы каркаса промышленных зданий: колонны, фермы, балки, ригели (рис. 99).

Колонны из сборного железобетона при строительстве промышленных зданий и сооружений применяют одно- и двухконсольные, бесконсольные, сплошные прямоугольного или таврового сечения и решетчатые двухветвенные. Последние имеют более высокие технико-экономические показатели: при равной несущей способности масса их значительно меньше, что дает возможность увеличить высоту колонн до 35 м. Колонны изготовляют из бетона М 300—400 с обыкновенным и предварительно напряженным армированием, цельными на всю длину или составными из отдельных элементов, собираемых на месте строительства.

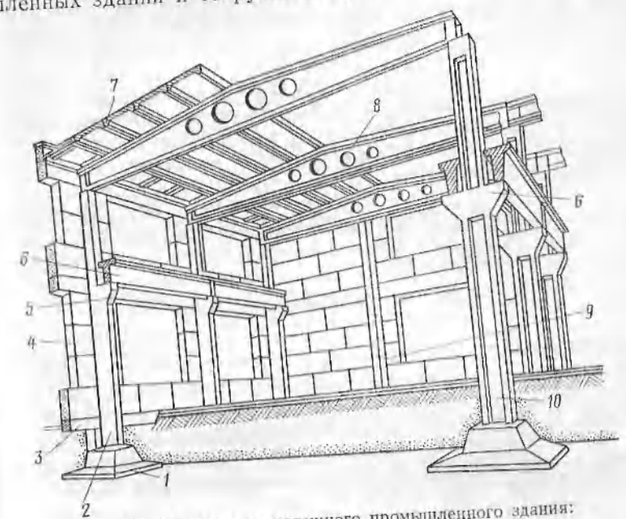


Рис. 99. Фрагмент одноэтажного промышленного здания:
1 — фундаменты; *2* — колонны наружного ряда; *3* — фундаментная балка; *4* — элементы стен; *5* — консоли колонн; *6* — подкрановая балка; *7* — панели покрытий; *8* — балки покрытий; *9* — торцевые колонны; *10* — колонны внутреннего ряда

Балки в зависимости от перекрываемого пролета применяют прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, с обыкновенным или предварительно напряженным армированием. Балки изготовляют из бетона М 300—400, трапецеидальные и

сегментные. Для облегчения вертикальная стенка балки имеет отверстия. Длину балок устанавливают в соответствии с унифицированной сеткой колонн промышленных зданий 12, 18 и 24 м.

Фермы (рис. 100) и *арки* применяют в качестве несущих элементов покрытий пролетом 18 м и более. Фермы могут иметь

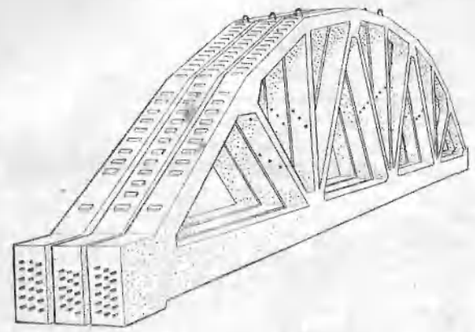


Рис. 100. Железобетонные фермы

трапецендальную, треугольную и криволинейную сегментную форму, изготовляют их цельными и составными из отдельных элементов. Пролет железобетонных ферм может быть более 30 м. Пролеты зданий до 100 м и более перекрываются железобетонными арками, которые выпускают со сплошной или решетчатой стенкой и, как правило, из двух полуарок, так как масса только одной полуарки может достигать 30—40 т.

Арки применяют преимущественно для складских помещений сыпучих материалов.

Изделия для сооружений

Изделия для транспортного строительства следующие:

мостовые конструкции — пролетные строения предварительно напряженные из бетона не ниже М 400, стойки опор мостов из бетона не ниже М 300; морозостойкость бетона не менее Мрз 200;

плиты покрытий дорог и аэродромов изготовляют из бетона М 300, аэродромные плиты — предварительно напряженными, морозостойкостью не менее Мрз 100—150 в зависимости от климатических условий, размерами до 3×1,75 м при толщине 13—17 см;

специфическими изделиями железнодорожного строительства являются шпалы и опоры контактной сети электрифицированных железных дорог. Последние представляют собой вертикальную

стойку высотой 10—15 м, к которой крепится консоль, служащая подвеской для провода. Первые железобетонные опоры имели сплошное прямоугольное сечение; сейчас применяют трубчатые, двутавровые и швеллерные опоры со сквозными и решетчатыми стенками. Марка бетона опор не ниже М 400, морозостойкость Мрз 100—200 в зависимости от климатических условий. Для повышения долговечности и жесткости опоры изготовляют предварительно напряженными.

Изделия для метрополитенов и туннелей. Туннели метрополитенов, а в ряде случаев и железных дорог укрепляют тюбингами. Долгое время тюбинги применялись чугунные. Сейчас их заменяют железобетонными. Это дает 200—250 руб. экономии на каждый 1 м туннеля.

Изделия для метрополитенов и туннелей изготовляют из тяжелого цементного бетона с маркой по прочности на сжатие: для блоков и тюбингов обделки туннелей, блоков стен, колонн и перекрытий станций метрополитена — не менее М 400; для остальных изделий — не менее М 200.

При сильном потоке грунтовых вод, а также при наличии агрессивной среды для изготовления железобетонных изделий для обделок туннелей применяют специальные составы бетона. Повышенные требования к бетонам, применяемым для изделий метрополитенов и туннелей, предъявляются по морозостойкости и водонепроницаемости.

Среди шпал, используемых при строительстве рельсовых путей, наибольшее применение получили брусковые шпалы. Их изготовляют из предварительно напряженного железобетона не менее М 500, отличающегося трещиностойкостью и морозостойкостью (Мрз 100—200). Применение железобетонных шпал в железнодорожном строительстве отличается особой технико-экономической эффективностью. Протяженность строящихся железных дорог измеряется тысячами километров, а на каждый километр пути при верхнем строении тяжелого типа требуется до 2000 шпал. Деревянные шпалы недостаточно долговечны. Срок их службы не превышает 15 лет, тогда как железобетонная шпала сохраняется до 50 лет. По данным ЦНИИ МПС, перевод каждых 100 км железнодорожных путей на железобетонные предварительно напряженные шпалы взамен деревянных обеспечивает ежегодную экономию в размере до 14 тыс. руб.

Изделия гидротехнического строительства — балки и балочные плиты перекрытий пролетом более 6 м между бычками и для образования водосливных поверхностей плотин, для шпунта свай, балок эстакад морских портов, фундаментные плиты, подпорные элементы речных набережных изготовляют из бетона М 300 и более. Некоторые сборные элементы гидротехнических и мелиоративных сооружений, например дренажные блоки и трубы, блоки для волноломов и молов, изделия, применяемые в сетевых сооружениях мелиоративных систем, и др. изготовляют из бетона М 200.

К бетону для гидротехнических сооружений предъявляются повышенные требования в отношении морозостойкости, водонепроницаемости и водостойкости, а к изделиям, подвергающимся воздействию потоков с большими скоростями,— износоустойчивости.

Изделия сельскохозяйственного строительства и общего назначения

Из сборных железобетонных конструкций и деталей в сельских местностях возводят жилые дома, здания машинно-тракторных станций, животноводческие фермы, силосные сооружения, склады, теплицы и другие постройки сельскохозяйственного назначения. Изделия для сельскохозяйственных сооружений изготовляют из бетона не ниже М 200, изделия для силосных траншей, ям и башен должны иметь защитный слой от действия органических кислот.

Сборные железобетонные конструкции и детали для сельского строительства не отличаются от применяемых для строительства гражданских и промышленных зданий, но некоторые сооружения, например силосные башни, бункера элеваторов, выполняются из деталей несколько другой конструкции. Наиболее распространены в данном случае сборные железобетонные кольца, диаметр которых равен диаметру будущего сооружения. При возведении башен большого диаметра кольца заменяются криволинейными плитами.

К изделиям общего назначения относят трубы, заборы, стойки под светильники. Последние представляют собой изделия, аналогичные по конструкции рассмотренным выше опорам для подвески проводов.

Трубы железобетонные по своему назначению делят на безнапорные и напорные, предназначенные выдерживать определенное гидростатическое давление. Безнапорные трубы применяют для устройства канализационных наружных сетей и напорных водоводов. Изготовляют их центрифугированием, вибрированием, прессованием. Диаметр труб достигает 1200 мм и более. Бетон для безнапорных труб применяют М 200—300 с особыми требованиями в отношении водонепроницаемости и коррозионной стойкости под действием сточных вод.

В железобетонных трубах с обычным армированием невозможно создать достаточное гидростатическое давление по той причине, что в бетоне стенок труб при этом появляются мельчайшие трещины и труба начинает течь.

От образования микротрещин предохраняет предварительное напряжение арматуры. Применение предварительного напряжения арматуры дает возможность устраивать напорные водоводы из железобетонных труб, что позволяет в 5—10 раз уменьшить расход металла и в 1,5—2 раза снизить стоимость водоводов.

ГЛАВА XI

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

§ 1. Принципиальные технологические схемы производства

Технологический процесс производства железобетонных изделий складывается из следующих последовательно выполняемых операций: приготовления бетонной смеси; армирования железобетонных изделий; формования; тепловлажностной обработки, обеспечивающей получение необходимой прочности бетона изделий к заданному сроку; отделки лицевой поверхности изделий.

Организация выполнения этого комплекса основных технологических операций и их техническое оформление в современной технологии сборного железобетона осуществляется по трем принципиальным схемам:

1. Изготовление изделий в неперемещаемых формах; в этом случае все технологические операции от подготовки форм до распалубки готовых отвердевших изделий осуществляются на одном месте. К этому способу относятся формование изделий на плоских стендах или в матрицах, в кассетах.

2. Изготовление изделий в перемещаемых формах; в этом случае отдельные технологические операции формования или отдельный комплекс их производится на специализированных постах. Форма, а затем изделие вместе с формой перемещаются от поста к посту по мере выполнения отдельных операций.

В зависимости от степени расчлененности общего технологического комплекса формования изделий по отдельным постам различают конвейерный, имеющий наибольшую расчлененность, и поточно-агрегатный способы. Последний отличается тем, что ряд операций — укладка арматуры и бетонной смеси, уплотнение — выполняются на одном посту, т. е. сагрегированы между собой. При конвейерном способе большинство операций формования выполняется на соответствующих постах, образующих в совокупности технологическую линию.

3. Непрерывное формование — способ, возникший сравнительно недавно, но весьма зарекомендовавший себя. Он отличается металлоемкостью и несравнимо высоким объемом продукции с единицы производственной площади предприятия. Способ непрерывного формования изделий осуществляется на вибропрокатном стане.

§ 2. Способы уплотнения бетонной смеси при изготовлении изделий

Одно из важнейших свойств бетонной смеси — способность пластически растекаться под действием собственной массы или приложенной к ней нагрузки. Это и определяет сравнительную легкость изготовления из бетонной смеси изделий самого разнообразного профиля и возможность применения для ее уплотнения разнообразных способов. При этом способ уплотнения и свойства смеси — ее подвижность (текучесть) находятся в тесной связи. Так, жесткие нетекучие смеси требуют энергичного уплотнения и при формовании из них изделий следует применять интенсивную вибрацию или вибрацию с дополнительным прессованием (пригрузом). Возможны также и другие способы уплотнения жестких смесей — трамбование, прессование, прокат.

Подвижные смеси легко и эффективно уплотняются вибрацией. Применение же сжимающих (прессующих) видов уплотнения — прессования, проката, а также и трамбования — для таких смесей непригодно. Под действием значительных прессующих усилий или часто повторяющихся ударов трамбовки смесь будет легко вытекать из-под штампа или разбрызгиваться трамбовкой.

Литые смеси способны уплотняться под действием собственной массы. Для повышения эффекта уплотнения их иногда подвергают кратковременной вибрации.

Таким образом, могут быть выделены следующие способы уплотнения бетонных смесей: вибрирование, прессование, прокат, трамбование и литье. Наиболее эффективным как в техническом, так и в экономическом отношениях является способ вибрирования. Его успешно применяют также в сочетании с другими способами механического уплотнения — трамбованием (виботрамбование), прессованием (вибропрессование), прокатом (вибропрокат). Разновидностью механических способов уплотнения подвижных бетонных смесей является центрифугирование, применяемое при формовании полых изделий трубчатого сечения. Хорошие результаты в отношении получения бетона высокого качества дает вакуумирование смеси в процессе ее механического уплотнения (преимущественно вибрированием), однако значительная продолжительность операции вакуумирования существенно снижает ее технико-экономический эффект и поэтому этот способ мало распространен в технологии сборного железобетона.

Рассмотрим кратко сущность приведенных выше способов уплотнения бетонных смесей.

Вибрирование. Уплотнение бетонной смеси при вибрировании происходит в результате передачи бетонной смеси часто повторяющихся вынужденных колебаний (толчков), в совокупности выражающихся встряхиванием. В каждый момент встряхивания частицы бетонной смеси находятся как бы в подвешенном со-

стоянии и нарушается связь их с другими частицами. При последующем действии силы толчка частицы под собственной массой падают и занимают при этом более выгодное положение, при котором на них в меньшей степени могут воздействовать толчки. Это отвечает условию наиболее плотной их упаковки среди других, что в конечном итоге приводит к получению плотной бетонной смеси. Второй причиной уплотнения бетонной смеси при вибрировании является свойство переходить во временно текучее состояние под действием приложенных к ней внешних сил, которое называется тиксотропностью. Будучи в жидком состоянии, бетонная смесь при вибрировании начинает растекаться, приобретая конфигурацию формы, и под действием собственной массы уплотняться. Третья причина уплотнения бетонной смеси вибрированием определяет высокие технические свойства вибрированного бетона и экономическую эффективность способа виброуплотнения при этом.

Высокая степень уплотнения бетонной смеси вибрированием достигается применением оборудования незначительной мощности. Например, бетонные массивы емкостью несколько кубометров уплотняют вибраторами с мощностью привода всего 1—1,5 кВт.

Способность бетонных смесей переходить во временно текучее состояние под действием вибрации зависит от подвижности смеси и скорости перемещения при этом частиц ее 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.

Скорость v (см/с) колебаний при вибрировании выражают произведением амплитуды A на частоту колебаний n:

$$v = An.$$

При постоянной частоте колебаний вибромеханизма (для большинства виброплощадок равной 3000 кол/мин) изменение скорости колебаний может быть достигнуто изменением величины 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, а сверх которой затраты энергии возрастают в значительно большей степени, чем происходит уплотнение смеси. Дальнейшее уплотнение вообще не дает прирости

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 итоге приведет к неравномерности плотности изделия по сечению и снижению прочности в отдельных частях его.

Естественно, что продолжительное вибрирование невыгодно и в экономическом отношении: возрастают затраты электроэнергии и трудоемкость, снижается производительность формовочной линии.

Интенсивность ($см^2/с^3$) виброуплотнения, выражешая наименьшей продолжительностью вибрирования, зависит также от основных параметров работы вибромеханизма — частоты и амплитуды колебаний, принимаемых с учетом их взаимного сочетания скорости и ускорения колебаний:

$$H = A^2/n^3.$$

Инструкцией по продолжительности и интенсивности вибрации для бетонной смеси повышенной удобоукладываемости рекомендуется интенсивность колебаний — 80—300 $см^2/с^3$, что обеспечивается при частоте 3000 кол/мин амплитудой 0,3—0,5 мм.

Интенсивность виброуплотнения также возрастает, если частота вынужденных колебаний оказывается равной частоте собственных колебаний. В связи с тем что бетонная смесь имеет большой диапазон размеров частиц (от нескольких мкм для цемента до нескольких см для крупного заполнителя) и соответственно различия в частоте их собственных колебаний, наиболее интенсивное уплотнение смеси будет в том случае, когда режим вибрирования характеризуется различными частотами. Так возникло предложение применять поличастотное вибрирование.

Эти факторы следует учитывать для технико-экономической оценки операций формования изделий. Из приведенного вытекает также, что эффективность уплотнения возрастает с увеличением энергии уплотнения (мощности вибромеханизмов), потребная продолжительность уплотнения при этом снижается и производительность формовочной линии повышается. Таким образом, только на основании технико-экономического анализа учета свойств бетонной смеси, производительности формовочной линии можно правильно выбрать мощность виброуплотняющих механизмов.

Значимость экономических знаний в сочетании со знаниями техническими очевидна.

Виброуплотнение бетонной смеси производят переносными и стационарными вибромеханизмами. Применение переносных вибромеханизмов в технологии сборного железобетона ограничено. Их используют в основном при формовании крупноразмерных массивных изделий на стендах.

В технологии сборного железобетона 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 — круговые; направленные (вертикальные, горизонтальные); конструктивными схемами стола — со сплошной верхней рамой, образующей стол с одним или двумя вибрационными валами, и собранные из отдельных виброблоков, в целом представляющих общую вибрационную плоскость, на которой располагается форма с бетонной смесью.

Для прочности крепления формы к столу площадки предусматриваются специальные механизмы — электромагниты пневматические или механические прижимы.

Виброплощадка (рис. 101) представляет собой плоский стол, опирающийся через пружинные опоры 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 электромотора эксцентрики возбуждают вынужденные колебания стола виброплощадки, передающиеся затем форме с бетонной смесью, в результате происходит ее уплотнение.

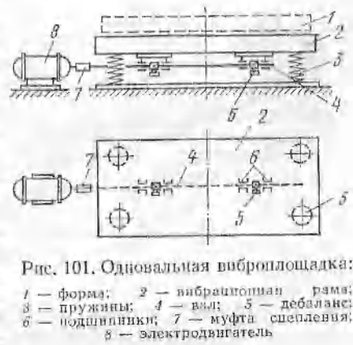


Рис. 101. Одновальная виброплощадка:
1 — форма; *2* — вибрационная рама; *3* — пружины; *4* — вал; *5* — дебаланс; *6* — подшипники; *7* — муфта сцепления; *8* — электродвигатель

Мощность виброплощадки оценивается ее грузоподъемностью (масса изделия вместе с формой), которая составляет 2—30 т.

Прессование — редко применяемый способ уплотнения бетонной смеси в технологии сборного железобетона, хотя по техническим показателям отличается большой эффективностью, позволяя получать бетон особо высокой плотности и прочности при минимальном расходе цемента (100—150 $кг/м^3$ бетона). Распространению способа прессования препятствуют исключительно экономические причины. Прессующая величина давления, при которой бетон начинает эффективно уплотняться, 10—15 МПа и выше. Таким образом, для уплотнения изделия на каждый 1 $м^2$ его следует приложить нагрузку, равную 10—15 МН. Прессы такой мощности в технике применяют, например, для прессования корпусов судов, но стоимость их оказывается столь высокой, что полностью исключает экономическую целесообразность использования таких прессов для уплотнения бетона крупноразмерных железобетонных изделий. По этим причинам способ

прессования применяют только при формовании штучных изделий небольшого размера, например силикатного кирпича.

В технологии сборного железобетона прессование используют как дополнительное приложение к бетонной смеси механической нагрузки при ее вибрировании. В этом случае потребная величина прессующего давления не выходит за пределы (500—1000 Па). Технически такое давление достигают под действием статически приложенной нагрузки в результате принудительного перемещения отдельных частиц бетонной смеси и их более компактного расположения при этом.

Различают прессование штампами плоскими и профильными. Последние передают свой профиль бетонной смеси. Так формуют лестничные марши, некоторые виды ребристых панелей. В последнем случае способ прессования называют еще штампованием.

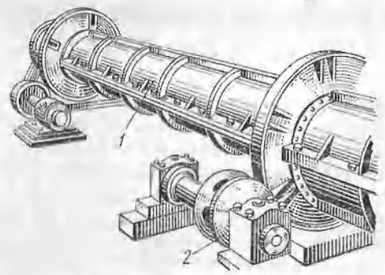


Рис. 102. Центрифуга для изготовления труб:
1 — форма; *2* — опорные ролики

Разновидностью прессования является **прокат**. В этом случае прессующее давление передается бетонной смеси только через небольшую площадь катка, что соответственно сокращает потребность в давлении прессования. Но здесь особую значимость приобретают пластические свойства бетонной смеси, связность ее массы. При недостаточной связности будет происходить сдвиг смеси прессующим валком и разрыв ее.

Центрифугирование. Уплотнение бетонной смеси центрифугированием происходит в результате центробежных сил, возникающих в ней при вращении. Для этой цели применяют центрифуги (рис. 102), представляющие собой форму трубчатого сечения, которой в процессе уплотнения придается вращение до 600—1000 об/мин. Загруженная в форму бетонная смесь (обязательно подвижной консистенции) под действием центробежных сил, развивающихся при вращении, прижимается к внутренней поверхности формы и уплотняется при этом. В результате различной объемной массы твердых компонентов бетонной смеси и воды из бетонной смеси при центрифугировании удаляется до 20—30% воды, что существенно способствует получению бетона высокой плотности.

Способ центрифугирования сравнительно легко позволяет получать изделия с бетоном высокой плотности, прочности 40—60 МПа и долговечности. К недостаткам этого способа следует отнести значительную потребность в цементе (400—450 кг/м^3), для получения бетонной смеси высокой связности. Иначе произойдет расслоение смеси под действием центробежных сил на мелкие и крупные зерна, так как последние с большой силой будут стремиться прижаться к поверхности формы.

Способом центрифугирования формуют трубы, опоры линий электропередач, стойки под светильники.

Вакуумирование. При вакуумировании в бетонной смеси создается разрежение до 0,07—0,08 МПа и воздух, вовлеченный при ее приготовлении и укладке в форму, а также немного воды, удаляются из бетонной смеси под действием этого разрежения; освободившиеся при этом места занимают твердые частицы, и бетонная смесь приобретает повышенную плотность. Кроме того, наличие вакуума вызывает прессующее действие на бетонную смесь атмосферного давления, равное величине вакуума. Это также способствует уплотнению бетонной смеси.

Вакуумирование сочетается, как правило, с вибрированием. В процессе вибрирования бетонной смеси, подвергнутой вакуумированию, происходит интенсивное заполнение твердыми компонентами пор, образовавшихся при вакуумировании на месте воздушных пузырьков и воды. Однако вакуумирование в техническом отношении имеет важный технико-экономический недостаток, а именно: большую продолжительность процесса — 1—2 мин на каждый 1 см толщины изделия в зависимости от свойств бетонной смеси и величины сечения. Толщина слоя, которая может быть подвергнута вакуумированию, не превышает 12—15 см. Вследствие этого вакуумированию подвергают преимущественно массивные конструкции для придания поверхностному слою их особо высокой плотности. В технологии сборного железобетона вакуумирование практически не находит применения.

§ 3. Армирование железобетонных изделий

В заводском производстве на долю арматуры приходится около 20% себестоимости железобетонных изделий, поэтому вопросы организации арматурных работ на заводах сборного железобетона являются важнейшими и в техническом, и в экономическом отношениях.

Различают армирование железобетонных изделий ненапряженное (обыкновенное) и предварительно напряженное. Операции армирования и виды арматуры, применяемые при каждом из этих способов армирования, имеют ряд принципиальных отличий.

Ненапряженное армирование осуществляется при помощи плоских сеток и пространственных (объемных) каркасов, изготовленных из стальных стержней различного диаметра, сваренных между собой в местах пересечений. В железобетоне различают арматуру несущую (основную) и монтажную (вспомогательную). Несущая арматура располагается в местах изделия,

в которых под нагрузкой возникают растягивающие напряжения, арматура воспринимает их. Монтажная арматура располагается в сжатых или ненапряженных участках изделия. Кроме этих видов арматуры, применяют петли и крюки, необходимые при погрузочных работах, а также закладные части, крепления и связи сборных элементов между собой.

Наименьшие трудовые затраты на армирование изделий и конструкций будут при применении арматурных каркасов наибольшей степени готовности, т. е. состоящих не только из основной арматуры, но и вспомогательной с приваренными петлями, крюками, закладными деталями. В этом случае операции по армированию сводится к установке готового арматурного каркаса в форму и его закреплению.

Арматурные сетки и каркасы изготовляют в арматурном цехе, оборудованном резательными, гибочными и сварочными аппаратами. Процесс производства строится по принципу единого технологического потока, начиная от подготовки арматурной стали до получения готового изделия.

Арматурные сетки и каркасы изготовляют в соответствии с рабочими чертежами, в которых указана длина и диаметр стержней, их количество, расстояние между ними, места приварки закладных деталей, расположения монтажных петель. При установке и раскреплении каркасов в форме необходима высокая точность, так как от этого зависит величина защитного слоя бетона в изделии, иначе может возникнуть коррозия арматурной стали.

Изготовление ненапрягаемой арматуры. Стержневую арматурную сталь диаметром до 10 мм поставляют на завод в мотках (бунтах), а диаметром от 10 мм и более — в прутках длиной 6—12 м или мерной длины, оговариваемой в заказах. Арматурную проволоку поставляют в мотках, причем каждый моток состоит из одного отрезка проволоки.

Изготовление 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 приварки монтажных петель, закладных частей, фиксаторов.

Подготовка арматуры, поступающей на завод в мотках и бунтах, заключается в их размотке, выпрямлении (правке), очистке и разрезке на отдельные стержни заданной длины. Правку и резку арматурной стали осуществляют на правильно-отрезных станках-автоматах.

Прутковую арматурную сталь разрезают на стержни заданной длины, а также стыкуют сваркой в целях уменьшения отходов прутковой арматуры, если длина арматурных элементов не соответствует длине товарной продукции. Стыкуют стержни посредством компактной стыковой электросварки и только в отдельных случаях при использовании стержней больших диамет-

ров 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.

При изготовлении монтажных петель, хомутов и других фигурных элементов арматуры прутковую и проволочную арматурную сталь после разрезки подвергают гнутью.

Сборку сеток и каркасов из стальных арматурных стержней производят посредством точечной контактной электросварки.

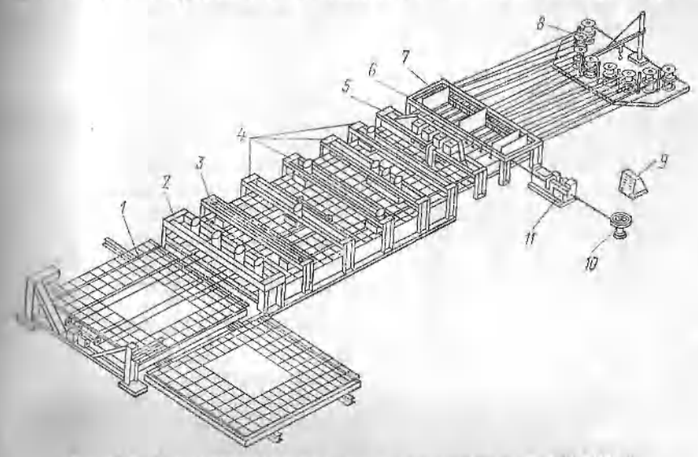


Рис. 103. Автоматизированная линия для сварки широких сеток:

1 — передвижной приемный стол сеток; *2* — устройство для приварки и изгиба фиксаторов; *3* — агрегат для приварки закладных деталей; *4* — устройства для вырубки отверстий; *5* — пневматические ножницы; *6* — сварочная машина МТМС 18×75; *7* — механизм подачи продольной арматуры; *8* — бунтодержатели с консольным краном; *9* — стыковая сварочная машина; *10* — бунтодержатель для поперечной арматуры; *11* — станок для правки и резки арматуры

Сущность ее заключается в следующем. При прохождении электрического тока через два пересекающихся стержня в местах их контакта электрическое сопротивление оказывается наибольшим, стержни в этом месте разогреваются и, достигнув пластического состояния металла, свариваются между собой. Прочной сварке способствует также сильное сжатие стержней между собой. Процесс точечной сварки может длиться доли секунды при применении тока силой в несколько десятков тысяч ампер.

Точечную сварку осуществляют при помощи специальных сварочных аппаратов. Они отличаются 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 полуфабриката для изготовления пространственных каркасов.

На рис. 103 приведена автоматическая линия для сварки широких сеток. В состав линии входят групповые бухтодержатели продольной и поперечной подачи, правильные устройства, сварочная машина МТМС с отрезным устройством. В линии предусмотрена электромагнитная система программирования подачи поперечных и дополнительных продольных стержней, пневматические ножницы для поперечной резки сетки, посты для приварки закладных деталей и устройства для фиксаторов.

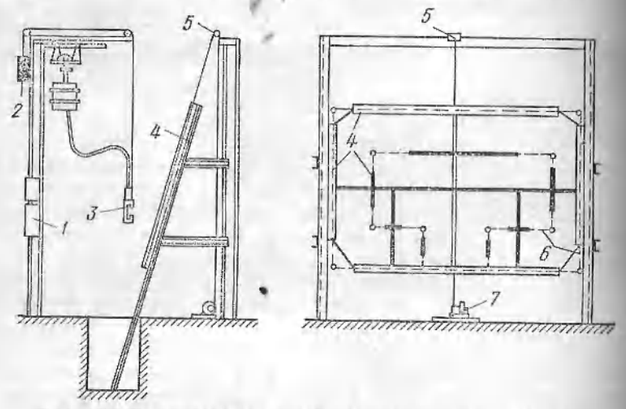


Рис. 104. Кондуктор для сварки пространственных каркасов:

1 — пульт управления; *2* — противовес; *3* — сварочные клещи; *4* — кондуктор; *5* — блок; *6* — свариваемый каркас; *7* — лебедка

Поточное выполнение всех операций по изготовлению арматурных сеток на одной технологической линии значительно снижает трудоемкость процесса по сравнению с доработкой сеток на кондукторах, выполняемой обычно вручную.

Изготовление пространственных арматурных каркасов производят в основном из плоских сеток, соединяемых между собой на специальных сварочных машинах. Сборка каркасов может производиться в горизонтальном и вертикальном положениях.

Для удобства соединения узлов клещами для точечной сварки применяют вертикальный кондуктор (рис. 104). Плоские элементы арматуры укладывают между штырями кондуктора, которыми они удерживаются в требуемом положении. Сварочные клещи подвешены на поворотной консоли, и кондуктор с арматурой можно перемещать вверх и вниз с помощью лебедки.

Некоторые узлы кондуктора соединены между собой болтами. Это позволяет применять один и тот же кондуктор для сборки

различных арматурных каркасов, закрепляя его элементы в соответствии с размером собираемого каркаса.

При необходимости (например, для ребристых плит и т. д.) плоские сетки и каркасы можно гнуть по размеру на специальных гибочных станках.

Напряженное армирование. При изготовлении предварительно напряженных изделий необходимо создать в бетоне по всему сечению или только в зоне растягивающих напряжений предварительное обжатие, величина которого превышает напряжение растяжения, возникающее в бетоне при эксплуатации. Обычно предварительное обжатие бетона достаточно — 5—6 МПа, а при изготовлении железобетонных напорных труб — 10—12 МПа. Обжатие бетона, как отмечалось выше, осуществляют силами упругого последствия натянутой арматуры. Этого достигают силами сцепления арматуры с бетоном или при помощи анкерных устройств.

Для обеспечения обжатия бетона применяемая арматурная сталь должна находиться в пределах упругих деформаций и не превышать 85—90% от предела текучести стали, а для углеродистых сталей, не имеющих четко выраженного предела текучести, 65—70% от предела прочности на разрыв.

В качестве основной напрягаемой арматуры применяют проволочную и прутковую арматурные стали, а в качестве вспомогательной ненапрягаемой арматуры, если она имеет место 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 в нескольких направлениях. Можно навивать проволоку и на готовое изделие с последующей защитой арматуры слоем бетона.

Натяжение арматуры производят различными способами: механическим, электротермическим, а также химическим при применении расширяющегося цемента.

Арматурные элементы, применяемые в конструкциях, состоят из собственно арматуры, устройств для закрепления арматуры при натяжении и приспособлений для обеспечения проектного расположения отдельных стержней и проволок, из которых комплектуется арматурный элемент. Конструкция устройств для закрепления арматуры связана с технологией изготовления арматурного элемента, типом натяжных машин и приспособлений. Применяют два вида этих устройств — зажимы и анкеры. В свою очередь зажимы и анкеры подразделяются по способу закрепления арматуры на клиновые, плоские, конические, волновые, петлевые, резьбовые, шпоночные и глухие анкеры, в которых концы арматурных пучков опрессовываются в обойме из мягкой стали или бетонируются в металлических станках. Все приведенные устройства, за исключением резьбовых, применяют для

закрепления как круглых стержней, так и стержней периодического профиля.

Для захвата и закрепления стержневой арматуры применяют наконечники с винтовой нарезкой или различные клиновые сухари с профилем, обратным профилю натягиваемой арматуры. Прогрессивной конструкцией зажимных устройств являются групповые зажимы, применяемые при предварительной механизированной сборке проволочных пакетов. Зажимы применяют для закрепления каждого стержня, пити 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: 1) посредством сцепления арматуры диаметром 2,5—3 мм с бетоном; при большем диаметре арматуры сцепление обеспечивается путем устройства вмятин на поверхности проволоки или свивкой прядей из 2—3 проволок либо применением арматуры периодического профиля; 2) посредством сцепления арматуры с бетоном, усиленного анкерными устройствами; 3) посредством передачи усилий натяжения на бетон через анкерные устройства на концах арматурного элемента без учета сцепления арматуры и бетона.

Способы натяжения арматуры. При *механическом способе* натяжения арматура растягивается осевой нагрузкой, создаваемой домкратами в следующем порядке. Сначала арматуру натягивают до усилия, равного 50% проектного напряжения, при этом производят осмотр зажимных устройств и расположения арматуры. Затем натяжение арматуры доводят до величины, превышающей на 10% проектное натяжение, но не более 75% 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 по времени отпуска арматуры составляет обычно 70% проектной прочности.

Отпуск натяжения на стендах осуществляют постепенно в 2—3 этапа. Разрезку натянутых проволок при невозможности постепенного отпуска натяжения производят симметрично относительно оси поперечного сечения с числом одновременно разрезаемых проволок не более 10—15% от общего числа проволок.

Электротермический способ натяжения арматуры не требует дорогостоящего оборудования (домкратов) и менее трудоемок. Электротермический способ применяют для натяжения стерж-

невой арматурной стали класса A-IV, а также упрочненной вытяжкой стали класса A-IIIв, проволочной и прядевой арматуры из высокопрочной стальной проволоки, холоднотянутой, периодического профиля диаметром 4—5 мм и семипроволочных стальных прядей.

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 (рис. 105) для электронагрева стержневой арматуры

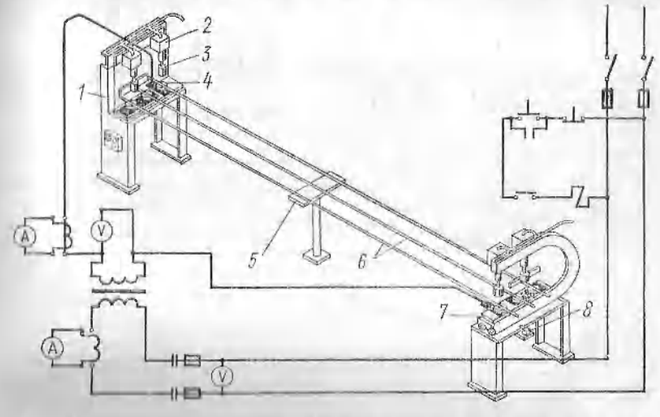


Рис. 105. Установка для электронагрева стержневой арматуры вне формы:
1 — неподвижная опора; *2* — пневмоцилиндр; *3* — прижимная губка; *4* — токоподводящая губка; *5* — средняя опора; *6* — нагреваемые стержни; *7* — подвижная опора; *8* — конечный выключатель

вне формы можно производить нагрев 3—4 арматурных стержней 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: токоподводящую и прижимную. Нагрев стержней контролируется по их удлинению автоматически. Нагретые стержни с установки снимаются и укладываются в упоры форм, которые препятствуют укорочению стержня при его охлаждении. После бетонирования конструкции и отвердения бетона арматуру освобождают от упоров и усилие натяжения арматуры передается на бетон.

Непрерывное механическое и электромеханическое натяжения арматуры сводятся к тому, что проволока, предварительно напряженная до заданной величины, укладывается на поддон формы в соответствии с принятой схемой армирования. Фиксация натянутой проволоки производится навивкой ее вокруг

штырей, расставленных по периметру поддона или стенда. Усилие от натяжения арматуры передается через штыри на стенд или форму впредь до отвердения бетона в изделии. После достижения бетоном необходимой прочности проволока обрезается и усилие натяжения передается с арматуры на бетон. Арматура может располагаться в продольном или поперечном направлениях по отношению к оси изделия, перекрестно или диагонально. Бетон в изделии получает двух-, трехосное и даже объемное предварительное обжатие.

Преимуществом непрерывного армирования является возможность комплексной механизации и автоматизации техноло-

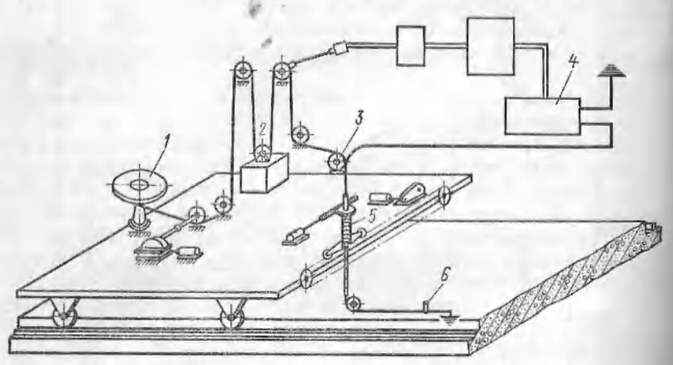


Рис. 106. Схема машины ДН-7 для электротермомеханического натяжения арматуры:

1 — бунт проволоки; *2* — натяжная станция; *3* — роликовый контакт; *4* — трансформатор с блоком усилителей тока; *5* — пиноль; *6* — штырь на стенде

гического процесса. Непрерывная навивка и натяжение проволоки производятся на нескольких типах машин: с поворотным столом-платформой, с поворотной траверсой, с продольно-поперечным перемещением каретки и неподвижным поддоном (контуром), с возвратно-поступательным движением каретки и вращающимся сердечником или контуром. Основными узлами каждой из этих машин являются: узел для размотки бухт и подачи проволоки с заданным натяжением; узел для перемещения поддона или подающего ролика; узел для укладки проволоки на штыри или на сердечник по заданной схеме.

На рис. 106 представлена схема машины ДН-7 с продольно-поперечным движением каретки для непрерывной навивки проволочной арматуры при стендовом изготовлении напряженно-армированных конструкций. Навивка арматуры производится при возвратно-поступательном движении навивочной машины ДН-7, перемещающейся по рельсовым путям стенда вдоль линии формования со скоростью 30—40 м/мин, и возвратно-посту-

пательном перемещении в поперечном направлении к оси стенда примерно с такой же скоростью каретки со шпинделем. Шпиндель имеет на конце полноповоротную пиноль, через которую проволока выдается на стенд. Анкеровка натянутой проволоки производится на штырях, установленных по периметру стенда (вне зоны бетонирования). В навивочных машинах от усилий натяжения имеют место частые обрывы проволоки. Для предупреждения обрывов на определенном участке прохождения проволока нагревается электрическим током, для чего машина снабжается трансформатором. При этом не только предупреждается обрыв проволоки, но и уменьшается работа по натяжению арматуры.

§ 4. Формование железобетонных изделий

Общие вопросы организации формования. Задача технологического комплекса формования изделий состоит в получении плотных изделий заданных формы и размеров, что обеспечивается применением соответствующих форм, а их высокая плотность достигается уплотнением бетонной смеси. Комплекс технологических операций процесса формования может быть условно разделен на две группы: первая включает операции по изготовлению и подготовке форм (очистке, смазке, сборке), вторая — уплотнение бетона изделий и получение их заданной формы. Не менее важны при этом и транспортные операции, стоимость которых в общих затратах может достигать 10—15%, а в отдельных случаях технико-экономический анализ возникающих при данной технологической схеме формования транспортных операций определяет организацию технологического процесса в целом. Наиболее характерным в данном случае является изготовление крупноразмерных особо тяжелых изделий — балок, ферм, пролетных строений мостов, когда по причине значительных затрат на их перемещение изготовление таких изделий организуют на одном месте, т. е. принимают стендовую схему организации процесса.

В общем технологическом комплексе изготовления железобетонных изделий операции формования и ускоренного твердения бетона занимают центральное и определяющее место. Все другие операции — приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры — являются в какой-то степени подготовительными и могут выполняться вне площадки данного предприятия железобетонных изделий; бетонная смесь может быть получена централизованно с бетонного завода, арматурные изделия — с центральной арматурной мастерской района. Завод железобетонных изделий, на который бетонная смесь и арматура поступают со стороны, отличается выгодными технико-экономическими показателями. Стоимость и бетонной смеси, и арматуры будет значительно ниже, чем при изготовлении их на заводе железобетонных изделий, так как мощность бетоносмесительных и арматурных

цехов централизованного назначения во много раз выше, чем потребность в мощности этих же цехов одного завода железобетонных изделий. А если выше мощность, то и более совершенной может быть организация технологического процесса. В таких условиях оказывается выгодным применение автоматических линий, высокопроизводительного оборудования, существенно повышающих производительность труда, снижающих стоимость продукции, улучшая одновременно ее качество.

Однако подавляющее большинство заводов железобетонных изделий отказывается от такой рациональной организации технологического процесса из-за возможного нарушения в доставке необходимых полуфабрикатов, тем более что создать запас бетонной смеси более чем на 1,5—2 ч работы формовочных линий невозможно — бетонная смесь начнет твердеть.

Формы и смазочные материалы для них. Для изготовления железобетонных изделий применяют формы деревянные, стальные и железобетонные, а иногда металложелезобетонные. Следует отметить, что вопрос выбора материала форм весьма принципиален как в техническом, так и в экономическом отношениях. Потребность в формах завода сборного железобетона огромна. Объем форм на большинстве заводов должен быть не менее объема выпускаемых заводом изделий в течение суток при искусственном твердении и в 5—7 раз больше при естественном их вызревании. В ряде случаев потребность в формах определяет общую металлоемкость производства (массу единицы металла к единице выпускаемой продукции), существенно влияющую на технико-экономические показатели предприятия в целом. При этом следует иметь в виду также, что формы работают в наиболее тяжелых технологических условиях; они систематически подвергаются сборке и разборке, очистке приставшего к ним бетона, динамическим нагрузкам при уплотнении бетонной смеси и транспортировании, действию паровой среды в период твердения изделий. Все это неизбежно отражается на продолжительности их службы и требует систематического пополнения парка форм.

Если иметь в виду единовременные затраты на организацию завода железобетонных изделий, то деревянные формы оказываются наиболее выгодными. Однако срок службы их и качество изделий, получаемых в таких формах, невысок. Оборачиваемость деревянных форм в производстве не превышает десяти, после чего формы теряют необходимую жесткость, нарушаются их размеры и конфигурация формовочной емкости. Срок службы металлических форм в несколько раз выше деревянных и, таким образом, эксплуатационные затраты при использовании металлических форм в конечном итоге оказываются ниже, чем при использовании деревянных, хотя и высоки первоначальные затраты. Но это справедливо для организации массового выпуска однотипных железобетонных изделий. При изготовлении же изделий одного типоразмера в небольшом объеме целесообразным

может оказаться применение именно деревянных форм как более дешевых; изготовление их возможно непосредственно на заводе железобетонных изделий. Таким образом, и в данном случае необходим технико-экономический анализ, результаты которого позволят выбрать рациональное решение.

Металлические формы наиболее характерны для специализированных предприятий сборного железобетона. Долговечность, точность размеров, простота сборки и разборки, высокая жесткость, исключающая деформацию изделий в процессе изготовления и транспортирования,— вот те достоинства металлических форм, определившие их широкое применение. Недостатки металлических форм заключаются в том, что они существенно повышают металлоемкость предприятия, ухудшая этим технико-экономические показатели проекта.

Удельная металлоемкость форм зависит от вида формуемых в них изделий и схемы организации процесса формования. Наибольшая металлоемкость при стендовом способе. При формовании изделий на плоских стендах удельная металлоемкость составляет 300—500 кг массы металла форм на каждый 1 м³ объема изделия. При изготовлении изделий в перемещаемых формах по поточно-агрегатной технологии металлоемкость составляет в среднем 1000 кг/м³ для плоских изделий (панелей, настилов), 2000—3000 кг/м³ — для изделий сложного профиля (лестничных маршей и площадок, балок и прогонов таврового сечения, ребристых панелей). Наибольшей металлоемкостью форм отличается организация процесса формования по конвейерной схеме, при которой изделия формуются на вагонетках-поддонах. Металлоемкость форм в этом случае достигает 7—8 тыс. кг металла на каждый 1 м³ формуемого в них изделия, т. е. масса формы в 3 и более раз превышает массу изделия в форме. Этот технико-экономический показатель является важной характеристикой при проектировании завода с конвейерной технологией.

Металложелезобетонные формы, мало еще распространенные, занимают промежуточные технико-экономические показатели: первоначальные затраты на их изготовление оказываются не ниже, чем металлических, но они отличаются в 1,5—2 раза большей массой, что сказывается на транспортных расходах. Достоинство металложелезобетонных форм заключается в том, что они позволяют сократить в 2—3 раза затраты металла на изготовление формы. Металл в этом случае расходуется только на бортовую оснастку формы, тогда как поддон, отличающийся наибольшей металлоемкостью (он должен иметь высокую жесткость), изготовляется железобетонным.

Независимо от материала к формам предъявляются следующие общие требования: обеспечение необходимых форм и размеров изделий и сохранность их в процессе всех технологических операций; минимальная масса по отношению к единице массы изделия, что достигается рациональной конструкцией форм;

простота и минимальная трудоемкость сборки и разборки формы, высокая жесткость и способность сохранить свою форму и размеры при динамических нагрузках, неизбежно возникающих при транспортировании, распалубке изделий и сборке форм.

Особую значимость для качества изделий и сохранности форм имеют правильный выбор смазочных материалов, препятствующих сцеплению бетона с материалом формы. Смазка должна хорошо удерживаться на поверхности формы в процессе всех технологических операций, обеспечивать возможность ее механизированного нанесения (распылением), полностью исключать сцепление бетона изделия с формой и не должна портить внешнего вида изделий. Этим требованиям в значительной степени удовлетворяют смазочные материалы следующих составов: масляные эмульсии с добавкой кальцинированной соды; масляные смазки — смесь солярового (75%) и веретенного (25%) масел или машинного масла (50%) и керосина (50%); мыльно-глиняные, мыльно-цементные и другие водные суспензии тонкодисперсных материалов, например, мела, графита.

Особенности формования и изготовления изделий различными способами. *Формование изделий* при *стендовом способе*, т. е. в неперемещаемых формах, осуществляется на плоских стендах, в матрицах и кассетах. Плоский стенд представляет собой бетонную гладкую отшлифованную площадку, разделенную на отдельные формовочные линии. В тело бетона закладывают отопительные приборы в виде труб, по которым пропускают пар, горячую воду или в них располагают электроспирали. Перед формованием на стенде собирают переносные формы, в которые после их смазки укладывают арматуру и подают бетонную смесь посредством бетоноукладчика, перемещающегося по рельсам над каждой линией. По способу организации работы плоские стенды делят на протяжные, пакетные и короткие.

Протяжные стенды получили такое название потому, что стальная проволока, сматываемая с бухт, расположенных в торце стенда, с помощью крана или специальной тележки протягивается по линии формования к противоположному торцу стенда, где закрепляется на упорах (рис. 107). Эти стенды используют для изготовления длинномерных изделий с большим поперечным сечением и имеющих большую высоту, а также для изготовления изделий, армированных стержневой арматурой. В настоящее время наиболее механизированным является стенд типа ГСИ (6242), расположенный в неглубоком лотке. Изготовление изделий на этом стенде осуществляется следующим образом. Бухты с проволокой располагают в створе формуемых изделий, а концы проволок с помощью клиньев закрепляют в захватах, установленных на специальных тележках. Затем с помощью крана или лебедки, установленной на противоположном конце стенда, тележка перемещается, увлекая за собой разматывающуюся с бухт проволоку. В конце стенда захват

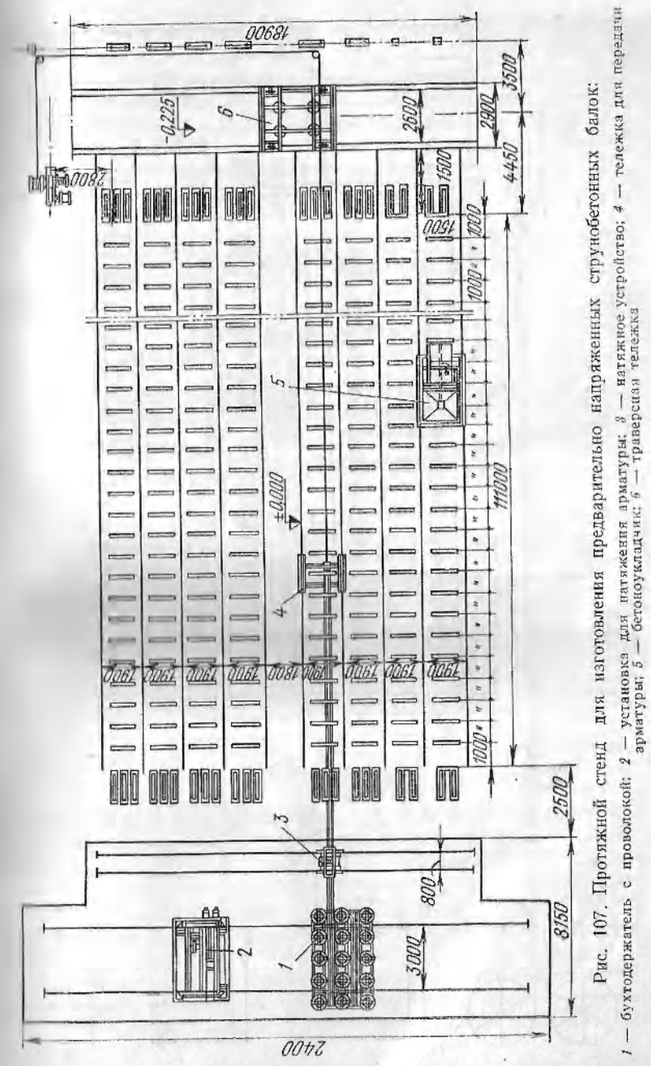


Рис. 107. Протяжной стенд для изготовления предварительно напряженных струнобетонных балок:
1 — бухтодержатель с проволокой; *2* — установка для натяжения арматуры; *3* — натяжное устройство; *4* — тележка для передачи арматуры; *5* — бетоноукладчик; *6* — траверсная тележка

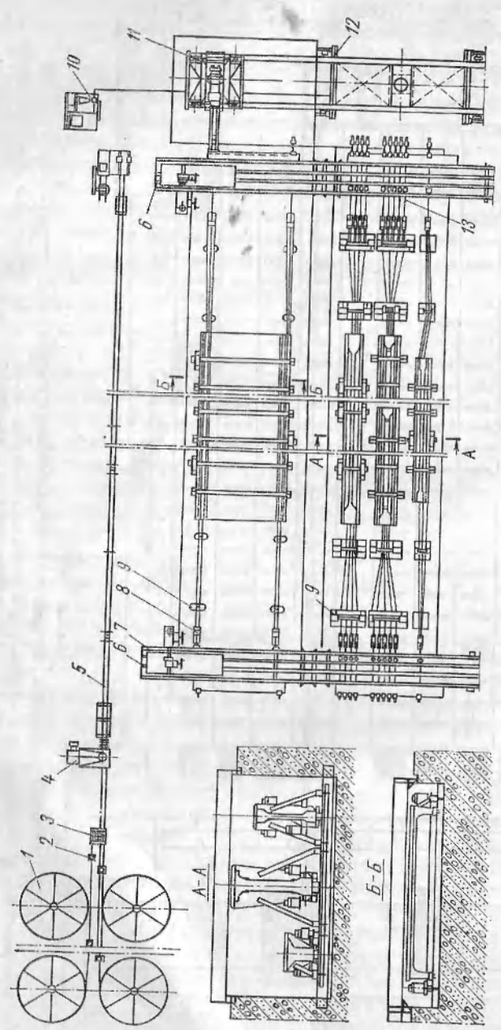


Рис. 108. Пакетный стенд типа 6248:

1 — катушка бухтодержателя; *2* — направляющий ролик; *3* — тормозное устройство; *4* — гидравлический пресс; *5* — конвейер протягивания; *6* — тележка для транспортирования пакетов; *7* — упорные конструкции стенда; *8* — натяжные устройства (захваты); *9* — распределительная диафрагма; *10* — насосная станция; *11* — натяжная машина; *12* — напрягаемая арматура; *13* — формы с изделиями

вместе с арматурными проволоками снимают и закрепляют на упорах.

Натяжение арматуры (от 2 до 10 проволок одновременно) осуществляют с помощью домкратов, после этого производят укладку и уплотнение бетонной смеси. Способ уплотнения выбирают в зависимости от вида формуемых изделий: поверхностными, глубинными и навесными вибраторами. После уплотнения бетонной смеси изделие укрывают, подают пар и производят тепловлажностную обработку по заданному режиму.

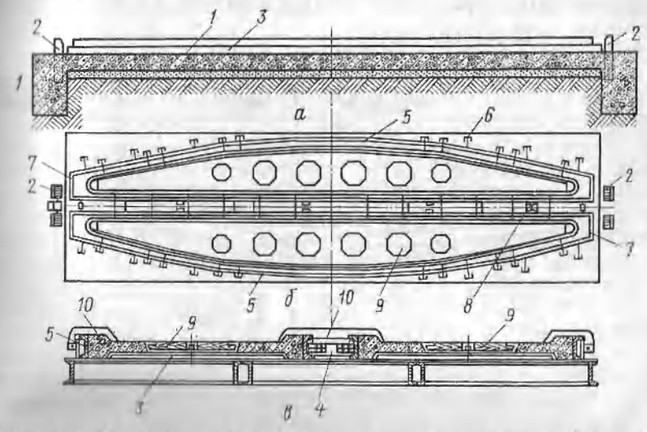


Рис. 109. Стендовая силовая форма для изготовления железобетонных балок длиной 18 м:

а — разрез по основанию стенда; *б* — план; *в* — поперечный разрез; *1* — железобетонный стенд; *2* — торцевые упоры; *3* — поддон с коробами для образования проемов в полке балок; *4* — разделительный съемный вкладыш между двумя балками; *5* — бортовая опалубка; *6* — винты для передвижения и раскрепления бортоснастки; *7* — торцевые борта формы; *8* — стенд для электронагрева арматурных стержней; *9* — вкладыши для образования проемов; *10* — шарнирные съемные рамки (ваймы)

Пакетные стенды (рис. 108) отличаются от протяжных тем, что проволочная арматура собирается в пакеты (пучки) на специальных пакетных столах или установках. Далее концы проволок закрепляют с помощью специальных зажимов, пакет переносят на линию стенда и закрепляют на упорах. Дальнейшие операции изготовления изделий на пакетных стендах оказываются теми же, что и на протяжных стендах. Пакетные стенды используют для изготовления изделий с небольшим поперечным сечением, а также для изделий, изготовляемых из отдельных элементов с последующим натяжением арматуры на затвердевший бетон.

Короткий стенд состоит из отдельных стационарных формовочных постов в виде силовых форм (рис. 109), предназначенных

для изготовления предварительно напряженных железобетонных ферм, балок и других конструкций для промышленного строительства. Короткие стенды могут быть одноярусными, когда формование изделий осуществляется по высоте в один ряд, и многоярусными (пакетными), когда формование изделий осуществляется в несколько рядов по высоте. Вся технология изготовления изделий: подготовка стенда, натяжение арматуры, укладка и уплотнение бетонной смеси, тепловлажностная обработка и, наконец, распалубка изделий, осуществляются теми же методами, что и при изготовлении изделий на длинных стендах.

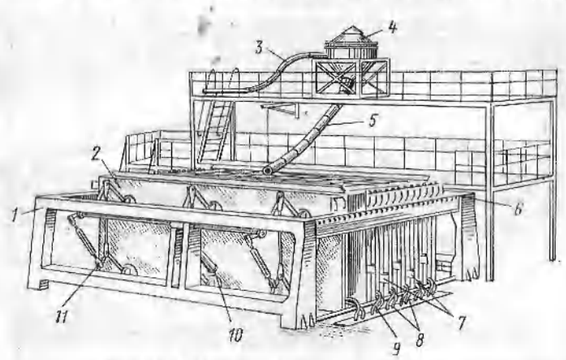


Рис. 110. Кассетно-формовочная машина:

1 — рама; *2* — упоры для обжатия кассеты; *3* — бетонопровод; *4* — гаситель (циклон) для бетонной смеси; *5* — гибкий шланг для загрузки смеси в формы; *6* — роликовые опоры разделительных стенок; *7* — навесные вибраторы; *8* — вертикальные разделительные стенки кассеты; *9* — подводка пара в тепловые отсеки; *10* — гидроцилиндр для привода распорных рычагов; *11* — рычажная система для сборки и разборки кассет

Однако преимуществом короткого пакетного стенда по сравнению с длинным является более полное использование производственной площадки цеха.

При кассетном способе формование и твердение изделий осуществляются в неподвижной вертикальной форме-кассете (рис. 110). Кассета представляет собой ряд отсеков, образованных стальными или железобетонными вертикальными стенками. В каждом отсеке формуется одно изделие. Таким образом, количество изделий, одновременно формуемых в кассете, соответствует числу отсеков. Это существенно повышает производительность труда, а изготовление изделий в вертикальном положении резко сокращает производственные площади, что является важнейшим преимуществом кассетного способа. Бетонную смесь подают к кассетной установке насосом по бетоноводу, а затем через гаситель по гибкому шлангу в отсек, в который заранее укладывают арматуру. Уплотнение смеси производят навесными

с глубинными вибраторами. Кассета имеет специальные паровые рубашки для обогрева изделий в период их температурно-влажностной обработки. Для этой цели можно использовать и отдельные отсеки. Применяют также электропрогрев изделий. По достижении бетоном заданной прочности стенки отсеков кассеты несколько раздвигаются механизмом, и изделие краном извлекается из кассеты.

При поточно-агрегатном способе укладку арматуры и бетонной смеси в форму и уплотнение смеси производят на одном технологическом посту, а твердение изделий — в специальных тепловых аппаратах (пропарочных камерах или автоклавах). При этом способе общий технологический процесс расчленяется по операциям (рис. 111). Собранную смазанную форму с уложенной в нее арматурой устанавливают на виброплощадку, бетоноукладчиком заполняют бетонную смесь и включают виброплощадку. Отформованное изделие вместе с формой краном переносят в пропарочную камеру, а затем, после осмотра ОТК, на тележке вывозят на склад. Бетонная смесь из бетоносмесительного отделения к бетоноукладчикам поступает по эстакаде. На каждой линии, обозначенной на рисунке римскими цифрами, дополнительно предусмотрены посты отделки изделий, укладки арматуры, распалубки форм, их очистки и смазки. Отдельные посты могут быть объединены, а пост отделки изделий перенесен к месту распалубки.

Конвейерный способ в отличие от поточно-агрегатного отличается большой расчлененностью технологических операций по отдельным специализированным постам. Всего таких постов на конвейерной линии до девяти: распалубка изделий, чистка и смазка форм, осмотр форм, укладка арматуры и закладных деталей, укладка бетонной смеси, уплотнение бетонной смеси, выдержка изделий перед тепловой обработкой (рис. 112). Формование изделий при конвейерном способе производят на вагонетках-поддонах, оснащенных специальной оснасткой, образующей стенки формы. Размер поддона 7×4,5 м, что позволяет одновременно формовать одно изделие площадью 6,8×4,4 м или несколько изделий равновеликой площади путем установки на поддоне разделительных деталей.

В процессе выполнения операций формовочного комплекса вагонетка посредством толкателя ритмично через каждые 12—15 мин перемещается от поста к посту по специально проложенным путям. Сформованное изделие подвергается затем пропариванию в камере непрерывного действия, имеющей несколько прусов по высоте. Подъем изделий с формой на верхние ярусы и спуск их после окончания тепловлажностной обработки осуществляются специальными подъемниками (снижателями), установленными со стороны загрузки и разгрузки камер.

Управление перемещением вагонеток производится оператором дистанционно с пульта управления. При этом способе предусматривается также, что большинство операций формования

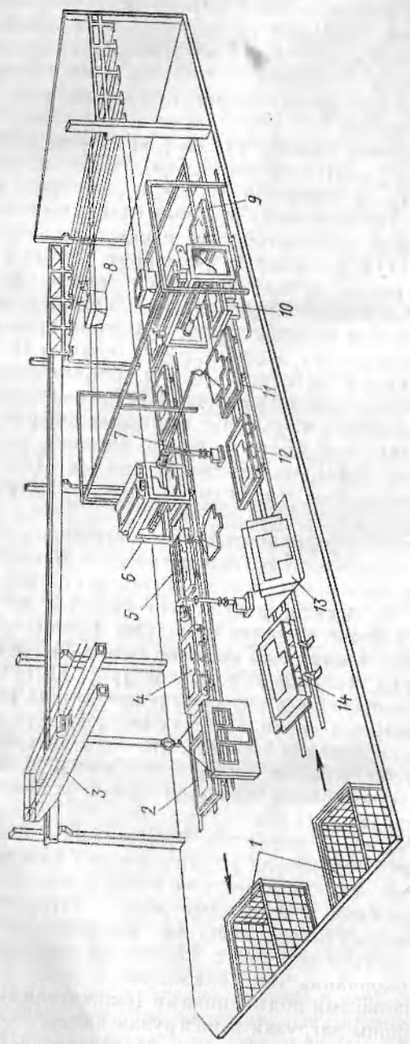


Рис. 111. Схема агрегатно-поточного способа производства железобетонных изделий:

1 — ямные пропарочные камеры; *2* — технический контроль, строповка формы для отправки в пропарочную камеру; *3* — мостовой кран; *4* — доводка и комплектация панели; *5* — обнаружение фактуры цветного раствора; *6* — нанесение декоративного слоя; *7* — кран-укосина с прижимным щитом; *8* — самоходные тележки для раздачи бетонной и растворной смесей; *9* — передача формы с панелью на траверсную тележку; *10* — заполнение формы легким бетоном и уплотнение на виброплощадке с прогрузом; *11* — заполнение формы арматурным каркасом, закладными деталями, столярным блоком и установка прижимного щита; *12* — чистка и смазка формы; *13* — съем прижимного щита и кантование панелей; *14* — раскрытие бортов формы с пропаренной панелью

будут выполняться и управляться дистанционно. С этой целью было произведено максимальное членение процесса формования на отдельные операции с организацией соответствующих специализированных постов, что является необходимым фактором автоматизации производства.

В настоящее время изготовление железобетонных плит перекрытий и панелей внутренних стен, включая предварительно напряженных из тяжелого бетона для жилищного и гражданского строительства, производят на *двухъярусных станах*. Двухъярусный стан работает по принципу вертикально-замкнутого

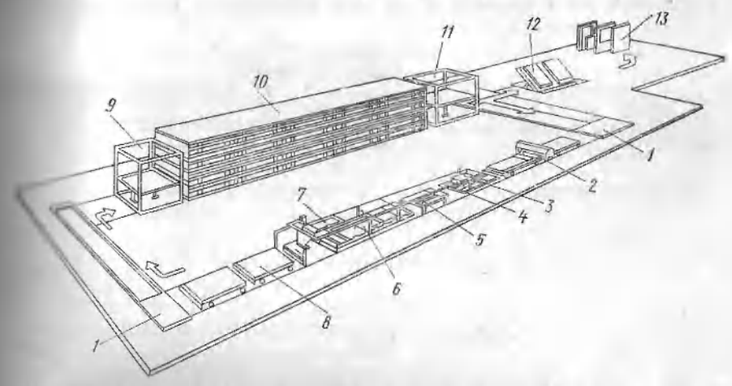


Рис. 112. Схема конвейерного способа производства панелей наружных стен:

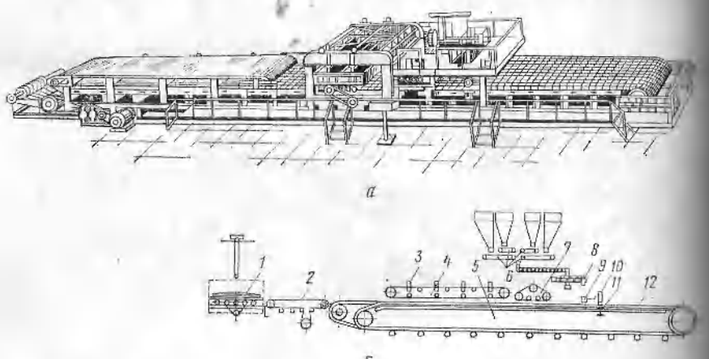
1 — передаточная тележка; *2* — чистка и смазка форм; *3* — укладка фактурного слоя; *4* — укладка арматурного каркаса, закладных деталей и столярных бвлок; *5* — вибронасадка; *6* — вибрирование с прогрузом; *7* — укладка бетона; *8* — технический контроль; *9* — подъемник многоэтажных камер пропаривания; *10* — камеры теплообработки; *11* — снижатель; *12* — кантователь; *13* — отделение комплектации

конвейера тележечного типа с формами-вагонетками, перемещаемыми по рельсовым путям верхнего и нижнего ярусов. Передвижение состава вагонеток пульсирующее. Стан состоит из снижателя, подъемника, бетоноукладчика, вибронасадки, разравнивающей рейки, заглаживающего валика, затирочной машины, устройства для перемещения форм-вагонеток и щелевой камеры для тепловлажностной обработки.

Технологический процесс изготовления изделий на двухъярусном стане складывается из следующих основных операций. Подъемник, расположенный в конце конвейера, подает форму-вагонетку с нижнего (заглубленного) яруса на верхний, толкатель передвигает ее на первый пост, где мостовой кран извлекает изделие из формы. Освободившуюся форму подают на пост чистки и смазки. На следующих постах укладывают обычную или предварительно напряженную арматуру (на поддоне установлены упоры для восприятия натяжения рабочей арматуры),

фиксируют закладные детали, монтируют скрытую электропроводку и внутренние трубопроводы, замоноличиваемые в теп панели. Подготовленная форма поступает в зону формования вдоль стана, где на своем пути встречает бетоноукладчик, который, перемещаясь перпендикулярно направлению движения формы, подает бетон в форму через отверстие вибронасадка по всей ширине формы, уплотняет его и заглаживает специальными приспособлениями (рейками, валиками и дисковой затирочной машиной).

После частичной тепловлажностной обработки на верхнем ярусе изделие с формой-вагонеткой поступает с помощью спи-



а

б

Рис. 113. Прокатный стан:

а — общий вид; *б* — схема; *1* — кантователь; *2* — обгонный конвейер; *3* — прижимные валки с пневмоцилиндрами; *4* — накрывной транспортер; *5* — прокатный стан; *6* — дозаторы; *7* — калибрующая секция; *8* — бетоносмеситель; *9* — фреза; *10* — виброрейка; *11* — вибробалка; *12* — приемная секция (головная)

жателя в нижний ярус стана, где происходит тепловлажностная обработка и остывание панели.

Способ непрерывного формования осуществляется на вибропрокатном стане (рис. 113), имеющем непрерывно движущуюся ленту, состоящую из отдельных объемных или плоских плас тин; первые обеспечивают получение ребристой поверхности панелей, а вторые — гладкой. На непрерывно движущуюся ленту в начале стана укладывают арматуру, затем на следующем участке подают бетонную смесь, равномерное распределение которой осуществляет бетоноукладчик, а уплотнение — вибробалка, расположенная под формующей лентой.

Находящийся над формующей лентой виброщиток бетоноукладчика срезает слой уложенной бетонной смеси до необходимой (предварительной) толщины будущего изделия. Расположенное за бетоноукладчиком виброзаглаживающее устройство формует окончательную толщину изделия и производит отделку

его поверхности. После этого изделие вместе с формующей лентой перемещается в секцию тепловлажностной обработки. Герметизация бетона от контакта с паром обеспечивается бесконечной прорезиненной лентой, свободно лежащей на изделии.

В начале щелевой камеры имеется термопригруз, который гладкими валками через прорезиненную ленту воздействует на бетонную массу в целях создания оптимальных условий в процессе сверхускоренного твердения бетона. По окончании тепловлажностной обработки готовое изделие автоматически освобождается от формующей ленты и с помощью обгонного транспортера перемещается на кантователь. Последний поворачивает изделие в вертикальное положение, после чего мостовым краном оно транспортируется на склад готовой продукции. Скорость движения формующей ленты по тяжелому бетону — до 30 м/ч, годовая производительность установки при средней ширине изделия 3 м и толщине 0,14 м по тяжелому бетону — 100 тыс. м²/м³, время тепловлажностной обработки на стане — 1,9 ч. Это самый производительный и автоматизированный способ производства панелей из всех современных.

§ 5. Твердение железобетонных изделий

Твердение отформованных изделий — заключительная операция технологии изготовления железобетона, в процессе которой изделия приобретают требуемую прочность. Отпускная прочность может быть равна марке бетона или меньше ее. Так, прочность бетона изделий при отгрузке их потребителю должна быть равна: не менее 70% марочной (28-дневной) прочности для изделий из бетона на портландцементе или его разновидностях и 100% — для изделий из силикатного (известково-песчаного) или ячеистого бетона. Однако для некоторых изделий из портландцементного бетона отпускная прочность должна превышать 100% для железнодорожных шпал и не менее 80% от марки — для пролетных строений мостов. Допускаемое снижение отпускной прочности изделий определяется исключительно экономическими соображениями, так как в этом случае сокращается продолжительность производственного цикла и соответственно ускоряется оборачиваемость оборотных средств. При этом имеется в виду, что недостающую до марочной прочность изделия наберут в процессе их транспортирования и монтажа и к моменту загружения эксплуатационной нагрузкой прочность их будет не ниже проектной (марочной).

В зависимости от температуры среды различают следующие три принципиально отличающихся режима твердения изделий: нормальный — температура 15—20° С; тепловлажностная обработка при температуре до 100° С при нормальном давлении; автоклавная обработка — пропаривание при повышенном давлении пара и температуре среды соответственно выше 100° С.

Независимо от режима твердения относительная влажность среды должна быть близкой к 100%. Иначе будет происходить высушивание изделий, что приведет к замедлению или прекращению роста их прочности, так как твердение бетона есть в первую очередь гидратация цемента, т. е. взаимодействие цемента с водой.

Нормальные условия твердения достигаются в естественных условиях, без затрат тепла. Это важнейшее технико-экономическое преимущество этого способа твердения, отличающегося простотой в организации и минимальными капитальными затратами. В то же время экономически оправдан он может быть только в исключительных случаях. В естественных условиях изделия достигают отпускной 70%-ной прочности в течение 7—10 суток, тогда как при искусственном твердении — пропаривании или автоклавной обработке — эта прочность достигается за 10—16 ч. Соответственно при этом снижается потребность в производственных площадках, объеме парка форм, сокращается продолжительность оборачиваемости средств. Это и является причиной применения на большинстве заводов искусственного твердения. В то же время стремление отказаться от последнего является актуальной проблемой современной технологии бетона. Уже имеются бетоны, которые в течение одних суток нормальных условий твердения приобретают до 40—50% марочной прочности. Это достигается применением высокомарочных быстротвердеющих цементов, жестких бетонных смесей, интенсивного уплотнения вибрацией с дополнительным пригрузом, применением добавок — ускорителей твердения, виброактивизации бетонной смеси перед формованием, применением горячих бетонных смесей. Дальнейшее развитие работ в этом направлении позволит, по-видимому, в ближайшие годы отказаться в ряде случаев от искусственного твердения, хотя в настоящее время он по своим технико-экономическим показателям превосходит естественный.

Тепловлажностная обработка при нормальном давлении. Различают несколько способов тепловлажностной обработки железобетонных изделий при нормальном давлении: пропаривание в камерах; электропрогрев; контактный обогрев; обогрев лучистой энергией; тепловая обработка изделий в газовоздушной среде; горячее формование. Среди приведенного разнообразия технико-экономическое преимущество пока еще остается за пропариванием в камерах периодического и непрерывного действия.

В камеры непрерывного действия загружают свежесформованные изделия на вагонетках, а с противоположного конца туннеля камеры непрерывно выходят вагонетки с отвердевшими изделиями. В процессе своего твердения изделия проходят зоны подогрева, изотермического прогрева (с постоянной максимальной температурой пропаривания) и охлаждения. В принципе камеры непрерывного действия, как и вообще всякое непрерывно действующее оборудование, обеспечивают наиболее высокий

выход продукции с единицы объема камеры. Однако необходимость применения вагонеток и механизмов для перемещения изделий, а также ряд конструктивных сложностей туннельных камер в теплотехническом отношении не позволяет широко применять этот вид пропарочных камер. Используют их только при конвейерном способе производства.

Перспективными являются вертикальные камеры непрерывного действия.

Среди камер периодического действия основное применение находят камеры ямного типа (рис. 114), имеющие глубину 2 м и на 0,5—0,7 м выступающие над уровнем пола цеха. Размер камеры в плане соответствует размеру изделий или кратен им. Наиболее целесообразным является размер камеры, соответствующий размеру одного изделия в плане. В этом случае загрузочная емкость камеры и непроизводительный простой камеры под загрузкой будут минимальными. Однако при этом возрастает потребность в количестве камер. Технико-экономический анализ этих двух, положительного и отрицательного, показателей определил, что наиболее выгодным оказывается размер камеры в плане, соответствующий размеру двух изделий.

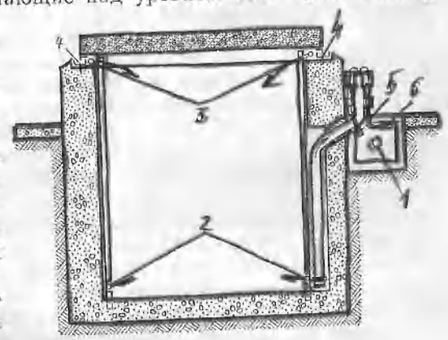


Рис. 114. Пропарочная камера:

1 — паропровод из котельной; *2* и *3* — нижняя и верхняя перфорированные трубы подводки пара; *4* — замок; *5* — трубопровод подогретой воды; *6* — конденсатор

Стенки камеры выкладываются из кирпича или делаются бетонными. Сверху камера закрывается массивной крышкой с теплоизоляционным слоем, предупреждающим потери тепла. Для предупреждения выбивания пара в стенках камеры сверху по периметру предусматривается канавка, засыпаемая песком или заливаемая водой. В эту канавку входят соответствующие выступы на крышке камеры. Таким образом создается затвор, препятствующий выбиванию пара из камеры.

Изделия загружаются в камеру сверху краном, в несколько рядов по высоте. Если изделия в формах, то каждый верхний ряд изделий устанавливают на стенки нижележащей формы (через деревянные прокладки). При формовании же изделий с частичной немедленной распалубкой поддон с изделием устанавливают на специальные откидывающиеся выступы, предусмотренные в стенках камеры.

Режим пропаривания в камерах характеризуется продолжительностью подъема температуры, выдержкой при максимальной температуре, продолжительностью охлаждения, а также наибольшей температурой в период изотермического прогрева. Применяют самые разнообразные режимы твердения в зависимости от свойств цемента и его вида, свойств бетонной смеси (жесткая или подвижная), вида бетона (тяжелый или легкий), размеров изделий (тонкие или массивные).

В качестве усредненного можно привести следующий режим: подъем температуры со скоростью 25—35° С/ч, снижение температуры 30—40° С/ч, изотермическая выдержка 6—8 ч и максимальная температура 80—90° С. Таким образом, общая продолжительность пропаривания для изделий на обыкновенном портландцементе в среднем составляет 12—15 ч. Твердение изделий — наиболее продолжительная операция, в десятки раз превышающая все другие (формование, например, одного настила длится 12—15 мин, а стеновой панели, имеющей отделочный слой, до 20—25 мин). Это требует изыскания пути для снижения продолжительности пропаривания, но для этого необходимо знать определяющие факторы.

В первую очередь на режим твердения оказывает влияние вид цемента. Применение быстротвердеющих цементов (алитовых и алитоалюминатных портландцементов) позволяет до 2 раз сократить продолжительность изотермической выдержки. Кроме того, оптимальная температура прогрева изделий на этих цементах 70—80° С существенно сокращает время, потребное на нагрев и охлаждение изделий. В совокупности общая продолжительность тепловлажностной обработки изделий на алитовых и алитоалюминатных быстротвердеющих портландцементах снижается до 6—8 ч. За этот период получают изделия с прочностью бетона, равной 70—80% от марочной.

Медленно твердеющие цементы (пуццолановые и шлакопортландцементы) требуют более продолжительной изотермической выдержки (до 10—14 ч) и более высокой температуры изотермического прогрева (до 95—100° С). Таким образом, общая продолжительность пропаривания бетонных изделий, приготовленных на пуццолановых или шлакопортландцементах, составляет 16—20 ч.

Применение жестких бетонных смесей, имеющих низкое начальное водосодержание, позволяет на 15—20% уменьшить продолжительность пропаривания. Если учесть, что дополнительные затраты энергии и труда на формование жестких смесей не превышают 10—15% и компенсируются снижением расхода цемента при этом, экономическая целесообразность применения жестких смесей становится очевидной и в данном случае.

Изделия из легких бетонов, как медленно прогревающиеся в силу их повышенных теплоизоляционных качеств, требуют и более продолжительного режима тепловлажностной обработки.

Способ формования предварительно подогретой до 75—85° С бетонной смеси получил название «горячего формования», при котором изделия поступают в камеру в подогретом виде и не требуют, таким образом, времени на их подогрев до максимальной температуры пропаривания. Этот способ предусматривает отказ от пропаривания. Свежесформованные горячие изделия укрывают (способ термоса) и оставляют на 4—6 ч, в течение которых бетон изделий набирает необходимую прочность.

Подогрев бетонной смеси производят электрическим током, что достигается за 8—12 мин.

Электропрогрев изделий по своим техническим свойствам и санитарно-гигиеническим условиям производства имеет несравнимое преимущество перед всеми другими способами. Тормозит его развитие недостаток и все еще высокая стоимость электроэнергии. Расход электроэнергии при электротермической обработке бетона в среднем составляет 80—100 кВт·ч на 1 м³ изделий.

Электропрогрев изделий достигается путем прохождения переменного тока через бетон. Последний, обладая электрическим сопротивлением, большим, чем подводящие к нему ток электроды, разогревается в результате преобразования электрической энергии в тепловую.

Количество тепла, выделяющегося в бетоне при прохождении через него электрического тока, в соответствии с законом Джоуля—Ленца прямо пропорционально затраченной электроэнергии в единицу времени (времени прохождения тока) и тепловому эквиваленту работы. Это количество тепла (кДж) может быть вычислено по формуле

$$Q = 3{,}77I^2Rt,$$

где I — сила тока, А; R — сопротивление бетона, Ом; t — время, ч.

Так как произведение IR равно напряжению U, а произведение UI характеризует электрическую мощность P (Вт), количество тепла (кДж), выделяемого при прохождении тока через бетон, может быть выражено более простой формулой

$$Q = 3{,}8Pt,$$

т. е. 1 Вт·ч электроэнергии выделяет 3,8 кДж тепла.

Электропрогреву в открытых формах подвергают изделия массивные, так как тонкостенные изделия при этом способе могут пересыхать. Такие изделия (тонкостенные перегородки, панели) прогревать электрическим током целесообразно в кассетах.

Напряжение тока в начале электропрогрева принимают равным 65—90 В, а в конце — до 150—220 В. По мере отвердения электропроводность бетона понижается и для прохождения через него электрического тока требуется большое напряжение.

Контактный обогрев изделий достигается путем непосредственного их контакта с нагревательными приборами, например

обогреваемыми стенками формы, основанием стенда. При этом изделие плотно укрывают, чтобы предупредить потери испаряющейся из него влаги в окружающую среду. Необходимая влажность вокруг изделия достигается за счет избыточной воды, т. е. сверх потребной на твердение цемента, которая вводится для получения удобоукладываемой смеси.

В качестве теплоносителя применяют острый пар, горячую воду, нагретое масло. Наиболее эффективно применение контактного обогрева тонкостенных изделий при достаточной их герметизации. Это наблюдается, например, в кассетах, в которых изделие заключено в узких, но глубоких отсеках. В этом случае возможен очень быстрый подъем температуры до максимальной (за 15—30 мин) без нарушения структуры бетона. Кроме того, при этом образуется насыщенная паровая среда с несколько большим, чем атмосферное, давление пара, что благоприятно сказывается на процессах твердения бетона.

Температурная обработка в термобассейнах применяется в том случае, когда требуется получить изделие высокой плотности и водонепроницаемости (трубы, кровельные материалы). Твердение в горячей воде — наиболее благоприятный в этом отношении режим. Предварительно отвердевшие изделия помещаются в бассейн с горячей водой и выдерживаются в нем до приобретения необходимой прочности.

Этот способ имеет хорошие технико-экономические показатели — низкий расход тепла обеспечивает наиболее благоприятные условия твердеющему бетону, но необходимость последующей сушки изделий является причиной практического отказа от обработки изделий в термобассейнах.

Автоклавная обработка. Скорость большинства химических реакций, в том числе и взаимодействие цемента с водой, обеспечивающая твердение бетона, возрастает с повышением температуры и тем она больше, чем выше температура. Кроме того, для твердения бетона необходима влажная среда. Сочетание этих двух факторов успешно достигается при обработке изделий паром высокого давления. С повышением давления соответственно возрастает температура насыщенного пара. При нормальном давлении температуру насыщенного пара (100%-ная относительная влажность среды) выше 100° С получить нельзя. Сверх этой температуры относительная влажность среды будет меньше 100%, и помещенные в нее бетонные изделия начнут высыхать.

Наиболее распространенный режим автоклавной обработки: давление пара 0,8—1,2 МПа; температура насыщенного пара 170—200° С. При таком режиме получают изделия с марочной прочностью бетона в течение 8—10 ч, что дает большой технико-экономический эффект.

Важным достоинством автоклавной обработки бетона является следующее: при высокотемпературных условиях песок,

будучи инертным при нормальной температуре и пропаривании, становится активным, энергично взаимодействуя с известью и обеспечивая получение бетона прочностью 20 МПа и более. Это позволяет широко использовать дешевые бесцементные известково-песчаные бетоны для изготовления способом автоклавной обработки прочных, водостойких и долговечных изделий.

При использовании портландцементов обычно применяют медленно твердеющие цементы. Их преимущество в данном случае не только в несколько пониженной стоимости, но и в большом приросте прочности, получаемом при автоклавной обработке по сравнению с другими видами портландцементов. Кроме того, в автоклавных портландцементных бетонах часть цемента (до 30—40%) может быть успешно заменена молотым песком. При этом прочность бетона не только не снижается, но даже наблюдается улучшение физико-механических свойств бетона, что имеет большую технико-экономическую значимость.

Оборудование, применяемое для этой цели, не отличается от рассмотренного в гл. VIII. Основным агрегатом при автоклавной обработке служит автоклав.

В технологии сборного железобетона автоклавы имеют ограниченное применение: существующие портландцементы обеспечивают получение изделий проектной прочности за то же время, что и в пропарочных камерах, имеющих несравнимо простое устройство и не требующих котельной высокого давления.

Широко применяются автоклавы при производстве изделий из ячеистых бетонов.

§ 6. Отделка поверхности железобетонных изделий

Выбор метода отделки поверхностей железобетонных изделий производят с учетом целого ряда требований. Отделка должна быть долговечной и защищать бетон от атмосферных и агрессивных воздействий, а также отвечать архитектурно-декоративным требованиям.

В настоящее время отделку поверхностей выполняют путем использования окрасочных составов, облицовочных материалов и цветных бетонов.

Окрасочные составы должны быть щелочестойкими, водостойкими, долговечными и устойчивыми против выцветания. В качестве окрасочных составов используют силикатные, цементные и полимерные краски. Силикатные краски приготавливают из жидкого стекла, минеральных красящих веществ (пигментов) и наполнителей. Цементные краски приготавливают из белого цемента с минеральными красящими веществами, а перхлорвиниловые (полимерные) краски — из минеральных красящих веществ, разбавленных перхлорвиниловым лаком.

Нанесение красок на поверхность железобетонных изделий производят с помощью пистолета-распылителя за два или три

приема в зависимости от цвета используемого красящего вещества и консистенции раствора. Покраску поверхностей ведут при положительных температурах.

К облицовочным материалам наряду с архитектурно-декоративными требованиями предъявляются требования высокой прочности и долговечности в условиях переменных атмосферных воздействий. В настоящее время в качестве облицовочных материалов используют плитки из природных каменных материалов, керамические, асбестоцементные, стеклянные плитки, плитки и блоки из цветного бетона, гофрированные листы из алюминия.

Плитки из природных каменных материалов — наиболее долговечный, обеспечивающий разнообразную гамму цветов материал, получаемый в результате распиловки мраморов, гранитов, лабрадоритов, кварцитов, известняков и других окрашенных горных пород.

Бетонные плитки изготовляют на специальных гидравлических прессах из цветного бетона.

Большое распространение при отделке железобетонных панелей получили керамические облицовочные плитки, обладающие высокими декоративными свойствами, они хорошо сцепляются с бетоном и отличаются индустриальностью производства.

Плитки выпускают крупноразмерные (10×10; 10×20 см) и мелкоразмерные (48×48 мм). При производстве крупноразмерных железобетонных панелей облицовка из мелкоразмерной (ковровой) плитки оказывается менее трудоемкой и более производительной по сравнению с облицовкой крупноразмерной плиткой, которая укладывается поштучно вручную. На Ленинградском ДСК-2 для облицовки панелей используют стеклянную облицовочную плитку размером 2×2 см, которая наклеивается на картон заданных размеров. Для увеличения сцепления стеклянной поверхности плитки с раствором или бетоном ее тыльную поверхность покрывают кремнийорганическими составами типа ВН-30, которые обладают хорошей адгезией к стеклу.

Стеклянные плитки выпускают различных цветов — от белого до черного.

В качестве облицовочных материалов для отделки железобетонных стеновых панелей используют также цветные цементные плитки и алюминиевые листы. Последние обладают высокой атмосферостойкостью, прочностью и хорошими архитектурно-декоративными свойствами.

Цветные бетоны. Для получения цветного бетона используют неорганические минеральные краски, обладающие высокой щелочестойкостью и атмосферостойкостью. Красная, желтая и коричневая окраски бетона могут быть получены путем добавления пигментов из окислов железа; зеленая — при введении зеленой окиси или гидроокиси хрома.

§ 7. Приемка и испытание железобетонных изделий

Приемка железобетонных изделий осуществляется партиями, которые состоят из однотипных изделий, изготовленных по одной технологии в течение не более 10 дней. В зависимости от объема изделий количество их (в шт.) в партии устанавливают техническими условиями и не должно превышать следующих величин:

До 0,1 м³	1000
0,1—0,3 м³	700
0,3—1,0 м³	300
1,0—2,0 м³	150
Свыше 2,0 м³	100

В процессе приемки наружным осмотром проверяют внешний вид изделий, отмечают наличие трещин, раковин и других дефектов. Затем с помощью измерительных линеек и шаблонов проверяют правильность формы и габаритные размеры изделий. Если при контрольных замерах изделия будут выявлены отклонения по длине или ширине, превышающие допускаемые, изделие бракуют.

При приемке изделий определяют и прочность бетона, которую устанавливают по результатам испытания контрольных образцов и путем испытания готовых изделий. Контрольные образцы с ребром 10, 15 и 20 см изготовляют в металлических разъемных формах в количестве не менее 3 шт. и не реже 1 раза в смену, а также для каждого нового состава бетонной смеси. Уплотнение бетонной смеси в образцах осуществляют на стандартной виброплощадке с амплитудой 0,35 мм и частотой 3000 кол/мин.

Образцы должны твердеть в одинаковых условиях с изделиями. Предел прочности бетона определяют путем испытания образцов на гидравлических прессах и вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

Испытание готовых железобетонных изделий на прочность, жесткость и трещиностойкость производят согласно ГОСТам.

Отбор изделий для испытаний производят в количестве 1% от каждой партии, но не менее 2 шт., если в партии менее 200 изделий. Испытание производят на специальных испытательных стендах, нагружая конструкцию гидродомкратами, штучными грузами или рычажными приспособлениями. Критерием прочности служит нагрузка, при которой изделие теряет свою несущую способность (разрушается).

В последнее время для определения прочности бетона в конструкциях пользуются методами, не разрушающими изделия, — физическими и механическими. К физическим методам относятся ультразвуковые и радиометрические. Механические методы основаны на определении величины упругой или

пластической деформации. В первом случае прочность бетона оценивают по величине упругого отскока бойка от поверхности бетона; во втором случае прочность бетона характеризуется величиной отпечатка наконечника на поверхности бетона. Приборы этой группы получили широкое применение в строительстве.

§ 8. Пути повышения эффективности производства железобетонных изделий

В последнее время выпуск сборного железобетона в СССР как основы индустриализации строительства растет особенно быстрыми темпами (табл. 55). В 1970 г. его производство составило 84,6 млн. м³, а в ближайшей перспективе увеличится до 115—120 млн. м³.

Таблица 55

Производство сборных железобетонных конструкций и деталей

Наименование изделий	1958 г.	1970 г.	1972 г.
Сборный железобетон, млн. м³ . . .	18,0	84,6	96,2
В том числе:			
предварительно напряженный, млн. м³	1,05	19,3	21,7
стеновые панели, млн. м²	0,8	58,1	70,8
опоры ЛЭП и связи, тыс. м³ . . .	193	1362	1702
железобетонные шпалы, тыс. м³	41,8	752	902
блоки и тюбинги для туннелей, шахтная крепь, тыс. м³	146	485	597
трубы железобетонные, тыс. м³	259	1192	1383

Из сборных железобетонных конструкций в настоящее время изготовляют почти целиком перекрытия жилых, гражданских и промышленных зданий, более 30% стен в государственном и кооперативном жилищном строительстве, 25—30% фундаментов зданий, более 50% каркасов одноэтажных и многоэтажных промышленных зданий.

Расход сборного железобетона на 1 млн. руб. строительно-монтажных работ в жилищном строительстве в истекшие годы быстро растет за счет увеличения удельного веса полносборных домов в общей структуре ввода жилых зданий, а также вследствие увеличения высоты сечения плит перекрытий и толщины панелей перегородок по условиям звукоизоляции, толщины панелей наружных стен в связи с ростом этажности. Существенно возрастают и общие объемы применения сборного железобетона в промышленном и жилищном строительстве.

На развитие производства сборного железобетона выделяют значительные капитальные вложения и очень важно правильно использовать эти большие средства при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий. Исключительно большое значение при этом имеет выбор рациональной технологической схемы производства железобетонных изделий в зависимости от мощности проектируемого завода, номенклатуры выпускаемой продукции, вида армирования, габаритов изделий и других факторов.

Анализ работы передовых предприятий и типовых проектов заводов показывает, что в одинаковых условиях (например, при производстве многопустотных настилов перекрытий) на узкоспециализированных производственных линиях, выпускающих по одному типоразмеру изделий, стендовая, агрегатная и конвейерная технологии дают различные технико-экономические показатели (табл. 56).

Таблица 56

Технико-экономические показатели производственных линий с различными технологическими схемами

Наименование показателей	Технологические схемы		
	стендовая	агрегатная	конвейерная
Цеховая себестоимость переработки на 1 м³ изделий, руб.	40,6	24,1	29,6
Затраты труда рабочих на 1 м³ годового выпуска, чел-дн	0,95	0,24	0,11
%	100	25,3	11,6
Удельные капиталовложения на 1 м³ годового выпуска (по цеху формования и пропаривания), %	100	129,2	261,0

Как видно из приведенных данных, при стендовой технологии имеют место большие затраты труда, но минимальные удельные капиталовложения. Для конвейерной технологии при меньшей трудоемкости удельные капиталовложения максимальны, а для агрегатной технологии сочетаются относительно небольшие затраты труда со сравнительно низкими удельными капитальными вложениями.

При выборе технологической схемы производства цеха формования и пропаривания необходимо учитывать номенклатуру выпускаемых изделий и объемы производства, определяемые рациональным радиусом перевозки готовой продукции.

Для мелкосерийного производства железобетонных изделий на заводах малой и средней мощности наиболее выгодным оказывается **поточно-агрегатный способ** производства. При несложном технологическом оборудовании, небольших производственных площадях и небольших затратах на строительство агрегатный способ дает возможность получить высокий съем

готовой продукции с 1 м² производственной площади цеха. Этот метод позволяет также оперативно осуществлять переналадку оборудования и переходить к формованию от одного вида изделий к другому без существенных затрат. Производительность формовочного агрегата зависит от вида и размеров формуемых изделий и будет изменяться при переходе от одного вида изделий к другому. Это вызвано изменением продолжительности цикла формования изделий, который может колебаться в большом диапазоне (5—40 мин). Поточно-агрегатный способ наиболее распространен в современной технологии сборного железобетона.

По капитальным затратам преимущество остается за **стендовым способом** при формовании изделий на горизонтальных стендах. Простота оборудования, незначительная его энергоемкость, возможность легко перейти на выпуск изделий самых разнообразных типоразмеров, минимум транспортных операций — основные достоинства этого способа организации формования. Однако при горизонтальном формовании изделий на стендах оказывается значительной потребность в производственных площадях. Низкий уровень механизации влечет высокую трудоемкость, в 2—3 раза превышающую, например, трудоемкость изготовления изделий по поточно-агрегатной технологии.

Применение маломощных переносных вибраторов возможно для уплотнения бетонной смеси с высокой подвижностью, что вызывает перерасход цемента.

Все эти факторы исключили целесообразность организации производства изделий массового выпуска (плит и панелей перекрытий, панелей и блоков стен, фундаментных блоков и плит) по стендовой технологии. Однако при небольшом среднегодовом объеме таких изделий стендовый способ может оказаться наиболее рациональным. Целесообразен он и при организации производства железобетонных изделий на временных полигонных установках.

Рациональность применения стендового способа возрастает с увеличением массы и размера изделий, перемещение которых по отдельным технологическим постам влечет большие затраты или практически трудно осуществимо. Это относится к фермам и балкам длиной 18 м и более, пролетным строениям мостов массой до 100 т и более, аркам и другим уникальным элементам сборного железобетона значительной массы, что определяет технико-экономические преимущества стендового способа при изготовлении указанных видов изделий. Стендовую технологию наиболее широко применяют на открытых полигонах мощностью до 10—15 тыс. м³/год.

Важно, что при стендовом методе производства оборудование может быть легко демонтировано и также легко собрано на любом участке строительства. Производительность стенда зависит от продолжительности выдерживания на нем изделия.

В зависимости от вида изделий время, необходимое для выдерживания изделий на стенде, колеблется от 20 ч до 5 суток.

Конвейерный метод производства железобетонных изделий позволяет добиться комплексной механизации и автоматизации технологических процессов изготовления изделий. Организация производства по конвейерному методу обеспечивает значительное повышение производительности труда и увеличение выпуска готовой продукции при наиболее полном и эффективном использовании технологического оборудования. Однако конвейерная технология требует больших капитальных вложений. Применение этого метода рационально на заводах, выпускающих в массовом порядке изделия по ограниченной номенклатуре с минимальным количеством типоразмеров.

Изготовление тонких и плоских изделий значительной площади (перегородок стен, панелей перекрытий) производится в вертикальном положении в кассетах. Удельная потребность в площадях производственного цеха при кассетном способе самая минимальная — в одном месте одновременно формуется до 12 изделий площадью до 12 м² каждая.

Отсутствие виброплощадок и камер пропаривания, как это имеет место при поточно-агрегатном и конвейерном способах, является важным достоинством кассетного способа. И все же он имеет весьма существенные недостатки. Эффективно уплотнить в кассете, имеющей глубокие отсеки, можно только смесь, достаточно подвижную, а это достигается при получении бетона заданной прочности с повышенным расходом цемента. Ограниченность номенклатуры — также недостаток кассетного способа. В кассетах многосекционной конструкции могут изготовляться только плоские изделия сплошного сечения.

Принципиально аналогичные достоинства и недостатки имеет способ изготовления изделий на **вибропрокатном стане.** Он отличается высокой степенью механизации технологического процесса, но требует очень больших капитальных затрат. Технологическая схема и организация формования изделий определяются многими факторами, ведущими среди которых являются производственная мощность предприятия, вид и размеры изделий, техническая возможность и экономическая целесообразность механизации и автоматизации процессов, характер применяемых бетонных смесей при том или ином способе. Правильная оценка перечисленных факторов определяет в конечном счете рациональную технологию, наиболее выгодную для конкретных условий.

Важнейшая задача развития промышленности сборного железобетона на современном этапе — это повышение уровня концентрации его производства, рост технической оснащенности предприятий. Характерно, что наряду с наличием значительного количества высокомеханизированных и рентабельных предприятий в промышленности сборного железобетона существует большая группа мелких цехов и заводов,

выпускающих продукцию с большими затратами, и, как правило, недостаточно высокого качества. На долю мелких предприятий со среднегодовой мощностью около 10 тыс. м³ приходится около ²/₃ всех предприятий и более ¹/₅ продукции.

По данным Индустройпроекта МПСМ СССР, по учтенному кругу предприятий сборного железобетона, охватывающему более ⁴/₅ продукции отрасли, себестоимость в зависимости от мощности изменялась следующим образом. Для более крупных предприятий со среднегодовой мощностью более 100 тыс. м³ себестоимость 1 м³ изделий в среднем исчислялась в размере 35 руб., т. е. была на ¹/₃ меньше, чем по мелким заводам. Концентрация и специализация производства при создании специализированных предприятий мощностью 100—150 тыс. м³ и более с узко ограниченной номенклатурой изделий на каждом заводе позволят снизить удельные капиталовложения примерно на 20—25%, а себестоимость продукции — на 15—20% по сравнению с действующими универсальными заводами со средней мощностью 30—50 тыс. м³. Поэтому генеральной линией развития промышленности сборного железобетона является повышение уровня концентрации и специализации производства.

Уровень использования действующих производственных мощностей в промышленности сборного железобетона является недостаточным (85—88%). Важным условием лучшего использования основных производственных фондов является ускорение освоения проектных производственных мощностей на основе использования опыта передовых предприятий по реализации резервов роста производства, увеличение объемов продукции с действующих мощностей на основе интенсификации производства и улучшение эксплуатации оборудования.

Необходимо всемерно улучшать использование оборудования, что является важнейшим резервом роста фондоотдачи и повышения рентабельности в промышленности. Хотя показатели работы оборудования в промышленности сборного железобетона в последние годы улучшились, здесь также имеются большие неиспользованные резервы.

Таблица 57

Показатели использования основного технологического оборудования промышленности сборного железобетона

Наименование показателей	Средние показатели по промышленности	Уровень, достигнутый передовыми заводами
Количество оборотов камер, об/сутки	1	1,7—1,9
Продолжительность оборота кассет, ч	21,8	12—14
Цикл формования настилов на поточно-агрегатных линиях, мин	20—25	9—11

Анализ данных табл. 57 показывает, что технологическое оборудование на ряде заводов сборного железобетона используется в 1,5—2 раза ниже норм технологического проектирования и уровня, достигнутого многими предприятиями Москвы и Ленинграда.

На предприятиях сборного железобетона оборачиваемость паровых камер в среднем однократная в сутки, а на лучших предприятиях достигнута почти двукратная оборачиваемость. Цикл формования изделий составляет в среднем по СССР 20—25 мин, на передовых заводах — 9—11 мин (см. табл. 57).

Наряду с ростом часовой производительности оборудования большие резервы заключены также в повышении коэффициента сменности и сокращении внутрисменных простоев в отраслях с прерывным производством.

Важным направлением технического прогресса в промышленности строительных материалов является применение электроэнергии на технологические цели. При производстве сборных железобетонных изделий простой формы (фундаментных блоков, колонн и балок прямоугольного сечения, однослойных стеновых панелей, плоских плит покрытий и перекрытий) экономический эффект достигается в результате электропрогрева, благодаря которому расход тепла по сравнению с пропариванием сокращается в 2—4 раза. Имеется большая возможность автоматизации процесса контроля и управления на участке тепловлажностной обработки и улучшаются условия труда. Устранение необходимости в сооружении котельных, теплосетей и пропарочных камер приводит к существенной экономии капитальных затрат.

Стоимость электроэнергии для прогрева 1 м³ бетонных и железобетонных изделий по фактическим данным на 30—50% ниже стоимости пара, необходимого для пропаривания этих изделий.

Таким образом, основные пути снижения себестоимости предприятий сборного железобетона — это улучшение использования производственных мощностей и внедрение новой техники и технологии, улучшение организации труда, унификация конструкций, рост уровня специализации и концентрации производства, применение высокомарочных цементов, термически упрочненных сталей, совершенствование тепловлажностной обработки изделий, налаживание работы арматурных цехов, повышение уровня комплексной механизации производства, повышение качества нерудных строительных материалов.

Большие резервы повышения эффективности производства сборного железобетона заключены в повышении уровня его концентрации и специализации, развитии реконструкции.

Выполненные в НИИЭС расчеты эффективности предприятий сборного железобетона для жилищного строительства в зависимости от расстояния доставки изделий по суммарным приведенным затратам показали, что обусловленное ростом концентрации

производства увеличение затрат на перевозку конструкций для крупнопанельного домостроения автотранспортом до 100 км полностью перекрывается экономией приведенных затрат на крупных предприятиях.

В связи с ростом объемов строительства и повышением плотности потребления сборного железобетона экономически обоснованная **концентрация** производства в ближайшей перспективе не приводит к повышению расстояния перевозки изделий, и, следовательно, снижение себестоимости продукции на крупных заводах будет, как правило, способствовать дальнейшему уменьшению стоимости жилищного строительства. Массовыми типами предприятий крупнопанельного домостроения на период до 1975 г. и в последующем целесообразно считать заводы годовой производительностью 140 и 160 тыс. м² жилой площади в год.

Рост средней мощности предприятий сборного железобетона для промышленного строительства во многом зависит от повышения уровня унификации конструкций и роста уровня сборности в промышленном строительстве в связи с увеличением объемов применения сборного железобетона. В качестве массовых типов заводов для промышленного строительства в ближайшей перспективе приняты предприятия со среднегодовой мощностью 100 и 200 тыс. м³, причем для каждого конкретного района сочетание вновь строящихся заводов, различных по мощности, устанавливается на основе специального экономического расчета. Повышение степени концентрации производства сборного железобетона является в целом одним из важнейших условий снижения себестоимости продукции и удельных капитальных вложений.

Большие резервы роста эффективности производства заключены в повышении уровня **специализации** производства и сокращении количества типоразмеров изделий.

По данным ЦСУ СССР, съем продукции на специализированных предприятиях с 1 м² производственных площадей равен около 20 м³ в год против 8—9 м³ в среднем по промышленности. Выработка на одного рабочего в среднем по промышленности составляет около 140—150 м³ против 250—260 м³ на специализированных предприятиях, себестоимость аналогичных изделий на специализированных заводах в 1,3—1,5 раза ниже среднего уровня.

Удельный вес специализированного производства в 1965 г. составил около 35% от общего выпуска железобетонных изделий, а в 1970 г. — около 45%. Согласно расчетам НИИЭС и Гипростроммаша, целесообразно уже в ближайшие годы довести удельный вес продукции специализированных предприятий и цехов промышленности сборного железобетона до 70—80% от общего объема производства, в том числе по спецжелезобетону — 100%, жилищно-гражданскому строительству — до

75—80%, по промышленному строительству — 65—70% и сельскохозяйственному строительству — 55—70%.

Реальным путем повышения эффективности и снижения удельных капитальных вложений в промышленности сборного железобетона является увеличение удельного веса рациональных типов **реконструкции и расширения** предприятий в достижении общего прироста мощности в ближайшей перспективе. Так, удельные капитальные вложения на полную реконструкцию и расширение предприятий составляют: по изделиям для промышленного строительства — 40 руб./м³ против 73—75 руб./м³ по новым предприятиям; по водохозяйственному строительству соответственно 47,4 руб./м³ против 76—80 руб./м³; по изделиям для жилищного строительства — 43 руб./м³ против 70—77 руб./м³.

Таким образом, осуществление в целесообразных случаях реконструкции и расширения действующих предприятий обеспечивает экономию капитальных вложений по сравнению с вариантом нового строительства 38—45%. В ближайшей перспективе целесообразно определение структуры прироста мощностей за счет реконструкции и расширения предприятий как наиболее экономичных направлений использования капитальных вложений.

ГЛАВА XII

ЛЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Наша страна обладает огромными запасами древесины — около 30% всей ее территории занимают леса. Особенно велики запасы древесины на севере СССР, на Урале, в Сибири, Карельской АССР.

Древесина как строительный материал обладает рядом положительных свойств: она имеет относительно высокую прочность, небольшую объемную массу, малую теплопроводность, легко поддается механической обработке.

Вместе с тем древесина имеет и ряд недостатков: анизотропность древесины обусловливает различные показатели прочности и теплопроводности вдоль и поперек волокон, гигроскопичность приводит к изменению свойств; древесина подвержена загниванию и легко воспламеняется. Современная технология обработки древесины позволяет в значительной мере снизить указанные недостатки.

В настоящее время эффективно используются и отходы древесины: из опилок и стружек наряду с фибролитовыми и ксилолитовыми изделиями изготовляют с применением различных органических клеев прессованные плиты, доски и т. д. Кроме того, древесину используют для производства целлюлозы, этилового и бутилового спиртов, бумаги, картона, органических кислот, канифоли и других продуктов для народного хозяйства. Поэтому экономное расходование древесины в строительстве является очень важной задачей.

§ 1. Строение дерева

Дерево состоит из ствола, кроны и корней. Корни предназначены для укрепления дерева в грунте, для всасывания влаги и растворенных в ней минеральных веществ и подачи их к стволу. Ствол удерживает крону и служит для перемещения воды и питательных веществ от корней через ветви к листьям, а от листьев обратно к корням. Строение древесины, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении, называется макроструктурой, а видимое под сильным увеличением (микроскопом) — микроструктурой.

Макроструктуру древесины изучают по трем разрезам ствола дерева (рис. 115): поперечному, радиальному продольному (по диаметру или радиусу) и тангентальному продольному (по хорде). В поперечном и радиальном разрезах ствола различают следующие основные части (рис. 116): кору, луб, камбий, древесину и сердцевину.

Кора защищает дерево от механических повреждений. Она состоит из наружного слоя — корки и внутреннего луба.

Луб — тонкий внутренний слой коры, он предназначен для передачи питательных веществ из кроны дерева вниз; в нем откладываются запасы этих веществ.

Камбий — тонкий жизнедеятельный слой ткани, расположенный за лубом. В слое камбия к центру дерева откладываются клетки древесины, а в сторону луба — лубяные клетки. Каждая клетка камбия при размножении делится на две, одна из которых, более тонкостенная, откладывается к внешней стороне ствола, другая, толстостенная, одеревеневшая клетка располагается по направлению к сердцевине. Весной камбий образует широкие клетки с тонкой оболочкой, так называемую весеннюю древесину. Во второй половине вегетационного периода, когда дерево нагружено развивающимися побегами и листьями, камбий образует толстостенные сплюснутые клетки, которые выполняют механические функции и составляют главную часть летней древесины. Образовавшиеся в течение вегетационного периода слои называют годичными. У некоторых пород, например дуба, они хорошо видны на торцевом разрезе. Находящийся за камбием толстый слой древесины состоит из ряда тонких концентрических слоев.

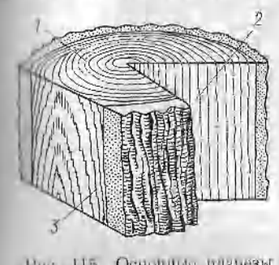


Рис. 115. Основные разрезы ствола:
1 — торцевой, *2* — радиальный, *3* — тангентальный



Рис. 116. Торцевой разрез ствола:
1 — кора; *2* — луб; *3* — камбий; *4* — заболонь; *5* — ядро; *6* — сердцевина

Древесина обычно имеет светлую окраску, но у некоторых пород непосредственно к сердцевинной трубке прилегает более темная древесина, которая называется ядром или мертвой

древесиной. От ядра к внешней части ствола располагается светлоокрашенная древесина, которая называется заболонью или оболонью. Древесные породы, у которых центральная часть имеет темную окраску, называют ядровыми (дуб, кедр, сосна). Древесные породы, у которых центральная часть имеет свойства ядра, но по цвету не отличается от периферийной части, называется спелодревесными (ель, пихта, бук). Древесные породы, у которых ядро отсутствует, называют заболонными (береза, клен, ольха). У растущего дерева заболонь состоит преимущественно из живых клеток.

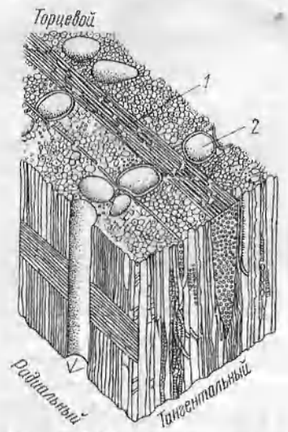


Рис. 117. Схема анатомического строения дуба (порода кольцесосудистая):

1 — лучи сердцевины; *2* — сосуды

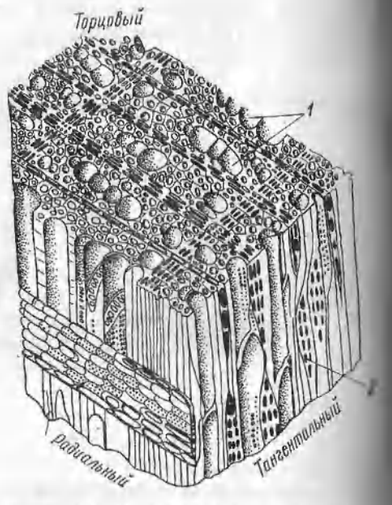


Рис. 118. Схема анатомического строения березы (порода рассеянно-сосудистая):

1 — сосуды; *2* — лучи сердцевины

Вдоль всего ствола в его центральной части расположена *сердцевина,* которая состоит из клеток с тонкими стенками. Сердцевина и образовавшиеся в первый год роста побеги образуют сердцевинную трубку. Эта часть ствола является наиболее слабой, она плохо противостоит загниванию.

Питательные вещества в поперечном направлении — от коры к сердцевине — проходят по сердцевинным лучам.

В зависимости от условий роста годовые слои бывают различной ширины даже у деревьев одной и той же породы. Однако ширина годового слоя не так существенно отражается на свойства древесины, как процентное содержание в ней поздней древесины — с его увеличением прочность древесины возрастает.

Перемещение влаги в древесине лиственных пород происходит по сосудам, расположенным вдоль ствола. В некоторых лиственных породах (дубе, ясене, вязе) имеются крупные и мелкие сосуды: крупные сосуды располагаются в ранней части годового слоя, а мелкие собраны в группы или распределены равномерно по всей площади поздней древесины. Такие породы называются кольцесосудистыми (рис. 117).

В некоторых лиственных породах (березе, осине, липе) крупных сосудов нет и различия между ранней и поздней частями годового слоя не наблюдаются. Эти породы называются рассеянно-сосудистыми (рис. 118).

Деревья хвойных пород сосудов не имеют, они состоят из замкнутых удлиненных клеток — трахеид (рис. 119). У большинства хвойных пород между трахеидами в поздней части годового слоя находятся смоляные ходы — межклеточные пространства, заполненные смолой. Кроме годовых колец, на поперечном разрезе видны также полосы, направленные по радиусам и называемые сердцевинными лучами. На радиальном разрезе дуба они имеют вид относительно широких лент.

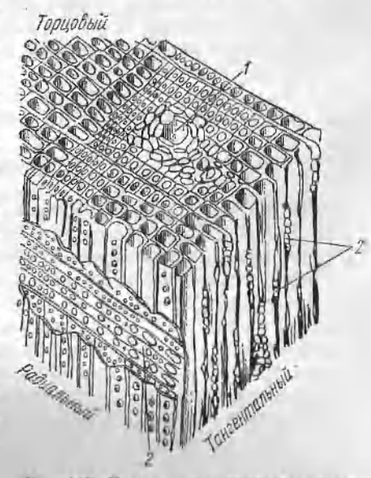


Рис. 119. Схема анатомического строения сосны (хвойная порода):

1 — смоляной ход; *2* — лучи сердцевины

Микроструктура. Изучая древесину под микроскопом, можно видеть, что она состоит из большого количества живых и отмерших клеток различных размеров и форм. Живая клетка состоит из протоплазмы, ядра, оболочки и клеточного сока.

Протоплазма представляет собой зернистую, прозрачную, тягучую слизь (растительный белок), состоящую из углерода, водорода, кислорода, азота и серы.

Ядро от протоплазмы отличается лишь наличием фосфора, оно обычно имеет овальную форму.

Оболочка клетки состоит в основном из целлюлозы или клетчатки $(C_6H_{10}O_5)_n$. По мере роста клетки оболочка претерпевает различные изменения в строении и составе, в результате чего происходит ее одеревенение или опробкование, или ослизнение. При одеревенении в оболочке клетки образуется вещество лигнин, в результате чего увеличивается твердость и прочность клетки. При опробковании в оболочке клетки образуются вещества с меньшим содержанием кислорода, чем лигнин, в связи

с чем клетка хорошо противостоит гниению и становится непроницаемой для воды и газов. Ослизнение сопровождается превращением всей оболочки или части ее в слизь, которая растворяется в воде. Если ослизняется часть оболочки, создаются отверстия, которыми клетки соединяются между собой, образуя сосуды.

По назначению клетки делят на проводящие, механические и запасающие. Проводящие клетки служат в основном для передачи питательных веществ от корней к ветвям и листьям. Механические клетки имеют вытянутую форму, толстые стенки и узкие внутренние полости, которые плотно соединены между собой. Эти клетки в основном придают древесине высокую прочность. Запасающие клетки находятся большей частью в сердцевинных лучах и служат для хранения и передачи питательных веществ живым клеткам в горизонтальном направлении.

§ 2. Свойства древесины

Древесина обладает весьма разнообразными техническими свойствами. Наиболее полно они раскрываются при изучении физических и механических свойств древесины.

Физические свойства древесины. На свойства древесины большое влияние оказывает влажность. Воду, находящуюся в древесине, делят на три вида — капиллярную (или свободную), гигроскопическую и химически связанную. *Свободная вода* заполняет в древесине полости клеток, межклеточные пространства и сосуды. *Гигроскопическая вода* находится в оболочках клеток и в межклеточном пространстве. *Химически связанная вода* входит в химический состав веществ, образующих древесину.

Основную массу воды в растущем дереве составляют капиллярная и гигроскопическая вода или только гигроскопическая вода. Состояние древесины, в которой отсутствует капиллярная вода и содержится только гигроскопическая, называется точкой насыщения волокон. В древесине разных пород она составляет 23—35%. При высыхании древесины влага постепенно испаряется с поверхности наружных слоев, а влага, оставшаяся в древесине, передвигается от внутренних слоев к наружным.

По степени влажности различают древесину: мокрую, свежесрубленную (влажность 35% и выше), воздушно-сухую (влажность 15—20%) и комнатно-сухую (влажность 8—13%).

Гигроскопичностью древесины называют способность ее поглощать из воздуха парообразную воду. Степень поглощения зависит от температуры воздуха и его относительной влажности. Влажность, которую получила древесина при продолжительном нахождении на воздухе с постоянной относительной влажностью и температурой, называется равновесной влажностью.

Вследствие гигроскопичности древесины влажность изделий из дерева изменяется при изменении температуры и влажности

окружающего воздуха. Влажная древесина отдает влагу окружающему воздуху, а сухая поглощает ее. Поскольку влажность воздуха не постоянна, то влажность древесины также меняется. Изменение влажности древесины от нуля до точки насыщения волокон вызывает изменение объема древесины. Последнее приводит к разбуханию и усушке, короблению древесины и появлению трещин. Для уменьшения гигроскопичности и водопоглощения древесину покрывают лакокрасочными материалами или пропитывают различными веществами.

Плотность древесины примерно одинакова для всех пород и в среднем равна 1,54 т/м³.

Объемная масса древесины зависит от объема пор и влажности. Объемную массу древесины приводят к влажности ее при 15%:

$$\gamma_{об\,(15)} = \gamma_{об\,(w)} [1 + 0{,}01\,(1 - K_{об})]\,(15 - w),$$

где $\gamma_{об(15)}$ — объемная масса образца при влажности 15%, т/м³; $\gamma_{об(w)}$ — объемная масса образца при влажности, которую он имел в момент определения, т/м³; $K_{об}$ — коэффициент объемной усушки; w — влажность древесины в момент определения объемной массы.

Объемная масса древесины зависит от плотности и влажности. У большей части древесных пород объемная масса больше 1: у ели, сосны, липы, осины — 0,46—0,60; у березы, дуба, лиственницы и других — 0,61—0,75; у кизила, самшита — 0,91; у черного и бакаутового дерева — 1,26—1,28 т/м³.

Объемная масса древесины характеризует ее физико-механические свойства (прочность, теплопроводность, водопоглощение). Показатель объемной массы используют при определении коэффициента качества, который определяют отношением предела прочности при сжатии к объемной массе. У сосны он равен 0,6, у дуба — 0,57.

Усушкой древесины называют уменьшение ее линейных размеров и объема при высыхании. Испарение капиллярной воды не сопровождается усушкой. Последняя происходит только при испарении гигроскопической влаги. При этом уменьшается толщина водных оболочек, мицеллы сближаются друг с другом и уменьшаются размеры древесины.

Ввиду неоднородности строения древесина усыхает или разбухает в различных направлениях неодинаково. Линейная усушка вдоль волокон не превышает 0,1—0,3%, в радиальном направлении она составляет 3—6%, а в тангентальном — 7—12%.

Усушку древесины (%) в продольном $У_п$, радиальном $У_р$ и в тангентальном $У_т$ направлениях вычисляют по формулам:

$$У_п = \frac{a - a_1}{a_1} 100; \quad У_р = \frac{b - b_1}{b_1} 100;$$

$$У_т = \frac{c - c_1}{c_1} 100,$$

где a, b, c — размеры образца в продольном, радиальном и тангентальном направлениях до высушивания; a_1, b_1, c_1 — то же после высушивания до абсолютно сухого состояния.

Степень объемной усушки $У_{об}$, (%) характеризуют коэффициентом объемной усушки и вычисляют с точностью до 0,1% по формуле

$$У_{об} = \frac{V - V_1}{V_1} 100,$$

где V, V_1 — объемы образца до и после высушивания.

Коэффициент объемной усушки $K_{об}$ для различных пород составляет 0,2—0,75% и определяется с точностью до 0,01% по формуле

$$K_{об} = У_{об}/w,$$

где w — влажность образца, %; она не должна превышать точки насыщения волокон.

Свойство неравномерного изменения линейных размеров в различных направлениях является одним из отрицательных свойств дерева как строительного материала. Медленное высыхание древесины обеспечивает более равномерную усушку и дает меньше трещин. Неравномерная усушка древесины в различных направлениях вызывает различные напряжения, в связи с чем древесина коробится и покрывается трещинами. В круглом бревне трещины располагаются радиально. Доски, вырезанные ближе к сердцевине ствола, коробятся меньше, чем доски, выпиленные ближе к поверхности бревна.

Разбуханием называют способность древесины увеличивать свои размеры и объем при поглощении воды, пропитывающей оболочки клеток. Древесина разбухает при поглощении влаги до точки насыщения волокон. Разбухание, как и усушка, неодинаковы в разных направлениях. Разбухание древесины вдоль волокон составляет 0,1—0,8%, в радиальном направлении — 3—5% и в тангентальном — 6—12%.

Теплопроводность древесины невелика, она зависит от характера пористости, влажности, направления волокон, породы и объемной массы дерева, а также от температуры. Коэффициент теплопроводности древесины вдоль волокон примерно в 1,8 раза больше, чем поперек волокон. В среднем он составляет 0,16—0,30 Вт/м·°С. С увеличением объемной массы и влажности уменьшается количество воздуха, находящегося в пустотах, в связи с чем теплопроводность древесины увеличивается.

Звукопроводность. Дерево является хорошим проводником звука, который в древесине распространяется в 2—17 раз быстрее, чем в воздухе. Быстрее всего звук распространяется вдоль волокон, далее в радиальном направлении и медленнее всего в тангентальном направлении.

Водопроницаемость древесины зависит от породы дерева, первоначальной влажности, характера разреза (торцевого, ра-

диального, тангентального), местоположения древесины в стволе (ядро, заболонь), ширины годичных слоев, возраста древесины. Водопроницаемость вдоль волокон больше, чем через радиальную и тангентальную поверхности. Характеризуется водопроницаемость древесины количеством воды, профильтровавшейся через поверхность образца (г/см²).

Стойкость древесины к действию кислот, щелочей и воды. Длительное действие кислот и щелочей разрушает древесину, и чем выше концентрация, тем сильнее их разрушающее действие. Слабощелочные растворы не разрушают древесину. В кислой среде древесина начинает разрушаться при pH⩽2, тогда как разрушение бетона и стали начинается при pH⩽4. По исследованиям С. И. Ванина, хвойные породы более стойки к действию серной, азотной, соляной и уксусной кислот и едкого натра, чем лиственные, а из хвойных пород наибольшей стойкостью обладает лиственница. В морской воде древесина сохраняется хуже, чем в речной. В воде большой бактериологической агрессивности стойкость древесины низка, поэтому ее использование в сетях канализации не допускается.

Механические свойства древесины как анизотропного материала неодинаковы в различных направлениях. Это качество древесины необходимо учитывать при испытании ее физико-механических свойств. Механические свойства древесины зависят от многих факторов: с увеличением влажности прочность древесины снижается; древесина с большой объемной массой имеет более высокую прочность; на прочность древесины влияет пробег поздней древесины, наличие пороков, гнили, строение.

Прочность древесины на сжатие. Усилия к конструктивному элементу могут быть приложены с учетом строения древесины вдоль или поперек волокон, поэтому различают сжатие вдоль и поперек волокон. Для испытания на сжатие вдоль волокон берут образцы древесины без сучков в виде прямоугольной призмы размером 20×20×30 мм при размере древесины не менее 30 мм вдоль волокон и испытывают на прессе. Прочность (Па) определяют по формуле

$$\sigma_w = P_{max}/ab,$$

где P_{max} — максимальная нагрузка, Н; a и b — размеры поперечного сечения образца, м.

В связи с тем что механические свойства древесины зависят от влажности (рис. 120), для сравнения результатов испытаний предел прочности на сжатие (Па) вдоль волокон древесины данной влажности приводится к пределу прочности древесины при 15%-ной влажности по формуле

$$\sigma_{15} = \sigma_w [1 + \alpha (w - 15)],$$

где α — поправочный коэффициент на влажность, который показывает, на сколько процентов изменяется прочность древесины при изменении влажности на 1%.

Предел прочности древесины на сжатие вдоль волокон с влажностью 15% в зависимости от породы дерева меняется в широких пределах — от 30 до 80 МПа. Предел прочности древесины на сжатие поперек волокон значительно меньше, чем на сжатие вдоль волокон и составляет: в радиальном направлении — 4,1 (пихта), 25,6 (граб), а в тангентальном — 7,1 (ель), 15,6 МПа (граб).

Прочность древесины на растяжение. Древесина имеет высокий показатель прочности на растяжение вдоль волокон. Для наших основных пород эта величина меняется от 80 до 190. Однако трудность передачи усилий, заключающаяся в том, что в закрепленных концах деревянной детали возникают напряжения смятия и скалывания, которым древесина сопротивляется плохо, не позволяет широко использовать древесину в конструкциях, работающих на растяжение.

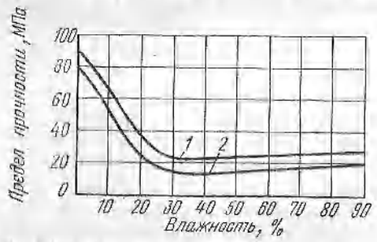


Рис. 120. Зависимость предела прочности на сжатие от влажности древесины:
1 — дуб; *2* — пихта

Прочность древесины на статический изгиб. Древесина оказывает большое сопротивление статическому изгибу, благодаря чему ее широко применяют для элементов зданий и сооружений, работающих на изгиб (балки, бруски, стропила, фермы и т. д.). Предел прочности древесины на изгиб определяют на образцах-балочках размером 20×20×300 мм. Для различных пород он составляет 50—100 МПа (при влажности 15%).

Испытание образцов производят по схеме балки, свободно лежащей на двух опорах с пролетом 240 мм и нагруженной двумя сосредоточенными грузами на расстоянии 80 мм, по формуле

$$\sigma_{и\,(ст)} = \frac{2P_{max}l}{bh^2},$$

где P_{max} — разрушающий груз, Н; l — расстояние между опорами, м; b и h — ширина и высота сечения образца, м.

Предел прочности древесины на изгиб должен быть приведен к влажности 15%. У лиственных пород прочность при изгибе в радиальном и тангентальном направлениях практически одинакова, а у хвойных прочность в тангентальном направлении немного больше, чем в радиальном. Прочность на статический изгиб зависит от тех же факторов, что и прочность на сжатие.

Прочность древесины на скалывание вдоль волокон. Древесина обладает невысокой прочностью на скалывание вдоль волокон — 6,5—14,5 МПа.

Сопротивление перерезыванию древесины поперек волокон в 3—4 раза выше сопротивления скалыванию вдоль волокон, но чистый срез обычно не имеет места, так как одновременно происходит смятие и изгиб волокон.

В строительных конструкциях древесина часто работает на скалывание вдоль волокон, например в стропильных фермах и других элементах конструкций. Вместе с тем следует иметь в виду, что в настоящее время на передовых предприятиях наблюдается тенденция к переходу на стандартную влажность древесины, равную 12%.

§ 3. Пороки древесины

Пороками древесины называют отклонения от нормального строения, а также повреждения, которые оказывают влияние на ее технические свойства. Пороки появляются как при росте дерева, так и при хранении на складах и эксплуатации. В зависимости от причин их появления пороки делят на следующие основные группы: пороки, зависящие от неправильного строения; образовавшиеся от механического повреждения; от грибковых заболеваний; от повреждения насекомыми.

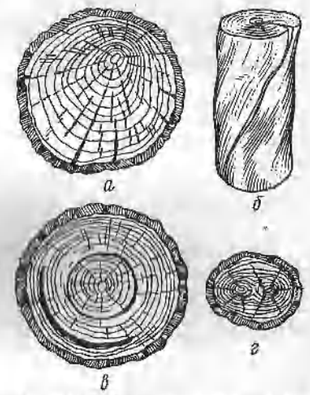


Рис. 121. Пороки, вызываемые неправильностью роста древесины:
а — крень; *б* — косослой; *в* — отлуп; *г* — двойная сердцевина

Пороки, зависящие от неправильного роста древесины, следующие:

косослой древесины выражается в косом (винтообразном) направлении волокон (рис. 121, *б*), что значительно ухудшает физико-механические свойства древесины: косослойная древесина имеет повышенную усушку и продольное коробление, понижает прочность древесины при изгибе;

крень однобокая и местная (рис. 121, *а*); часто встречается у хвойных пород и представляет собой утолщение поздней части годовых слоев;

кривизна, представляющая собой искривление ствола по длине, бывает односторонней и разносторонней, причем ствол может быть искривлен в одной или разных плоскостях; кривизна уменьшает полезный выход продукции и является причиной искусственного косослоя;

сбежистость представляет собой уменьшение диаметра ствола от корня к вершине, превышающее норму; сбежистость явля-

ется причиной искусственного косослоя и уменьшает полезный выход продукции;

двойная сердцевина, характеризуемая наличием двух сердцевин в торцевом сечении ствола, встречается при двухвершинности дерева (рис. 121, *г*), что снижает качество сортамента;

сучковатость выражается количеством сучков на 1 м, величиной и видами самих сучков; сучки бывают заросшие, выпадающие, рыхлые, роговые, табачные и др., а также здоровые и загнившие (так, табачные являются очагами загнивания здоровой древесины);

трещины образуются не только при высыхании срубленного дерева, но и при жизни его от различных причин (усыхания ядра, раскачивания ветром, от мороза и т. д.). Трещины бывают следующих видов: метик, отлуп, морозобоина и трещины усушки.

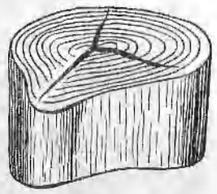


Рис. 122. Метик крестовый

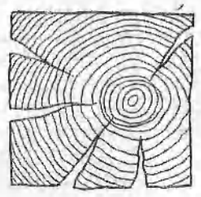


Рис. 123. Трещины усушки

Метик представляет собой одну или несколько внутренних радиально-продольных трещин, проходящих через сердцевину, но не доходящих до луба. Различают метик простой и крестовый (рис. 122). Простой метик состоит из одной или двух трещин на торце, расположенных по одному диаметру; крестовый метик образуется двумя или несколькими трещинами на торце, расположенными под углом одна к другой. Метик бывает согласный, если трещина идет по стволу в одной плоскости, и несогласный, если трещина идет винтообразно.

Отлупом называют внутреннюю трещину, идущую по годовому слою вдоль ствола (рис. 121, *в*). Отлуп может быть дугообразный или кольцеобразный. Морозобоиной называют наружную открытую продольную трещину, более широкую с внешней стороны ствола и сужающуюся к центру ствола. Трещины усушки встречаются очень часто в древесине почти всех пород (рис. 123). Они образуются при высыхании древесины ниже точки насыщения волокон и распространяются от поверхности вглубь. Трещины снижают качество древесины, уменьшают количество полезной древесины и способствуют ее загниванию.

Повреждения древесины грибками весьма многочисленны. Ненормальные окраски и гнили древесины вызываются главным

образом поселившимися в ней грибками, являющимися простейшими растительными организмами и питающимися за счет клеток древесины, а иногда вызываются физико-химическими факторами. Грибки развиваются при наличии кислорода, влаги и благоприятной температуры. Древесина с влажностью 20% и

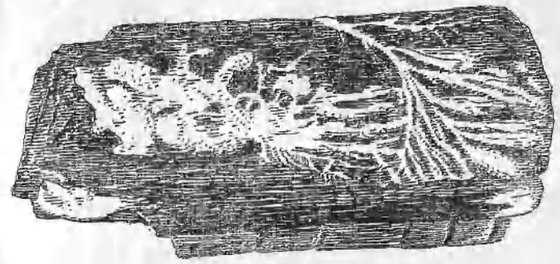


Рис. 124. Грибок домовой белый

менее, а также древесина, помещенная в воду или на морозе, не загнивает.

Некоторые грибки могут развиваться лишь на растущем дереве, другие — только на срубленном, а некоторые развиваются как на растущем, так и на срубленном дереве. Одни грибки только изменяют окраску древесины и почти не влияют на физико-механические свойства, другие изменяют цвет и физико-

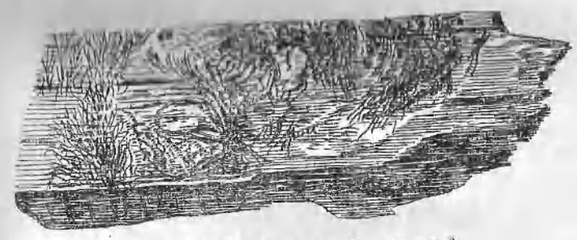


Рис. 125. Грибок домовой пленчатый

механические свойства древесины, разрушают ее, образуя гнили.

К группе грибков, поражающих растущее дерево и продолжающих разрушать его в конструкциях, относятся: гниль дуба белая или бурая, гниль лиственных пород белая и т. п. Грибки, развивающиеся на древесине в зданиях и сооружениях, называют домовыми грибами. Наиболее опасными, быстро разрушающими древесину, являются гриб белый домовой (рис. 124) и домовой пленчатый (рис. 125). К группе грибков, медленно

разрушающих древесину, относятся плесени, цветные окраски и синева. Процесс гниения древесины при ее высыхании прекращается, и все грибы погибают.

Повреждение древесины насекомыми (червоточина) происходит как на растущем, так и на срубленном дереве. Насекомые расселяются преимущественно на свежесрубленных, а также на сухостойких и ослабленных деревьях на корню. Растущему дереву наибольший вред приносят короед, усачи и другие насекомые. Короед — поверхностное повреждение древесины в виде неглубоких извилистых бороздок, вызываемое жучками-короедами, лубоедами и их личинками. При использовании древесины, пораженной короедом, для распиловки на доски и тес поврежденные места срезают, что не оказывает вредного влияния на материал, но при использовании бревен, поврежденных короедом, возможно быстрое их загнивание, так как жуки часто заносят споры грибов, вызывающих гниение.

Червоточина — это глубокое повреждение древесины насекомыми и их личинками. Древесина, пораженная глубокой червоточиной, имеет низкие механические свойства и сортность вплоть до перехода в разряд дровяных. Глубокая червоточина встречается на всех древесных породах.

Очень быстро разрушают древесину морских подводных сооружений моллюски (морской червь — шашень).

§ 4. Предохранение древесины от разрушения

Древесина, находящаяся в сооружении и на складе, может подвергаться разрушению, вызываемому грибами и насекомыми. Неодинаковые древесные породы оказывают различную сопротивляемость разрушающей деятельности грибов и насекомых. Более стойкой является плотная древесина с большим содержанием летней древесины с дубильными веществами. Сухая окоренная (без луба) древесина сохраняется довольно долго в сухих, проветриваемых помещениях. Некоторые древесные породы, находящиеся в воде, не только не разрушаются, но и увеличивают свою прочность, например дуб.

Предохранение древесины от загнивания и продление срока службы в сооружении достигается путем защиты древесины от увлажнения конструктивными мерами — окраской или обмазкой, выщелачиванием и пропиткой девесины антисептиками.

Окраска, обмазка и выщелачивание. Срок службы древесины увеличивается при сплошном покрытии ее в сухом состоянии масляной краской, лаком или олифой. Значительно увеличивает срок службы сухая древесина, обмазанная смолой. В этом случае смола выполняет функции не только красителя, но и антисептика, хотя и слабого. Выщелачиванием древесины в холодной воде либо в процессе сплава леса можно удалить растительные соки. Выщелачивание производят также в горячей воде путем вываривания.

Антисептиками называют вещества, которые отравляют грибы, вызывающие гниение древесины. Антисептики должны обладать высокой токсичностью по отношению к грибам, быть стойкими, не должны поглощать влагу и вымываться водой. В то же время они должны быть безвредны для человека и домашних животных, для древесины и металла, должны хорошо проникать в древесину и иметь неприятный запах.

Антисептики бывают водорастворимые, маслянистые и пасты. *Водорастворимые антисептики* используют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации не будет подвергаться воздействию влаги. Из водорастворимых антисептиков наиболее широко применяют фтористый и кремнефтористый натрий, медный купорос, динитрофенолят натрия. Фтористый натрий (NaF) — белый порошок, малорастворимый в воде, не имеет запаха, не разрушает древесину и железо. Применяют фтористый натрий для пропитки и обмазки древесины в виде 3%-ного раствора при температуре 15° С. Фтористый натрий нельзя использовать в смеси с известью, мелом и гипсом. Кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6) — порошок, плохо растворимый в воде, по антисептическим свойствам близок к фтористому натрию. Применяют его в виде горячего раствора в смеси с фтористым натрием в соотношении 1 : 3, а также в качестве компонента в силикатных пастах или после обработки щелочью.

Динитрофенолят натрия производят из динитрофенола под действием углекислой соды. Динитрофенолят натрия не летуч, не гигроскопичен, не разрушает металлов, в сухом порошке взрывоопасен. Используют его в водных растворах для поверхностной обработки деревянных изделий, которые не будут находиться вблизи нагреваемых поверхностей.

Масляные антисептики вследствие горючести и резкого запаха применяют ограниченно, только для пропитки или обмазки древесины, находящейся на открытом воздухе, в грунте или в воде. К ним относятся: каменноугольное креозотовое и антраценовое масла, торфяной креозот, каменноугольный деготь и сланцевое масло.

Креозотовое масло — черная или коричневая жидкость — является одним из лучших антисептиков, слабо вымывается водой, не гигроскопично, не летуче, не разрушает древесину и металлы; обладает горючестью, малой проницаемостью в древесину (1—2 мм), имеет неприятный запах; на поверхности древесины образует плотный слой, затрудняющий ее высыхание. Креозотовое масло применяют подогретым до 50—60° С. Оно окрашивает древесину в темный цвет, в связи с чем ее нельзя красить. Креозотовое масло не следует применять для внутренней окраски жилых зданий и складов пищевых продуктов, подземных сооружений и поверхностей, расположенных около горючих мест.

Антраценовое масло — зеленовато-желтая жидкость, обладающая сильным антисептическим действием, медленно улетучивается, слабо выщелачивается водой и не разрушает дерева и

металлов. Антраценовое масло получают из каменноугольного дегтя. Оно обладает такими же свойствами, что и креозотовое масло, и применяется в тех же случаях.

Антисептические пасты по виду вяжущих веществ бывают битумные, силикатные и др. Битумные антисептические пасты состоят из 30—50% фтористого натрия, 5—7% торфяного порошка, до 30% нефтебитума марки III или IV и до 30% зеленого нефтяного масла. Эти пасты огнеопасны во время приготовления, обладают резким запахом, водоустойчивы. Применяют их для покрытия элементов, находящихся в условиях увлажнения, соприкасающихся с землей и открытых для атмосферного влияния. Силикатные антисептические пасты содержат 15—20% кремнефтористого натрия, 65—80% растворимого стекла, 1—2% креозотового масла и до 20 % воды. Эти пасты не водостойки и не горючи. Применяют их в промышленном и жилищном строительстве в местах, защищенных от воды.

Способы антисептирования древесины следующие: поверхностное антисептирование, пропитки в горяче-холодной или в высокотемпературной ваннах, пропитка под давлением и т. д.

Поверхностное антисептирование заключается в промазывании или опрыскивании древесины раствором антисептика.

Пропитку у древесины в горяче-холодной ванне производят водорастворимыми и маслянистыми антисептиками. При этом древесину сначала загружают в ванну с горячим антисептиком с температурой до 98° С и выдерживают 3—5 ч, а затем помещают в ванну с холодным антисептиком на 1—3 ч с температурой водорастворимых антисептиков в 15—20° и маслянистых 40—60° С. Этот способ эффективен при пропитке подсушенной древесины, имеющей влажность заболони не более 30%.

Пропитку древесины в высокотемпературных ваннах (с петролатумом) применяют для антисептирования сырой древесины. Древесину загружают в ванну с расплавленным жидким петролатумом, имеющим температуру 120—140° С, и выдерживают в ней некоторое время для нагревания и сушки, затем древесину перемещают в холодную ванну с маслянистым антисептиком с температурой 65—75° С на 24—48 ч, где и происходит ее пропитка. В этом способе совмещается сушка и антисептирование древесины.

Пропитку древесины под давлением производят водными и маслянистыми антисептиками в специальных стальных цилиндрических котлах — ретортах с рабочим давлением 0,6—0,8 МПа. Для этого лесоматериал загружают в пропиточный бак и герметически закрывают, т. е. создают вакуум. Затем бак наполняют антисептиком и повышают давление до 0,6—0,8 МПа, после чего давление доводят до нормального, выпускают антисептики и вынимают лесоматериал.

При пропитке древесины маслянистыми антисептиками их предварительно подогревают, чтобы температура в баке при пропитке не была ниже установленного предела.

§ 5. Предохранение древесины от возгорания

Легкая возгораемость древесины — один из существенных ее недостатков. Предохранить древесину от возгорания можно путем покрытия штукатуркой, гипсовыми или асбестоцементными листами или обработкой огнезащитными веществами. Применяют два способа обработки покрытия — красками и антипиренами — специальными химическими веществами.

Огнезащитные краски по составу бывают силикатные, казеиновые, масляные и хлорвиниловые.

Силикатные краски изготовляют на растворимом стекле, они обладают высокими огнезащитными свойствами. При окраске древесину покрывают слоем огнезащитной краски, которая сама по себе не горит, долго не разрушается от огня и плохо проводит тепло.

Огнезащитные составы, или антипирены, представляют собой более надежное средство в борьбе с воспламеняемостью древесины. Их применение основано на том, что они при высокой температуре либо плавятся, либо выделяют газы, предотвращающие горению. Равномерно пропитанное антипиреном сухое дерево при высокой температуре не воспламеняется, а только тлеет. Лучшими огнезащитными свойствами обладают антипирены, содержащие соли аммония или борной и фосфорной кислот. Пропитку древесины антипиренами производят так же, как и пропитку водорастворимыми антисептиками, что дает лучшие результаты, чем покрытие ее огнезащитными красками.

§ 6. Породы древесины и их применение в строительстве

В строительстве применяют хвойные и лиственные породы древесины. Среди **хвойных пород** наиболее широко используют сосну, ель, лиственницу, пихту.

В зависимости от условий произрастания различают два вида *сосны:* рудовую и мяндовую. Рудовая сосна растет на высоких песчаных почвах и имеет мелкослойную плотную смолистую древесину, большое ядро и узкую заболонь. Мяндовая сосна растет в низинах на песчаных или глинистых почвах и имеет более слабую, чем рудовая, широкослойную древесину, малое ядро и широкую заболонь. Сосну применяют для постройки стен жилых домов, мостов, эстакад, столбов, для изготовления оконных переплетов, дверей, полов.

Ель — спелодревесная безъядровая порода, имеет белый цвет, иногда с желтоватым или розоватым оттенком. Она обладает меньшей смолистостью, чем сосна, поэтому быстрее загнивает. Ель широко используют в строительстве, хотя по физико-механическим свойствам она уступает сосне.

Лиственница — ядровая хвойная порода с красновато-бурым ядром и узкой заболонью белого цвета. Древесина листвен-

ницы имеет высокие физико-механические свойства, объемную массу и прочность на 30% выше, чем у сосны. Стойка против загнивания, обладает высокой твердостью, затрудняющей обработку. К недостаткам лиственницы следует отнести большую разницу между радиальной и тангентальной усушкой, в связи с чем она имеет склонность к растрескиванию. Применяют лиственницу для изготовления столбов, балок в основном в гидротехническом строительстве.

Пихта — спелодревесная безъядровая порода с древесиной белого цвета. В пихте отсутствуют смоляные ходы; по техническим свойствам она близка к древесине ели и применяется для тех же целей, но менее устойчива в сырых местах.

Лиственные породы очень многочисленны и обладают разнообразными свойствами. Наибольшее применение в строительстве имеют дуб, береза, ольха, осина, бук, липа, клен.

Дуб — ядровая кольцесосудистая порода с заболонью желтоватого цвета с хорошо выраженными сердцевинными лучами. Древесина дуба плотная, прочная и упругая, стойкая против гниения, имеет красивый рисунок и цвет, но склонна к растрескиванию. Древесина дуба является хорошим строительным материалом, но ввиду дефицитности ее применяют только для паркета, столярных и отделочных работ в судостроении.

Береза — заболонная порода с твердой и тяжелой древесиной белого или желтоватого цвета. Береза довольно прочна, но мало устойчива против гниения, при высыхании коробится. Применяют березу для фанеры, токарных изделий, для изготовления мебели.

Ольха — заболонная порода, легкая, мягкая, ломкая и сильно коробящаяся. На воздухе древесина ольхи быстро портится, но если она в свежесрубленном состоянии применяется для подводных сооружений, то довольно прочна и сохраняется долго.

Осина — заболонная порода, легкая, мягкая, белого цвета. В сухой среде осина прочная, хорошо колется и обтачивается на токарном станке, мало коробится и мало трескается при высыхании. Применяют осину для получения фанеры, для кровли и т. д.

Бук — тяжелая твердая древесина белого цвета с красноватым оттенком. При высыхании коробится и трескается, склонен к загниванию, особенно в местах с переменной влажностью.

§ 7. Хранение и сушка лесных материалов

Свежесрубленная древесина имеет влажность значительно большую, чем допускается при ее использовании. При быстром высыхании древесины возможно коробление и растрескивание. Поэтому перед использованием древесины в строительстве ее сушат, что предохраняет от загнивания, увеличивает прочность, уменьшает объемную массу и склонность к изменению формы и

размеров. В настоящее время применяют следующие способы сушки древесины: воздушную (естественную), камерную, электросушку, сушку в горячих жидкостях. Основными являются воздушная и камерная сушки.

Воздушная сушка происходит на открытом воздухе, под навесом или в закрытых складах. Время сушки древесины с влажностью 60% до влажности 20% в зависимости от времени года составляет 15—60 суток. Воздушная сушка не требует специального оборудования, топлива, электроэнергии и т. д. Вместе с тем воздушная сушка имеет недостатки — она требует больших площадей, зависит от климатических условий и времени года, не исключает загнивания, высушивание древесины возможно только до воздушно-сухого состояния.

Камерную сушку осуществляют в специальных камерах-сушилках с помощью нагретого и увлажненного воздуха или топочных газов с температурой 40—105° С. При камерной сушке соблюдается определенный режим, т. е. соотношение между температурой и влажностью воздуха. Нарушение режима сушки приводит к растрескиванию и короблению древесины, к увеличению брака и удлинению сроков сушки. Искусственная сушка не только сокращает сроки сушки, но позволяет высушивать изделия до влажности ниже 16%, высокого качества без коробления и трещин. К недостаткам камерной сушки относится необходимость иметь оборудование и помещение, а также значительный расход топлива, электроэнергии и рабочей силы.

6. МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В строительстве применяют следующие виды лесных материалов и изделий: лесоматериалы круглые (бревна), пиломатериалы и заготовки, изделия строганые погонажные, материалы для полов, плиты столярные, материалы для кровель временных зданий, фанеру, дрань штукатурную и столярные изделия. К деревянным конструкциям относятся: несущие конструкции, изготовляемые из естественной (неклееной) древесины; комплекты изделий и деталей для домов заводского изготовления и клееные конструкции.

§ 1. Лесоматериалы круглые (бревна)

Бревна строительные из хвойных и лиственных пород должны иметь толщину на верхнем торце не менее 14 см и длину 4—6,5 м. Для гидротехнических сооружений и элементов мостов применяют бревна из хвойных пород толщиной 22—34 см, длиной 6,5—8,5 м. Для линий электропередач и связи применяют бревна хвойных пород толщиной 20—32 см и длиной 6,5—18 м. Для шпал железных дорог используют бревна хвойных и лиственных пород толщиной не менее 24 см и длиной 2,7—5,4 м.

Для несущих конструкций зданий и пролетных строений стов влажность круглых лесоматериалов не должна превышать 25%, а для конструкций, находящихся постоянно в воде (свай шпунты), может быть любой.

Бревна должны очищаться от сучьев заподлицо с поверхностью и окорены с полным удалением луба.

Для элементов несущих конструкций постоянного назначения по качеству древесины бревна делят на три категории. К первой и второй категориям относят бревна, в которых не допускаются повреждения древесины гнилью и червоточиной. Количество других видов повреждений (трещины, косослой, количество и размеры сучков) ограничивается для первой категории бревен больше, чем для второй. К третьей категории относят бревна с пороками всех разновидностей, за исключением гнили. Ограничено также количество гнилых и табачных сучков. Допускают только поверхностную (повреждения короедом) червоточину.

Хранение круглых лесоматериалов осуществляют в штабелях по породам, категориям и длине.

§ 2. Пиломатериалы

Пиломатериалы получают продольной распиловкой древесины: на доски толщиной 100 мм и менее при соотношении ширины к толщине более 2; бруски толщиной 100 мм и менее при отношении ширины к толщине 2 и менее; брусья (четырехкантные и двухкантные) толщиной и шириной более 100 мм.

По характеру обработки пиломатериалы делят на обрезные, у которых обе кромки пропилены по всей длине, и необрезные, у которых кромки не пропилены или пропилены меньше, чем на половину длины.

Из хвойных пород изготовляют пиломатериалы трех видов: доски, бруски и брусья. Доски производят толщиной 13—40 мм и шириной 80—250 мм; бруски — толщиной 50—100 мм и шириной 80—200 мм; брусья — толщиной 130—250 мм и шириной 130—250 мм.

Пиломатериалы из хвойных пород имеют длину до 6,5 м с градацией в 0,25 м. Из лиственных пород пиломатериалы изготовляют длиной 1—6,5 м с градацией в 0,25 м, толщиной 13—75 мм и шириной 80—200 мм. Пиломатериалы для клееных конструкций должны иметь влажность не более 15%, а для пролетных строений мостов и других несущих конструкций — не более 25%.

Древесина, применяемая для пиломатериалов, должна быть высокого качества и не должна содержать гнили, а для пиломатериалов первой и второй категорий — также червоточины, пасынков, гнилых и табачных сучков.

§ 3. Заготовки из древесины хвойных и лиственных пород

Заготовками называют пиломатериалы, заготовленные применительно к габаритным размерам изделий из древесины с припусками на усушку и обработку, предусмотренными действующими стандартами.

В зависимости от вида обработки заготовки делят на пиленые, клееные и калиброванные (предварительно простроганные); в зависимости от размера заготовки — на тонкие (толщиной до 32 мм), толстые (толщиной более 32 мм), досковые (толщиной 13—100 мм и шириной более двойной толщины) и брусковые (толщиной 22—100 мм и шириной не более двойной толщины). Длину заготовок из хвойных и лиственных пород устанавливают 0,3—1 м с градацией в 50 мм и свыше 1 м — с градацией 100 мм.

Влажность пиленых заготовок не должна превышать 18—22%, а клееных и калиброванных — должна соответствовать влажности готовых изделий.

Качество древесины и обработка заготовок хвойных пород должны соответствовать ГОСТ 9685—61, лиственных — ГОСТ 2307—71.

К **строганым погонажным деталям** относят наличники, прокладки, плинтуса, доски для настила чистых полов, поручни для перил, проступи, доски подоконные и наружную обшивку. Строганые погонажные материалы делают из древесины хвойных и лиственных пород. Погонажные изделия изготовляют длиной 2,1 м и более с градацией через 100 мм. Влажность древесины для досок чистого пола не должна превышать 12%, а для других деталей — не более 15%.

Погонажные строганые изделия могут быть не только цельными, но и составными как по сечению, так и по длине. Во всех случаях соединение выполняют на клею.

Материалы для полов бывают следующих видов: штучный паркет, наклеенный на бумагу, паркетные доски, доски для настилки чистых полов, шашка торцевая и плиты древесноволокнистые. Для изготовления паркета применяют дуб, бук, березу, сосну, лиственницу, ясень, клен, берест, вяз, ильм, каштан, граб, белую акацию. Доски для настила чистых полов изготовляют из сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, березы, бука и ольхи, а шашка торцевая — из древесины хвойных и твердых лиственных пород, исключая пихту, дуб, бук и березу. Влажность древесины для чистого пола не должна превышать 12%, для паркета и паркетных досок — 6—10% и для шашки торцевой — не более 28%. Доски для пола и торцевая шашка до их укладки должны антисептироваться.

Столярные плиты состоят из реечных щитов, оклеенных рубашками из шпона. Плиты столярные в зависимости от вида материала, рубашек делят на облицованные строганой фанерой с одной или обеих сторон и на необлицованные; по виду обработки поверхности рубашек — на шлифованные с одной или

обеих сторон и нешлифованные; по виду клея, применяемого для склеивания рубашек со щитом, — на склеенные синтетическими смолами и на склеенные белковыми клеями. Щиты плит изготовляют из одной породы дерева хвойных или мягких лиственных пород, а также из березы. Рубашки для необлицованных плит делают из березового, ольхового, букового и соснового шпона и для облицованных плит — из строганой фанеры не ниже второго сорта, согласно ГОСТ 2977—65. Плиты столярные производят шириной 1220, 1270 и 1525 мм, длиной 1800, 2120 и 2500 мм и толщиной девяти типоразмеров от 16 до 50 мм. Влажность столярных плит не должна превышать 8%.

§ 4. Фанера и материалы для кровель временных зданий

Кровельные материалы для временных зданий производят следующих видов: стружку, дрань, плитки деревянные и гонт. Материалы для кровель изготовляют из сосны, ели, пихты и осины; дрань можно также изготовлять из лиственницы; плитки — из кедра.

Стружку производят длиной вдоль волокна 400—500 мм, шириной 70—120 мм и толщиной 3 мм; дрань — длиной 400—1000 мм, шириной 90—130 мм и толщиной 3—5 мм; плитки — длиной 400—600 мм с градацией через 50 мм, шириной — не менее 70 мм и толщиной — 13 мм; гонт — длиной 500—700 мм с градацией через 100 мм, шириной — 70—120 мм с градацией через 10 мм и толщиной со стороны шпунта — 15 мм, со стороны пера — 3 мм. Влажность древесины, применяемой для стружки и драни, составляет 40%, а для плиток и гонта — до 25%.

Фанеру изготовляют склеиванием тонких слоев (шпонов) древесины. В строительстве применяют фанеру трех видов: клееную, бакелизированную и декоративную.

Клееную фанеру делят на: фанеру повышенной водостойкости, склеенную клеями типа феноло-формальдегидного марки ФСФ; средней водостойкости, склеенную карбамидными или альбумино-казеиновыми клеями (марок ФК и ФБА) и ограниченной водостойкости, склеенную белковыми клеями марки ФБ. В зависимости от вида обработки поверхностей рубашек фанеру делят на шлифованную и нешлифованную. Клееную фанеру изготовляют из березы, бука, осины, ясеня, ильма, дуба, липы, ольхи, сосны, ели, кедра и пихты длиной или шириной 725—1230 мм и толщиной 1,5—12 мм. Клееную фанеру повышенной водостойкости применяют для несущих конструкций (балок, арок, рам и т. п.) в открытых сооружениях с защитой от увлажнения — с окраской; в помещениях с влажностью воздуха до 70% — без окраски. Фанеру средней водостойкости применяют для перегородок и внутренней обшивки зданий.

Бакелизированную фанеру изготовляют из березового шпона толщиной не более 1,5 мм. Рубашки фанеры собирают из целых листов шпона по ширине. В зависимости от применяемого вида смолы бакелизированную фанеру делят на три марки: БФС, БФВ-1 и БФВ-2. Рубашки марки БФС пропитывают, а средние намазывают спирторастворимыми смолами; марки БФВ-1 — соответственно спирторастворимыми и водорастворимыми смолами, а марки БФВ-2 — только водорастворимыми смолами. Бакелизированную фанеру выпускают размером от 770×2000 мм до 1580×1200 мм толщиной 5—16 мм. Влажность фанеры не должна превышать 8%. Применяют бакелизированную фанеру там же, где и клееную, но без окраски поверхности.

Декоративную фанеру изготовляют из березового, ольхового и липового шпона. По виду облицовки декоративную фанеру делят на два вида: фанеру, поверхность которой облицована бесцветной клееокрашенной пленкой, и на фанеру, поверхность которой облицована пленкой и декоративной бумагой. Декоративная фанера может быть облицована с одной или двух сторон и иметь глянцевую или полуматовую поверхность. Декоративную фанеру выпускают следующих размеров: длиной 1220—1830 мм, шириной 725—1220 мм и толщиной 1,5—12 мм. Влажность фанеры не должна превышать 10%. В строительстве декоративную фанеру применяют для внутренней отделки стен, перегородок, панелей, дверных полотен и встроенной мебели.

§ 5. Столярные изделия

Из древесины производят следующие основные виды столярных изделий: элементы дверей, окон, перегородки и панели (щитовые, филенчатые, глухие и остекленные) для жилых зданий и ворота для промышленных зданий (распашные, открытые, подвесные и неподвесные, утепленные и неутепленные). Из древесины хвойных пород изготовляют столярные изделия, а из лиственных (бука, березы и др.) — только внутренние двери и фрамуги для помещений с относительной влажностью воздуха не более 70%. Изготовление щитовых дверей, столярных перегородок и панелей (внутреннего заполнения) производят из отходов лесопильного, деревообрабатывающего и фанерного производств. Оконные переплеты можно также изготовлять из клееных заготовок на водостойких клеях.

В последнее время для изготовления пустотелых щитовых дверей в качестве заполнителей применяют отходы изоляционных древесноволокнистых плит (рис. 126, *а*). Два обрезка таких плит предварительно склеивают между собой, после чего их разрезают на полосы длиной около 40 мм и шириной на 2—3 мм больше толщины рамы каркаса двери. Полоски располагают в виде решетки. У поперечных брусков решетки разделяют прокладками из тех же древесноволокнистых плит. При склеивании двери полоски запрессовывают и, благодаря тому, что их ширина больше толщины рамы каркаса двери, они образуют плотный заполнитель: облицовка не прогибается.

Двери с более ровными лицевыми поверхностями получают при использовании комбинированного заполнителя из твердых

и рыхлых материалов (рис. 126, *б*). В качестве твердого мат… риала используют деревянные бруски, а рыхлого материала – полоски из изоляционной древесноволокнистой плиты, ширин… которых на 3—4 мм больше ширины заполнителя из твердых материалов. Клей наносят только на твердые заполнители. Поз… прессованный рыхлый материал препятствует прогибанию обли… цовочного слоя и позволяет получить ровные лицевые повер… ности пустотелых щитовых дверей.

Наряду с однотонной окраской щитовых дверей изготовляют… также двери с отделкой имитационной текстурной бумагой. Дл…

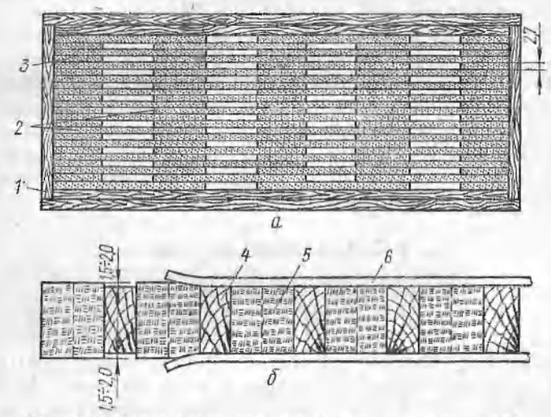


Рис. 126. Заполнители для пустотелых щитовых дверей:

а — из изоляционных плит; *б* — комбинированные; *1* — деревянная рама; *2* — склеенные полосы из изоляционных плит; *3* — прокладка; *4* — твердый материал; *5* — рыхлый материал; *6* — облицовочный слой

изготовления последних на гладкую поверхность древесноволок… нистой плиты наклеивают лист бумаги, на котором напечатан рисунок, воспроизводящий текстуру натуральной древесины цен… ных пород. Для предотвращения просвечивания текстуры плиты и создания необходимого тона окраски под текстурную бумагу кладут тонирующую бумагу. Между древесноволокнистой пли… той и прокладочной бумагой, а также между последней и тек… стурной бумагой для их склеивания помещают смоляные пленки. Такой же отделочной пленкой покрывают текстурную бумагу сверху. Отделочная пленка необходима для получения прочной и блестящей поверхности изделия. Собранный пакет (рис. 127) укладывают на полированную прокладку с зеркальной поверх… ностью и запрессовывают в горячем прессе, где под действием высокой температуры пленки плавятся, а затем затвердевают. Такая плита обладает высокой твердостью и стойкостью.

…ечественная промышленность производит большое разно… …ие дверных блоков для жилых и общественных зданий …128). Дверные внутриквартирные блоки типов Д2 и Д4 …овой конструкции) …от из дверного по… …а и коробки (рис. …, *и*). Полотно пред… …ляет собой щитовую …трукцию, состоящую …рамки, собранной из …ков и сотового бу… …ого заполнителя. …тно облицовано с …сторон твердыми …есноволокни с т ы м и …ами и может быть …ено различными …ами или облицовано …ной фанерой твердолиственных пород с отделкой лаком. …али коробки и рамки полотна изготовляют из древесины …ных пород.

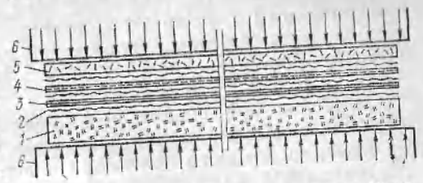


Рис. 127. Схема сборки пакета для имитационной отделки двери:

1 — имитируемая древесноволокнистая плита; *2* — смоляные пленки; *3* — крющая или тонирующая бумага; *4* — текстурная бумага; *5* — стальная полированная прокладка; *6* — горячие плиты пресса

Дверной внутриквартирный блок типа Д3 (рис. 128, *б*) пред… …ляет собой остекленный блок щитовой конструкции. В ка…

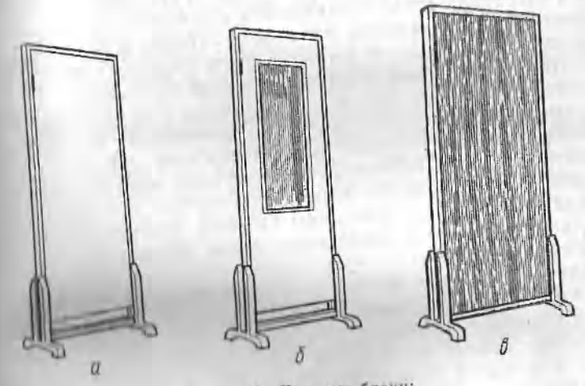


Рис. 128. Дверные блоки:

а — дверной внутриквартирный блок щитовой конструкции; *б* — дверной внутриквартирный остекленный блок; *в* — однопольный глухой дверной блок

…стве заполнителя применяют твердую древесноволокнистую …ту, в которой вырезают проем под стекло. Изготовляют так… …ходные двери с лестничной клетки, наружные дверные блоки …другие изделия для жилых, общественных зданий.

Однопольный глухой дверной блок (рис. 128, *в*) предн… чен для заполнения дверного проема внутри зданий общест… ного назначения. Дверное полотно изготовляют из хвой… пород древесины, оклеивают клееной фанерой, фанируют бер… вым шпоном и покрывают полиэфирной эмалью. Дверные … ки облицовывают раскладкой твердолиственных пород. Двер… коробку фанируют березовым шпоном и отделывают н… эмалью.

Широкое применение в жилищном строительстве нах… паркетные доски для настила полов. Паркетная доска сос… из нижнего реечного основания и верхнего лицевого покры… Материалом для основания служат рейки из низкосортных п… материалов хвойных пород, для лицевого покрытия — то… планки твердых лиственных пород (дуб, ясень, бук).

Щитовой художественный паркет применяют для нас… полов в общественных зданиях. Размеры щитов — от 750×… до 1200×1200 мм. Для лицевого покрытия используют ясе… граб, дуб, красное дерево. Основание для щитового паркета … готовляют из древесины хвойных пород. С лицевой стор… паркет обрабатывают специальным лаком.

§ 6. Конструкции из древесины

Конструкции из древесины и индустриальные строитель… детали изготовляют на специальных строительных заводах.

Комплекты деревянных изделий и деталей для домов зав… ского изготовления делят на следующие группы: комплекты д… брусчатых домов; для каркасных домов со стенами несущ… деревянного или железобетонного каркаса с различными запо… нителями; для панельных домов со стенами из несущих па… лей — деревянных (щитов), железобетонных или других ма… риалов; для домов со стенами из местных каменных и друг… строительных материалов. Комплекты деревянных изделий и д… талей изготовляют из древесины хвойных (сосны, ели, листве… ницы, кедра, пихты) и лиственных пород (бука, березы, топо… ольхи, осины, липы).

Изделия и детали поставляют на стройку в готовом вид… исключающем их подгонку; детали и изделия, соприкасающие… с землей, антисептируют.

Клееные конструкции применяют в покрытиях, перекрытия… мостах в качестве балок прямоугольного и двутаврового сеч… ния, а также в виде арок и частей металлодеревянных ферм … в виде криволинейных и прямолинейных блоков верхних поясов … ферм и элементов решетки, рам и стоек, свай и шпунта, мосто… вых брусьев, шпал, клеефанерных щитов (покрытий, стен и пе… крытий), а также инвентарной опалубки. Клееные конструк… ции изготовляют путем склейки из досок (брусков) или из до… сок (брусков) и фанеры. Для изготовления прямолинейных … клееных конструкций применяют доски и бруски толщиной не…

…е 50 мм и шириной не более 100 мм для досок, склеиваемых … углом 90°, и не более 150 мм для досок, склеиваемых под … 45°. В зависимости от вида работы элементы деревянных …ных несущих конструкций делят на пять категорий (I, II, … III и IIIа).

Влажность древесины для изготовления клееных конструкций … должна превышать 15%. Элементы конструкций, подвергаю… ся увлажнению, изготовляют на водостойких клеях типа …ольо-формальдегидного.

§ 7. Приемка, транспортирование и хранение

При приемке лесоматериалов, изделий и конструкций из …есины на строительстве должно проверяться соответствие … качества с учетом допускаемых пороков, размеров и влаж… действующим стандартам и техническим условиям.

Деревянные изделия и конструкции, поставляемые с огра… ченной влажностью, при перевозке и хранении защищают от …лажнения и повреждений. Бревна, применяемые в круглом … с ограниченной влажностью, хранят в штабелях, обеспечи… ющих естественную сушку древесины. Пиломатериалы, посту… ающие с влажностью до 25%, хранят в штабелях с плотной …кладкой, а с влажностью не более 25% — в штабелях, обеспе… вающих естественную сушку материалов; над штабелем уст… авливают плотную крышу.

Детали, погонажные материалы для полов, кровель, дрань … штукатурную хранят в закрытых складах. При хранении дере… ные конструкции укладывают на прокладки, предохраняю… ие от искривления, подомок и грунтовой влаги.

При перевозке и кратковременном хранении в штабелях … детали и изделия следует накрывать брезентом, толем и дру… ими материалами. Блоки и коробки окон и дверей при пере… ке должны дополнительно расшиваться горизонтальными …ланками.

§ 8. Технико-экономическая эффективность применения материалов и изделий из древесины

В современном строительстве древесину широко используют … качестве элементов конструкций для стен и перекрытий зда… ий, столярных и погонажных изделий, а также для производ… ства стандартных деревянных домов заводского изготовления. …льшое количество дерева расходуется в процессе возведения … даний и сооружений на устройство свай, столбов, опор раз… ичного назначения, опалубки, строительных лесов и т. д.

Весьма эффективно использование в строительстве клееных …ревянных конструкций в виде балок, ферм, арок, рам, в по… рытиях зданий и сооружений, эксплуатируемых в химически …грессивных средах. В этих условиях деревянные конструкции

обеспечивают в 1,5 раза больший срок службы по сравнению со стальными или железобетонными.

Применение древесины должно быть экономически обосновано с учетом возможной замены дерева сборным железобетоном, асбоцементными, гипсовыми, пластмассовыми и другими изделиями.

В табл. 58 приведены технико-экономические показатели применения древесины в строительстве в сравнении с железобетоном, гипсобетоном и пр.

Таблица 58

Технико-экономические показатели применения некоторых видов деревянных конструкций

Рекомендуемые конструкции	Заменяемые конструкции	Приведенные затраты		
А	Б	А	Б	Б — А, экономия
Несущие деревянные клееные конструкции для сельхозздний пролетом 12 м, м² (площади пола)	Железобетонные трехшарнирные рамы массового применения (Краснодарский край, Ставропольский край и др.) пролетом 12 м, м² (площади пола)	1,8	2,6	0,8
Пол из древесностружечной плиты, м²	Дощатый пол, м²	8,0	9,5	1,5
	Паркетный пол, м²	8,0	11	3,0
Блок дверной из древесностружечной плиты, м²	Блок дверной с дверью деревянной филенчатой, м²	6,7	11	4,3
Арболитовая стеновая несущая панель толщиной 22 см, м²	Кирпичная стена 66 см	10	20,5	10,5
	Стена из эффективного кирпича 52 см	10	15,8	5,8
	Однослойная керамзитобетонная панель 30 см	10	13,2	3,2

Как следует из этих данных, применение древесины в сельскохозяйственных зданиях (в несущих конструкциях) обеспечивает экономию в размере 20—25% по сравнению с железобетонными шарнирными рамами.

Экономические исследования подтверждают высокую эффективность развития производства клееных деревянных конструкций (балок, рам, арок, ферм, стеновых и кровельных клеефанерных панелей).

Применение усовершенствованной технологии производства деревянных клееных конструкций с использованием автоматизированных линий, ускоренных способов склеивания, автоматизированных систем контроля и отбраковки сырья и продукции позволяет повысить качество и снизить себестоимость изготовления конструкций.

Использование деревянных клееных конструкций особенно эффективно в сельских производственных зданиях, промышленных зданиях с агрессивными средами, в гражданских сооружениях — спортивных и выставочных залах, клубах и т. п., в транспортном и других видах строительства. К 1975 г. намечается увеличить выпуск клееных деревянных конструкций в 10 раз по сравнению с 1970 г.— до 160 тыс. м³.

Экономное расходование древесины может быть достигнуто за счет усовершенствования применяемых конструкций, замены древесины другими более экономичными для данного района материалами.

Большой экономический эффект дает применение в массовом жилищном строительстве древесностружечных плит и арболита (см. табл. 58). В настоящее время из отходов древесины получают древесноволокнистые и древесностружечные плиты на базе полимерных материалов и цемента. Это позволяет не только в наибольшей мере использовать отходы древесины, но и получать материал более высокого качества, чем древесина, с лучшими физико-механическими качествами и эстетическими показателями.

Использование в строительстве древесноволокнистых плит и арболита, базирующихся на отходах древесины, дает значительную экономию как по единовременным, так и эксплуатационным затратам. Экономия приведенных затрат на 1 м² пола из древесностружечных плит в сравнении с дощатым полом составляет 1,5 руб., а паркетным полом —3,0 руб. Арболитовая стена на 5,0—7,0 руб. дешевле кирпичной и на 3,2—5,0 руб.— керамзитобетонной (в расчете на 1 м² стены). Такая экономия объясняется комплексным использованием ресурсов сырья для производства строительной продукции.

Одним из основных путей экономии древесины в народном хозяйстве является экономия ее в процессе обработки и переработки. Рациональный выбор технологических процессов и режимов переработки древесины, научно обоснованные нормированные расходы древесины на всех стадиях ее обработки и переработки, а также уменьшение отходов позволят значительно сократить потери древесины. В лесозаготовительной промышленности потери древесины могут быть в результате заготовки древесины при валке леса, перевозках и т. д. Большие потери наблюдаются при транспортировании древесины к местам потребления (особенно сплавом), при длительном хранении ее на складах.

Основными мероприятиями, способствующими повышению долговечности древесины, являются: надлежащие температурно-влажностные условия хранения древесины, соответствующая обработка древесины в зависимости от ее использования, защита антисептиками и антипиренами; создание благоприятных условий эксплуатации деревянных конструкций.

ГЛАВА XIII

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

А. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Теплоизоляционные материалы предназначены для защи
от проникновения тепла или холода. Это обычно очень лег
стые материалы, имеющие объемную массу 600 кг/м^3 и мен
и коэффициент теплопроводности не более 0,20 Вт/м·° С.

Применением теплоизоляционных материалов в строите
стве можно резко сократить потери тепла в окружающую сре
через ограждающие конструкции и тем самым уменьшить ра
ход топлива, так как каждая тонна рационально использова
ного теплоизоляционного материала способна сохранить 30
200 т условного топлива в год. Поэтому экономическая эффе
тивность тепловой изоляции весьма велика: обычно затраты н
ее устройство окупаются стоимостью сбереженного тепла в т
чение 1—1,5 лет работы изолированного трубопровода или об
рудования. Еще меньше срок окупаемости затрат на изоляци
трубопроводов и поверхностей холодильных установок.

Основной задачей в производстве теплоизоляционных мат
риалов является наряду с увеличением выпуска теплоизоляци
онных материалов и улучшением их качества повышение инд
стриализации теплоизоляционных работ и увеличение удельно
веса производства изоляции в виде изделий и конструкци

§ 1. Структура и свойства теплоизоляционных материалов

Теплоизолирующая способность материала зависит не тол
ко от пористости, но и от характера пор, их распределения, ра
меров, открыты они или замкнуты. Наиболее высокими тепл
изоляционными свойствами обладают материалы, содержащ
при всех прочих равных условиях большое количество мелки
и замкнутых пор, заполненных воздухом. Воздух в неподвижно
состоянии обладает очень малым коэффициентом теплопров
ности (при 20° С) — 0,02 Вт/м · ° С. Если взять какое-либо высок
пористое тело с мелкими и замкнутыми порами и детально ра
смотреть его структуру под микроскопом, то можно увидет
множество воздушных мешочков, отгороженных друг от друг
тонкой вещественной стеночкой. Совокупность таких мешоч
содержащих малотеплопроводный воздух, создает преграду п

следования тепла или холода и делает материал малотеп
проводным. Для лучших изоляционных свойств материала
тельно, чтобы на пути теплового потока имелось как мож
больше таких воздушных мешочков, а тонкие ограничиваю
их стенки располагались сотообразно.

В наибольшей мере изолирующее свойство воздуха прояв
ется только при спокойном его состоянии, так как находя
ся в движении воздух оказывает содействие переносу теп
Крупнопористое, раковистое строение материала с вытянут
ми порами создает условия для возникновения конвекцион
потоков воздуха, что вызывает усиление передачи тепла
рез материал. Чем меньше объем воздуха, заключенного в по
тем меньше его подвижность и тем лучше изолирующие
йства.

Теплоизоляционные свойства материалов зависят также от
отношения объемов воздуха, заключенного в воздушных ме
ках, и твердого вещества, входящего в единицу объема ма
риала. Чем тоньше слой твердого вещества, окружающего
душный мешочек, тем лучше теплозащитные свойства мате
ла и меньше его коэффициент теплопроводности. В очень
ростых материалах с очень малой объемной массой объем
духа, содержащегося в них, настолько велик и теплоизоли
ющие свойства настолько большие, что роль твердого ве
ства в передаче тепла становится очень незначительной. В та
х материалах коэффициент теплопроводности может прибли
аться к коэффициенту теплопроводности воздуха (например,
пупоре).

Если сравнить теплопроводность материалов, имеющих оди
ковый вещественный состав, но различную пористость, то
жно заметить, что коэффициент теплопроводности почти про
порционален объемной массе материала, т. е. содержанию в
х твердого вещества.

Поры и пористые каналы в материале могут быть созданы
нениванием его, введением при изготовлении материала газо
рующих добавок, контактным склеиванием или спеканием
дельных зерен и частиц материала, взаимоналожением боль
ого количества волокон и т. п.

Структура материала оказывает существенное влияние на
го теплозащитные свойства. Особенно наглядно это проявляе
ся в материалах волокнистого строения. Например, теплопро
ность древесины вдоль волокон приблизительно в 2 раза
льше, чем поперек волокон. Для характеристики теплоизоля
онных свойств материалов, применяемых в виде засыпок,
льшое значение имеет крупность зерен. С уменьшением раз
ра зерен теплозащитные свойства материала улучшаются,
имеет место даже в том случае, если объемная масса его
тается неизменной.

Рассматривая, таким образом, общий характер строения
плоизоляционных материалов, можно сделать вывод, что ма-

лую теплопроводность материалам придают поры, когда они
полнены воздухом, но если поверхность этих пор будет пок
пленкой воды или поры будут заполнены водой, то теплои
ционные свойства материалов резко снижаются. Это проис
дит потому, что вода имеет значительно более высокий ко
фициент теплопроводности, нежели воздух (примерно в 25
Поэтому при эксплуатации теплоизоляционные материалы
обходимо защищать от увлажнения.

§ 2. Классификация теплоизоляционных материалов и изделий

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицир
по следующим признакам: структуре, форме, виду основ
исходного сырья, объемной массе, сжимаемости (относит
ной деформации сжатия) и теплопроводности.

В зависимости от **структуры** теплоизоляционные матери
делят на: пористо-волокнистые (минераловатные, стекловол
нистые и др.); пористо-зернистые (перлитовые, вермикулитов
совелитовые, известково-кремнеземистые и другие материал
ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопла
ты).

По **форме** теплоизоляционные материалы бывают штучн
(плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегмент
рулонные (маты, полосы, матрацы), шнуровые (шнуры,
ты), сыпучие.

По **виду сырья** различают теплоизоляционные материалы
органические и органические.

В зависимости от величины **объемной массы** теплоизоля
онные материалы делят на три группы: особо легкие (ОЛ)
марками по объемной массе —15, 25, 35, 50, 75 и 100; легк
(Л) марок —125, 150, 175, 200, 225, 250, 300 и 350 и тяже
(Т) четырех марок —400, 450, 500 и 600.

В зависимости от величины **сжимаемости** (относительной
формации сжатия) под удельной нагрузкой теплоизоляцион
материалы бывают трех видов: мягкие (М), полужесткие (П
и жесткие (Ж). Для мягких материалов сжимаемость дол
быть не более 30%, полужестких —6—30% и жестких — до 6

В зависимости от величины теплопроводности (важной
рактеристики) теплоизоляционные материалы делят на
класса: малотеплопроводные — класс А, среднетеплопро
ные — класс Б и повышенной теплопроводности — класс

Выбор материалов, предназначаемых для изоляции пов
ностей, имеющих отрицательную температуру или положит
ную до 100° С, должен производиться по величине коэффициен
теплопроводности при 25° С; для изоляции поверхностей, им
щих температуру от 100 до 600° С, — по величине теплопро
ности при 125° С и выше 600° С — по величине теплопроводно
при 300° С.

Коэффициент теплопроводности материалов в зависимости
класса приведен в табл. 59.

Таблица 59

Коэффициент теплопроводности материалов

	Наименования классов материалов	Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С, при средней температуре не более, °С		
		25	125	300
А	Малотеплопроводные	0,05	0,07	0,11
Б	Среднетеплопроводные	0,10	0,12	0,16
В	Повышенной теплопроводности	0,15	0,18	0,23

В основу классификации важнейших видов строительных
териалов и изделий, используемых в строительстве, положено
ледующие критерия: теплопроводность материала при температуре
ше 100° С, свыше 100° С и свыше 600° С; объемная масса; сжи-
емость материала под удельной нагрузкой кПа (относитель-
ая деформация); а также рекомендуемая область применения.

Согласно этой классификации теплоизоляционные материа-
ы и изделия делят на 7 групп:

теплоизоляционные неорганические рыхлые и сыпучие мате-
иалы — минеральная вата, стеклянная вата из непрерывного
локна, вата из супертонкого стекловолокна, вата каолинового
става, перлит вспученный, вермикулит вспученный, порошок
кселитовый, порошок асбестомагнезиальный, асбозурит и диа-
емитовая крошка;

минераловолокнистые изделия — плиты из минеральной ваты
а синтетическом связующем и на битумном связующем, ци-
индры, полуцилиндры и сегменты из минеральной ваты на
интетическом связующем, маты минераловатные прошивные
рулонированные на синтетическом связующем, пухшнур из
инеральной ваты, плиты из минеральной ваты на крахмаль-
ом связующем, плиты полужесткие и маты из стеклянного
тапельного волокна, рулонный материал из штапельного сте-
лянного волокна, маты и полосы из стеклянного волокна и
гут стеклянный;

теплоизоляционные асбестсодержащие изделия — изделия со-
ито-вые, известковокремнеземистые, вулканитовые, асбесто-
ермикулитовые, асбестовый шнур, асбопухшнур и асбомагне-
иальный шнур;

теплоизоляционные перлитовые изделия — изделия перлито-
ые на керамической и цементной связке, на битумном связую-
ем;

прочие теплоизоляционные неорганические изделия — изде-
ия диатомитовые, диатомитовые и трепельные обжиговые,
литы теплоизоляционные из ячеистого бетона и блоки из пе-
опласта;

теплоизоляционные изделия из органических материалов —
литы торфяные теплоизоляционные, плиты изоляционные дре-

весноволокнистые, плиты фибролитовые на портландцементе, плиты камышитовые, пробковая теплоизоляция натуральная.

теплоизоляционные пенопласты: теплоизоляционные плиты из пеностирольного пенопласта, поропласт полиуретановый, пенопласт плиточный ПВХ и мипора.

§ 3. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

Развитие современного индустриального строительства связано с созданием и повышением качества теплоизоляционных материалов. При этом наибольший интерес представляют теплоизоляционные материалы на минеральной основе, не подверженные гниению, достаточно огнестойкие и более долговечные, чем материалы из растительного волокна.

В настоящее время номенклатура выпускаемых теплоизоляционных материалов насчитывает более 25 наименований, из них решающее значение имеют изделия и материалы на основе минерального сырья — горных пород, шлаков, стекла и асбеста.

Минеральная вата и изделия на ее основе

Минеральная вата представляет собой теплоизоляционный материал, получаемый из расплава горных пород или металлургических шлаков и состоящий из стекловидных волокон и различных неволокнистых включений в виде капель силикатного расплава и микроскопических обломков волокон. Длина волокон минеральной ваты в зависимости от способа производства бывает от 2 до 60 мм, в массе должно содержаться до 80—90% тонкого волокна диаметром менее 7 мкм. В зависимости от величины объемной массы минеральную вату выпускают трех марок — 75; 100 и 125. Коэффициент теплопроводности при средней температуре 25±5° С равен соответственно 0,042; 0,044 и 0,047 Вт/м·° С, при температуре 100° С — 0,058, 0,059 и 0,060 Вт/м·° С, влажность — не более 2%. Технология производства шлаковой ваты приведена в гл. IV.

Минеральная вата прочно занимает ведущее положение среди теплоизоляционных материалов из неорганического сырья. Это обусловлено неограниченностью сырьевых запасов, простотой производства, высокой морозостойкостью, малой гигроскопичностью и небольшой стоимостью; ее можно применять для изготовления теплоизоляционных изделий и теплоизоляции при температуре изолируемых поверхностей от −200 до +600° С.

Вместе с тем следует отметить, что применение рыхлой минеральной ваты для тепловой изоляции затруднено присущими ей специфическими недостатками. При перевозках и хранении вата уплотняется и комкуется, часть волокон ломается и превращается в пыль; в конструкциях рыхлая вата должна быть защищена от механических воздействий, ее укладка требует

больших трудозатрат. Перечисленные недостатки рыхлой минеральной ваты частично или полностью устраняются при переработке ее в различные минераловатные изделия.

На основе минерального сырья производят минераловатные маты, полужесткие и жесткие плиты, а также скорлупы, сегменты, цилиндры и другие изделия.

Теплоизоляционные маты на основе минерального волокна предназначены для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов тепловых сетей. Отечественная промышленность производит несколько видов минераловатных матов.

Маты минераловатные прошивные применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 400° С. Изготовляют их следующим образом: слои минеральной ваты из камеры осаждения сначала подают транспортером в камеру охлаждения, где минераловатный ковер уплотняется до заданной толщины и одновременно через него просасывается холодный воздух. Охлажденный ковер затем направляют на прошивочную машину, прошивают нитями с помощью специальных игл. На этом же станке при помощи дисковых ножей осуществляют продольную разрезку ковра, после чего разрезанные на заданные размеры маты поступают на рулоноукладчик, а затем на упаковку.

Маты минераловатные прошивные изготовляют длиной 2000, шириной 900—1300 и толщиной 60 мм. По объемной массе в сухом состоянии выпускают маты М 150, коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии — не более 0,046 Вт/м·° С.

Маты минераловатные прошивные на металлической сетке используют для изоляции при температуре до 600° С. Изготовляют их из фильерной ваты марки ВФ путем прошивки ковра минеральной ваты на металлической сетке хлопчатобумажными нитками. Маты выпускают размерами 3000×500×50 и 5000×1000×100 мм, объемной массой — 100 кг/м³, коэффициентом теплопроводности при 100° С — 0,05 Вт/м·° С.

Минераловатные маты на обкладке из стеклохолста используют для изоляции поверхности с температурой 400° С. Состоят из минеральной ваты, пропитанной маслом и прошитой стеклонитью, прошедшим обработку в мыльном растворе. Эти маты производят объемной массой 125—175 кг/м³, размером ковра — 2000×500×40 мм и коэффициентом теплопроводности при 25±5° С — 0,044 Вт/м·° С.

Маты минераловатные на крахмальном связующем с бумажной обкладкой предназначены для теплоизоляции трубопроводов, прокладываемых внутри помещений, и промышленного оборудования с температурой до 150° С. Эти маты выпускают объемной массой — 100 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности при 25±5° С — 0,044 Вт/м·° С, длиной — 1000—2000, шириной — 950—2000 и толщиной — 40, 50, 60 и 70 мм.

Теплоизоляционные полужесткие плиты на основе минерального волокна применяют в качестве эффективного теплоизоляционного материала в строительных конструкциях, а также для тепловой изоляции промышленного оборудования, трубопроводов и холодильных установок. Полужесткие плиты производят на фенольном и синтетическом связующих.

Полужесткие плиты марки ПП на фенольном связующем изготовляют из минерального волокна путем нанесения на него распылением раствора фенолоспиртов с последующей полимеризацией и охлаждением. Плиты производят объемной массой до 100 кг/м³, коэффициентом теплопроводности при 25±5° С — 0,046 Вт/м·° С, размером 1000×500×30 (40; 60) мм.

Полужесткие плиты марки ППМ на синтетическом связующем вырабатывают из ковра минеральной ваты марки ВМ, пропитанной синтетическим связующим с последующей тепловой обработкой. Их производят объемной массой 80—100 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности (при 0—100° С) соответственно 0,031 и 0,058 Вт/м·° С.

Теплоизоляционные жесткие плиты и изделия на основе минерального волокна. *Жесткие минеральные изделия* изготовляют в виде плит, скорлуп и полуцилиндров на основе минеральной ваты и какого-либо органического связующего вещества: синтетического и битуминозного. Из синтетических связующих применяют феноло-формальдегидные и карбамидно-формальдегидные, а из битуминозных — битумы высоких марок с температурой размягчения не менее 45—50° С.

Производство жестких минераловатных изделий состоит из смешивания волокон с вяжущими веществами в виде эмульсии или пасты, формования изделий из полученной массы при некотором уплотнении и тепловой обработке. Формование изделий производят с применением вакуум-прессов вследствие повышенного содержания воды в формовочной массе и недопустимости сильного давления при формовании. Сушку изделий ведут при температуре 110—120° С, но после испарения влаги температуру сушки повышают до 130—140° С. При этом изделия на битумной связке приобретают лучшие физико-механические свойства вследствие образования битумом тонкой расплавленной пленки, обеспечивающей затем хорошую связь между волокнами.

Жесткие минераловатные плиты производят нескольких видов.

Жесткие плиты типа СМ 250 на битумном связующем производят мокрым способом формованием гидросмеси. Применяют их для теплоизоляции строительных конструкций. Они обладают низкой гигроскопичностью, водостойки и биостойки. Коэффициент теплопроводности 0,042 Вт/м·° С, температура эксплуатации до 70° С. Плиты выпускают размером 1000×500×60 мм.

Жесткие плиты марки ПЖ на синтетическом связующем применяют в крупнопанельных ограждающих конструкциях, для утепления совмещенных кровель в гражданском и промышленном строительстве. Они отличаются повышенной жесткостью, малой объемной массой — до 120 кг/м³, малым коэффициентом теплопроводности — 0,04 Вт/м·° С. Выпускают их размером 1000×500×600 мм.

Жесткие плиты на бентоколлоидном связующем благодаря высокой отражательной способности особенно эффективны для теплоизоляции объектов с высокой температурой поверхностей (до 600° С). Плиты стойки к воздействию химических и биологических сред, имеют объемную массу до 150 кг/м³, коэффициент теплопроводности при температуре 25±5° С — 0,04, а при температуре 270±5° С — 0,11 Вт/м·° С. Выпускают их размером 500 (1000)×5000 (50—90) мм.

Полуцилиндры на синтетическом связующем используют для теплоизоляции трубопроводов с температурой от —600 до +400° С. Производство полуцилиндров осуществляют по непрерывному способу на пресс-полимеризационной установке, по принципу формования изделий в камерах полимеризации. Полуцилиндры на синтетическом связующем производят объемной массой до 200 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности — 0,041—0,048 Вт/м·° С.

Стеклянная вата и изделия на ее основе

Стеклянная вата представляет собой волокнистый теплоизоляционный материал, получаемый из расплавленной стекломассы. Стеклянная вата имеет повышенную химическую стойкость, теплопроводность при 25° С — 0,05 Вт/м·° С, она не горит и не тлеет, объемная масса в рыхлом состоянии не должна быть более 130 кг/м³. Диаметр волокон стеклянной ваты, применяемой для теплоизоляции, не превышает 21 мкм. Структура ваты должна быть рыхлой — количество прядей, состоящих из параллельно расположенных волокон, не более 20% по массе.

Стеклянную вату изготовляют фильерным, дутьевым и штабиковым способами. Технология производства стеклянной ваты изложена в гл. IV. Стеклянную вату из непрерывного стеклошелка применяют для изготовления теплоизоляционных материалов и изделий и теплоизоляции при температуре изолируемых поверхностей от —200 до +450° С.

Маты и полосы из стеклянной ваты применяют для теплоизоляции плоских поверхностей и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей от —200 до +450° С. Их получают путем прошивки стеклянной ваты, покрытой сверху и снизу слоем проклеенных стеклянных волокон толщиной до 1,5 мм, асбестовыми или крученными из стеклянного волокна нитями. Поверхность матов проклеивают 2—5%-ным раствором декстрина или другого клея. Этот слой предохраняет маты и полосы от повреждений. Стеклянные маты выпускают длиной 1000 —

3000, шириной 200—750 и толщиной 10—50 мм. Объемная м матов и полос не превышает 170 кг/м³.

Изделия из стеклянного волокна применяют для тепло ляции строительных конструкций холодильников и сре транспорта при температуре от —60 до +180° С.

В настоящее время наша промышленность производит ви видов изделий из стеклянного волокна. Это в основном плит и маты. Маты строительные и технические изготовляют об ной массой 35 и 50 кг/м³, длиной — 7000—13000, шириной 500—1500 и толщиной — 30—80 мм, а плиты полужесткие стр тельные и технические — объемной массой 75 кг/м³ с размер 1000×500 (900, 1000, 1500)×30 (40, 50, 60, 70, 80) мм. Коэфф циент теплопроводности всех изделий в сухом состоянии п температуре 25±5° С должен быть не более 0,045 Вт/м·° С.

Производство изделий из стеклянного волокна состоит следующих операций: смешивания волокна с водорастворим синтетическим полимером, формования, тепловой обработ раскроя и упаковки в тару.

Вата из супертонкого стекловолокна, а также изделия ее основе, как хороший тепло- и звукоизоляционный матери в последние годы находит все большее применение в строител стве. Физико-технические свойства этих материалов характер зуются следующими показателями: объемная масса — 25 кг/м коэффициент теплопроводности — 0,03 Вт/м·° С, температур эксплуатации от —60 до +450° С, коэффициент звукопоглоще ния в диапазоне частот 400—2000 Гц составляет 0,65—0,95.

Базальтовое супертонкое стекловолокно БСТВ является вы сококачественным материалом для тепловой изоляции, фил трации, а также для изготовления теплостойких бумаг, карт нов и матов. Этот материал производят с очень малой объем ной массой 17—25 кг/м³, низким коэффициентом теплопровод ности 0,027—0,037 Вт/м·° С, высоким коэффициентом звукопо глощения, который в диапазоне частот 100—4000 Гц составляет 0,15—0,95. Супертонкое базальтовое стекловолокно можно пр менять при температуре эксплуатации от —200 до +700° С. Т кими же физико-техническими показателями характеризуютс маты теплоизоляционные из супертонкого стекловолокна. Зву копоглощающие маты из супертонкого базальтового стеклово локна имеют коэффициент звукопоглощения 0,70—0,95.

Пеностекло является хорошим теплоизоляционным высоко пористым материалом ячеистого строения. Плиты из пеностекла применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зда ний (для изоляции стен и перекрытий, утепления полов и по крытий промышленных и гражданских зданий), декоративной отделки интерьеров, изоляции поверхностей с температурой эксплуатации до 180° С. Пористость различных видов пеносте кла составляет 80—95%, размеры ячеек — 0,25—0,5 мм. Ячейки образованы тонкими стенками, имеют микропористое строение. В результате такого строения пеностекло имеет высокие тепло

изоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности в зависимости от объемной массы (150—250 кг/м³) колеблется от 0,08 до 0,12 Вт/м·° С. Пеностекло обладает рядом ценных свойств — водостойкостью, несгораемостью, морозостойкостью и высокой прочностью от 2 до 6 МПа в зависимости от объемной массы материала.

Вспученный перлит и изделия на его основе

Вспученный перлит — это пористый сыпучий материал, получающийся вспучиванием природного перлита во вращающихся или шахтных печах при температуре (900—1200)° С. Процесс получения вспученного перлита заключается в быстром нагреве сырья (изверженной горной породы перлита, состоящего из вулканического стекла с включением полевых шпатов, кварца и других минералов) до температуры обжига. Содержащаяся в горной породе гидратная вода энергично испаряется и удаляется из породы, а в момент размягчения пар вспучивает ее и происходит многократное увеличение объема (от 5 до 20 раз).

Вспученный перлит в виде песка представляет собой зерна белого или серого цвета с воздушными замкнутыми порами. Размер зерен — 0,1—5,0 мм, объемная масса перлитового песка — 100—250 кг/м³, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии — 0,046—0,071 Вт/м·° С, истинная пористость — до 85—90%, а количество открытых пор — 3—20%.

Перлитовый песок применяют в растворах и бетонах, идущих для приготовления теплоизоляционных изделий, огнезащитных штукатурок, а также для теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от —200 до +800° С.

В настоящее время вспученный перлит широко используют для производства теплоизоляционных изделий на его основе.

Добавка вспученного перлита к минеральным вяжущим веществам позволяет получить несгораемые изделия, обладающие высокой жесткостью и хорошими теплофизическими свойствами.

Керамоперлитофосфатные и керамоперлитовые изделия завоевали большую популярность при строительстве электронагревательных печей, реакторов в химической промышленности и других объектов благодаря высоким теплоизоляционным показателям.

Технологическая линия для производства перлитовых обжиговых теплоизоляционных изделий на различных связующих (пластичная глина, фосфаты, жидкое стекло) включает в себя процессы по вспучиванию перлитовой породы, приготовлению формовочной массы, полусухого прессования изделий и их термической обработки (сушки и обжига).

Керамоперлитофосфатные изделия на фосфатном связующем применяют для тепловой изоляции печей и оборудования с температурой до 1150° С, в том числе для электронагревательных печей с контролируемыми углеводородосодержащими средами.

Формовочная масса состоит из вспученного перлитового песка объемной массой 60—120 кг/м³, пластичной глины огнеупорностью 1680—1710° С и фосфатного связующего. Формование изделий производят на прессах в металлических формах. Изделия выпускают объемной массой 250—400 кг/м³, огнеупорностью 1350—1400° С, коэффициентом теплопроводности при 600° С не более 0,2 Вт/м·° С.

Керамоперлитовые изделия — плиты, кирпич, сегменты, изготовляемые из вспученного перлитового песка и глинистого связующего, применяют для тепловой изоляции поверхностей промышленных печей и оборудования при температуре до 900° С. При объемной массе 250—400 кг/м³ коэффициент теплопроводности их составляет 0,07—0,1 Вт/м·° С.

Перлитовые изделия на цементном связующем применяют для теплоизоляции промышленного оборудования с температурой эксплуатации до 600° С. Их производят в виде полуцилиндров, сегментов и плит объемной массой 250—350 кг/м³, коэффициентом теплопроводности при 325° С равным 0,12—0,13 Вт/м·° С.

Перлитогелевые изделия используют для теплоизоляции поверхностей энергетического оборудования и трубопроводов при температуре до 650° С. Перлитогелевые плиты, скорлупы и сегменты получают из вспученного перлитового песка, обработанного серной кислотой и тонкомолотой силикатной глыбы с добавкой кремнефтористого натрия. Изделия имеют объемную массу 200—250 кг/м³, коэффициент теплопроводности при 25° С—0,06 Вт/м·° С, а при температуре 325° С—0,11 Вт/м·° С.

Битумоперлитовые изделия применяют (при температуре эксплуатации от —60 до +50° С) для тепловой изоляции конструктивных элементов зданий, для монолитной изоляции тепловых и холодильных установок, а также трубопроводов при их бесканальной прокладке. Разогретый до температуры 170—180° С битум марки БН-IV подают в растворосмеситель и перемешивают с перлитовым песком в соотношении 1:6—1:9 (по объему). Из перемешанной горячей битумоперлитовой массы могут быть изготовлены скорлупы, сегменты или монолитная теплоизоляция трубопроводов.

Объемная масса битумоперлитовых изделий составляет 300—450 кг/м³, коэффициент теплопроводности при 20° С—0,08—0,10 Вт/м·° С.

Вспученный вермикулит и изделия на его основе

Вспученный вермикулит получают ускоренным обжигом до вспучивания горной породы вермикулита из группы гидрослюд. Вермикулит при нагревании до 1000—1100° С выделяет кристаллизационную воду и быстро вспучивается. Пары воды действуют перпендикулярно плоскостям спайности и раздвигают пластинки слюды, увеличивая первоначальный объем до 20 раз и более.

Технология производства вспученного вермикулита состоит из следующих основных операций: дробления природного вермикулита и рассева его на фракции, подсушивания, обжига в шахтных или вращающихся печах и охлаждения. Вспученный вермикулит представляет собой пористый материал в виде чешуйчатых частиц золотисто-желтого цвета размером 5—15 мм объемной массой 80—150 кг/м³, а при более мелких зернах — 200—400 кг/м³. Коэффициент теплопроводности при температуре до 100° С составляет 0,048—0,10 Вт/м·° С. С повышением температуры до 400° С увеличивается коэффициент теплопроводности до 0,14 — 0,18 Вт/м·° С. Вспученный вермикулит при нагревании до 1 100° С начинает разрушаться, а при 1 300° С он плавится. Водопоглощение очень велико, оно может быть более 300% по массе.

Вспученный вермикулит применяют в качестве теплоизоляционной засыпки при температуре изолируемых поверхностей до 900° С, для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя для легких бетонов и для приготовления штукатурных огнезащитных, теплоизоляционных и звукопоглощающих растворов.

Цементно-вермикулитовые плиты М 300 используют для тепловой изоляции ограждающих конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений. Изготовляют их из вспученного вермикулита на вяжущем портландцементе. Цементно-вермикулитовые плиты имеют небольшой коэффициент теплопроводности — до 0,08 Вт/м·° С, объемную массу — до 300 кг/м³, предел прочности на сжатие — 0,5 МПа, размеры 500×500×100 мм. Технология производства плит состоит из смешения вспученного вермикулита с цементным молоком, формования плит прессованием с последующей их тепловой обработкой.

Керамо-вермикулитовые плиты М 350 применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, горячих поверхностей печных и других тепловых агрегатов и оборудования. Плиты выпускают объемной массой 350 кг/м³, коэффициентом теплопроводности — до 0,08 Вт/м·° С, размером 500×500×125 мм. Их можно использовать при температуре до 1200° С. Производство плит состоит из смешения вспученного вермикулита с шликером, приготовленным из смеси огнеупорной глины и воды. Формовочная масса подается на ленточный пресс, а отформованные изделия направляются на сушку и обжиг.

Асбестсодержащие теплоизоляционные материалы

Основным сырьем для производства асбестсодержащих теплоизоляционных материалов и изделий является хризотил-асбест. На основе асбеста изготовляют сыпучие (порошкообразные) материалы, а также рулонные и штучные материалы и изделия в виде картона, плит, скорлуп и сегментов.

В зависимости от состава асбестовые материалы дел
асбестовые, состоящие только из асбестового волокна, и
бестсодержащие.

Асбестовый картон — огнестойкий теплоизоляционный ма
риал, получаемый на основе хризотилового асбеста. Исходны
материалами для получения картона являются: асбест 4
5-го сортов (65%), каолин (30%) и крахмал (5%). При п
изводстве картона асбест подвергают распушке на бегуна
в голлендере, куда одновременно добавляют каолин и крах
Из голлендера полученная масса поступает в смеситель, отк
после предварительной очистки от частиц пустой породы и
тавшихся в комочки волокон асбеста направляется на сетча
барабан картоноделательной машины (носит название па
шины). На этом барабане откладываются волокна асбеста, об
зующие листы рыхлого асбестового картона. Для уплотнени
спрессовывают на гидравлическом прессе под давлением
5 МПа. Уплотненные листы картона высушиваются, а затем
резаются по стандартным размерам. Асбестовый картон
товляют на листоформовочных машинах в виде листов, им
щих по длине и ширине одинаковые размеры 900—1000 мм
толщину 2—10 мм. Коэффициент теплопроводности карто
в сухом состоянии — 0,157 Вт/м·°С, объемная масса — 100
1400 кг/м³, предел прочности на растяжение — не менее 0,6 М
влажность — не более 3% по массе.

Асбестовый шнур применяют для теплоизоляции повер
ностей промышленного оборудования и трубопроводов
температуре: при наличии в составе органического волокна
до 200° С, при отсутствии в составе органического волокна —
500° С. Получают его из нескольких крученых нитей или
ниц, сложенных вместе в сердечнике и обвитых или оплет
ных снаружи асбестовой нитью или пряжей. Асбестовый ш
может изготовляться и без оплетения. Диаметр асбесто
шнуров может быть от 3 до 25 мм, коэффициент теплопро
ности — не более 0,12 Вт/м·° С, влажность — не более 4% по м
се. По объемной массе в сухом состоянии асбестовый шнур д
лят на марки 100—380.

Асбестомагнезиальный порошок используют для тепло
изоляции поверхностей промышленного оборудования при т
пературе до 350° С. Получают его путем смешения измельче
ного асбеста с водной углекислой солью магния. Для получ
ния ньювеля магнезий размалывают и смешивают с 15% ас
ста. Этот теплоизоляционный материал выпускают в виде
рошка, который используют не только в виде засыпной тепл
изоляции, но и для приготовления мастики и изготовлени
плит, скорлуп и сегментов.

Отформованные и высушенные изделия имеют объемну
массу до 350 кг/м³, коэффициент теплопроводности при 50° С
0,08 Вт/м·° С и предел прочности на изгиб — не менее 0,15 МПа.

Совелитовые материалы и изделия применяют для теплоизо
ции поверхностей промышленного оборудования и трубопро
при температуре до 500° С. Состоят они из легких угле
солей магния и кальция, получаемых переработкой кау
тического доломита и асбеста. Для производства совелита
чно применяют асбест 5—6-го сортов. Технология произ
ства совелита состоит из следующих процессов: распушки
беста, смешивания его с каустическим магнезитом и прова
вания массы в варочных чанах. Полученную массу отфиль
вывают, и последняя приобретает вид пасты с влажностью
коло 70—75%, которая может быть использована для мон
жа мастичных теплоизоляционных конструкций или для фор
вания плит, скорлуп и сегментов.

Формование изделий производят вакуум-фильтрованием или
прессованием, для чего массу подают на гидравлический пресс,
где она прессуется при давлении 0,16—0,18 МПа. Прессован
ные плиты имеют влажность 66—70%. При вакуум-фильтрова
нии масса из варочных чанов поступает на вакуум-фильтры,
которые приспособлены для формования плит. Масса на них
формуется в блоки, которые после сушки распиливаются на
плиты. Получаемые этим способом плиты отличаются высокой
пористостью, но вместе с тем и повышенной влажностью (до
75%).

Свежесформованные изделия направляют в сушила с темпе
ратурой 200° С. После сушки блоки распиливают на плиты раз
мером 500×170 (30—60) мм. По объемной массе в сухом со
стоянии плиты делят на М 350 и 400 с пределом прочности на
изгиб соответственно не менее 0,17 и 0,2 МПа, коэффициен
том теплопроводности в сухом состоянии — не более 0,075—
0,86 ВТ/м·°С, влажностью — не более 15% по массе.

Теплоизоляционные ячеистые бетоны (объемной массой
500 кг/м³ и менее) применяют для теплоизоляции ограждаю
щих конструкции зданий и поверхностей промышленного обору
дования и трубопроводов при температуре до 400° С. Теплоизо
ляционные изделия из ячеистых бетонов изготовляют в виде
плит размером 1000×500×(80—200) мм. По объемной массе в
сухом состоянии их делят на М 300—500 с пределом прочности
на сжатие — не менее 0,9—12 МПа, коэффициентом теплопро
водности в сухом состоянии 0,08—0,11 Вт/м·° С, влажностью
не более 15% по массе.

Нами рассмотрены основные и наиболее характерные не
органические теплоизоляционные материалы. Наряду с ними
имеется обширная номенклатура теплоизоляционных материа
лов, в виде композиционных смесей — вулканитовые, известко
во-кремнеземистые; в виде обжиговых материалов — перлито
керамические, диатомовые (трепельные), пенодиатомовые, из
ячеистой керамики, а также на основе вспученных горных по
род (перлита, вермикулита) и какой-либо связки (известковой,
цементной, синтетической).

§ 4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

Органические теплоизоляционные материалы и изделия изготовляют из различного растительного сырья: отходов древесины (стружек, опилок, горбыля и др.), камыша, торфа, очесов льна, конопли, из шерсти животных, а также на основе полимеров.

Многие органические теплоизоляционные материалы подвержены быстрому загниванию, порче различными насекомыми, способны к возгоранию, поэтому их предварительно подвергают обработке. Поскольку использование органических материалов в качестве засыпок малоэффективно в силу неизбежной осадки и способности к загниванию, последние используют в качестве сырья для изготовления плит. В плитах основной материал почти полностью защищен от увлажнения, а следовательно, и загнивания, кроме того, в процессе производства плит его подвергают обработке антисептиками и антипиренами, повышающими его долговечность.

Теплоизоляционные материалы и изделия из органического сырья. Среди большого разнообразия теплоизоляционных изделий из органического сырья наибольший интерес представляют плиты древесноволокнистые, камышитовые, фибролитовые, торфяные, пробковая теплоизоляция натуральная, а также теплоизоляционные пенопласты.

Плиты древесноволокнистые применяют для тепло- и звукоизоляции ограждающих конструкций. Изготовляют их из расщепной древесины или иных растительных волокон — неделовой древесины, отходов, лесоперерабатывающей промышленности костры, соломы, камыша, хлопчатника. Наибольшее распространение получили древесноволокнистые плиты, получаемые из отходов древесины. Процесс производства изоляционных древесноволокнистых плит состоит из следующих основных операций: дробления и разлома древесного сырья, проклеивания волокнистой массы, формования и термической обработки. Для уменьшения сгораемости древесноволокнистые плиты пропитывают специальными огнезащитными составами—антипиренами, а для придания водостойкости в состав волокнистой массы вводят парафиновые, смоляные, масляные и другие эмульсии.

Изоляционные древесноволокнистые плиты имеют объемную массу 250 кг/м^3, предел прочности на изгиб — 1,2 МПа и коэффициент теплопроводности — не более 0,07 Вт/м·°С, длину 1200—3000, ширину 1200—1600 и толщину 8—25 мм.

Наряду с изоляционными применяют плиты изоляционно-облицовочные, имеющие лицевую поверхность, окрашенную или подготовленную к окраске.

Камышитовые плиты, или просто камышит, применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий III класса при постройке малоэтажных жилых домов, небольших производ-

ственных помещений, в сельскохозяйственном строительстве. Это теплоизоляционный материал, спрессованный из стеблей камыша в виде плит, которые затем скрепляются стальной оцинкованной проволокой. Для изготовления камышитовых плит используются зрелые однолетние стебли обыкновенного тростника. Наилучшими являются стебли диаметром 7—15 мм, так как они хорошо прессуются. Помимо обыкновенного тростника может быть использован камыш озерный, рогоз и другие растения. Заготовку стеблей этих растений следует делать в осенне-зимний период. Прессование плит осуществляют на специальных прессах. В зависимости от расположения стеблей камыша различают плиты с поперечным (вдоль короткой стороны плиты) и продольным расположением стеблей.

По объемной массе плиты различают трех марок: 175, 200 и 250 с пределом прочности на изгиб — не менее 0,18—0,5 МПа, коэффициентом теплопроводности — 0,06—0,09 МПа, влажностью — не более 18% по массе. Камышитовые плиты производят длиной 2400—2800, шириной 550—1500 и толщиной 30—100 мм.

Торфяные теплоизоляционные изделия изготовляют в виде плит, скорлуп и сегментов и используют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий III класса и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре от —60 до +100° С. Сырьем для их производства служит малоразложившийся верховой торф, имеющий волокнистую структуру, что благоприятствует получению из него качественных изделий путем прессования.

Плиты изготовляют размером 1000×500×30 мм путем прессования в металлических формах торфяной массы с добавками (или без них) и с последующей сушкой при температуре 120—150° С.

В зависимости от начальной влажности торфяной массы различают два способа изготовления плит: мокрый (влажность 90—95%) и сухой (влажность около 35%). При мокром способе излишняя влага в период прессования отжимается из торфяной массы через мелкие металлические сетки. При сухом способе такие сетки в формы не закладываются.

Торфяные изоляционные плиты по объемной массе делят на М 170 и 220 кг/м^3 с пределом прочности на изгиб — 0,3 МПа, коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии — 0,06 Вт/м·°С, влажностью не более 15%.

Цементно-фибролитовые плиты представляют собой теплоизоляционный и теплоизоляционно-конструктивный материал, полученный из затвердевшей смеси портландцемента, воды и древесной шерсти. Древесная шерсть выполняет в фибролите роль армирующего каркаса. По внешнему виду тонкие древесные стружки длиной до 500, шириной 4—7, толщиной 0,25—0,5 мм приготовляют из неделовой древесины хвойных пород на специальных древесношерстяных станках. Шерсть предварительно высушивают, пропитывают минерализаторами (хлористым каль-

цием, жидким стеклом) и смешивают с цементным тесто
мокрому способу или с цементом по сухому (древесная ше
посыпается или опыляется цементом) в смесительных
шинах различного типа. При этом следят, чтобы древес
шерсть была равномерно покрыта цементом. Формуют и
двумя способами: прессованием и на конвейерах, где фибр
формуют в виде непрерывно движущейся ленты, которую
тем разрезают на отдельные плиты (подобно вибропрокат
лезобетонных изделий). При прессовании плит удельное да
ние для теплоизоляционного фибролита принимают до 0,1 М
а для конструктивного — до 0,4 МПа. После формования пли
пропаривают в течение 24 ч при температуре 30—35° С. По
емной массе цементно-фибролитовые плиты делят на М 300,
400 и 500 с пределом прочности при изгибе соответственно
менее 0,4 0,5, 0,7 и 1,2 МПа, коэффициентом теплопровод
сти—0,09—0,15 Вт/м·° С, водопоглощением—не более 20%. Д
на плит 2000—2400, ширина 500—550, толщина 50, 75, 100

Фибролитовые плиты на портландцементе применяют в
честве теплоизоляционного, теплоизоляционно-конструктивно
и акустического материала для стен, перегородок, перекры
и покрытий зданий. Фибролитовые плиты получают также ф
мованием и тепловой обработкой (или без нее) органическ
коротковолокнистого сырья. В качестве такого сырья мож
быть использована дробленая станочная стружка или щеп
сечка соломы или камыша, опилки, костра и др. Вторым ком
нентом при изготовлении фибролитовых плит является портлан
цемент. Объемная масса в сухом состоянии составля
500 кг/м³, предел прочности при изгибе — не менее 0,7 МПа,
эффициент теплопроводности в сухом состоянии — не бол
0,12 Вт/м·° С, влажность—не более 20% по массе. Плиты фор
муют длиной и шириной 500, 600 и 700 мм, толщиной 50, 60
70 мм.

Пробковые теплоизоляционные материалы и изделия (пли
скорлупы и сегменты) применяют для теплоизоляции о
раждающих конструкций зданий, холодильников и поверх
стей холодильного оборудования трубопроводов при темпер
туре изолируемых поверхностей от минус 150 до плюс 70° С, а
изоляции корпуса кораблей. Изготовляют их путем прессования
измельченной пробковой крошки, которую получают как отход
при производстве закупорочных пробок из коры пробковог
дуба или так называемого бархатного дерева, растущего
Дальневосточном крае, в Амурской области и на Сахалине
Пробка вследствие высокой пористости и наличия смолистых ве
ществ является одним из наилучших теплоизоляционных ма
риалов. Из нее изготовляют плиты, скорлупы и сегменты.

Пробковые теплоизоляционные материалы и изделия могут
быть изготовлены с добавкой органического связующего (орга
нического клея, желатины, битума, смол и т. п.) и без него
В первом случае пробковую крупу, покрытую тонким слоем ор-

нического клеящего вещества, спрессовывают в виде плит, име-
щих длину 500—1000, ширину 500 и толщину 20—80 мм. Такие
плиты называют «импрегнированными». Во втором случае плиты
изготовляют таких же размеров с запрессовкой пробковой кру-
ты под давлением 0,7 МПа, но без связующих добавок, путем
термической обработки при температуре 250—300° С. При этом
происходит возгонка смолистых веществ, содержащихся в
пробке, вследствие чего пробковая крупа спекается в монолит-
ную массу. Плиты, полученные по второму способу, известны
под названием «экспанзита». Остывшие после горячего прессо-
вания плиты распиливают на требуемые размеры.

Пробковые теплоизоляционные материалы и изделия по
объемной массе в сухом состоянии делят на М 150—350
пределом прочности при изгибе соответственно 0,15—0,25
МПа, коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии при
температуре 25° С—0,05—0,09 Вт/м·° С.

К положительным свойствам плит следует отнести также
то, что они не горят, с трудом тлеют, не подвержены заражению
домовым грибком и не разрушаются грызунами.

Пробковые материалы упаковывают в клетки объемом 0,25—
0,5 м³ и хранят в сухом закрытом помещении, а перевозят
в крытых вагонах.

Теплоизоляционные пенопласты. Теплоизоляционные мате-
риалы на основе полимеров в виде газонаполненных пластмасс
и изделий, а также минераловатных и стекловатных изделий
производят на полимерном связующем.

По физической структуре газонаполненные пластмассы мо-
гут быть разделены на три группы: ячеистые или пенистые (пе-
нопласты), пористые (поропласты) и сотовые (сотопласты). Пе-
нопласты и сотопласты на основе полимеров являются не только
теплоизоляционным, но и конструктивным материалом (см. гл.
XV). Теплоизоляционные материалы из пластмасс по виду при-
меняемых для их изготовления полимеров делят на: полисти-
рольные — пористые пластмассы на основе суспензионного (би-
серного) или эмульсионного полистирола; поливинилхлорид-
ные — пористые пластмассы на основе поливинилхлорида; фе-
нольные — пористые пластмассы на основе формальдегида.

Поризация полимеров основана на применении специальных
веществ, интенсивно выделяющих газы и вспучивающих размяг-
ченный при нагревании полимер. Такие вспучивающиеся ве-
щества могут быть твердыми, жидкими и газообразными.
К твердым вспенивающим веществам, имеющим наибольшее
практическое значение, относятся карбонаты, бикарбонаты нат-
рия и аммония, выделяющие при разложении CO_2 и NH_3, азо-
динитрилы, эфиры азодикарбоновой кислоты, выделяющие
смесь абиетиновой кислоты с углекислым кальцием, выделяю-
щая CO_2. К жидким вспенивающим веществам относятся бен-
зол, легкие фракции бензола, спирт и т. п. К газообразным

вспенивающим веществам относятся воздух, азот, углекислый газ, аммиак.

Для придания эластичности пористым пластмассам в полимеры вводят пластификаторы: фосфаты, фталаты и др.

Пористые и ячеистые пластмассы можно получать двумя способами — прессовым и беспрессовым. При изготовлении пористых пластмасс прессовым способом тонкоизмельченный порошок полимера с газообразователем и другими добавками спрессовывается под давлением 15—16 МПа, после чего изготовленную навеску (обычно 2—2,5 кг) вспенивают, в результате чего получают материал ячеистого строения.

При изготовлении пористых пластмасс беспрессовым способом полимер с добавками газообразователя, отвердителя и других компонентов нагревается в формах до соответствующей температуры. От нагревания полимер расплавляется, газообразователь разлагается, и выделяющийся газ вспенивает полимер. Образуется материал ячеистого строения с равномерно распределенными в нем мелкими порами.

Плиты, скорлупы и сегменты из пористых пластмасс применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 70° С.

Изделия из пористых пластмасс на суспензионном полистироле по объемной массе в сухом состоянии делят на М 25 и М 35 с пределом прочности на изгиб не менее 0,1—0,2 МПа, коэффициентом теплопроводности — 0,04 Вт/м·°С, влажностью — не более 2% по массе. Такие же изделия на эмульсионном полистироле по объемной массе имеют М 50—200 предел прочности на изгиб соответственно — не менее 1,0—7,5 МПа, коэффициент теплопроводности — не более 0,04—0,05, влажность не более 1% по массе. Плиты из пористых пластмасс изготовляют длиной 500—1000, шириной 400—700, толщиной 25—80 мм.

Наиболее распространенными теплоизоляционными материалами из пластмасс являются полистирольный пенопласт, мипора и др. Полистирольный пенопласт — отличный утеплитель в слоистых панелях, хорошо сочетающийся с алюминием, асбестоцементом и стеклопластиком. Широко применяется как изоляционный материал в холодильной промышленности, судостроении и вагоностроении для изоляции стен, потолков и крыш в строительстве. Полистирольный пенопласт, изготовленный из бисерного (суспензионного) полистирола, представляет собой материал, состоящий из тонкоячеистых сферических частиц, спекшихся между собой. Между частицами имеются пустоты различных размеров. Наиболее ценными свойствами полистирольного пенопласта является его низкая объемная масса и малый коэффициент теплопроводности. Полистирольный пенопласт выпускают в виде плит или различных фасонных изделий. Полистирольный пенопласт производят объемной массой до 60 кг/м³, прочностью на 10%-ное сжатие — до 0,25 МПа и коэффициен

том теплопроводности — 0,03—0,04 Вт/м·°С. Наиболее распространенный размер плит 900×650×100 мм.

Пенопласт полиуретановый применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 100° С. Получают его из полиэфирных полимеров с введением порообразующих и других добавок.

Полиэфирные полимеры — это большая группа искусственных полимеров, получаемых при помощи конденсации многоатомных спиртов (гликоля, глицерина, пентаэритрита и др.) и главным образом двухосновных кислот — фталевой, малеиновой и др. Для повышения эластичности изготовляемых изделий во время конденсации многоатомных спиртов и двухосновных кислот приготовляют жирные кислоты или растительные масла. По объемной массе в сухом состоянии маты из пористого полиуретана делят на М 35 и 50, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии — 0,04 Вт/м·°С, влажность — не более 1% по массе. На основе пористого полиуретана выпускают также твердые и мягкие плиты объемной массы 30—150 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,022—0,03 Вт/м·°С. Маты из пористого полиуретана изготовляют в виде плит длиной 2000, шириной 1000, толщиной 30—60 мм.

Мипора представляет собой пористый материал, получаемый на основе мочевино-формальдегидного полимера. Сырьем для производства мипоры является мочевино-формальдегидный полимер и 10%-ный раствор сульфонафтеновых кислот (контакт Петрова), а также огнезащитные добавки (раствор фосфорнокислого аммония 20%-ной концентрации).

Мипору применяют для теплоизоляции строительных конструкций промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 70° С.

Для получения мипоры в аппарат с мешалкой загружают водный раствор мочевино-формальдегидного полимера и вспениватель, которые энергично перемешивают. Полученную пену спускают в металлические формы, которые направляют в камеры, где масса при температуре 18—22° С отвердевает за 3—4 ч. Полученные блоки направляют на 60—80 ч в сушила с температурой 30—50° С.

Мипору выпускают в виде блоков объемом не менее 0,005 м³, пределом прочности на сжатие — 0,5—0,7 МПа, удельной ударной вязкостью — 0,4 кГ·см/см², водопоглощением 0,11% за 24 ч, коэффициентом теплопроводности — 0,03 Вт/м·°С.

Войлок строительный применяют как прокладочный и теплоизоляционный материал для теплоизоляции отдельных мест конструкций (концов балок в каменных стенах, оконных и дверных коробок в наружных стенах, стыков щитов в сборных домах) и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 100° С. Войлок используют для подшивки потолков под штукатурку. Войлок изготовляют в виде

штучных изделий прямоугольной формы путем свалива... шерсти, отходов шерстеперерабатывающей и меховой промы... ленности и других производств и противомольной пропи... Объемная масса войлока в сухом состоянии 150 кг/м³, коэффи... циент теплопроводности в сухом состоянии 0,048 Вт/м·°С, вл... ность сухого войлока не более 20% по массе. Выпускают войл... в виде полос длиной 1000—2000, шириной 500—2000, толщино... 12 мм. Войлок не горит, но способен тлеть, а также способ... поглощать влагу.

§ 5. Технико-экономическая эффективность применения теплоизоляционных материалов и изделий

Применение эффективных теплоизоляционных материалов — одно из главных направлений технического прогресса в стро... тельстве.

Сравнивая эффективность различных теплоизоляционных ма... териалов, можно произвести выбор наиболее экономичных из них, исходя из формулы

$$П = П_1 \lambda,$$

где П — приведенные затраты на единицу термического сопро... тивления материала, руб.;

$П_1$ — приведенные затраты на 1 м³ теплоизоляционного мате... риала, руб.;

λ — коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С.

Таблица 6...

Сравнительные технико-экономические показатели различных теплоизоляционных материалов

Наименование материалов	Затраты на единицу термического сопротивления с учетом потерь и сжимаемости, руб.		
	удельные капитальные вложения	себестоимость	приведенные затраты
Маты на синтетической связке М 75—100	0,34—0,54	1,17—1,3	1,21—1,36
Плиты на синтетической связке М 125—200	0,66—1,22	1,69—2,47	1,76—2,62
Плиты полужесткие на битумной связке М 250—350	2,04—2,4	2,21—3,38	2,45—3,6
Плиты жесткие на битумной связке М 300—400	2,4—3,0	3,51—4,68	3,8—5,01
Маты и плиты из стекловолокна (маты М 30—50, плиты М 50—70)	1,56—1,80	1,3—2,34	1,49—2,56
Цементный фибролит М 300—400	1,80	1,95—3,38	2,17—3,63
Древесноволокнистые плиты М 250	1,92	1,75	1,98
Полистирольный пенопласт	0,72	4,55	4,74
Автоклавные ячеистые бетоны	3,24—3,48	2,08—2,34	2,47—2,76
Перлитокерамические материалы (плиты, скорлупы, сегменты)	2,64—3,12	1,82	2,14—2,19
Совелитовые жесткие изделия	5,4—6,6	1,95	2,6—2,74
Асбестовермикулитовые изделия	5,7	3,12	3,80

В табл. 60 даны рассчитанные НИИЭС и НИИСФ показатели по взаимозаменяемым теплоизоляционным материалам. Около $^2/_3$ в общем выпуске теплоизоляционных материалов занимает минеральная вата и изделия на ее основе. Наиболее эффективны в строительстве изделия на синтетической связке. Производство сырой минеральной ваты как менее эффективного изделия должно соответственно сокращаться.

Значительную роль среди теплоизоляционных материалов играют древесноволокнистые, камышитовые и фибролитовые плиты, изготовление которых связано с использованием дешевого сырья. Производство этих плит необходимо увеличивать.

Применение полносборных теплоизоляционных конструкций и изделий — скорлуп, цилиндров и заменяющих мастичную теплоизоляцию в виде штукатурки — одно из главных направлений индустриализации теплоизоляционных работ. Благодаря этому снижаются затраты на устройство и ремонт изоляции и улучшается ее качество (табл. 61).

Таблица 61

Трудовые затраты на монтаж 1 м³ изоляции различной конструкции
(по данным треста «Стройтермоизоляция»)

Наименование индустриальных теплоизоляционных изделий	Наименование неиндустриальных изделий, взамен которых применяют индустриальные изделия	Трудозатраты, чел-ч		Экономия трудозатрат при применении индустриальных материалов, %
		индустриальные изделия	неиндустриальные изделия	
Скорлупы минераловатные	Набивная минераловатная изоляция трубопроводов	4,1	16,8	76
Скорлупы совелитовые и вулканитовые	Изоляция трубопроводов сегментами	5,5	16,8	67
Офактуренные минераловатные скорлупы	Набивная изоляция трубопроводов	11,2	16,8	33
Перлитовые скорлупы	Изоляция трубопроводов сегментами	5,5	16,8	67
Минераловатные маты на синтетических связках	Набивная минераловатная изоляция плоскости	5,5	14,7	62
Минераловатные прошивные маты	То же	7,7	14,7	48
Плиты совелитовые и вулканитовые	Мастичная изоляция плоскостей	18,2	21,7	16
Прочие изделия	Изоляция трубопроводов сегментами	6,7	16,8	60

Из табл. 61 следует, что применение готовых индустриальных теплоизоляционных изделий взамен мастичной теплоизоляции позволяет снизить трудовые затраты на 35—75%.

В табл. 62 приведены затраты на изготовление и монтаж изолированной конструкции с учетом эксплуатационных затрат по ней в течение пятилетнего срока эксплуатации. Замена

неиндустриальной конструкции из набивной минераловат изоляции индустриальными минераловатными матами на синтетических связках снижает общие затраты в среднем на 35%, а при индустриализации конструкций высокотемпературной изоляции (совелит, вулканит) экономия оказывается более значительной.

Таблица

Затраты на 1 м³ изоляции различной конструкции
(по данным треста «Стройтермоизоляция»)

Наименование конструкции	Стоимость конструкции руб./м³		Затраты с учетом эксплуатации, руб	
	для трубопровода	для плоскостей	для трубопровода	для плоскостей
Изоляция минеральной ватой внабивку под металлическую сетку . . .	44,07	34,20	58,10	45,20
Изоляция минераловатными матами на синтетических связках	31,60	31,50	40,10	39,90
Мастичная совелитовая изоляция с каркасом	91,36	87,30	109,60	104,80
Изоляция вулканитовыми плитами	—	54,70	—	71,10

Стоимость изоляционных конструкций и трудовые затраты на их монтаж непосредственно зависят от уровня механизации рабочих процессов и организации работ. Широко применяется в настоящее время метод предварительной изоляции технологического оборудования до установки его на рабочее место сокращает сроки строительства, повышает производительность труда изолировщиков в 1,3—1,5 раза, улучшает качество работ и уменьшает стоимость изоляции в среднем на 10—15%.

Б. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

§ 1. Понятие о звуковых волнах и шумах

Под звуком понимают волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц упругой среды (воздуха, твердого тела). Частотный диапазон звуков, слышимых человеческим ухом, лежит в пределе от 15—20 до 20 000 гц (1 гц = 1 кол/с). Волны с меньшими и большими частотами человеческим ухом не воспринимаются. Звуки могут быть разделены на музыкальные, шумы и звуковые импульсы.

Количество энергии, проносимое звуковой волной ежесекундно через площадку в 1 см², перпендикулярно направлению распространения волны, называется силой звука. Сила звука пропорциональна квадрату амплитуды колебаний частиц среды, а также квадрату амплитуды колебаний давления в звуковой волне. Сила звука измеряется в децибелах, а физиологической характеристикой его служит уровень громкости звука, измеряемый в фонах. Скорость распространения звука в воздухе при 15° С — 340 м/с.

Шум — совокупность многочисленных звуков, быстро меняющихся по частоте и силе. В обыденной жизни шумом называется всякий мешающий звук. Шумы в зданиях весьма разнообразны. По своему характеру они могут быть слышимые и неслышимые, воздушные и ударные. Длительное воздействие слышимого шума на органы слуха и особенно высокочастотного вредно для здоровья человека. Не менее вредно длительное воздействие интенсивного неслышимого ультразвука (с частотой колебания выше 20 000 гц). Источниками сильных звуковых слышимых и неслышимых шумов являются преимущественно различные двигатели и механизмы.

Уровень шума значительно снижается, если на основе методов архитектурной акустики приняты правильные конструктивные и отделочные решения помещений. Архитектурная акустика — раздел строительной физики, рассматривающий звуковые процессы в помещении. Наряду с этой областью науки различают строительную акустику, рассматривающую вопросы звукоизоляции ограждающих конструкций зданий от воздушного и ударного шумов; вопросы снижения уровня этих шумов решают различными методами.

Звуковая энергия, падающая на ограждающую конструкцию (пол, стену, потолок), частично отражается от ее поверхности, частично поглощается материалом конструкции, а частично проходит через нее и передается на другую сторону конструкции. Способность материала пропускать через себя звук характеризует его звукопроницаемость или, если пользоваться обратным понятием, звукоизоляцию. Звукоизоляционная способность материала в ограждении оценивается по разности уровней звука с обеих сторон ограждения и выражается в децибелах. Материалы, обладающие преимущественным свойством поглощать звуковую энергию, относятся к звукопоглощающим, а материалы, способные изолировать от проникновения звука,—к звукоизоляционным. Все они имеют общее название — акустические материалы.

Акустические материалы делят так же, как теплоизоляционные: по характеру строения, виду основного сырья, показателям объемной массы они должны удовлетворять тем же требованиям, которые предъявляются к теплоизоляционным материалам. По назначению акустические материалы делят на две основные группы: звукоизоляционные и звукопоглощающие.

§ 2. Звукоизоляционные материалы и изделия

Звукоизоляционные материалы и изделия применяют главным образом в виде прокладок и прослоек в перекрытиях, во внутренних и наружных стеновых ограждениях и других частях зданий с целью гашения ударных шумов, передаваемых через перекрытие (хождение по полу), вибрации (работы машин) и т. п.

Звукоизоляционные материалы в строительных конструкц... могут находиться в свободном (не сжатом) или даже в под... шенном состоянии (например, крепление плит к потолку с в... душной прослойкой), или в сжатом (например, между несущ... панелями потолка и конструкцией пола).

Звукоизоляционные материалы, находящиеся в свободном ... рыхлом состоянии, применяются для изоляции от воздушн... шума, а обжатые — от ударного шума. Для звукоизоляцион... материалов, применяемых в свободном состоянии (в конст... циях стен, перекрытий), толщина их не должна превыш... 5 см, а для материалов, применяемых в обжатом состоя... (например, в перекрытиях под полом),— не меньше 1,2 см.

Звукоизоляционные материалы бывают пористо-волокнис... структуры (на основе минеральной или стеклянной ваты, аб... тового и другого вида волокон), пористо-зубчатой (на осно... пластмасс и различного вида резины) и сыпучие естествен... и искусственного происхождения (песок, шлак и др.). Перв... имеют форму плит, рулонов, матов, полосовых и штучных п... кладок. По величине относительного сжатия под нагрузкой р... личают звукоизоляционные материалы жесткие, полужестки... мягкие. Основной расчетной характеристикой, по которой опред... ляют условия применения их в конструкциях, является динам... ческий модуль упругости. По этой величине звукоизоляцион... материалы делят на три группы: 1-я группа — материалы с д... намическим модулем упругости Е меньше 1 МПа; 2-я группа ... от 1 до 5 МПа и 3-я группа — от 5 до 15 МПа.

Звукоизоляционные материалы 1-й группы применяются ... виде плит, рулонов и матов, уложенных сплошным слоем в ко... струкциях перекрытий с «плавающим» полом, а также мно... слойных перекрытий, стен и перегородок для звукоизоляции ... воздушного и ударного шума. Звукоизоляционные материал... 2-й группы применяют в виде полосовых и штучных прокла... в конструкциях междуэтажных перекрытий с «плавающим» по... лом и в многослойных перекрытиях для изоляции от ударно... шума. Ширина прокладок может быть 400—1000 на расстоян... 500—1000 в зависимости от расчетной нагрузки, толщина — ... более 30 мм. Звукоизоляционные материалы 3-й группы испол... зуют в виде засыпок в многослойных конструкциях междуэта... ных перекрытий для улучшения изоляции от ударного и возду... ного звука.

Для гашения и локализации вибраций применяют вибропог... щающие материалы — поливинилхлоридные и полиэтиленов... жесткие и мягкие листовые материалы, листовую резину, бит... ные и полимерные мастики, в том числе каучуковые, поливин... ацетатные, эпоксидные и др. К звукоизоляционным материал... относятся главным образом эластичные материалы: маты и пл... ты полужесткие минераловатные на синтетическом связующе... плиты, маты и рулоны из стеклянного штапельного волок... плиты древесноволокнистые изоляционные; плиты из полист...

...вного пластифицированного пенопласта; плиты фибролито... ...на портландцементе; песок речной, шлак топливный или ...таллургический и крошка из пробки.

Стекловатные и минераловатные маты и плиты на синтети... ...ском связующем имеют объемную массу 50—225 кг/м^3, отно... ...сительное сжатие 15—40% при нагрузке 0,02 МПа и динамиче... ...ский модуль упругости — 0,3—0,7 МПа.

Древесноволокнистые и фибролитовые плиты на портландце... ...менте применяют в конструкциях перекрытий под полами для ...оляции от ударного шума, они имеют относительное сжатие ...при той же нагрузке до 1,5%, а динамический модуль упру... ...гости — 1,0—1,8 МПа.

Плиты из полистирольного эластифицированного пенопласта ...марки ПСБ-Э изготовляют объемной массой 20—35 кг/м^3 с ди... ...намическим модулем упругости 0,8—1,0 МПа.

Указанные изделия обеспечивают звукоизоляцию железобе... ...тонных междуэтажных перекрытий, равную 35—40 дБ. Такая ...оляция отвечает нормам проектирования.

Основным сырьем для производства новых акустических плит ...служат: минеральная вата, стеклянное штапельное волокно, ...крахмал, литопон, поливинилацетатная эмульсия и др. Техноло... ...ический процесс изготовления плит состоит из рыхления и гра... ...ляции минеральной ваты, смешивания полученных гранул ...со связующим, формования плит, сушки и механической обра... ...ботки, окраски и упаковки.

Звукоизоляционно-прокладочные материалы применяют для ...сплошных прокладок под полы (маты и плиты минераловатные ...и стекловатные, плиты древесноволокнистые изоляционные), для ...полосовых прокладок в конструкциях перекрытий обычного ...типа (плиты древесноволокнистые, асбестоцементные), для по... ...лосовых прокладок в конструкциях перекрытий раздельного ...типа (пакеты из асбестового картона).

§ 3. Звукопоглощающие материалы и изделия

Звукопоглощающими называют материалы, применяемые ...для внутренней отделки помещений с целью улучшения акусти... ...ческих свойств последних. Основной целью применения звуко... ...поглощающих материалов является снижение слышимых шумов ...(шум — совокупность многочисленных звуков, быстро меняю... ...щихся по частоте и силе) в промышленных и общественных ...зданиях.

Звукопоглощающие материалы способны обеспечивать тре... ...буемую продолжительность реверберации в помещениях различ... ...ного назначения, причем коэффициент звукопоглощения, изме... ...ренный в диффузном поле (в реверберационной камере при не... ...посредственном размещении материала или изделия на жестком ...основании) в частотных полосах 125—500, 500—2000 и 2000—... ...8000, соответственно не ниже 0,2; 0,4 и 0,6. Под реверберацией

понимают наличие постепенно затухающего в закрытом помещении звука вследствие повторных отражений после прекращения звучания. Время реверберации в зависимости от вида помещения и частот составляет 0,2—2 с.

Звукопоглощающие материалы применяют для правильного распределения уровней полезного сигнала по площади мест в данном помещении, а также для предотвращения распространения звука вдоль длинных помещений.

Звукопоглощающие материалы по характеру поглощения звука делят на: **пористые с твердым скелетом,** в которых звук поглощается в результате вязкого трения в порах, при этом звуковая энергия переходит в тепло (пеностекло, газобетон и другие пористые материалы с твердым скелетом); **пористые с гибким скелетом,** в которых, кроме резкого трения в порах, возникают релаксационные потери, связанные с деформацией нежесткого скелета (минеральная, стеклянная, базальтовая и хлопковая ваты; древесноволокнистые плиты и другие аналогичные по характеру материалы); **панельные материалы и конструкции,** звукопоглощение которых обусловлено активным сопротивлением системы, совершающей вынужденные колебания под действием падающей звуковой волны (тонкие панели из фанеры, жесткие древесноволокнистые плиты, звукопепроницаемые ткани и т. п.). Звукопоглощение пористых материалов можно увеличить также посредством устройства воздушного слоя между ограждающей конструкцией и ими.

Звукопоглощающие материалы могут иметь пористо-зернистую, пористо-волокнистую и пористо-губчатую структуру, а по степени твердости скелета их делят на мягкие, полужесткие и жесткие. В зависимости от вида звукопоглощающие материалы бывают в виде плит, рулонов и сыпучих материалов; их используют также в виде штукатурки, имеющей гладко-пористую структуру, перфорированную и бороздчатую.

В ограждающих конструкциях звукопоглощающие материалы применяют в виде однослойного однородного материала с офактуренной поверхностью, многослойного пористо-волокнистого с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных материалов, разнообразных размеров и формы, однослойных и многослойных.

В настоящее время наиболее широко распространены в конструкциях **без защитной оболочки** следующие виды звукопоглощающих материалов: минераловатные акустические плиты на синтетическом связующем типа ПА/С, ПА/О и ПА/Д; плиты из гранулированной минеральной ваты на крахмальном связующем; плиты из штапельного стеклянного волокна типа ПС и ПЖС; базальтовые звукопоглощающие маты марки БЗМ; древесноволокнистые плиты с перфорацией; гипсовые плиты, армированные стекловолокном со сквозной перфорацией; плиты из ячеистого бетона типа «Силакпор» с пористой структурой и перфорацией лицевого слоя; плиты из газосиликата и др.

В ограждающих конструкциях применяют следующие звукопоглощающие материалы с **защитными оболочками:** минераловатные полужесткие плиты марок ПП, ППМ на синтетическом связующем; минераловатные маты прошивные на металлической сетке; маты из штапельного стеклянного волокна на синтетическом связующем; маты из супертонких стеклянных волокон, а также холсты и маты из перепутанных супертонких базальтовых волокон.

В строительстве общественных зданий успешно применяются защитные оболочки и экраны, которые изготовляют из стеклянного или капронового волокна, гипсовых перфорированных плит, с тыльной стороны оклеенных технической бязью.

В ряде случаев в качестве звукопоглощающих материалов применяют древесностружечные плиты, акустическую штукатурку с заполнителем из обожженной каолиновой крошки или перлитового песка.

Минераловатные акустические плиты ПА/С, ПА/О и ПА/Д изготовляют из минерального волокна путем пропитки его синтетическим связующим с последующей тепловлажностной обработкой в специальных камерах. Полученные заготовки подвергают механической обработке, после чего на них наносят декоративный покровный слой. Указанные плиты выпускают объемной массой 130—140 кг/м³ и пределом прочности на разрыв — до 0,4 МПа, коэффициентом звукопоглощения в интервале частот от 500 до 2000 гц — 0,4—0,87, размером 500×500×20 мм. Хорошие декоративные качества минераловатных акустических плит позволяют широко использовать их для облицовки потолков, вестибюлей, театров, концертных залов, радиостудий и помещений со значительным шумовыделением.

Плиты «Акминит» и «Акмигран» — новые акустические материалы, изготовляемые на основе гранулированной минеральной ваты и композиций крахмального связующего с добавками. Плиты выпускают объемной массой 350—400 кг/м³ и пределом прочности на изгиб 0,7—1,0 МПа; с высоким коэффициентом звукопоглощения — до 0,8; размером 300×300×20 мм. Указанные плиты предназначены для звукопоглощающей отделки потолков и верхней части стен помещений общественных и административных зданий, эксплуатируемых с относительной влажностью воздуха не более 70%.

Лицевая поверхность плит имеет фактуру в виде направленных трещин (каверн), подобно фактуре поверхности выветрившегося известняка.

Крепление плит к перекрытию осуществляется посредством системы металлических профилей. С этой целью можно также приклеивать с помощью специальных мастик непосредственно к жесткой поверхности.

Своеобразная фактура и широкая гамма цветов вносит разнообразие в интерьеры помещений при массовом применении

декоративных акустических плит «Силакпор» и плит из газосиликатов.

Плиты «Силакпор» изготовляют из легковесного газобетона специальной структуры, объемной массой 300—350 кг/м³. Лицевая поверхность плит может иметь продольную щелевую перфорацию, что придает ей не только лучший внешний вид, но и повышенную способность к поглощению шума. Коэффициент звукопоглощения плит «Силакпор» в диапазоне частот от 200 до 4000 гц составляет 0,3—08.

Плиты из газосиликата обладают хорошими эксплуатационными и архитектурно-строительными свойствами и представляют особую группу звукопоглощающих материалов, в том числе с макропористой структурой. Из газосиликата изготовляют плиты объемной массой 500—600 кг/м³ и пределом прочности на сжатие 1,5—2,0 МПа, коэффициентом звукопоглощения в диапазоне частот от 500 до 4000 Гц для микропористых плит — 0,2—0,3, а для макропористых — 0,6—0,9, размером 750×350×25 мм.

Технологический процесс производства плит состоит из смешения сырьевых материалов — извести, песка и красителя; заливки приготовленного раствора в формы и автоклавной обработки, после чего изделия фрезеруют и калибруют.

Хорошим внешним видом, достаточной огнестойкостью и высокими звукопоглощающими свойствами обладают акустические перфорированные плиты из сухой штукатурки и гипсовые перфорированные плиты с минераловатным звукопоглотителем. Их широко используют для внутренней отделки стен и потолков в культурно-бытовых и общественных зданиях.

Акустические экраны из сухой гипсовой штукатурки получают методом штамповки. Сухую гипсовую штукатурку, разрезанную на плиты размером 1000×500×8 мм направляют на пресс-штамп для образования отверстий диаметром 6 и 10 мм. После штамповки экраны подают на шлифовальные станки для снятия шероховатостей, далее на конвейер для приклейки подстилающего слоя из ткани с одновременной подсушкой клея. Экраны применяют совместно с минераловатным или стекловолокнистым звукопоглотителем для облицовки стен и потолков помещений с относительной влажностью воздуха не более 70%.

Акустические гипсовые перфорированные плиты с минераловатным звукопоглотителем состоят из гипсовой скорлупы, армированной стекложгутом и стальной проволокой диаметром 0,8—1,2 мм, минеральной ваты ПП-80, вкладываемой в свободные секции гипсовой плиты и алюминиевой фольги, которая защищает вату от увлажнения. Плиты имеют коэффициент звукопоглощения при частотах звука в интервале 400—1500 Гц — до 0,7.

Асбестоцементные акустические экраны, представляющие большой интерес, отличаются высокой механической прочностью (до 10,0 МПа), огнестойкостью, долговечны и гигиеничны, обладают хорошими декоративными качествами и высоким коэффициентом звукопоглощения — 0,6—0,9. Асбестоцементные акустические плиты производят двух видов: перфорированные с круглыми или щелевыми сквозными отверстиями и с перфорированными экранами из асбестоцемента с минераловатным звукопоглотителем. Плиты и экраны применяют для облицовки подвесных потолков или стен с целью снижения уровня шума.

Перлитовые звукопоглощающие плиты применяют для снижения уровня шума и создания хороших акустических условий в помещении. Плиты изготовляют на основе вспученного перлита на вяжущем из жидкого стекла или синтетических смол с добавкой пигментов для придания различной цветовой окраски. Перлитовые плиты производят объемной массой 250—500 кг/м³, пределом прочности на изгиб — 0,4—1,2 МПа, коэффициентом звукопоглощения в интервале частот от 500 до 2000 Гц — до 0,7, размером 300×300×30 мм.

ГЛАВА XIV

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ (БИТУМЫ И ДЕГТИ) И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

А. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ВЯЖУЩИЕ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

§ 1. Определение и классификация

Битумные и дегтевые вяжущие представляют сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углеводородов с серой, кислородом, азотом), изменяющие свои физико-механические свойства в зависимости от температуры.

Битумные и дегтевые вяжущие делят на следующие группы: **битумные,** состоящие из нефтяных битумов или сплавов нефтяных и природных битумов; **дегтевые** — смесь каменноугольных и сланцевых дегтей или сплавов пеков с дегтевыми маслами; **гудрокамовые,** состоящие из продуктов совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона; **дегтебитумнополимерные,** содержащие нефтяные битумы или каменноугольные дегтевые вещества и полимеры (включая каучук).

Важнейшие свойства битумов и дегтей: гидрофобность, водонепроницаемость, стойкость против действия кислот, щелочей, агрессивных жидкостей и газов, способность прочно сцепляться с каменными материалами, деревом, металлом, приобретать пластичность при нагревании и быстро увеличивать вязкость при остывании.

Битумные и дегтевые вяжущие в промышленности строительных материалов и строительстве предназначаются для: приготовления асфальтовых бетонов, изготовления кровельных, гидроизоляционных и пароизоляционных материалов и изделий, гидроизоляционных и дорожных мастик, битумных эмульсий, кровельно-гидроизоляционных паст, а также устройства кровельных покрытий.

§ 2. Битумы

Битумы представляют собой вещества, состоящие главным образом из смеси высокомолекулярных углеводородов, метанового, нафтенового и ароматического рядов и их кислородных и сернистых производных. В зависимости от исходного сырья раз-

личают битумы природные и искусственные нефтяные. По консистенции (при температуре 18° С) битумы делят на твердые, полутвердые и жидкие; по преимущественному назначению — на дорожные, строительные и кровельные.

Природный битум в чистом виде бывает редко. Чаще встречаются пропитанные битумом горные породы (известняки, доломиты, песчаники, грунт). Природный битум образовался из нефти в результате медленного удаления из нее легких и средних фракций, а также под влиянием процессов полимеризации и окисления. В верхние слои земной коры нефть попала в результате миграции, при этом под влиянием тепловых воздействий и давления на протяжении тысячелетий происходило заполнение пустот и пор горных пород и их пропитывание нефтью.

Природный битум — органическое вещество черного или темно-коричневого цвета, при нагревании постепенно размягчается и переходит в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевает. Природный битум нерастворим в воде, но легко растворяется в сероуглероде, хлороформе, бензоле и трудно в бензине. Структура природных битумов, их физико-химические и физико-механические свойства близки к нефтяным битумам.

Природные битумы можно извлекать из битумных пород выварокой в котлах или растворением в органических растворителях (экстрагирование). Извлечение битума из асфальтовых пород целесообразно лишь в том случае, когда содержание его в породе составляет не менее 10—15%. Более экономичным является извлечение природного битума выварокой в воде, для чего асфальтовую породу измельчают до крупности 6—8 мм и загружают в котел с водой, подкисленной соляной кислотой. Воду в котле подогревают до кипения, при этом битум отделяется от породы и всплывает в виде пены. Этот битум переводят в отстойники для отделения от воды и минеральных примесей. Если битум имеет недостаточную вязкость, его продувают перегретым паром или воздухом.

Битуминозные известняковые и доломитовые породы без извлечения битума используют в виде тонкого порошка (асфальтовый порошок) для получения асфальтовой мастики и асфальтовых бетонов.

Нефтяные битумы являются продуктом переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от вязкости нефтяные битумы делят на твердые, полутвердые и жидкие, а в зависимости от способа переработки — на остаточные гудроны, окисленные, крекинговые и экстрактные.

Остаточные гудроны получают при атмосферно-вакуумной перегонке высокосмолистой нефти после отбора бензина, керосина и масляных фракций. Они представляют собой черные твердые или почти твердые при нормальной температуре вещества темного или темно-коричневого цвета.

Окисленные битумы получают путем продувки воздуха через нефтяные остатки. В процессе производства окисленных

битумов кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в остатках, образуя водяные пары. Потеря водорода сопровождается уплотнением нефтяных остатков ввиду их полимеризации и сгущения.

Крекинговые битумы получают при крекинге (разложении при высокой температуре) нефти и нефтяных масел с целью получения большого выхода бензина. Продувка воздуха через остатки дает окисленные крекинговые битумы.

Нефтяные битумы в нагретом состоянии разливают в тару и после остывания направляют по назначению.

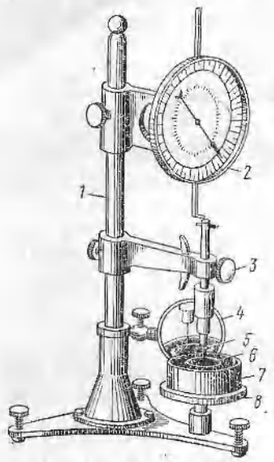


Рис. 129. Пенетрометр:

1 — штатив; *2* — диск с циферблатом и стрелкой; *3* — зажимное устройство; *4* — зеркальце; *5* — игла; *6* — испытуемый битум; *7* — сосуд с водой; *8* — столик пенетрометра

Свойства битумов. Физико-механические свойства битумных материалов должны характеризовать материал с точки зрения его молекулярного строения, а также по совокупности свойств, присущих данному.

Битумы твердые и полутвердые делят на марки. В основу этого деления положена вязкость, пластичность и поведение битума при изменении температуры.

Вязкость — свойство материала оказывать сопротивление перемещению частиц под воздействием внешних сил. Вязкость битума зависит от температуры. При пониженных температурах вязкость битума велика, и он приобретает свойства твердого тела; с увеличением температуры вязкость уменьшается и битум переходит в жидкое состояние. Для характеристики вязкости битумов (вязких и твердых) пользуются условным показателем твердости — глубиной проникновения иглы (пенетрацией). При действии на иглу груза массой 100 г в течение 5 с при 25 и 0° С глубину проникания определяют на специальном приборе — пенетрометре (рис. 129). Она выражается в градусах (1°=0,1 мм) и обозначается $П_{25}$ (индекс показывает температуру материала во время испытания).

Пластичность вязких битумов характеризует растяжимость, которую определяют с помощью дуктилометра (рис. 130). Испытаниям подвергают образцы битума в виде восьмерок стандартной формы и размеров. Показателем растяжимости битума служит величина деформации шейки образца в момент разрыва, выраженная в сантиметрах. Это испытание проводят при скорости растяжения 5 см/мин и температурах 25 и 0° С.

Так же как и вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, группового состава и характера структуры. Пластические свойства наблюдаются у битумов, содержащих значительное количество смол, оптимальное количество асфальтенов и масел и небольшое количество карбенов и карбоидов. Вязкие битумы, содержащие твердые парафины, при низких температурах имеют небольшую тягучесть.

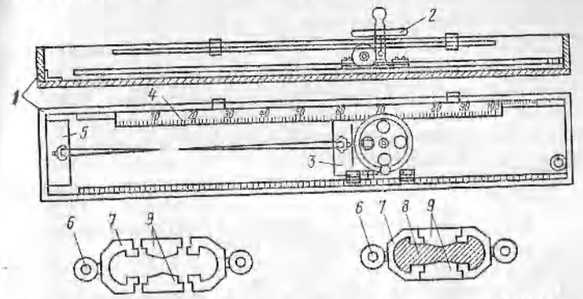


Рис. 130. Дуктилометр и форма для изготовления образцов:

1 — ящик; *2* — маховичок; *3* — подвижные салазки; *4* — шкала; *5* — неподвижные салазки; *6*, *7*, *9* — разборные части формы; *8* — битумный образец-восьмерка

Температура размягчения является важной оценкой свойств битумов; определяют ее на приборе «кольцо и шар» (рис. 131). Латунное кольцо с диаметром 16 мм и высотой 6,4 мм заполняют битумом, на поверхность последнего укладывают шарик диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г. Температуру размягчения определяют по температуре воды в приборе, когда битум размягчится и шарик опустится на нижнюю полочку этажерки.

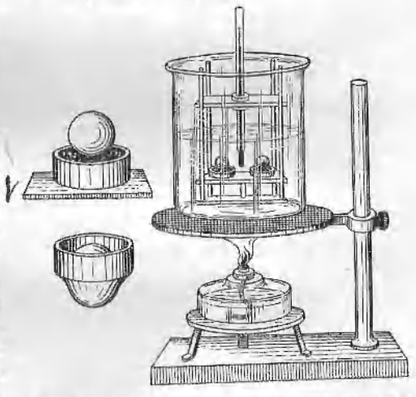


Рис. 131. Прибор для определения температуры размягчения

Наряду с основными свойствами битумов, определяющими их марку, битумы характеризуются также другими показателями, например, устойчивостью битумов в водной среде, которая обусловливается содержанием масел, смол и асфальтенов;

когезией, прочностью межмолекулярных связей; прилипание битума к каменным материалам (адгезия), которая зависит от физико-химических свойств битумов; погодоустойчивостью битумов, т. е. способностью противостоять воздействию атмосферным факторам в элементах сооружений.

Для строительных целей необходимо применять битумы, свойства которых соответствуют условиям их работы в строительных конструкциях. Согласно ГОСТ 6617—56 и 9548—60 битумы нефтяные, применяемые для строительства, характеризуются показателями важнейших физико-химических свойств, приведенными в табл. 63.

Таблица 63

Физико-механические показатели нефтяных строительных кровельных и дорожных битумов

Марка битума	Температура размягчения, не менее, °С	Глубина проникновения иглы при температуре + 25 °С, мм	Растяжимость при температуре + 25 °С, см	Температура вспышки, не ниже, °С
Битумы нефтяные строительные (ГОСТ 6617—56)				
БН-IV	70	21—40	3	230
БН-IV				
БН-V	90	5—20	1	230
БН-VI	90	≥ 20	Не нормируется	230
Битумы нефтяные кровельные (ГОСТ 9548—60)				
БНК-2	40	≥ 140	Не нормируется	240
БНК-5	90	≥ 20	То же	240
Битумы нефтяные дорожные (ГОСТ 1544—52)				
БН-0	Не нормируется	Не менее 20	Не нормируется	180
БН-I	25	121—200	100	200
БН-II	40	81—120	60	200
БН-II—V	45	81—120	60	200
БН-III	45	41—80	40	200
БН-III—V	50	41—80	40	200

Жидкие битумы делят на два класса: класс А — среднегустеющие и класс Б — медленногустеющие. В отличие от твердых и полутвердых жидкие битумы могут быть получены не только в результате переработки нефти, но и разбавления твердых и полутвердых битумов нефтепродуктами.

§ 3. Дегти

Дегти представляют собой вязкие жидкости черного или бурого цвета, состоящие из углеводородов и их сернистых, азотистых и кислородных производных, получаемых конденсацией парообразных продуктов, образующихся при разложении органических материалов (каменного угля, торфа, древесины и др.) в условиях высокой температуры без доступа воздуха. Процесс

этот называется сухой деструктивной перегонкой, при которой химическая структура перегоняемого вещества полностью изменяется.

По исходному сырью дегти делят на каменноугольные, торфяные, древесные и сланцевые, а в зависимости от метода переработки сырья — на коксовые и газовые. В строительстве наибольшее значение имеют каменноугольные дегти, которые являются побочным продуктом процессов коксования и газификации каменного угля. Наибольшее развитие получают материалы на основе битумов, а соответственно уменьшается использование материалов на основе дегтевых композиций.

Каменноугольные дегти. В зависимости от температуры коксования дегти делят на высокотемпературные, получаемые в результате коксования исходного сырья при температуре 900—1200° С, низкотемпературные, получаемые в результате полукоксования при температуре 450—600° С, и газовые — при газификации топлива в производстве светильного газа.

При разложении каменного угля образуются сырые дегти, которые непосредственно для производства строительных материалов не применяются. В них содержится значительное количество летучих составных частей, которые даже при слабом нагревании испаряются, что приводит к изменению первоначальных свойств строительных материалов (возникает хрупкость). Из сырого дегтя отгоняют легкие и средние масла, в результате чего получают так называемый отогнанный деготь.

Составные части дегтя отгоняются при различных температурах: при температуре до 170° С отделяется легкое масло, при 170—270° С — среднее, при 270—300° С — тяжелое и при 300—360° С — антраценовое масло. После окончания отгонки масел получают твердое вещество черного цвета, называемое пеком.

Антраценовое масло представляет собой жидкую, иногда маслоподобную зеленовато-желтую массу, оно имеет характерный запах ввиду наличия в нем фенолов и сернистых соединений.

Сырой деготь (каменноугольная смола), каменноугольные пек и масло характеризуются следующими физико-механическими показателями:

смола каменноугольная в своем составе содержит до 7% свободного углерода, до 4% воды и до 10% нафталина, при 80° С обладает вязкостью 2,5—4,5 с;

пек каменноугольный производят трех видов: мягкий, средний и пек из низкотемпературного дегтя, отличаются указанные виды пеков главным образом температурой размягчения, содержанием свободного углерода, воды и не растворимых в бензоле веществ;

масло каменноугольное характерно большим содержанием (до 70%) тяжелых фракций, отгоняемых в интервале температур 275—360° С, содержанием до 0,3% нерастворимых в бензоле веществ и до 1,5% воды. Составленный деготь получают

сплавлением пека с дегтевыми маслами или обезвоженными сырыми дегтями.

Дегти каменноугольные дорожные получают при коксовании угля или сплавлением пека каменноугольного с маслами или обезвоженным сырым дегтем. Выпускают восемь марок от ДС-1 до ДС-8.

По физико-механическим показателям смешанные дегти обладают относительно большим содержанием нерастворимых в бензоле соединений — до 20%, количество водорастворимых соединений в них — 0,5—7%. По фракционному составу они содержат большее количество средних и тяжелых фракций в интервале температур 270—300° С. Характерным показателем для смешанных дегтей является их вязкость — 5—15 с при 50° С для дегтя ДС-1 и 50—120 с при 50° С для дегтя марки ДС-8.

Сланцевые дегти получают при нагревании горючих сланцев без доступа воздуха в специальных генераторах или туннельных печах до 500—550° С, при этом выделяется газ, низкотемпературная смола в качестве 15—20% от массы сланца и полукокс. Низкотемпературную смолу разделяют на автомобильный бензин, тракторное и дизельное топливо и мазут как остаток после отгона всех фракций. Этот остаток составляет около 50% и используется как жидкий сланцевый деготь. Последний имеет шести марок, каждая марка которого характеризуется в основном тремя показателями: вязкостью при температуре 50 и 60° С, фракционным составом и температурой вспышки.

Транспортирование и хранение битумных и дегтевых вяжущих. Битумные и дегтевые вяжущие должны иметь заводскую упаковку. При перевозке их защищают от повреждений и атмосферных воздействий, а хранят в закрытых складах или под навесом в рассортированном виде.

Битумы полутвердые, дегти каменноугольные и сланцевые и пек жидкий транспортируют в бункерных полувагонах, автоцистернах, в контейнерах, в бочках и железнодорожных цистернах. Битум строительный и кровельный БНК-5 транспортируют в бочках, фанерных барабанах, бумажных мешках и другой таре в крытых вагонах и на платформах. Пек транспортируют без тары в крытых вагонах и на платформах. Битумы жидкие и дегти каменноугольные перевозят в железнодорожных цистернах, бункерах-полувагонах, автоцистернах.

§ 4. Асфальтовые и дегтевые бетоны

Асфальтовым или дегтевым бетоном называют искусственный материал, получаемый в результате уплотнения специально подобранной смеси, состоящей из щебня (или гравия), песка, минерального порошка, битума или дегтя и пека. Применяют их главным образом в дорожном строительстве.

Асфальтовые бетоны. В зависимости от температуры, при которой укладывают и уплотняют смесь в покрытии, и вязкости

применяемого битума различают следующие разновидности асфальтовых бетонов: горячие, приготовляемые на вязких битумах при температуре 140—180° С и укладываемые в покрытие при температуре не ниже 130° С, формирование структуры бетона в основном заканчивается в период уплотнения; *горячие* дегтебетоны при укладке должны иметь температуру 80—110° С; *теплые* — приготовляемые на битумах пониженной вязкости при температуре 90—160° С и укладываемые в покрытие при температуре 30—100° С, формирование структуры также в основном заканчивается в период уплотнения; *холодные,* приготовляемые на жидких битумах при температуре 80—120° С и укладываемые в покрытие после полного их остывания; формирование их струк-

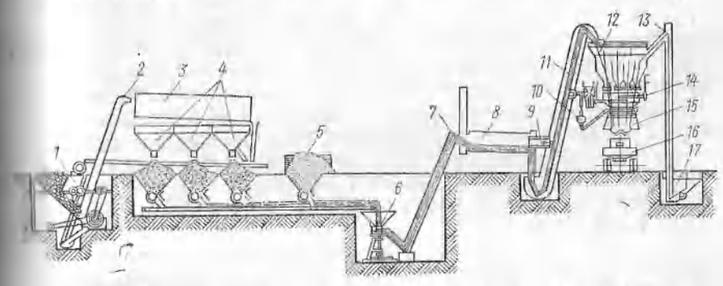


Рис. 132. Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси:

1 — дробилка для камня; *2* — элеватор; *3* — сортировка на фракции; *4* — бункера щебня; *5* — бункер песка; *6* — питатель; *7* — элеватор для холодной смеси; *8* — сушильный барабан; *9* — полка; *10* — подача нефти; *11* — элеватор для горячей смеси; *12* — бункера горячей смеси; *13* — элеватор для наполнителя; *14* — дозаторы; *15* — смеситель; *16* — самосвал; *17* — приемник для наполнителя

туры продолжается в течение 20—30 суток. К холодным относятся также асфальтобетонные смеси на битумных эмульсиях, укладываемые при нормальной температуре.

По максимальной крупности зерен минерального материала асфальтовый бетон делят на: *крупнозернистый* с наибольшим размером зерен 40 мм, *среднезернистый* — 25 мм, *мелкозернистый* — 15 мм и *песчаный* — 5 мм.

По структурным признакам (плотности) асфальтовый бетон может быть *плотный,* имеющий суммарную пористость 3—5% объема, и *крупнопористый* с пористостью 5—10% объема.

Асфальтобетонную смесь готовят по следующей технологической схеме (рис. 132): минеральные материалы (щебень и песок) из открытых складов и минеральный порошок из закрытого склада подают в дозаторы, после чего отвешенный на один замес (массой 3—3,5 т) материал транспортером подают в бункер, откуда при открытии затвора он самотеком поступает во вращающийся барабан смесителя. Последний разделен на два отделения — сушильное для просушивания и подогрева

минеральных материалов до 170—190° С и смесительно- объединения минеральных материалов и расплавленного би- поступающего через дозатор по трубам из битумоплав- котлов. На один цикл работы затрачивается 12—15 мин. П- водительность смесителя Д-138 (Г-1) при приготовлении кр- зернистой асфальтобетонной смеси составляет 90—110 т в

Приготовленную асфальтобетонную смесь транспорти- в автосамосвалах и у места укладки загружают в асфа- укладчик, который ровным по толщине слоем распредели- по подготовленному основанию. Распределенную по доро основанию смесь уплотняют катками массой 5—14 т или рационными моторными катками массой 0,5—4,5 т.

В строительстве более широко применяют асфальтоб- так как он долговечнее дегтебетона. Крупнозернистый аф- тобетон используют для устройства нижнего слоя дорож- покрытия; среднезернистый — для устройства однослойных крытий и верхнего слоя двухслойных покрытий; мелкозерни- обладающий достаточно высокой сопротивляемостью механи- ким и атмосферным воздействиям, для устройства покры- с интенсивным движением и для верхнего слоя двухслойных крытий; песчаный, обладающий повышенной пластичностью для покрытия полов в цехах промышленных зданий, тротуар- и покрытий дорог с легким движением.

Для устройства покрытий на дорогах облегченного типа пользуют мелкозернистые асфальтобетонные смеси холодно- типа. Крупнозернистые холодные бетоны применяют для устрой- ства оснований и нижнего слоя двухслойных покрытий. Холо- ные бетоны проще и дешевле в изготовлении и удобнее в укла- ке, особенно в сырую и холодную погоду, чем обычные а- фальтовые бетоны.

В строительной практике наряду с горячим, теплым и холо- ным асфальтовыми бетонами применяют также литой асфальт- бетон. Уплотняют его в горячем состоянии утюгами или легки- (0,5—1,5 т) катками. Литой асфальт используют в стесненны- условиях, где нельзя использовать тяжелые катки и вибратор- или при малых объемах работ (для устройства покрытий т- тротуарах, плоских кровлях, полах в складских и производ- венных помещениях, а также для гидроизоляции).

Дегтебетон представляет собой материал, аналогичный а- фальтобетону. В качестве вяжущего для его изготовления при- няют каменноугольный деготь марок от Д-5 до Д-8 или дегте- состоящий из каменноугольного пека, каменноугольного ма- и сырого дегтя. Однако преимущественное применение имеют асфальтобетоны, а не дегтебетоны.

Дегтебетон укладывают в *горячем* и *холодном* состоянии. В за- висимости от крупности каменного материала дегтебетон под- разделяется на крупно-, средне- и мелкозернистый. Для приго- товления горячего дегтебетона применяют те же минеральные материалы, что и для асфальтобетона, и требования предъяв-

ются к ним аналогичные. Дегтебетонную смесь приготовляют в асфальтобетонных установках при температуре 100—130° С, температура смеси при выпуске — 100—120° С. Дегтебетон обла- дает меньшей водоустойчивостью, износостойкостью и тепло- стойкостью, чем асфальтобетон, менее пластичен, поэтому боль- ше деформируется в холодное время. Применяют дегтебетон преимущественно для дорог III категории и для ремонта.

КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ПАРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация

Гидроизоляционные, пароизоляционные и кровельные мате- риалы на основе битумных и дегтевых вяжущих делят на рулон- ные и листовые материалы, эмульсии и пасты, мастики и штуч- ные изделия, бетоны и лакокрасочные материалы.

По виду вяжущих и их смесей кровельные, гидроизоляцион- ные и пароизоляционные материалы бывают: *битумные*, состоя- щие из нефтяных битумов или сплавов нефтяных битумов и природных битумов; *дегтевые*, представляющие смесь каменно- угольных и сланцевых дегтей или сплавов пеков с каменно- угольными дегтями или дегтевыми маслами; *дегтебитумные*, состоящие из каменноугольных дегтепродуктов или сланцевых дегтей с нефтяными битумами; *гудрокамовые*, представляющие собой продукты совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона (гудрокам); *дегтебитумно-полимерные*, состоящие из нефтяных битумов или каменноугольных дегте- продуктов и полимеров (включая каучуки); *резинобитумные*, получаемые в результате совместной переработки нефтяных би- тумов и старой резины; *резинодегтевые*, получаемые в резуль- тате совместной переработки старой резины и дегтепродуктов; *полимерные*.

§ 2. Эмульсии и пасты

Эмульсиями называют дисперсные системы, состоящие из двух не смешивающихся между собой жидкостей, из которых одна находится в другой в мелкораздробленном (диспергиро- ванном) состоянии. В подобных системах различают диспер- сионную среду и дисперсную фазу, которая распределена в первой.

Битумные и дегтевые эмульсии — это дисперсные системы, в которых вода является средой, а диспергированный битум или деготь — фазой. Для получения эмульсий битум или деготь должен быть превращен в мелкораздробленное состоя- ние, частицы его равномерно распределены в водной среде и не должны слипаться в более крупные агрегаты. Образование и устойчивость эмульсии достигается путем введения в нее спе- циальных эмульгаторов — поверхностно-активных веществ или тонкодисперсных твердых порошков, которые, с одной стороны,

понижают поверхностное натяжение между битумом и водой, этим способствуют более мелкому раздроблению, а с другой сообщают частицам определенный заряд, препятствующий слиянию частиц. В качестве органических эмульгаторов для получения битумных эмульсий применяют оленновую кислоту, концентраты с.с.б. и асидол.

Битумные эмульсии получают механическим диспергированием с применением особых быстро вращающихся механизмов (гомогенизаторов), в которые смесь расплавленного вяжущего и воды с эмульгатором поступает через щель между диском и кожухом аппарата. При быстром вращении дисков (до 4000 об/мин) битум под влиянием центробежной силы распыляется в водной среде. Имеющийся в воде эмульгатор обволакивает частицы вяжущего и придает им необходимую устойчивость. В последнее время для изготовления битумных эмульсий используются акустическими диспергаторами.

Битумные эмульсии можно приготовить и в смесителях с медленным вращением (120 об/мин); в этом случае необходимо применять более активные эмульгаторы и низкоплавкие битумы. Содержание битумов в эмульсиях составляет около 50%, эмульгатора — 0,01 — 5%.

Качество битумных эмульсий, характеризуемое скоростью распада, зависит от свойств эмульгаторов и дисперсности эмульсии. Эмульсии, применяемые для смешения с мелкими материалами, не должны распадаться до полного объединения с ними, а при обработке сырых поверхностей должны быть устойчивыми при разведении водой. Битумные эмульсии после нанесения их на поверхность должны относительно быстро и полно выделять битум в виде тонкой и плотной пленки, которая снова переходит в эмульсию при действии воды.

В отличие от битумов, дегтей и пеков, которые применяют в строительстве обычно разогретыми, в сухую погоду и при сухих заполнителях, битумные эмульсии используют в холодном состоянии. Они обладают способностью наноситься на влажные поверхности и объединяться с влажными материалами.

Эмульсии применяют для устройства защитного гидроизоляционного и пароизоляционного покрытия, грунтовки оснований под гидроизоляцию, приклейки штучных и рулонных материалов, а также гидрофобизации поверхностей изделий. Кроме этого, эмульсию добавляют к воде затворения при изготовлении бетонов; этим достигается их объемная гидрофобизация.

Хранят эмульсию в металлической таре в закрытых помещениях температурой не ниже 0° С; тара должна быть чистой, так как присутствие посторонних примесей может вызвать быстрый ее распад. Транспортируют эмульсии в бочках или цистернах.

Битумные пасты применяют для устройства защитного гидроизоляционного и пароизоляционного покрытия, грунтовки изолируемой поверхности, уплотнения стыков в кровле, а также в качестве вяжущего для изготовления холодных мастик.

Битумные пасты приготовляют из битума, воды и эмульгатора. В качестве эмульгатора используют неорганические тонкодисперсные минеральные порошки, содержащие активные коллоидные частицы размером менее 0,005 мм, добавляемые к воду при производстве паст. В качестве эмульгатора используют известь, глины, трепел молотый. Наиболее водоустойчивые пасты получают при применении известковых эмульгаторов.

Для гидроизоляционных работ рекомендуется применять битумные пасты, состав которых приведен в табл. 64.

Таблица 64

Составы битумных паст

Наименование эмульгатора	Содержание компонентов, % по массе		
	битума	воды	эмульгатора
Известь негашеная	45—50	47—38	8—12
» гашеная	40—45	50—40	10—15
Глина высокопластичная	50—55	42—35	8—10
» пластичная	45—50	45—38	10—12
Трепел молотый	50—55	40—30	10—15

§ 3. Мастики

По виду исходного вяжущего мастики делят на битумные, битумно-полимерные (в том числе битумно-каучуковые), резинобитумные, дегтевые, дегтеполимерные, гудронные и гудрокам-полимерные.

По способу укладки мастики бывают горячие и холодные. Горячие мастики применяют с предварительным подогревом до температуры: битумные — 160 — 180° С, резинобитумные — 170—180° С, дегтевые и гудрокамовые — 130—150° С и гудрокам-полимерные — 70° С. Холодные мастики применяют без подогрева при температуре окружающего воздуха 5° С, с подогревом до 60—70° С при более низких температурах.

Мастики изготовляют из органического вяжущего и наполнителя. Наполнители применяют для повышения теплостойкости, уменьшения хрупкости при пониженных температурах и уменьшения расхода вяжущего. Для мастик используют наполнители пылевидные, волокнистые и комбинированные (смесь пылевидного и волокнистого). В качестве пылевидных наполнителей применяют известняк, доломит, кварц, тальк, трепел, золы, цемент и многие другие, а в качестве волокнистого наполнителя применяют хризотиловый асбест 7-го и 8-го сортов, асбестовую пыль, коротковолокнистую минеральную вату.

Горячие мастики в зависимости от области применения подразделяют на приклеивающие, кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные асфальтовые.

Приклеивающие мастики изготовляют четырех видов: битумные, состоящие из битума, наполнителя и антисептика; резинобитумные — из резинобитумного вяжущего, полимерной

добавки, наполнителя и антисептика; дегтевые — из камен... угольных дегтепродуктов и наполнителя и гудрокамовые — ... гудрокама, нефтяного битума и наполнителя.

Битумные мастики производят четырех марок: МБК-Г ... МБК-Г-75, МБК-Г-85 и МБК-Г-90. Резинобитумные мастики выпускают двух марок: МРБ-Г-П-100 и МРБ-Г-П-100; дегтевые трех марок: МДК-Г-50, МДК-Г-60 и МДК-Г-70 и гудрокаковые — МГ-Г-70. Последняя цифра марки мастики характеризует теплостойкость в градусах на уклоне 45°, например битумная мастика марки МБК-Г-65 имеет теплостойкость 65° С. Приклеивающие мастики предназначены для склеивания рулонных материалов при устройстве многослойных кровельных покрытий и гидроизоляции.

Кровельно-гидроизоляционные мастики бывают двух видов: гудрокам-полимерная мастика марки МП-70, состоящая из гудрокама, нефтяного битума и СКС-30; резинобитумная мастика марки МРБ-Г-Г-100 и МРБ-Г-В-130, состоящая из резинобитумного вяжущего, полимерной добавки наполнителя и антисептика. Кровельно-гидроизоляционные мастики применяют в качестве приклеивающих мастик, а также для устройства безрулонных кровель и гидроизоляции.

Гидроизоляционные асфальтовые горячие мастики, состоящие из битума и минерального наполнителя, изготовляют трех категорий — I, II и III в зависимости от теплоустойчивости. К гидроизоляционным асфальтовым горячим мастикам предъявляют следующие основные требования физико-механических свойств: температура размягчения по КиШ в зависимости от категории теплоустойчивости — не менее 60—90° С и не более 75 — 100° С; вязкость, определяемая прониканием иглы при температуре 25° С, не менее 1,3—1,7 мм; пластичность, определяемая растяжимостью битума при 25° С, не менее 1,2 и 4. Гидроизоляционные горячие мастики не должны увеличиваться в объеме под вакуумом и иметь ничтожное водонасыщение. Гидроизоляционные асфальтовые мастики предназначены для гидроизоляции, а также для изготовления асфальтовых материалов и изделий.

Технология производства горячих мастик следующая. Битум на складе хранится по маркам, а наполнители как волокнистые, так и пылевидные — отдельно по сортам и видам в закрытых складах. До поступления в битумоварочную установку проверяется качество наполнителя. Наполнитель должен быть сухим (влажность не более 3—5%), тщательно измельченным (остатка на сите 920 отв/см² не должно быть, а на сите 6100 отв/см² — не более 30%) плотностью не более 3 т/м³.

Битумы и наполнители со склада транспортируют к битумоварочной установке (рис. 133), которая состоит из нескольких битумоварочных котлов. При варке битума из него удаляется имеющаяся в виде примеси вода и осаждаются песчаные частицы. Сначала загружают битум марки БН-III, после того как он расплавится, добавляют битум марки БН-IV или БН-V. В расплавленный и обезвоженный при 180—190° С битум при постоянном перемешивании вводят частями наполнитель и варку производят до получения однородной массы. В качестве горючего для котлов применяют жидкое топливо.

Приготовленную мастику перекачивают битумным насосом из котла в термосные битумовозы.

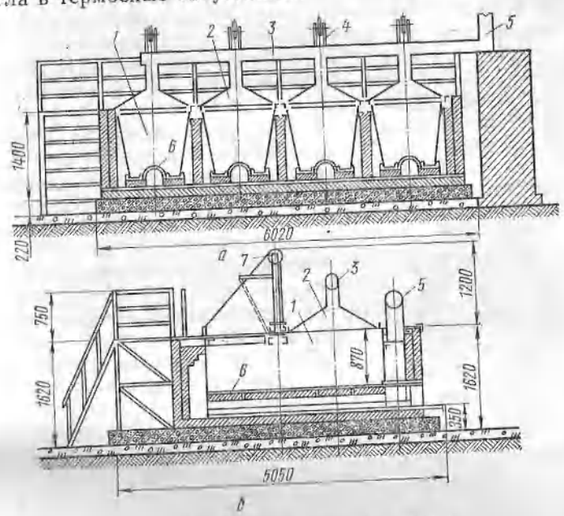


Рис. 133. Битумоварочная установка:

а — поперечный разрез (по вытяжным зонтам); *б* — продольный разрез; *1* — котел; *2* — вытяжной зонт; *3* — горизонтальный газоотвод; *4* — стойка с блоком механизма открывания крышек люков котлов; *5* — вытяжная труба; *6* — чугунный свод; *7* — горизонтальный дымоотвод

На строительную площадку битумную мастику транспортируют в термосном битумовозе (рис. 134), представляющем собой цилиндрическую емкость объемом 1,35 м³ с кожухом, утепленным изнутри шлаковатой. Сверху имеется люк для загрузки мастики. Битумовоз оснащен также установкой для подогрева битумной мастики в пути и на объекте в течение рабочей смены. Перед расходованием мастику подогревают до 180—200° С и выдают через сливной кран.

Для изготовления приклеивающих и кровельно-гидроизоляционных мастик вводят 10—30% наполнителя; гидроизоляционных асфальтовых мастик — 65—70% порошкообразного наполнителя или 15—20% волокнистого наполнителя.

Приклеивающие и кровельно-изоляционные горячие мастики при температуре 18±2° С должны быть твердыми, однородными,

без видимых посторонних включений и примесей, они не должны иметь видимых частиц наполнителя, не покрытых бит

Битумные, дегтевые и гудрокамовые мастики в рабоче стоянии должны легко наноситься щеткой или гребком на ной поверхности слоем до 2 мм и свободно растекаться по лируемой поверхности такой же толщины при подаче маст насосом. Резинобитумные мастики наносят гребком при 1 180° С, а гудрокамовую и полимерную мастики — при 70° С.

Холодные мастики изготовляют на разбавленном вяжу и на битумных пастах (асфальтовые мастики). К маст приготовляемым на разбавленном вяжущем, относят битум резинобитумные, гудрокамовые.

Битумная холодная мастика марки (МБК-Х-1) состоит нефтяного битума, разбавителя в виде пиролизной смолы, ве сина или солярового масла до 2 наполнителя пластификатора и тисептика. Теплоустойчивость тумной мастики 70° С.

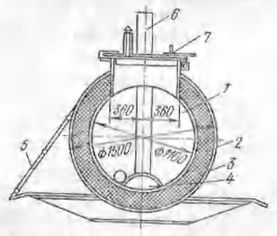


Рис. 134. Термосный битумовоз:
1 — цистерна; *2* — утеплитель — шлаковата; *3* — кожух из листового железа; *4* — топливник; *5* — стальная лестница; *6* — дымовая труба; *7* — крышка люка

Резинобитумная мастика при водится четырех марок. Она сос из резинобитумного вяжущего, полимерной добавки, разбавителя, полнителя, пластификатора и ан септика; ее производят четыр марок.

Резинобитумную мастику при тавливают следующим образом, тум дробят на мелкие куск загружают в битумоварочный к и расплавляют. После удален влаги и достижения температур 160—180° С расплавленный битум поступает в смесительны агрегат, где он перемешивается с наполнителем.

После остывания смеси до 80° С в агрегат вводят раство резинового клея в бензине и смесь вновь перемешивают. При товленную мастику разливают в металлические бачки емкост 37 л, которые плотно закрывают крышками. Холодные маст могут храниться продолжительное время.

Гудрокамовая холодная мастика марки МГ-Х-70 состоит из гудрокама, нефтяного битума, разбавителя и наполните В качестве разбавителя для получения холодных мастик при няют жидкие органические вещества, которые делят на летучие нелетучие. Летучие разбавители бывают легкие, средние и тяж лые. Летучие легкие — бензин авиационный, бензин автомобил ный, бензин-растворитель, бензин экстракционный; средние — мигроин тракторный, бензи-растворитель и уайт-спирит; тяжелые— керосин тракторный, керосин осветительный, масло зелено

В качестве нелетучих разбавителей применяют нефтяны масла — машинное, трансформаторное, цилиндровое, смазочное,

соляровое, а также жидкие нефтяные битумы, масляный гудрон, мазут. Холодные мастики при температуре 18±2° С должны быть подвижными, однородными, без видимых включений. Мастики, изготовляемые на разбавленном вяжущем, применяются для приклейки рулонных материалов и устройств защитного покрытия, а также для гидроизоляции и пароизоляции.

Холодные мастики на битумных пастах изготовляют путем смешения битумных паст с минеральными наполнителями и антисептиком, в качестве разбавителя используют воду.

Применяют холодные мастики на битумных пастах для литой и штукатурной гидроизоляции и заполнения деформационных швов, а также в качестве кровельного покрытия в южных районах страны.

Мастика изол — эффективный гидроизоляционный герметизирующий и приклеивающий материал. Изготовляется из дешевого недефицитного сырья. Основными сырьевыми компонентами для производства мастики являются материалы, содержащие каучук и нефтяной битум.

Мастики изол в зависимости от температуры укладки подразделяются на горячие и холодные. Горячие могут быть уложены только с предварительным подогревом, холодные — без подогрева. Горячие мастики изол бывают приклеивающие (для склеивания рулонных материалов в кровлях и гидроизоляции), кровельно-гидроизоляционные (для приклеивания рулонных материалов кровель и гидроизоляции, а также для устройства безрулонных кровель и гидроизоляции) и герметизирующие (для герметизации стыков между панелями сборных зданий и сооружений). Приклеивающие мастики изготовляют двух видов: для приклеивания внутри здания и для приклеивания кровли.

Кровельно-гидроизоляционные мастики производят трех марок: для гидроизоляции горизонтальных повреждений — МРБ-Г-Г; для герметизации стыков — изол МРБ-Г-М и для вертикальных поверхностей марки МРБ-Г-В. Мастики изол изготовляют путем смешивания резинобитумного вяжущего, полученного в результате термомеханической обработки девулканизированной резины, нефтяного битума и в ряде случаев с добавлением высокомолекулярных соединений (полиизобутилена и др.), кумароновой смолы, канифоли, антисептика и наполнителей.

Холодную мастику изол получают введением в горячую мастику 30—50% (по массе) бензина или других растворителей.

§ 4. Рулонные и листовые материалы

В строительстве битуминозные кровельные и гидроизоляционные материалы применяют двух основных типов: приготовленные пропиткой основы (специального картона) нефтяными битумами или дегтевыми составами с последующим покрытием более тугоплавким составом и нанесением посыпки; безосновные, получаемые путем прокатки на каландрах термомеханически

обработанных смесей вяжущих с наполнителями и добавками в полотнища заданной толщины.

Рулонные материалы на основе по виду вяжущего различают: битумные, дегтевые, дегтебитумные, гудрокамовые и битумно-полимерные.

По структуре рулонные материалы на основе делят на кровные и безпокровные. К покровным рулонным материалам на картонной основе относятся рубероид, толь, дегтебитумные и гудрокамовые материалы.

Рубероид представляет собой рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона мягкими нефтяными битумами с последующим покрытием его с одной или с обеих сторон тугоплавким нефтяным битумом и нанесением на его

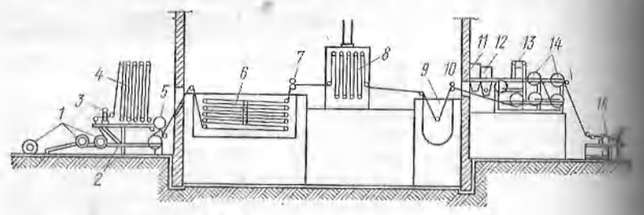


Рис. 135. Схема рубероидной машины:

1 — бабины картона; *2* — размоточный станок; *3* — сушильный станок; *4* — магазин запаса картона; *5* — сушильные цилиндры; *6* — пропиточная ванна; *7, 10* — отжимные вальцы; *8* — камера допропитки; *9* — покровная ванна; *11—13* — посыпочные бункера; *14* — холодильные барабаны; *15* — намоточный станок

верхность тонкого слоя мелкоизмельченного минерального порошка, слюды или цветной минеральной посыпки. Производство рубероида состоит из следующих основных операций: подогрева пропиточной и покровной массы в котлах до температуры 180—200° С или окисления в конверторах; подготовки посыпочных материалов; пропитки полотна картона в пропиточной ванне; отжима валками машины излишнего битума; протягивания пропитанного картона через другую ванну с более тугоплавким битумом (с наполнителем, имеющим температуру размягчения не ниже 85° С по КиШ) для нанесения покровного слоя; посыпки минеральным порошком или другим посыпочным материалом с одной или обеих сторон; охлаждения материала на цилиндрах с водяным или иным охлаждением; окончательного охлаждения в петлях магазина запала; резки ленты на куски стандартной длины и свертывания их в рулоны. Схема рубероидной машины показана на рис. 135.

В настоящее время промышленность выпускает рубероид следующих марок: РК-420 — кровельный с крупнозернистой посыпкой, РЧ-350 — кровельный с чешуйчатой посыпкой, РЭМ-350 — рубероид с эластичным покровным слоем и мелкой

минеральной посыпкой, РП-250 — подкладочный с мелкой минеральной посыпкой и др. Буква Р обозначает рубероид, П — подкладочный, К, Ч, М — виды посыпки (крупнозернистая, чешуйчатая и мелкая минеральная посыпка), а соответствующие числа обозначают массу 1 м² кровельного непропитанного битумом картона в граммах.

Рубероид РП-250 представляет собой кровельный материал, получаемый пропиткой нефтяным битумом кровельного картона и последующего покрытия с обеих сторон тугоплавким битумом. Рубероид РП-250 обладает достаточной гибкостью: при —18° С водопоглощение за 24 ч не превышает 22 г/м², прочность на разрыв полоски шириной 50 мм составляет 150 Н. Рубероид РП-250 применяют для устройства нижних подкладочных слоев кровельного ковра.

Рубероид с чешуйчатой посыпкой РЧ-350 — кровельный материал, получаемый пропиткой кровельного картона мягким нефтяным битумом и нанесением битумного слоя; с лицевой стороны на полотно рубероида наносится посыпка из слюдяной чешуйки.

Основные физико-механические показатели рубероида РЧ-350 следующие: прочность на разрыв полоски шириной 50 мм — 320 Н, водопоглощение за 24 ч — не более 25 г/м², выдерживает гибкость при 25° С на стержне диаметром 30 мм; при 80° С в течение 2 ч потеря в массе — не более 0,5%. Рубероид РЧ-350 предназначен для устройства верхнего слоя кровельного ковра.

Рубероид РЭМ-350 с эластичным покровным слоем обладает следующими физико-техническими показателями: прочность на разрыв полоски рубероида шириной 50 мм — не менее 320 Н; водонепроницаемость образца площадью 78,5 см² (диаметром 100 мм) при гидростатическом давлении — до 0,07 МПа; водопоглощение при замачивании в воде за 24 ч — не более 25 г/м²; температура размягчения пропиточной массы по методу КиШ — не ниже 40° С и покровной массы — 85—90° С.

Рубероид с эластичным покровным слоем применяют для устройства нижнего слоя кровельного ковра в районах с низкой температурой эксплуатации.

Рубероид с крупнозернистой посыпкой РК-420 — кровельный материал, получаемый пропиткой мягким битумом кровельного картона с нанесением двустороннего покровного слоя из тугоплавкого битума и крупнозернистой посыпки с лицевой стороны. Основные физико-механические показатели рубероида РК-420 следующие: прочность на разрыв полоски шириной 50 мм — 340 Н; водопоглощение за 24 ч — не более 40 г/м²; выдерживает гибкость при температуре 25° С на стержне диаметром 30 мм; при 80° С в течение 2 ч потеря в массе — не более 0,5%. Рубероид РК-420 предназначен для устройства верхнего слоя кровельного ковра.

Рубероид с крупнозернистой цветной и чешуйчатой [посыпками] применяют для верхнего слоя покрытий скатных и пологих кровель на горячих и холодных мастиках.

Рубероид с мелкой минеральной посыпкой используют [для] верхнего и нижнего слоев; рубероид подкладочный — только в качестве подкладочного материала.

Дегтебитумные материалы (ДБ) изготовляют путем пропитки кровельного картона дегтепродуктами с последующим покрытием с обеих сторон нефтяным битумом. Дегтебитумные материалы производят шириной 65—105 см, общей площадью 20±0,5 м². Дегтебитумные материалы применяют для многослойных плоских совмещенных и водоналивных кровельных покрытий, оклеечной гидроизоляции и пароизоляции. Для верхнего слоя кровельного ковра применяют дегтебитумные материалы с крупнозернистой (ДБК) или чешуйчатой (ДБЧ) посыпками; для подкладочных слоев кровли и гидроизоляции — материал с мелкой минеральной посыпкой (ДБМ). Дегтебитумные материалы укладывают на холодных и горячих битумных и дегтевых мастиках.

Гудрокамовые материалы (РГМ) изготовляют путем пропитки и покрытия с обеих сторон кровельного картона гудрокамом шириной 65—106 см, общей площадью 10±0,5 м². Гудрокамовые материалы применяют для многослойных плоских и совмещенных кровель, оклеечной пароизоляции на холодных и горячих гудрокамовых и битумных мастиках.

Толь кровельный изготовляют пропиткой кровельного картона дегтепродуктами; по виду материала, применяемого для посыпки, и составу покровного слоя толь делят на толь с крупнозернистой (ТВК-420) и песчаной (ТП-350) посыпками. Толь с крупнозернистой посыпкой изготовляют путем пропитки кровельного картона дегтепродуктами с последующим покрытием его с обеих сторон тугоплавкими дегтепродуктами, содержащими минеральный наполнитель. Его производят шириной 65—105 см и общей площадью рулона 10±0,5 м². Толь с крупнозернистой посыпкой применяют для верхнего слоя пологих и широких кровель на горячих дегтевых мастиках. Толь с песочной посыпкой изготовляют пропиткой и покрытием кровельного картона одними и теми же дегтями и последующей посыпкой из кварцевым песком.

Поверхность толя должна быть равномерно покрыта слоем посыпки: полотно толя не должно иметь разрывов, складок, вмятин, дыр. В разрезе материал должен иметь черный цвет без светлых прослоек непропитанного картона. Толь с песочной посыпкой производят шириной 75—105 см, общей площадью рулона 15±0,5 м². Его применяют для устройства кровель временных сооружений, изоляции фундаментов и других каменных и деревянных частей сооружений. Толь с песочной посыпкой укладывают на горячих дегтевых мастиках.

Рулонные кровельные материалы на стеклооснове делят на кровельную стеклоткань, кровельный стекловойлок и гидроизоляционные асфальтовые армированные маты. Кровельные рулонные стеклоткань и стекловойлок изготовляют путем совмещения стеклоосновы с битумной резинобитумной или битумно-полимерной пленками и с одной или с обеих сторон покрывают слоем посыпки. Их изготовляют в рулонах площадью 10 м².

Стеклоткань и стекловойлок укладывают на горячих и холодных битумных мастиках; их применяют для многослойных плоских кровель, оклеечной гидроизоляции и пароизоляции.

Асфальтовые армированные маты изготовляют путем покрытия предварительно пропитанной стеклоткани с обеих сторон слоем битума или гидроизоляционной асфальтовой мастики. Асфальтовые армированные маты в зависимости от пропиточного материала и состава покровного слоя делят на обычные и с повышенной теплостойкостью. Армированные маты производят длиной 3—10 м, шириной до 1 м и толщиной 4—6 мм. Асфальтовые армированные маты применяют для устройства оклеечной гидроизоляции и уплотнения деформационных швов.

Беспокровные рулонные материалы на основе подразделяют на пергамин (П), толь беспокровный — толь-кожу (ТК-350) и толь гидроизоляционный (ТГП-350).

Пергамин представляет собой кровельный и изоляционный материал, изготовленный из кровельного картона, пропитанного нефтяными битумами. Пергамин не имеет на поверхности покровного слоя. Изготовляют его на пергаминовых агрегатах, состоящих из размоточного станка для картона, магазина запаса картона, пропиточной ванны с отжимными вальцами, охлаждающих цилиндров и намоточного станка. Пергамин можно производить и на рубероидных машинах, но в этом случае будет простаивать ряд агрегатов.

Для пропитки картона в пергаминовом производстве применяют битум с температурой размягчения не ниже 42° С по КиШ, двух марок — П-350 и П-300, шириной 65—105 см, площадью рулона 20±0,5 м².

Пергамин применяют как подкладочный материал под рубероид, а также для пароизоляции на горячих битумных мастиках.

Толь беспокровный изготовляют пропиткой кровельного картона каменноугольными дегтевыми составами. Для пропиточной массы применяют смесь отогнанного битума с песком, имеющую температуру размягчения 34—40° С по КиШ, отношение массы пропиточной массы к массе картона 1,15 : 1,0. Беспокровный толь производят трех марок — ТК-350, ТК-300 и ТГ-350, шириной 75—105 см, общей площадью полотна в рулоне 30±0,5 м².

Толь беспокровный применяют для устройства кровель как подкладочный материал под толь, с крупнозернистой посыпкой, для пароизоляции, а также в многослойных плоских кровельных покрытиях на горячих дегтевых мастиках.

Гидроизол — асбестовый или асбестоцеллюлозный [illegible] пропитанный нефтяным битумом с температурой размягчения не ниже 50° С. Гидроизол в зависимости от качественных показателей выпускают двух марок — ГИ-1 и ГИ-2. Гидроизол изготовляют в рулонах шириной 95±0,5 см, длиной 20±0,4 м. Допускается в одном рулоне соединять не более двух полотнищ гидроизола, из которых меньшее не короче 3 м. Края полотнища в стыке должны быть ровно обрезаны. Поверхность полотнища гидроизола должна быть гладкой, допускаются отдельные [illegible] ные пятна, не вызывающие склеивания полотна в рулоне. В разрезе гидроизол должен быть черным или черным с коричневым оттенком, без светлых прослоек непропитанной бумаги.

Гидроизол применяют в качестве оклеечной гидроизоляции с использованием горячих битумных мастик, для устройства защитного противокоррозионного покрытия металлических трубопроводов, а также для гидроизоляции плоских кровель.

Фольгоизол — рулонный двухслойный материал, состоящий из тонкой рифленой или гладкой фольги, покрытой с нижней стороны защитным битумно-резиновым составом. Толщина фольги и защитного битумно-полимерного слоя в зависимости от назначения фольгоизола и класса сооружения колеблется в значительных пределах: фольги — от 0,1 до 0,3 мм, битумно-резинового слоя — от 0,8 до 4 мм.

Фольгоизол — водонепроницаемый и долговечный материал, не требующий ухода в течение всего периода его эксплуатации. В силу отражательной способности фольги температура нагрева солнечными лучами кровли из фольги примерно на 20° С ниже, чем температура аналогичных кровель черного цвета. Фольгоизол податлив в обработке, гибок, хорошо режется и гвоздится.

Внешняя поверхность фольгоизола может быть гладкой или рифленой, окрашена в различные цвета атмосферостойкими лаками или красками.

Основные физико-механические показатели фольгоизола: предел прочности при разрыве — 4—15 МПа; водонасыщение — не более 0,3%, гибкость при стержне диаметром 20 мм — на —12° С, теплостойкость в течение 5 ч — 80° С. Он предназначен для герметизации стыков панелей, устройства кровель и пароизоляции зданий и сооружений.

Стеклоизол — рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, полученный путем двустороннего нанесения на поверхность холста ВВ-К, или другого типа стеклоосновы резинобитумной массы.

Основные физико-механические показатели стеклоизола: масса 1 м² — 2000 г; толщина — 2 мм; прочность на разрыв — не менее 0,7; водопоглощение за 24 ч — не более 1%.

Стеклорубероид — кровельный и гидроизоляционный материал на стеклянной основе. Производство стеклорубероида состоит из нанесения битума на обе стороны стекловолокнистого

холста. Лицевая поверхность рубероида равномерно покрывается сплошным слоем крупнозернистой или чешуйчатой посыпки, а нижняя и обе стороны поверхности гидроизоляционного рубероида покрываются мелкой, пылевидной минеральной посыпкой. Стеклорубероид производят трех марок: С-РК — стеклорубероид кровельный с крупнозернистой посыпкой с лицевой стороны; С-РЧ — с чешуйчатой посыпкой с лицевой стороны и С-РМ — стеклорубероид гидроизоляционный с мелкой посыпкой с двух сторон. Стеклорубероид применяют для нижних слоев кровельного ковра и для оклеечной гидроизоляции.

Стеклорубероид производят толщиной полотна 2,5±0,5 мм, шириной 960—1000 мм, площадь одного рулона 10±0,5 м²; масса стеклянной основы должна быть не более 100 г/м². Стеклорубероид должен быть водонепроницаем и достаточно гибким.

Утяжеленный стеклорубероид — рулонный гидроизоляционный материал, получаемый путем нанесения битумной массы на биостойкую штапельную стеклосетку. Основные физико-механические показатели стеклорубероида: масса 1 м² — 4000 г; толщина — 4 мм; прочность на разрыв полоски шириной 5 мм — 1000 Н; выдерживает гибкость при —5° С на стержне диаметром 20 мм. Утяжеленный стеклорубероид предназначен для высококачественной гидроизоляции подземных и наземных частей зданий и сооружений (туннелей, метрополитенов, мостов, гидросооружений).

Безосновные кровельные и гидроизоляционные рулонные материалы по виду вяжущего бывают: резинобитумные, битумно-полимерные, резинодегтевые, дегтеполимерные, гудрокамовые, гудрокам-полимерные и полимерные. Наибольшее применение получили резинобитумные материалы, выпускающиеся в виде изола и бризола.

Изол рулонный — кровельный и гидроизоляционный безосновный резинобитумный материал. Он долговечнее рубероида примерно в 2 раза, эластичен, гнилостоек и невлагоемок. Изол изготовляют из материалов, содержащих каучук в сочетании с нефтяными битумами, каменноугольными смолами, минеральными наполнителями. Изол выпускают в рулонах длиной до 10 м, шириной 1 м, толщиной 2 мм, прочностью на разрыв — не менее 0,4 МПа, водопоглощением за 24 ч — не более 1%, гибкостью на стержне диаметром 10 мм при 15° С, теплостойкостью в течение 2 ч при 150° С. Изол применяют для оклеечной гидроизоляции конструкций зданий и сооружений двух-, трехслойных покрытий пологих и плоских кровель на битуме и горячих мастиках.

Бризол — битумно-резиновый изоляционный материал, получаемый смешением нефтяного битума с дробленой резиной с введением асбестового волокна и пластификатора. Бризол производят шириной 0,4—0,45 м, толщиной до 2 мм и общей площадью рулона до 25 м². Бризол применяют для антикоррозионной защиты подземных металлических трубопроводов.

Пароизол — пористый эластичный герметизирующий материал, предназначенный для герметизации наружных швов между элементами сборных конструкций зданий и сооружений. Пароизол М — материал с незакрытыми порами на поверхности — применяется в сочетании с холодной мастикой изол. Пароизол П — материал с защитным протектором из монолитной износостойкой пленки.

Технические свойства пароизола марок М и П:

	М	П
Объемная масса, кг/м³	250—400	400—500
Водопоглощение за 24 ч, не более, % . .	5	1
Температуроустойчивость, °С	+80	+80
	—50	—50
Степень сжатия для придания герметических свойств шву, %	30—50	15—25

§ 5. Штучные изделия

Штучные гидроизоляционные изделия бывают трех видов: плиты гидроизоляционные асфальтовые, камни гидроизоляционные и сборные гидроизоляционные железобетонные изделия.

Плиты гидроизоляционные асфальтовые изготовляют путем покрытия предварительно пропитанной стеклоткани или металлической сетки слоем горячей гидроизоляционной мастики или песчаной асфальтобетонной смеси и прессования из горячей гидроизоляционной асфальтовой мастики или песчаной асфальтобетонной смеси. Плиты бывают армированные и неармированные. Неармированные плиты выпускают длиной 80—100 см, шириной 50—60 см и толщиной 1—2 см, а армированные плиты — длиной 100—120 см, шириной 75—120 см и толщиной 2—4 см. Плиты гидроизоляционные асфальтовые применяют для устройства оклеечной гидроизоляции и заполнения деформационных швов. Их можно применять в зимнее время.

Камни гидроизоляционные изготовляют путем пропитки естественных или искусственных пористых материалов (кирпича, бетона, туфа, опоки, мела, известняка и т. п.) битумом или каменноугольными дегтепродуктами на глубину до 10—15 мм. Камни водонепроницаемы и применяют их для гидроизоляции, производимой в виде кладки и футеровки на цементном и асфальтовом растворах.

Сборные гидроизоляционные железобетоные изделия получают путем пропитки сборных железобетонных элементов (свай, плит, секции труб, тюбингов и т. д.) органическими вяжущими на глубину 10—15 мм. Эти изделия применяют для антикоррозионной гидроизоляции сооружения, подвергающегося механическим ударным воздействиям при одновременном воздействии минерализованных вод.

§ 6. Пароизоляторы и герметизирующие материалы

Пароизоляторы применяют для предохранения ограждающих конструкций от действия парообразной влаги. Они обладают высокой плотностью и низкой воздухо- и паропроницаемостью. В качестве пароизоляторов используют масляные покрытия, масляные лаки, стекло, мастики на органических вяжущих, рулонные материалы (рубероид, толь, пергамин, изол и т. п.) и резинобитумную мастику.

Герметизирующие материалы применяют для заделки наружных швов между элементами сборных конструкций зданий и сооружений. В зависимости от назначения уплотняющего шва герметизирующие материалы выполняют следующие функции: теплоизоляцию, гидроизоляцию, звукоизоляцию и воздухонепроницаемость.

По виду герметизирующие материалы подразделяются на эластичные прокладки и мастики герметизирующие.

Эластичные прокладки изготовляют в виде пористых или монолитных жгутов различной конфигурации. Устанавливают их насухо или на специальных приклеивающих мастиках. К пористым эластичным прокладкам относится пароизол, изготовляемый путем вулканизации газонаполненной резины, модифицированной нефтяными дистиллятами. Пароизол бывает с монолитной оболочкой и без нее. Для придания пароизолу герметизирующих свойств его предварительно сжимают на 40—60% первоначального объема и помещают в шов на холодной мастике изол.

Пароизол имеет объемную массу 250—400 кг/м³, растяжимость до 20%, восстанавливает первоначальный объем после сжатия на 50%, в течение 24 ч — на 70%; температуроустойчивость пароизола 40—70° С.

В отличие от пароизола марки М — материала с незакрытыми порами на поверхности, который применяется в сочетании с холодной мастикой изол, получен новый материал — пароизол марки П — материал с защитным протектором из монолитной озоностойкой пленки, наличие которой позволяет применять его для герметизации наружных швов без мастики.

Мастики герметизирующие делят на мастики уплотняющие и защитные. Для уплотнения швов применяют резинобитумную мастику изол Г-М и мастику УМ-40. Резинобитумную мастику изол изготовляют смешением резинобитумного вяжущего (полученного в результате термомеханической обработки девулканизованной резины и нефтяного битума) с высокомолекулярными полиизобутиленом, канифолью, кумароновой смолой, наполнителем асбестом 7-го сорта и антисептиком. Изол вводится в шов в подогретом состоянии. Уплотняющую мастику УМ-40 изготовляют смешением высокомолекулярного полиизобутилена, раствора резины и наполнителя.

Для устройства герметизирующих защитных покрытий швов применяют мастики на основе полисульфидных каучуков (тиоколовые). Тиоколовые мастики приготовляют на строительной площадке из компонентов заводского изготовления: паст У-30, У-31, У-32 и др., вулканизирующей пасты № 9, разбавителя (ацетона, этилацетата), разжижителя Р-5 и др. Для ускорения процесса вулканизации в состав мастики добавляют дифенилгуанидин (ДФГ). Тиоколовые мастики наносят на поверхность шпателем или кистью в зависимости от консистенции мастики.

Кровельные и гидроизоляционные материалы и изделия на органических вяжущих должны иметь заводскую упаковку, быть защищены от повреждений, атмосферных воздействий и загрязнений. При перевозке их защищают от атмосферных воздействий.

§ 7. Вопросы экономики производства и применения кровельных и гидроизоляционных материалов на основе битумных и дегтевых вяжущих

В общем выпуске всех видов кровельных материалов около 50% приходится на долю мягкой кровли. Производство и ассортимент этих изделий в СССР в последние годы значительно расширились (табл. 65).

Таблица 65

Выпуск мягкой кровли в СССР в 1950—1972 гг. (млн. м²)

Виды изделий	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1970 г.	1972 г.
Рубероид бронированный	19,9	47,1	108,7	254,8	320,4
Рубероид	51,2	86,4	143,4	458,5	500,0
Рубероид подкладочный	—	—	14,9	77,8	72,1
Пергамин	72,2	124,4	193,6	203,9	166,8
Толь-кожа и толь	131,1	221,3	269,4	278,4	281,7
Стеклорубероид	—	—	—	3,4	23
Толь бронированный	11,1	24,3	20	31,8	35,7
Изол	—	—	—	25,1	35,3
Всего	285,5	503,5	750	1333,7	1415,0

Весьма эффективно применение мягкой кровли в конструкциях железобетонных крыш зданий. Железобетонные совмещенные кровли долговечнее и индустриальнее асбестоцементных. Дополнительные затраты на устройство рулонного ковра для железобетонных кровель окупаются за счет снижения затрат на монтаж конструкций.

В связи с ростом объема производства сборного железобетона для использования в кровлях жилых, гражданских и промышленных зданий улучшается и совершенствуется структура выпуска мягкой кровли — сокращается выпуск неэффективного песочного толя, несколько увеличивается выпуск толь-кожи для совмещенных крыш, значительно возрос выпуск рубероида с крупнозернистой посыпкой кровельных и гидроизоляционных материалов. В 1973 г. изготовлено 1600 млн. м² мягких кровельных материалов.

Дополнительные затраты на оборудование по окислению гудрона на заводах мягкой кровли, на создание установок по предварительному поливу полотна картона пропиточной массой и других окупаются экономией от снижения эксплуатационных расходов на содержание кровли.

Промышленность рулонных кровельных материалов является материалоемкой отраслью. Затраты на картон, битум и дегтепродукты составляют в общих издержках производства 75—85%. Отсюда вытекает задача экономного расходования сырья и соблюдения норм его расхода при изготовлении продукции, а также снижения себестоимости кровельного картона.

Важной задачей является улучшение использования оборудования по изготовлению мягкой кровли с доведением коэффициента использования календарного времени работы оборудования до 92—95% (табл. 66).

Таблица 66

Показатели работы технологического оборудования заводов мягкой кровли

Вид агрегата	Коэффициенты использования времени, % от календарного	Вид агрегата	Коэффициенты использования времени, % от календарного
Картоноделательные машины	87,5	Пергаминные агрегаты	72,5
Рубероидные агрегаты	71,5	Толевые агрегаты	51,4

Одной из важных задач отрасли является комплексная механизация и снижение трудоемкости производства.

ГЛАВА XV

ПОЛИМЕРЫ. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

А. ПОЛИМЕРЫ И ПЛАСТМАССЫ

§ 1. Определение и состав пластмасс

Пластическими массами называют обширную группу орг... нических материалов, основу которых составляют искусственные или природные высокомолекулярные соединения — полимеры, способные при нагревании и давлении формоваться и устойчиво сохранять приданную им форму. По своему составу пластмассы представляют сложные вещества. Главными их компонентами являются: связующее вещество — полимер; наполнители в виде органических или минеральных порошков, волокон, нитей, тканей, листов; пластификаторы, улучшающие формовочные свойства пластмасс; ускорители твердения (отверждения) и красители, добавляемые при изготовлении цветных пластмасс.

В основу классификации пластмасс положены их физико-механические свойства, структура и отношение к нагреванию.

По физико-механическим свойствам все пластические массы разделяют на пластики и эластики. Пластики бывают жесткие, полужесткие и мягкие. **Жесткие пластики** — твердые упругие материалы, аморфной структуры с высоким модулем упругости (выше 1000 МПа) и малым удлинением при разрыве, сохраняющие свою форму при внешних напряжениях в условиях нормальной или повышенной температуры. **Полужесткие пластики** — твердые упругие материалы кристаллической структуры со средним модулем упругости (выше 400 МПа), с высоким относительным и остаточным удлинением при разрыве, причем остаточное удлинение обратимо и полностью исчезает при температуре плавления кристаллов. **Мягкие пластики** — мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости (не выше 20 МПа), высоким относительным удлинением и малым остаточным удлинением, причем обратимая деформация исчезает при нормальной температуре с замедленной скоростью. **Эластики** — мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости (ниже 20 МПа), поддающиеся значительным деформациям при растяжении, причем вся деформация или большая

ее часть исчезает при нормальной температуре с большой скоростью (практически мгновенно).

По строению полимерной цепи различают полимеры **карбоцепные** (цепь состоит только из атомов углерода) и **гетероцепные** (в состав цепи, кроме углерода, входят кислород, азот и другие элементы).

По структуре пластмассы делят на **гомогенные** (однородные) и **гетерогенные** (неоднородные).

Структура пластмасс зависит от введения в нее наряду с полимером других компонентов. Последнее позволяет делить пластмассы на ненаполненные, газонаполненные, наполненные и составные. **Ненаполненные** пластмассы состоят из полимера, иногда из красителя, пластификатора и стабилизатора. В **газонаполненные**, кроме указанных материалов, входят также воздух или другой газ путем использования добавок газообразующих или воздухововлекающих веществ. В большинстве случаев для изготовления пластмассовых строительных материалов и изделий используют **наполненные** пластмассы, состоящие из полимера и наполнителя.

Наполнители бывают порошкообразные, волокнистые и слоистые. **Порошкообразные** наполнители — кварцевая мука, мел, барит, тальк и органические (древесная мука) — придают пластмассе ценные свойства (теплостойкость, кислотостойкость и т. д.), а также повышают твердость, увеличивают долговечность, снижая стоимость. **Волокнистые** наполнители — асбестовое, древесное и стеклянное волокно — широко используют в производстве пластмасс; они повышают прочность и снижают хрупкость, повышают теплостойкость и ударную вязкость пластмасс. **Слоистые** наполнители — бумага, хлопчатобумажная и стеклянная ткани, асбестовый картон, древесный шпон и другие — придают высокую прочность пластмассам. Например, асбестовый картон придает пластмассе не только высокую прочность, но и теплостойкость и кислотостойкость. Наполнители намного дешевле полимеров. Поэтому чем больше введено наполнителя, тем дешевле изделия из пластических масс. Наряду с наполнителями в пластмассы вводят пластификаторы, красители, смазки, катализаторы и другие вещества. Для изготовления пористых пластических масс используют порообразователи.

Пластификаторы применяют для придания пластмассе большей пластичности. Они должны быть химически инертными, малолетучими и нетоксичными веществами. В качестве пластификаторов используют, например, цинковую кислоту, стеарат алюминия и др.

Красители применяют для придания пластмассам определенного цвета. Они должны быть стойкими во времени, не должны выцветать под действием света и т. д. В качестве красителей используют как органические (нигрозин, пигмент желтый, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты (охра, мумия, сурик, белила, окись хрома, ультрамарин и др.).

Катализаторы вводят для сокращения времени отверж[ения] пластмасс, например для феноло-формальдегидного по[лимера] ускорителем является известь и уротропин.

Смазывающие материалы применяют для предотвращ[ения] прилипания пластмасс к формам, в которых изготовляют и[зде]лия. В качестве смазки используют стеарин, олеиновую к[ис]лоту и др.

По отношению к нагреванию пластмассы делят на термопл[а]стичные и термореактивные.

Термопластичные материалы (полиэтилен, поливинилхлор[ид], полистирол и др.) при нагревании размягчаются и приобрета[ют] пластичность, а при охлаждении отвердевают. Из этих мате[ри]алов можно отливать, вытягивать и штамповать различные и[зде]лия. Недостатком этих пластмасс является незначительная [их] прочность и теплостойкость.

Термореактивные материалы (реактопласты) при нагрева[нии] переходят в неплавкое, нерастворимое твердое состояние и б[ез]возвратно утрачивают свойства плавиться. Эти материалы об[ла]дают повышенной теплостойкостью. К ним относятся ам[ино]пласты и пластмассы на основе полиэфирных и эпоксидных [смол].

§ 2. Основные свойства пластмасс

Пластмассы обладают рядом очень ценных физико-механи[чес]ких свойств. Объемная масса пластмасс составляет 10[00]—2200 кг/м³, плотность — 0,9—2,2·10³ кг/м³.

Пластмассы обладают высокими механическими показат[ел]ями. Так, пластмассы с порошкообразными и волокнистыми наполнителями имеют предел прочности на сжатие до 120—200 МПа, а предел прочности на изгиб — до 200 МПа. Прочность пластмасс на растяжение с листообразными наполнителями дост[и]гает 150 МПа, а стекловолокнистого анизотропного матер[и]ала (СВАМ) — 480—950 МПа. У пластмасс весьма вел[ик] коэффициент конструктивного качества (k — безразмерная вел[и]чина, получаемая от деления показателя прочности матери[ала] на его объемную массу). Если для кирпичной кладки он равен 0,02, для бетонов — 0,06; для стали — 0,5, дюралюминия — 1,6, то у СВАМа — 2,2.

Пластмассы не подвергаются коррозии, они стойки против действия растворов слабых кислот и щелочей, а некоторые пластмассы, например из полиэтилена, полиизобутилена, полистирола, поливинилхлорида, стойки к воздействию даже концентрированных растворов кислот, солей и щелочей; их использ[уют] при строительстве предприятий химической промышленности, [ка]нализационных сетей, для изоляции емкостей.

Пластмассы, как правило, являются плохими проводниками тепла, их коэффициент теплопроводности $\lambda = 0{,}33$—$0{,}8$ Вт/м·°С, а у пено- и поропластов $\lambda = 0{,}06$—$0{,}028$ Вт/м·°С, в связи с этим

пластмассы широко используют в качестве теплоизоляционных материалов.

Пластмассы хорошо окрашиваются в любые цвета. При использовании стойких красителей они долго сохраняют свой цвет, поэтому отпадает необходимость периодических покрасок, что снижает эксплуатационные расходы.

На основе полимеров изготовляют клеи для склеивания как пластмассовых изделий между собой, так и с другими материалами — древесиной, металлом, стеклом, тканями. Клеи могут применяться для горячего и холодного отверждения.

Ценным свойством пластмасс является легкость их обработки — возможность придания им разнообразной, даже самой сложной формы различными способами: литьем, прессованием, экструзией.

Большая группа пластмасс позволяет сваривать их между собой и таким образом изготовлять сложной формы трубы и различные емкости. Сварка производится простейшими приспособлениями с помощью горячего газа (например, CO_2) при температуре 150—250° С.

К положительным свойствам пластмасс следует отнести также неограниченность сырьевой базы. Синтетические пластмассы получают из многих химических веществ, например, угля, нефти, извести, газа, воздуха.

Однако пластмассы обладают рядом недостатков. Большинство пластмасс имеет невысокую теплостойкость (70—200° С). Некоторые пластмассы, например кремнийорганические, политетрафторэтиленовые, могут работать при температурах до 250° С. Пластмассы обладают небольшой твердостью. Так, у полистирольных и акриловых пластмасс твердость по Бринеллю составляет примерно 150 МПа, у текстолита — 350 МПа, целлюлозных пластиков (этролы) — 40—50 МПа (у стали этот показатель до 4500). Пластмассы имеют высокий коэффициент термического расширения, который колеблется от $25 \cdot 10^{-6}$ до $120 \cdot 10^{-6}$, в то время как для стали он равен $11 \cdot 10^{-6}$. Они обладают повышенной ползучестью; в них со временем при постоянной нагрузке развивается пластическое течение во много большей степени, чем это наблюдается в других материалах, например стали, бетоне. Со временем некоторые пластмассы стареют, т. е. происходит постепенное их разрушение (деструкция), снижаются прочность и твердость, появляется хрупкость, потемнение. Старение пластмасс происходит под действием света, воздуха, температуры. При возгорании многие пластмассы выделяют токсические вещества.

§ 3. Полимеры

В технологии производства строительных пластмасс полимеры, получаемые синтезом из простейших веществ (мономеров), по способу производства подразделяются на два класса: класс

А — полимеры, получаемые цепной полимеризацией, класс Б — полимеры, получаемые поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией. Наиболее распространенными полимерами, применяемыми в производстве строительных материалов и изделий, являются: по классу А — полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиизобутилен, полистирол, поливинилацетат, полиакрилаты и кумароно-инденовые полимеры; по классу Б — феноло-альдегидные, фенол-формальдегидные и резорцино-формальдегидные полимеры, полимеры на основе амидо- и амино-формальдегидной поликонденсации, глифталевый полимер, полиуретаны, полиэфирмалеинатные и полиэфиракрилатные полимеры, а также кремнийорганические и эпоксидные полимеры.

Б. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

Строительные материалы и изделия, изготовляемые на основе полимеров, делят на: материалы для покрытия полов, внутренней отделки стен, потолков и встроенной мебели; для строительных конструкций; погонажные строительные изделия; синтетические клеи и мастики; тепло- и звукоизоляционные материалы; кровельно-гидроизоляционные и герметизирующие материалы; санитарно-техническое оборудование, трубопроводы и арматуру; синтетические лакокрасочные материалы.

Сведения о тепло- и звукоизоляционных, кровельно-изоляционных, герметизирующих, а также синтетических лакокрасочных материалах на основе полимеров даны в соответствующих главах книги.

§ 1. Материалы для покрытия полов

Полимерные материалы находят широкое применение для покрытия полов. Они устойчивы против истирания, малотеплопроводны, имеют небольшое водопоглощение, не набухают при увлажнении, достаточно тверды и прочны, отличаются высокими лакокрасочными качествами, т. е. отвечают всем требованиям, предъявляемым к полам.

Материалы для полов делят на три группы: рулонные (линолеумы), плиточные и материалы для устройства бесшовных полов.

Рулонные материалы

Рулонные материалы для покрытия полов изготовляют на основе различных полимеров и наполнителей. В их состав вводят также пластификаторы, пигменты и технологические добавки. В зависимости от вида применяемого полимера различают глифталевые (полиэфирные), поливинилхлоридные, коллоксилиновые, резиновые (релин) и другие рулонные материалы для покрытия полов; по структуре — безосновные и с упрочняющей основой или тепло- и звукоизолирующей основой, однослойные, многослойные и ковровые покрытия с гладкой, рифленой и ворсистой поверхностью, одно- и многоцветные.

Алкидный линолеум изготовляют на основе модифицированного глифталевого полимера с введением в него наполнителей (пробковой или древесной муки), пигментов и других добавок. Его выпускают в рулонах длиной 20 м, шириной 1,8—2,0 м и толщиной 2,5—3 мм.

Физико-механические показатели алкидного линолеума характеризуются следующими данными: потеря в массе при истирании — не более 0,06 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 6%, твердость по шариковому твердомеру ТШР-2 — не более 0,7 мм (глубина вдавливания шарика диаметром 5 мм под нагрузкой 10 Н) и упругость — не менее 50%.

Технологический процесс изготовления алкидного линолеума слагается из следующих основных операций: 1) окисления и полимеризации (оксиполимеризация) растительных масел в линоксиновых аппаратах под действием кислорода, воздуха и температуры 60—90° С; 2) приготовления линолеумного цемента, заключающегося в модификации глифталевого полимера маслом, которое прошло процесс оксиполимеризации (придания ему достаточной жесткости и эластичности); процесс варки линолеумного цемента протекает при температуре до 220° С в течение 6—7 ч; 3) приготовления линолеумной массы на смесительных машинах, для чего линолеумный цемент смешивают с наполнителями и красителями; 4) формования линолеума — линолеумная масса наносится на джутовую основу при помощи каландра слоем заданной толщины, после чего полученная лента следует на вторую пару вальцов для полирования; 5) грунтовки основы и вызревания — изготовленная лента линолеума направляется для грунтовки основы масляной краской или эмульсией в целях предохранения джутовой ткани от гниения, а затем направляется в сушильные камеры для окончательного вызревания; в процессе вызревания при температуре 65—80° С в течение 5 суток линолеум приобретает необходимые свойства — упругость, эластичность и стойкость на истирание; 6) обрезки кромок, разрезки на куски и упаковки.

Глифталевый линолеум выпускают с одноцветным или с многоцветным рисунком.

При производстве печатного линолеума вводятся дополнительные процессы: приготовление красок, нанесение узора на поверхность и вторичная сушка линолеума. Укладывают глифталевый линолеум на холодную битумную, резинобитумную типа «изол», канифольную или казеино-цементную мастику. Глифталевый линолеум обеспечивает получение малотеплопроводных полов без специальных дополнительных теплоизолирующих прослоек. Применяют глифталевый линолеум для покрытия полов жилых и гражданских зданий.

Поливинилхлоридный линолеум изготовляют из поливинилхлорида, наполнителей, пластификаторов, пигментов и других добавок. Выпускают его на тканевой основе и безосновной. Безосновной линолеум может быть одно-, двух- или многослойным. Кроме того, выпускают тепло- и звукоизоляционный линолеум на войлочной или пористой основе.

Поливинилхлоридный линолеум имеет большую прочность, хорошую сопротивляемость истиранию, не подвержен гниению, имеет малую теплопроводность и гигиеничен.

Физико-механические показатели поливинилхлоридных линолеумов характеризуются следующими данными (табл. 67).

Таблица 67

Характеристика поливинилхлоридных линолеумов

Вид линолеума	Размеры линолеума			Потеря в массе при истирании на приборе МИ-2, не более, г/см²	Водопоглощение за 24 ч, не более, %	Твердость по шарико-вому твердомеру ТШР-2, не более, мм	Упругость, не менее, %
	длина, не менее, м	ширина, м	толщина, мм				
На тканевой основе	12	1,4—1,6	2—2,5	0,06	5	0,5	50
Однослойный и многослойный без основы	12	1,4—1,6	1,5—2,5	0,05	4	0,3	50
На тепловой звукоизолирующей основе (войлочной или пористой)	12	1,4—1,6	4—6	0,03	4	—	50

Поливинилхлоридный линолеум производят обычно двумя способами: вальцево-каландровым (безосновный линолеум) и промазным. Для изготовления поливинилхлоридного линолеума в качестве связующего применяют поливинилхлорид, получаемый путем полимеризации хлористого винила эмульсионным способом. В качестве пластификатора обычно используют дибутилфталат $C_6H_4(COOC_4H_9)_2$, наполнителями могут быть тальк, барит (тяжелый шпат), каолин, асбест; для придания линолеуму цвета применяют минеральные краски, мумию, сурик железный (красный цвет), охру, крон свинцовый, крон цинковый (желтый и оранжевый), ультрамарин (синий цвет), сажу газовую (черный цвет), белила цинковые и литопон (белый цвет). В состав композиции вводят также стабилизатор (для стабилизации свойств поливинилхлорида), трансформаторное масло (в качестве разбавителя композиционной массы) и стеарат кальция (для уменьшения прилипания к вальцам в сырьевой массе).

В качестве основы применяют кордельную, полукордельную, джутовую и джутово-кенафную ткань. Тепло- и звукоизоляционные линолеумы выпускают на специальной войлочной или пористой основе.

Вальцево-каландровый способ производства безосновного линолеума (рис. 136) состоит из следующих основных операций: приготовления композиционной массы, вальцевания и каландрирования.

Приготовление композиционной массы осуществляется в смесителе, куда при работающей мешалке последовательно за-

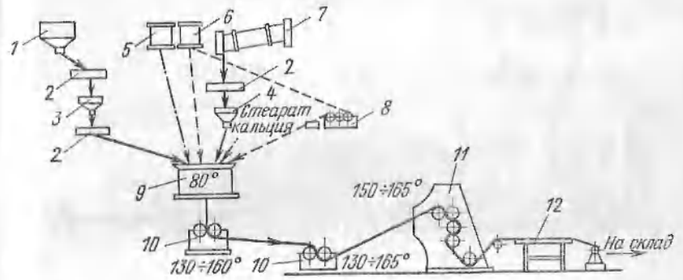


Рис. 136. Технологическая схема производства поливинилхлоридного линолеума вальцево-каландровым способом:

1 и *3* — бункер для поливинилхлорида; *2* — вибрационные сита; *4* — бункер для барита; *5* — мерник дибутилфталата; *6* — мерник трансформаторного масла; *7* — сушильный барабан для барита; *8* — краскотерка; *9* — смеситель; *10* — смесительные вальцы; *11* — каландр; *12* — браковочный стол

гружают дибутилфталат, трансформаторное масло, краситель, стеарат кальция, поливинилхлорид, стабилизатор и наполнитель. Смесь перемешивают в течение 2 ч при температуре 80° С, после чего выдерживают для набухания и созревания в емкостях при нормальной температуре в течение 24 ч. Подготовленную массу далее обрабатывают на смесительных вальцах при температуре 130—165° С до получения пластика с гладкой поверхностью. Затем материал срезают с вращающегося валка и направляют на обогреваемые паром каландры. Каландрирование производят при температуре 150—165° С. При этом происходит формование непрерывной ленты линолеума необходимой толщины и ширины, уплотнение массы и удаление из нее воздуха. С каландров лента поступает на холодильные барабаны, а оттуда на разбраковочный стол для обрезки кромок и разрезки полотна на куски определенной длины, сортировки и упаковки.

Примерный состав линолеумной массы однослойного безосновного линолеума (в % по массе) следующий: поливинилхлорид — 30—40, наполнитель (асбест) — 50—60, пластификатор

(дибутилфталат) — 10—15, технологические добавки — 1—2 и краситель — 1—2.

Изготовление линолеума на тканевой основе *промазным способом* (рис. 137) можно разделить на следующие основные операции: подготовку сырья и материалов; приготовление линолеумной массы; нанесение линолеумной массы на тканевую или войлочную основу; термообработку; охлаждение; обрезку, сортировку и упаковку. Сначала приготовляют пасту из поливинилхлорида — 60%, пластификатора (дибутилфталата) и разбавителя (минерального масла) — 40%. Затем готовят линолеумную

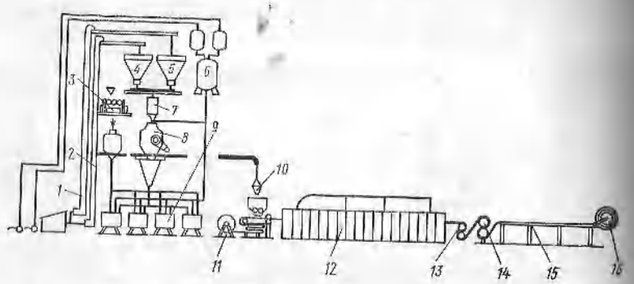


Рис. 137. Технологическая схема производства ленолеума промазным способом:

1 — элеватор для поливинилхлорида; *2* — элеватор для наполнителей; *3* — краскотерка; *4* — бункер для наполнителей; *5* — бункер для поливинилхлорида; *6* — эмульгатор для пластификаторов; *7* — дозатор; *8* — смеситель; *9* — лопастные смесители; *10* — кюбель для массы; *11* — рулон с войлоком; *12* — термоизолировочная камера; *13* — уплотнительные вальцы; *14* — холодильные валки; *15* — браковочный стол; *16* — готовая продукция

массу, состоящую из поливинилхлоридной пасты — 45%, порошка поливинилхлорида — 9%, пигмента, тертого на пластификаторе (3%), и наполнителя (барит 43%). Эти компоненты сначала перемешивают в течение 2 ч в смесителе, а затем направляют в краскотерку для лучшего смешения компонентов. Полученная масса поступает в грунтовальный агрегат для одноразового нанесения слоя или для нанесения шести-семи тонких слоев на ткань с термической обработкой каждого слоя. Термообработка производится в сушильно-желировочной камере при 160—190° С, где происходит образование пленки на поверхности линолеумной массы, а затем на вальцах с температурой 140—145° С. После этого линолеум поступает на холодильные валки с температурой до 25° С, где он постепенно охлаждается. Заключительным процессом является продольная обрезка кромок, поперечная разрезка полотна, разбраковка, сматывание в рулоны и упаковка их в бумагу или ткань.

Для приклеивания линолеума применяют следующие мас-

тики: кумарово-каучуковую, битумную, резинобитумную — изол, канифольную, казеино-цементную.

Поливинилхлоридный теплоизоляционный линолеум на волокнистой основе представляет собой двухслойный отделочный материал: верхний слой — поливинилхлоридная пленка, нижний — антисептированная неткаволокнистая подкладка. Применяют его для покрытия полов в жилых зданиях, больницах и детских учреждениях, а также в производственных учреждениях, где требуются теплые полы. Укладывают в виде сварных

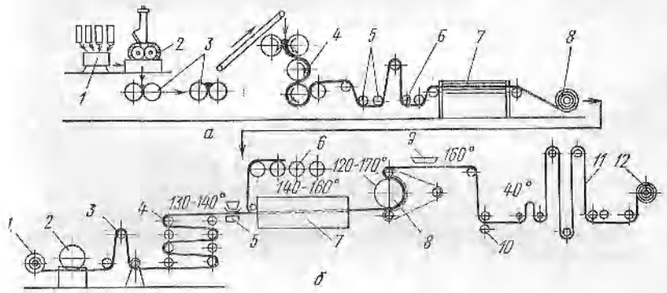


Рис. 138. Технологическая схема производства линолеума вальцево-каландровым способом:

а — линия получения лицевой пленки; *1* — расходные бункера (поливинилхлорида, наполнителей, красителя и пластификатора); *2* — смеситель лопастной; *3* — роторный смеситель; *4* — вальцы; *5* — каландры; *6* — охладительные валки; *7* — кромокрезательная машина; *8* — намотка линолеума; *б* — линия дублирования лицевой пленки с основой; *1* — рулон с войлоком; *2* — сшивная машина; *3* — компенсатор; *4* — обогревательные плиты для войлока; *5* — грунтонасосное устройство; *6* — бабины; *7* — сушильная камера; *8* — барабанный пресс; *9* — дополнительный обогрев; *10* — обжимные валки; *11* — компенсатор; *12* — готовая продукция

ковров «на комнату» непосредственно на железобетонные перекрытия, не приклеивая к ним, и укрепляют по периметру плинтусом.

Поливинилхлоридную пленку изготовляют из поливинилхлоридной смолы, пластификатов и технологических добавок. Неткаволокнистую основу изготовляют из лубяных волокон (вытряска из-под чесальных машин — 100%) вязально-прошивочным способом.

Производство поливинилхлоридного теплозвукоизоляционного линолеума на волокнистой основе ведут двумя способами: промазным (путем намазки массы на основу) и вальцево-каландровым (дублирование поливинилхлоридной пленки с основой). Технология производства линолеума на волокнистой основе промазным способом аналогична рассмотренной выше, отличается лишь применением волокнистой основы взамен тканевой. При

вальцево-каландровом способе производства волокнистая основа дублируется на барабанном прессе с одной или несколькими поливинилхлоридными пленками, образующими лицевой слой.

Линолеум на волокнистой основе выпускают на двух технологических линиях (рис. 138): на одной изготовляют поливинилхлоридные пленки, на другой — дублирование пленок с волокнистой основой. Для лучшего сцепления войлочной основы с поливинилхлоридной пленки перед дублированием на основу наносят клеящую поливинилхлоридную пасту слоем 0,2 мм.

Линолеум на волокнистой основе производят в рулонах длиной 25—30 м, шириной — 1,6—1,7 м и толщиной — 3,0—3,5 мм, объемной массой — 800—900 кг/м³, истираемостью — 0,03 г/см², пределом прочности на растяжение — 13,0—15,0 МПа, звукоизоляцией от ударного звука — до 2 дБ.

Ворсолин — теплозвукоизоляционное покрытие полов — представляет собой петканый двухслойный материал: верхний слой — петельный ворс (или беспетлевой) из синтетической пряжи одноцветной или многоцветной (смеси капрона с медноаммиачными волокнами в соотношении 1 : 1) и нижний — поливинилхлоридная пленочная основа. Ворсолин изготовляют в виде рулонов длиной 12—20 м и шириной 10 м. Ворсолин применяют для покрытия полов непосредственно по железобетонному или несущему основанию размером «на комнату» в жилых и общественных зданиях с повышенными акустическими и теплотехническими требованиями.

Коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) линолеум изготовляют на основе коллоксилина (нитроцеллюлозы), пластификаторов (дибутилфталата, трикрезотилфосфата), наполнителей (гипса, глинозема, асбеста, пиритных огарков) и красителей. Для придания коллоксилину негорючести в состав линолеума вводят антипиренборную кислоту, а для стабилизации свойств — стабилизаторы (центролит № 1 и 2, представляющий собой производные мочевины или замещенные уретаны). Его выпускают в рулонах длиной не менее 12 м, шириной — 1,0—1,2 м и толщиной — 2—4 мм. По физико-механическим показателям он должен удовлетворять следующим требованиям: потеря в массе при истирании — не более 0,05 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 6%, твердость — не более 0,3 мм, упругость — не менее 50%.

Технологический процесс производства коллоксилинового линолеума (рис. 139) состоит в следующем: сначала производят дозировку сырья и приготовление линолеумной массы в вертикальных котлах с лопастными мешалками и паровым обогревом. В вертикальный котел заливают воду, затем коллоксилин в соотношении 4 : 1 и заранее подготовленную смесь пластификаторов и стабилизатора. Варят массу при температуре 60—70° С в течение 2—4 ч, затем масса поступает в центрифугу,

откуда удаляется. После этого массу подают в лопастной смеситель для смешения с наполнителями, пигментами и антипиренами, затем на вальцевание (три пары вальцов), где происходит отжим излишней воды, дополнительное смешение и желатинизация. Вальцевание проводят до полного созревания массы и на этих же вальцах происходит предварительное формование полотнища линолеума. Окончательное формование и калибровку линолеума осуществляют на калибровочных вальцах. После прохождения через холодильные барабаны полотно вылеживается на стеллажах в течение 24 ч, происходит усадка по длине

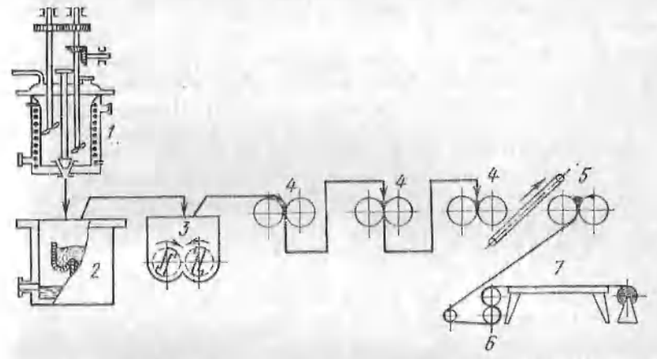


Рис. 139. Схема производства коллоксилинового линолеума:

1 — вертикальный котел с лопастными мешалками; *2* — центрифуга для отжима воды; *3* — лопастной смеситель; *4* — вальцевание массы на вальцах; *5* — вальцевание и калибровка линолеума на калибровочных вальцах; *6* — холодильные барабаны; *7* — обрезка кромок и раскрой линолеума

и ширине. Завершается процесс производства линолеума обрезкой кромок, раскроем по длине, отбраковкой и упаковкой.

Коллоксилиновый линолеум укладывают на твердое гладкое основание на кумароно-каучуковую или коллоксилиновую мастику. Коллоксилиновый линолеум запрещается применять для театрально-зрелищных предприятий и детских учреждений.

Резиновый линолеум — релин — представляет собой двух- или трехслойный рулонный материал с износостойким декоративным верхним слоем. В качестве основного сырья для производства релина применяют дробленую старую резину и нефтяной битум марки IV и V или близкий к нефтяному битуму продукт — руброкс марок А и Б и асбест 7-го сорта. Из них изготовляют нижний подкладочный слой. В состав нижнего слоя вводят также серу (для вулканизации резины), ускорители процесса вулканизации совместно с окисью цинка, парафин (для облегчения переработки массы). Верхний декоративный слой изготов-

ляют из синтетического каучука марок СКБ и СКС-30 с добавкой серы, ускорителей, красителей и наполнителя. В качестве наполнителей применяют белую сажу (силикагель), каолин и древесную муку.

Технологический процесс производства релина состоит из дробления старой резины; изготовления битумно-резиновой смеси для нижнего слоя; каландрирования битумно-резиновой смеси в полотно; изготовления цветной резиновой смеси для верхнего слоя; каландрирования цветной резиновой смеси в полотно; дублирования двух слоев и вулканизации материала; охлаждения, вылеживания, раскроя, отбраковки и упаковки.

Релин выпускают в рулонах длиной не менее 9 м, шириной 1,0—1,4 м и толщиной — 3±0,2 мм, износостойкостью — не более 0,05 г/см²; твердостью по шариковому твердомеру — не более 1 мм; упругостью — не менее 5%. Релин изготовляют одноцветным и многоцветным (мраморовидным). Цветостойкость релина высокая — после пребывания в воде в течение 30 мин при температуре 50° цвет его практически не меняется. Релин водостоек, имеет повышенную износоустойчивость, существенно не меняет своих свойств при колебаниях температуры от —25 до +85° С, обладает малой звукопроницаемостью, химической стойкостью и высокими диэлектрическими свойствами.

Методы настилки релина аналогичны методам настилки других видов линолеума. Релин настилают как путем наклейки, так и без наклейки, мастикой заклеивают только швы, а края закрепляют плинтусом. Релин предназначается для покрытия полов в жилых, общественных и промышленных зданиях с повышенной влажностью.

Пергаминный линолеум представляет собой однослойный рулонный материал на основе картона, пропитанного битумом. Выпускают его в рулонах длиной 20 м, шириной полотна — 1,8—2 м и толщиной — 1,5—2 мм. По физико-механическим показателям он характеризуется следующими данными: истираемость — 0,02 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 1%, твердость по твердомеру — не более 0,5 мм.

Несмотря на дешевизну, пергаминный линолеум не получил в СССР большого распространения, так как значительно уступает по прочности другим видам линолеума. В настоящее время освоен новый вид пергаминного линолеума с латексным покрытием, представляющий собой рулонный материал, изготовленный путем нанесения на пропитанный битумом картон изоляционного полиакриламидного слоя и основного слоя износа, состоящего из синтетического полимерлатекса СКС, красителей и наполнителя. Применяют для покрытия полов в жилых, общественных и торговых помещениях, отделки столов и др. Линолеум с латексным покрытием отличается от пергаминного линолеума более прочным износоустойчивым слоем. Для производства его используют синтетические полимеры — латексы.

Плиточные материалы

В настоящее время для покрытия полов используют плиточные материалы, изготовляемые на основе полимеров, пластификаторов, наполнителей и пигментов. Полы из этих плиток обладают малой истираемостью, долговечностью и химической стойкостью. Плитки приклеивают на хорошо выровненное бетонное, асфальтовое или ксилолитовое основание специальными клеями или мастиками.

В зависимости от вида используемого сырья плиточные материалы для покрытия полов делят на поливинилхлоридные, кумароно-поливинилхлоридные, кумароновые, битумные, резиновые и фенолитовые плитки, древесноволокнистые и древесностружечные плиты, в которых в качестве связующего используют карбамидные и фенольные полимеры, а наполнителя — древесину.

Плитки для полов вырабатывают в большом ассортименте; по форме они бывают квадратные, прямоугольные и фигурные; по конструкции — однослойные и многослойные, с прямоугольными гранями и со шпунтом и гребнем; по цвету — одноцветные и многоцветные, а по фактуре лицевой поверхности — с гладкой или рифленой поверхностью. Использование плиток для полов позволяет получать самые разнообразные полы по рисунку и цветам. Поврежденные участки пола из плиток легко поддаются ремонту.

Однако полы из плиток не индустриальны, содержат большое количество швов, долговечность и гигиеничность плиточных полов ниже линолеумных.

Плиточные материалы для покрытия полов применяют в жилых, общественных и промышленных зданиях. Стружечные и волокнистые плиты запрещается применять в помещениях с повышенной влажностью. Их можно применять по стяжкам, имеющим влажность не более 10%. Применение битумных плиток для полов в жилых домах запрещается.

Плиточные полы экономичнее, чем дощатые, хотя укладка их более трудоемка.

Поливинилхлоридные плитки изготовляют на основе поливинилхлорида с применением в качестве пластификатора дибутилфталата, наполнителя — древесной муки и талька. Для придания необходимого цвета вводят пигменты.

Технологический процесс изготовления плиток состоит из подготовки и дозирования сырья, тщательного смешения компонентов в смесителе, вальцевания смеси, каландрирования, вырубки плиток на прессе, разбраковки и упаковки готовых плиток.

По физико-механическим показателям они характеризуются следующими данными: потеря в массе при истирании — не более 0,05 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 4%, твердость по шариковому твердомеру — не более 0,3 мм и упругость — не

менее 50%. Поливинилхлоридные плитки выпускают следующих размеров: 15×15 см, 20×20 и 30×30 см, толщиной 2 и 3 мм различных цветов, в том числе и мраморовидные.

Поливинилхлоридные плитки используют не только для полов, но и для облицовки стен. В этом случае плитки изготовляют толщиной 1,2 мм.

Кумароно-поливинилхлоридные плитки производят из поливинилхлоридного и кумаронового полимера. В качестве пластификатора добавляют дибутилфталат, а в качестве наполнителя — древесную муку, тальк. Для окраски в массу вводят пигменты.

Физико-механические показатели кумароно-поливинилхлоридных плиток следующие: потеря в массе при истирании — не более 0,08 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 1%, твердость по твердомеру — не более 0,3 мм, упругость — не менее 40%. Они гигиеничны, химически стойки, поэтому их применяют в местах с повышенной влажностью. Плитки выпускают следующих размеров: 15×15, 20×20 и 30×30 см.

Кумароновые плитки изготовляют из связующего кумаронового полимера, пластификатора — льняного масла, иногда вводят добавку технического стеарина. Наполнителями для кумароновой плитки являются асбест, древесная мука и тальк. Для окраски плиток можно использовать как минеральные, так и органические пигменты. Кроме того, при приготовлении линолеумной массы для получения хорошего внешнего вида вводят воск, а для лучшей обрабатываемости массы на вальцах — до 3% канифоли (от массы смеси).

Технологическую схему производства кумароновых плиток (рис. 140) можно разбить на семь основных операций: подготовку и дозирование сырья, приготовление связующего и плиточной массы, вальцевание и каландрирование массы, вырубку плиток на прессе, разбраковку и упаковку плиток.

Кумароновые плитки обладают высокой твердостью (не более 0,1 мм); потеря в массе при истирании — не более 0,08 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 1%, упругость — не менее 40%. Размеры плиток: 15×15 и 20×20 см, толщина 3 мм.

Укладку кумароновых плиток рекомендуется [illegible] температуре не ниже 15° С на холодных битумных мастиках или на кумароно-каучуковой мастике. Полы из кумароновых плиток износоустойчивы, гигиеничны, хорошо моются, [illegible] стойки. Их рекомендуется применять в помещениях, рассчитанных на посещение большого количества людей (столовые, школы, кафе, рестораны и т. д.).

Фенолитовые плитки изготовляют из измельченного фенолформальдегидного полимера, отвердителя и порошкообразных наполнителей минерального или органического происхождения (каолина, талька, слюды, древесной муки и др.). Подготовленный прессматериал в виде порошка прессуют в многоместных пресс-формах при температуре 160—170° С под давлением 20—

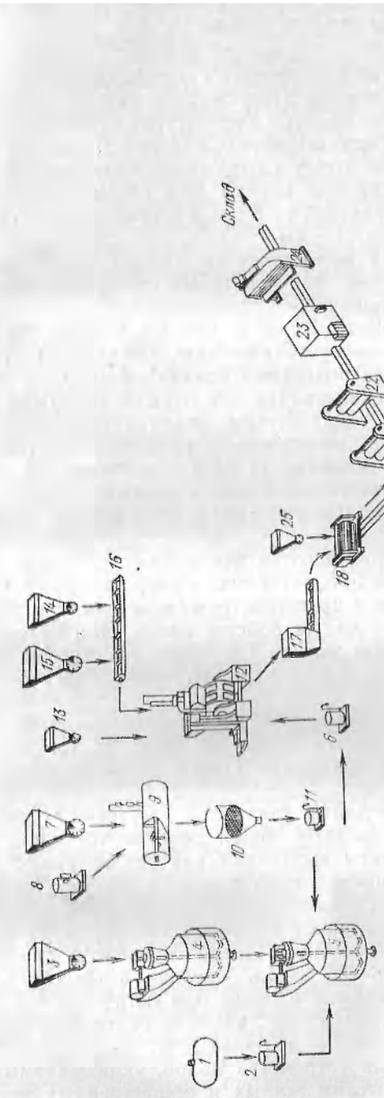


Рис. 140. Схема производства кумароновых плиток:

1 — кубовые остатки СМК; *2* — автоматический дозатор; *3* — бункер с весами для кумаронового полимера и капифолей; *4* — котел для плавления полимеры; *5* — реактор; *6* — дозатор для связующего; *7* — бункер с весами для извести; *8* — дозатор для воды; *9* — известегасилка; *10* — бак с сеткой; *11* — дозатор для известкового молока; *12* — смеситель для масла; *13* — бункер с весами для пигментов; *14* — бункер с весами для наполнителей; *15* — бункер с весами для асбеста; *16* — шнек для транспортирования наполнителей; *17* — обогреваемый бункер для плиточной массы; *18* — вальцы; *19* — транспортер; *20* — передаточный транспортер; *21* и *22* — каландры; *23* — термокамера; *24* — вакуумной пресс; *25* — бункер с цветной крошкой

25 МПа в течение 5—6 мин, после чего пресс-форму разгру… и извлекают готовые плитки. Фенолитовые плитки обла… высокой механической прочностью, теплоустойчивостью, кис… стойкостью и малым водопоглощением; потеря в массе при ис… рании не превышает 0,03 г/см², а водопоглощение через 24 … не более 0,1%. Феполитовые плитки для полов изготов… размером 150×150 и толщиной 4—6 мм, а для облицовки сте… 100×100×1,5 и 150×150×1,5 мм.

Феполитовые плитки применяют не только для наст… полов, но и для облицовки стен некоторых производственных … культурно-бытовых помещений.

Резиновые плитки изготовляют из отходов резины. Они … ладают повышенной износоустойчивостью, химической стой… стью и хорошими диэлектрическими показателями. Они им… высокие прочностные показатели не только на изгиб, но и на у… что весьма важно при эксплуатации полов в промышлен… зданиях. Потеря в массе при истирании резиновых плиток — … более 0,5 г/см², водопоглощение за 24 ч — не более 2%, т… дость по твердомеру — не более 1 мм, а упругость — не мен… 50%. Размер плиток 150×150, 200×200 и 300×300 мм, толщи… 3 и 5 мм.

Резиновые плитки применяются для устройства полов в … хах химических заводов, лабораториях, электростанциях и т. …

Древесноволокнистые и древесностружечные плиты и плит… сверхтвердые применяют для устройства полов. Они характер… зуются большой объемной массой (не менее 750 кг/м³), повы… шенной плотностью и несколько меньшей тепло- и звукоизо… цией, чем у легких плит, применяемых в качестве стеново… материала. Древесностружечный и древесноволокнистый мат… риал для полов с размерами сторон не более 60 см приня… называть плитками, а с размерами сторон более 60 см — пл… тами.

Древесностружечные плиты для полов изготовляют из др… весины лиственных и хвойных пород обычно трехслойными. Древесностружечные плиты выпускают как без облицовки, т… и с облицовкой. На лицевой слой плиты в период горяче… прессования могут напрессовываться поливинилхлоридные пл… ки. Плиты для полов выпускают толщиной 13—25 мм, ширин… 1500 и 1750 мм и длиной 3500 мм. Предел прочности на ста… ческий изгиб плит — 28—35 МПа, средняя объемная мас… плит — 700—750 кг/м³, водопоглощение при погружении в в… образца размером 100×100 мм за 24 ч — не более 15%, раз… хание (при тех же условиях) — не более 10%.

Плиты применяют для устройства полов, укладываемых … железобетонным перекрытиям жилых и общественных здани… При укладке плиты склеивают кромками с помощью карбамид… ного клея с наполнителем (древесной мукой) и окрашивают масляной краской, эмалью или покрывают поливинилацетатной мастикой.

Сверхтвердые древесноволокнистые плиты изготовляют из древесных или растительных волокон. Для повышения качества плит в волокнистую массу в процессе изготовления добавляют гидрофобизующие и антисептирующие вещества. Для получения сверхтвердых древесноволокнистых плит твердые плиты пропитывают синтетическими водостойкими смолами или высыхающими маслами с последующей термической обработкой. Сверхтвердые плиты изготовляют длиной 1200—5400, шириной — 1200—1600 и 1800 мм и толщиной 3—4 мм.

Объемная масса сверхтвердых плит — более 950 кг/м³, влажность — до 10%, водопоглощение за 24 ч — не более 15%, величина разбухания за 24 ч — не более 10% и предел прочности на статический изгиб — до 500 МПа.

Сверхтвердые древесноволокнистые плиты применяют для устройства полов в жилых и общественных зданиях, облицовки стен и потолков, в кухнях и санузлах при устройстве перегородок, для изготовления дверных полотен и т. д.

Материалы для устройства бесшовных полов

Монолитные бесшовные полы, изготовляемые на основе полимерных материалов, являются наиболее гигиеничными и удобными в эксплуатации, обладают высокой прочностью на истирание.

Составы для устройства бесшовных полов изготовляют на основе полимеров, наполнителей и цемента (для полимерцементных составов). В зависимости от исходного сырья бесшовные полы делят на три вида: поливинилацетатные, полимерцементные и пластбетон. По консистенции составы могут быть пластичные, которые укладывают с помощью укладочных машин или виброприспособлений, и наливные, которые наносят распылением или разливом; по назначению — для лицевого слоя, стяжки и шпаклевочного слоя. Составы всех видов монолитных полов должны обеспечивать возможность получения ровной без стыков, наплывов, раковин и шероховатостей поверхности по всей площади, с однородным цветом. Покрытие не должно отслаиваться от основания, трескаться и шелушиться при эксплуатации. Физико-механические показатели покрытия полов должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 68.

Бесшовные покрытия для полов из поливинилацетатных мастик, полимерцементных составов и пластбетонов применяют для жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений. Поливинилацетатные составы в помещениях с повышенной влажностью, а также в промышленных зданиях с возможными ударными нагрузками или транспортом на жестком ходу не применяют. В строительной практике наибольшее использование находят поливинилацетатные мастики и полимерцементные составы.

Из **поливинилацетатной мастики** бесшовные полы могут быть устроены однослойными и двухслойными. Однослойное наливное покрытие устраивают на хорошо подготовленной ровной поверхности толщиной 1,5—2 мм, в зависимости от интенсивности движения и условий эксплуатации пола толщина лицевого слоя может быть увеличена до 4 мм. При неудовлетворительном состоянии основания применяют двухслойные покрытия. Двухслойное покрытие устраивают толщиной 3—4 мм.

Таблица

Физико-механические показатели различных видов покрытий полов на основе полимеров

Наименование покрытия	Потеря в массе при истирании на приборе МИ-2, не более, г/см²	Водопоглощение за 24 ч, не более, %	Твердость по шариковому твердомеру, не более, мм	Предел прочности на сжатие, не менее, МПа	Предел прочности на изгиб, не менее, МПа
Наливные покрытия из наливных ацетатных мастик	0,004	6	0,3	—	—
Наливные покрытия из полимерцементных составов	0,005	2	0,1	—	—
Пластичные покрытия из полимерцементных составов	0,005	2	0,1	25,0	10,0
Стяжка или выравнивающий слой из полимерцементных составов	—	—	—	15,0	6,0
Покрытие из пластбетона	0,005	0,5	0,1	30,0	10,0

Поливинилацетатные мастики приготавливают из связующего, наполнителя, красителя и воды. В качестве связующего применяют поливинилацетатную эмульсию заводского изготовления (ПВАЭ), содержащую 50% сухого поливинилацетата и 7,5% пластификатора — дибутилфталата. Наполнителями мастики являются мелкодисперсный кварцевый песок и естественный маршаллит крупностью 0,2—0,04 мм. Для устройства светлых полов в качестве наполнителя может быть применен молотый известняк и мелкий мрамор. Для придания мастике различного цвета используют кислоустойчивые и светоустойчивые минеральные пигменты — мумию, охру, ультрамарин, сурик железный и др. Примерный процентный состав мастики для лицевого слоя: поливинилацетатной эмульсии — 56%, наполнителя — 30%, пигментов — 4% и воды — 10%; для нижнего выравнивающего слоя: поливинилацетатной эмульсии — 36%, наполнителя — 54%, пигментов — 6% и воды — 4% (по массе). В целях

повышения водостойкости мастичных составов поливинилацетатную эмульсию необходимо обработать раствором формалина и соляной кислоты при температуре 50° С в течение 1 ч. Для сокращения сроков твердения и повышения прочности пленки в мастику вводят карбамидные полимеры с отвердителем — фторофосфорной кислотой.

Поливинилацетатную мастику можно готовить в растворосмесителе. Для этого в работающий смеситель заливают поливинилацетатную эмульсию, через 1—2 мин подают заполнитель, воду и смесь перемешивают в течение 4—5 мин до полной ее однородности. Затем в смеситель загружают пигментную пасту жидкой консистенции и вновь смесь перемешивают в течение 5 мин до полной однородности по цвету. Консистенцию смеси проверяют по вискозиметру ВЗ-4 и при необходимости смесь разбавляют водой. Приготовленную массу процеживают через сито с ячейками 1 или 2 мм, затем через вибросито с ячейками 0,6 мм и отстанвают в течение 15—20 мин до полного остывания пены. Последнюю удаляют. Мастика пригодна к употреблению в течение 5—6 ч при температуре воздуха 15° С. Приготовленную мастику распыляют при рабочем давлении до 0,5 МПа на подготовленное основание слоями необходимой толщины. Готовый поливинилацетатный пол после высыхания покрывают лаком № 170, который делает его более красивым и значительно увеличивает срок эксплуатации.

Полимерцементные составы для устройства бесшовных полов изготовляют из поливинилацетатной эмульсии или эмульсии дивинилстирольного каучука (латекса), портландцемента, песка, мраморной или гранитной крошки и минеральных пигментов.

Примерный состав полимерцементных мастик для одноцветного объемного покрытия: портландцемента М 400—17,5%, поливинилацетатной эмульсии 50%-ной — 7,3%, наполнителя — 70% и пигмента — 5,2%; для полимерцементной стяжки: портландцемента М 400 — 13,5%, поливинилацетатной эмульсии 50%-ной — 5,5% и наполнителя — 80% (по массе). Для придания мастике удобоукладываемой консистенции вводят — 45—55% воды от массы цемента.

Полимерцементные полы устраивают однослойными и двухслойными, одно- и многоцветными. Полимерцементные составы по консистенции делят на пластичные и наливные. Однослойные наливные покрытия устраивают толщиной 3—4 мм, а пластичные — 7—10 мм. Двухслойное наливное покрытие делают толщиной 10—14 мм, в том числе полимерцементную стяжку или выравнивающий слой — из смеси пластичной консистенции толщиной 7—10 мм. Полимерцементные составы обладают высокими адгезионными свойствами. Они обеспечивают прочное сцепление с основанием и имеют высокую механическую прочность.

§ 2. Материалы для внутренней отделки стен

Облицовочные материалы из пластических масс по своим декоративным качествам, разнообразию расцветок и рисунков, яркости красок, а также гигиеничности превосходят все другие отделочные материалы.

Для внутренней отделки стен и потолков применяют три вида материалов из пластмасс: рулонные, листовые и штучные.

Рулонные материалы для внутренней отделки помещений изготовляют на полимерах — пластификаторах, наполнителях, пигментах и красителях на основе или без нее. В качестве основы можно использовать картон, бумагу, хлопчатобумажную ткань и т. д.

Из рулонных материалов наибольшее применение получили пленочные материалы, линкруст и дерматин. Из пленочных материалов особый интерес представляет поливинилхлоридная пленка, которая может применяться с клеевым слоем, наклейкой на бумажную, тканевую или звукоизоляционную эластичную основу или в виде декоративной безосновной пленки.

Пленку поливинилхлоридную с клеевым слоем изготовляют путем нанесения на поливинилхлоридную пленку невысыхающего клеевого слоя, защищенного специально обработанной бумагой. Пленки выпускают различных видов: непрозрачные окрашенные в массе, с тисненым или печатным рисунком. Пленка характеризуется гигиеничностью, водо-, паро- и газонепроницаемостью. Размеры пленок: толщина — 0,1—0,2 мм, ширина — 500, 600 и 750 мм, длина — 12 м. Физико-механические свойства характеризуются следующими показателями: пределом прочности при разрыве — 20—25 МПа, стойкостью к старению — 1000—1500 ч, температурой разложения — 190—195° С и водопоглощением — 0,5%. Поливинилхлоридную пленку с клеевым слоем применяют для отделки стен жилых и общественных зданий, санузлов, кухонь, коридоров, перегородок, дверных полотен и встроенной мебели.

Пленку поливинилхлоридную отделочную на бумажной основе изготовляют различного цвета с разнообразной фактурой тиснения лицевой поверхности. Она стойка к воздействию слабых растворов щелочей, кислот (10%), горячих мыльных растворов, органических реагентов и дезинфицирующих составов. При этом она не меняет цвета и фактуры поверхности. Пленку выпускают в виде рулона толщиной 0,1—0,8 мм, шириной 500, 600, 750 мм и длиной 10 м. Физико-механические свойства этой пленки характеризуются следующими данными: массой 1 м² — не менее 250 г, прочностью на разрыв полоски 20×100 мм — не менее 0,5 Н, водопоглощением — не более 2%, светопрочностью — 7 баллов. Пленку поливинилхлоридную отделочную на бумажной основе применяют для внутренней отделки стен жилых, общественных и производственных зданий.

Безосновные пленки изготовляют прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные, окрашенные в массе, с печатным рисунком и тиснением. Пленки характеризуются водо-, паро- и газонепроницаемостью. Физико-механические свойства этой пленки следующие: предел прочности на разрыв — 15 МПа, относительное удлинение на разрыв — 150—170%, стойкость к старению — не менее 100 ч, температура разложения — 185—190° С, водопоглощение — 0,5%. Размеры пленок: толщина — 0,1—0,15 мм, ширина — 1,0—1,8 мм, масса 1 м² — 200 г. Декоративную безосновную пленку применяют в качестве занавесей, штор, драпировок и для обтяжки внутренних стен в зданиях различного назначения. Указанные выше пленки наклеивают на ровную, хорошо подготовленную поверхность целлюлозным клеем.

Линкруст представляет собой рулонный материал, состоящий из бумажной основы, покрытый слоем пластической массы. Линкруст бывает стеновой и бордюрный, окрашенный и неокрашенный в массе; по фактуре поверхности — гладкий и рельефный. Изготовляют его путем нанесения на одну сторону бумажной основы тонкого слоя пасты, состоящей из поливинилхлоридного наполнителя (пробковой или древесной муки), пластификатора и красителя. Линкруст производят в рулонах длиной 12 м, толщиной — 0,6 и 1,2 м, шириной стенового линкруста — 500, 600 и 750 мм, а бордюрного — 100 и 350 мм. Линкруст водо- и гнилостоек, хорошо сопротивляется механическим воздействиям, не выцветает на солнце. Применяют его для отделки стен, перегородок и встроенной мебели в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Дерматин изготовляют на тканевой основе с покрытием лицевого слоя тонкой пленкой поливинилхлоридной пасты. Он бывает окрашенный в массе, гладкий и рифленый. Его выпускают в рулонах длиной 40 м, шириной 750 и 1000 мм и толщиной 0,5 и 0,8 мм. Применяют дерматин для отделки стен, перегородок и мебели в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Листовые материалы для внутренней отделки зданий изготовляют следующих видов: декоративный бумажнослоистый пластик, древеснослоистый пластик, бакелизированная и декоративная фанера, древесностружечные и древесноволокнистые плиты.

Декоративные бумажнослоистые пластики представляют собой листовой материал, который получают путем горячего прессования специальных бумаг, пропитанных полимерами. Для внутренних слоев применяют бумагу из небеленой сульфатной целлюлозы, которую пропитывают феноло-формальдегидным полимером. Для лицевой стороны применяют кроющую бумагу из беленой сульфатной целлюлозы, которую пропитывают карбамидным полимером. Технология производства бумажнослоистого пластика осуществляется по следующей схеме. Сначала производят пропитку бумаг растворами полимеров, которые высушивают и разрезают на форматы листов готового изделия. Далее

листы укладывают в пакеты и подвергают горячему прессованию. Процесс изготовления заканчивают обрезкой кромок.

Декоративный бумажнослоистый пластик характеризуется следующими физико-механическими показателями: объемная масса — 1400 кг/м³, водопоглощение за 24 ч — не более 4% и предел прочности на изгиб — 100 МПа. Бумажнослоистые пластики выпускают длиной 1—3 м, шириной 600—1000 мм, толщиной 1—5 мм, однотонными и с текстурной поверхностью, имитирующей ценные породы древесины или камня. Бумажнослоистые пластики выдерживают нагрев до 120° С, не теряют блеска при кипячении, обладают достаточной водостойкостью. Их относят к группе сгораемых материалов, но при пропитке бумаг антипиренами можно получить материалы пониженной горючести.

Слоистые пластики к стенам можно крепить гвоздями, шурупами, деревянными рейками или при помощи клеев (мочевино-формальдегидного или феноло-резорцинового), мастик (дифенольная мастика), а также раскладок из поливинилхлорида.

Древеснослоистые пластики представляют собой листовой материал, состоящий из листов древесного шпона, пропитанных раствором полимера резольного типа и склеенных между собой в процессе термической обработки под давлением.

Процесс производства древеснослоистых пластиков состоит из следующих основных операций: 1) подготовки шпона, его высушивания и раскроя на листы; для получения большей твердости и прочности шпона проводят выщелачивание 3—5%-ным раствором серного натра при 70—80° С; 2) пропитки шпона раствором полимера, для чего древесный шпон укладывают в кассеты и подают в автоклав, где сначала создают вакуум, отсасывают влагу и воздух, а затем подают водный или спиртовой раствор полимера; пропитка шпона происходит при давлении 0,5 МПа в течение 30 мин; 3) пропитанный шпон укладывают в пакеты и на многоэтажном гидравлическом прессе горячим прессованием склеивают листы шпона. Процесс изготовления пластика заканчивается обрезкой кромок.

Древеснослоистый пластик производят длиной 0,70—5,60 м, шириной 0,90—1,20 м и толщиной 2 мм и более. Физико-механические свойства древеснослоистых пластиков характеризуются следующими показателями: объемная масса — 1330—1450 кг/м³, предел прочности на растяжение вдоль волокон — 140—300 МПа, на сжатие — 125—180 МПа, на статический изгиб — 150—280 МПа, водопоглощение за 24 ч — 5—10%, влажность — не более 7%. Марка древеснослоистого пластика зависит от расположения волокон древесины в шпоне. Древеснослоистые пластики обладают достаточно высокой теплостойкостью и низкой теплопроводностью (0,16—0,28 Вт/м·° С), стойки к маслам, органическим растворителям и действию атмосферы. Они легко поддаются механической обработке. Древеснослоистые пластики применяют в жилых, общественных и промышленных зданиях как отделочный и конструктивно-отделочный материал.

Древесностружечными плитами называют листовые материалы, которые получают горячим прессованием древесных стружек, пропитанных полимером. В процессе горячего прессования стружки уплотняются, а полимер из вязко-текучего состояния превращается в твердое, склеивая при этом наполнитель в монолит. Древесностружечные плиты изготовляют из древесины хвойных и лиственных пород. В качестве связующего для изготовления плит применяют высококачественную карбамидную смолу. Для придания ей повышенной водостойкости в стружку вводят парафиновую эмульсию, для большей биостойкости —

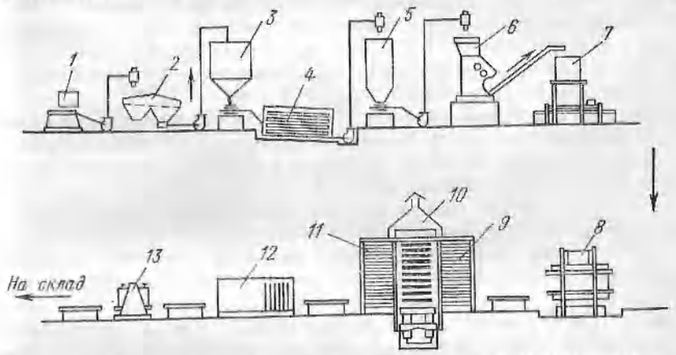


Рис. 141. Технологическая схема производства однослойных древесностружечных плит:

1 — рубильная машина; *2* — вибрационное сито; *3* и *5* — бункера; *4* — сушила; *6* — смеситель; *7* — пастилочная машина; *8* — холодный пресс; *9* — загружатель; *10* — пресс горячего прессования; *11* — разгружатель; *12* — камера для выдержки плит; *13* — станок для обрезки плит

антисептики (например, пентахлорфенол), а для огнестойкости — антипирены (сульфат или фосфат аммония и др.).

Изготовляют древесностружечные плиты прерывным или непрерывным способом. По прерывному способу (рис. 141) измельченную и высушенную стружку смешивают с полимером и направляют на формовочные рамы, где подвергают холодной подпрессовке на одноэтажных прессах при давлении 0,5—2,0 МПа. Затем отформованные плиты поступают на полки многоэтажного гидравлического пресса, где их прессуют под давлением до 3,5 МПа при температуре 160—190° С. Отпресованные плиты снимают с полок пресса и на 4—7 суток направляют на склад, где они набирают необходимую прочность. Завершается процесс изготовления плит обрезкой и шлифовкой. По непрерывному способу формование и горячее прессование массы производят в ленточном гусеничном прессе или методом выдавливания (экструзии). Эта схема производства позволяет создать непрерывность потока, полностью автоматизировать весь процесс и из-

готовлять не только сплошные плиты, но и пустотные. Древесно-стружечные плиты выпускают офактуренные и неофактуренные.

Физико-механические свойства древесностружечных плит характеризуются следующими физико-механическими показателями: объемной массой — 500—800 кг/м³, пределом прочности на статический изгиб — 13,0—21,5 МПа, пределом прочности на растяжение — 0,3—0,35 МПа, разбуханием гидрофобизированных — 14—18% и негидрофобизированных — 22—25%.

Древесностружечные плиты плоского периодического прессования выпускают четырех марок: ПС-3, ПТ-3, ПС-1 и ПТ-1, плиты плоского непрерывного прессования — марки ПТ-1. Плиты плоского периодического прессования имеют размеры: длину 3,5 м, ширину 1,5 и 1,75 м и толщину 10, 13, 16, 19, 22 и 25 мм, а плоского непрерывного прессования — длину 1,8—3,0 м, толщину 10, 13, 16 и 19 мм и ширину 1,2 м.

Плиты и готовые изделия могут быть облицованы бумагой, пропитанной мочевино-формальдегидным или меламино-формальдегидным полимером. Облицовка бумагой позволяет получить строительные детали с самой разнообразной по цвету, рисунку и фактуре поверхностью. Древесностружечные плиты применяют для внутренней облицовки стен, изготовления встроенной и передвижной мебели, дверных полотен, панелей, а также для обшивки потолков. Крепят плиты на гвоздях, шурупах или на мастиках, например казеино-цементной, кумароновой и др. Хранить древесностружечные плиты необходимо в закрытых складских помещениях, не подвергая резким колебаниям температуры и влажности.

Древесноволокнистые плиты представляют собой листовые материалы, состоящие из органических волокнистых наполнителей, связанных полимером путем горячего прессования. В качестве сырьевых материалов применяют древесину, камыш, кенаф и другие волокнистые растения. В зависимости от объемной массы древесноволокнистые плиты выпускают трех видов: полутвердые с объемной массой не менее 400 кг/м³, твердые — не менее 850 кг/м³ и сверхтвердые — не менее 950 кг/м³. Полутвердые и твердые плиты используют для облицовки стен и перегородок, а сверхтвердые — большей частью для полов.

Технологическая схема производства твердых древесноволокнистых плит (рис. 142) состоит из следующих основных операций. Древесину предварительно режут длиной до 1—1,5 м и направляют в рубильную машину для измельчения в щепу, затем очищают щепу сепаратором от случайных металлических включений и направляют в бункер запаса, а из него — в питающий дефибратор для пропаривания и измельчения щепы в волокна. Полученную волокнистую массу разбавляют водой и перекачивают в бассейн для смешивания с раствором фенолоформальдегидного полимера, гидрофобными добавками, антисептиками и антипиренами. Полимера вводят 4—5% от сухой массы. Волокнистую массу из бассейна насосом подают

на длинносетчатую отливочную машину для отжима излишней воды и формования массы в непрерывную ленту. Далее через рольганг ленту подают на обрезной станок, где разрезают на плиты, которые направляют в камеру акклиматизации. Плиты выдерживают 4—7 ч при температуре 110—120° С, а затем увлажняются до 7—8%. Обрезкой кромок заканчивается процесс изготовления неофактуренных плит.

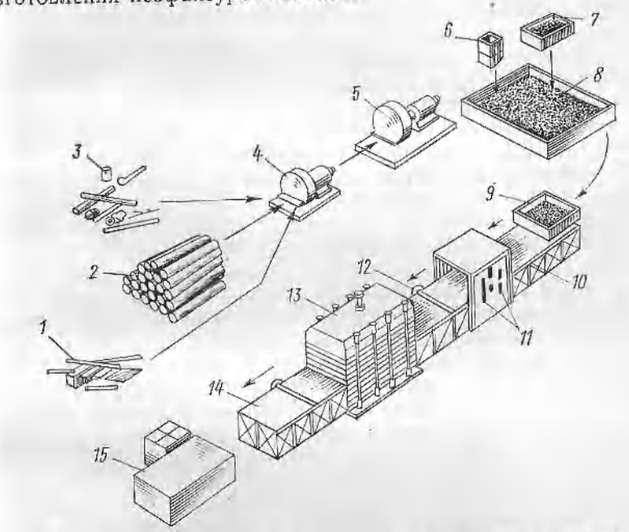


Рис. 142. Технологическая схема производства древесноволокнистых плит:

1 — отходы деревообработки; *2* — дровяное долготье; *3* — отходы лесоразработок; *4* — рубильная машина; *5* — дефибратор; *6* — краситель; *7* — эмульсия; *8* — бассейн для древесного волокна; *9* — отливочная машина; *10* — рольганг; *11* — отжимные вальцы; *12* — разрезка отлитой массы; *13* — пресс; *14* — раскрой плит; *15* — готовые плиты

При изготовлении офактуренных плит их покрывают полимерными пленками, текстурной бумагой, древесным шпоном или окрашивают мочевино-формальдегидными и строительными эмалями.

Сверхтвердые древесноволокнистые плиты выпускают длиной 1,2—3,6 м, шириной 1,2 м и толщиной 3—4 мм, влажностью 6—10%, водопоглощением — не менее 15%, пределом прочности на изгиб — 50 МПа, разбуханием — 12%. Твердые древесноволокнистые плиты выпускают длиной 1,2—3,6 м, шириной 1,6 м, толщиной 3—6 мм, влажностью — 6—10%, водопоглощением — не более 30%, пределом прочности на изгиб — 40 МПа, разбуханием — не более 20%. Полутвердые плиты выпускают длиной 1,2—3,6 м, шириной 1,8 м, толщиной 4—8 мм,

влажностью — до 10%, водопоглощением — не более 40%, пределом прочности на изгиб — до 15 МПа и разбуханием — не более 20%.

Способы хранения, крепления и соединения древесноволокнистых плит те же, что и древесностружечных.

Облицовочные полимерные плитки по своим декоративным качествам — разнообразию расцветок и рисунков — превосходят все другие облицовочные материалы. Их изготовляют двух видов: полистирольные и поливинилхлоридные. Состав, технология производства, свойства и область применения полистирольных плиток, применяемых для облицовки стен, не отличаются от таких же плиток для полов, за исключением толщины плиток. Далее даны сведения только о полистирольных облицовочных плитках.

Полистирольные плитки изготовляют из блочного или эмульсионного гранулированного полистирола. Для повышения теплостойкости и снижения стоимости плиток можно вводить порошкообразные наполнители (тальк, каолин и др.). Полистирольные плитки изготовляют на специальных литьевых машинах методом литья под давлением. Процесс производства плиток полностью автоматизирован. Плитки производят с гладкой глянцевой или полуматовой поверхностью различного цвета. По форме: квадратные размером 100×100×1,25 и 150×150×1,35 мм; прямоугольные — 100×50×1,25; 100×20×1,25; 150×75×1,35 и 150×20×1,35 мм и сдвоенные с ложным швом — 200×100×1,35 мм. Полистирольные плитки стойки к воздействию 10%-ных растворов кислот и щелочей, обладают высокой паро- и водостойкостью, хорошими прочностными и диэлектрическими показателями. Ввиду горючести их нельзя применять для обшивки сгораемых конструкций и нагреваемых поверхностей.

Полистирольные плитки используют для внутренней отделки жилых, общественных и промышленных зданий с повышенными гигиеническими требованиями и температурно-влажностным режимом (ванные комнаты, санузлы, больницы, столовые, магазины).

§ 3. Материалы для строительных конструкций

Одним из характерных отличий полимерных строительных материалов от обычно применяемых в строительстве является их малая объемная масса, высокая прочность, хорошие тепло-, звуко- и гидроизоляционные свойства, а также стойкость против химических веществ.

В качестве конструктивных полимерных материалов используют главным образом армированные пластмассы.

Для строительных конструкций применяют следующие виды материалов и изделий, изготовленных на основе полимеров: стеклопластики, органическое стекло, винипласт листовой, сотопласты и жесткие пенопласты.

Стеклопластики — это пластмассы, состоящие из полимера и наполнителя или армирующего материала в виде стеклянного волокна.

В зависимости от вида стекловолокнистого наполнителя стеклопластики для строительных конструкций делят на три группы: I группа — стекловолокно непрерывное прямолинейное, расположенное слоями по толщине материала; связующее — модифицированные феноло-формальдегидные, эпоксидно-феноловые и другие полимеры; II группа — стекловолокно рубленое в виде матов или нанесенное напылением; в качестве связующего применяют полиэфирные и другие полимеры; III группа — стекловолокно в виде холстов, связующее — феноло-формальдегидные полимеры.

В строительных конструкциях применяют также стеклотекстолиты, в которых в качестве армирующего наполнителя используют ткань из бесщелочного стеклянного волокна, а в качестве связующего — модифицированные феноло-формальдегидные или полиэфирные полимеры.

Стекловолокнистые анизотропные материалы (СВАМ) представляют собой один из видов стеклопластиков, которые получают путем укладки вытянутых стеклянных волокон параллельно друг другу с одновременным нанесением на них связующего. Процесс получения готового к формованию материала при способе укладки вытянутых стеклянных волокон сводится к получению стеклошпона.

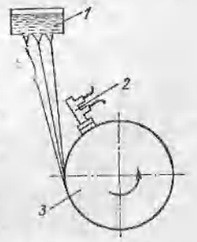


Рис. 143. Схема установки для производства стеклошпона:

1 — стеклоплавильная печь; *2* — пульверизатор для подачи полимера; *3* — барабан

Для изготовления стеклошпона по методу анизотропных структур была сконструирована установка (рис. 143), которая состоит из трех основных частей: электропечи, наматывающего барабана и пульверизатора. Расплавленное стекло в виде элементарных волокон вытекает из фильер, смачивается жидким связующим из пульверизатора и наматывается параллельными витками на барабан. По окончании процесса намотки полученный лист стеклошпона разрезают вдоль образующей барабана, снимают с него и просушивают.

Можно получать и перекрестный стеклошпон, наматывая один или несколько слоев параллельных волокон перпендикулярно предыдущему слою. Листы стеклошпона дополнительно смачивают связующим, просушивают, а затем складывают в пакеты, после чего подвергают горячему прессованию на многоэтажных прессах.

Листы СВАМ обычно имеют длину до 1000 мм, ширину до 500 мм и толщину 1—30 мм.

Механические свойства СВАМ зависят от вида связующего, толщины стекловолокна, соотношения полимера и наполнителя, расположения волокон стеклошпона и способа укладки стекло-

шпона в пакеты. Физико-механические свойства СВАМ, содержащего 35% связующего с перекрестным расположением волокон в шпоне, характеризуются следующими данными: объемная масса — 1900—2000 кг/м³, пределом прочности на растяжение — 450 МПа, на сжатие — 400 МПа, на изгиб — до 700 МПа, удельная ударная вязкость — 500 кГ·см/см², твердость — НВ 50.

Изделия из СВАМа не должны иметь трещин, вздутий и посторонних включений. Стеклопластики группы I применяют для несущих элементов трехслойных плит покрытий и пространственных ограждающих конструкций, а также в качестве арматуры для бетонных конструкций.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна получают методом напыления или прессования стекломатов.

При напылении нарезанные стеклянные нити длиной 25—50 мм смешивают с полимерным связующим и при помощи пистолета-распылителя тонким слоем наносят на поверхность формы. При использовании полимеров холодного отверждения изделия формуют при комнатной температуре, а полимеров горячего отверждения — при температуре отверждения связующего.

Изготовление стеклопластиков путем прессования стекломатов осуществляется следующим образом. Исходное сырье в виде стеклянных шариков загружается в стеклоплавильную печь, расплавляясь, оно выходит через фильтры. Тонкие нити расплава распыляются струей горячего воздуха или пара, обрызгиваются из распылителя связующим и осаждаются на движущуюся транспортерную ленту. В местах контакта волокна склеиваются между собой, образуя стеклянный мат толщиной 0,5—2 мм. Стекломат разрезают на полотнища, смачивают полимером и складывают в пакеты, которые подвергают прессованию.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна производят и непрерывным методом. В этом случае технология изготовления состоит из следующих операций: рубки стекловолокна, распределения стекловолокна на ленте конвейера, пропитки полимером, термообработки и разрезки на листы определенного размера. Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна изготовляют в виде плоских и волнистых листов длиной — до 6 м, шириной — до 1,5 м и толщиной — 1—3 мм; объемной массой — 1400 кг/м³, пределом прочности на растяжение — не менее 60 МПа, на сжатие — не менее 90 МПа и на изгиб — не менее 130 МПа, светопрозрачностью — до 85%.

Стеклопластики II группы применяют для устройства светопрозрачных ограждений и перегородок, световых холодных и полутеплых проемов стен и фонарей верхнего света, а также в качестве наружных слоев панелей цехов с химической агрессией (для светопрозрачного материала).

Стеклотекстолит изготовляют из стеклянных тканей различных переплетений. Стеклянную ткань, смоченную раствором

полимера, высушивают и разрезают на полотнища, из которых собирают пакеты. Каждый пакет помещают между двумя металлическими листами и подают в многоэтажный гидравлический пресс горячего прессования. При прессовании происходит отверждение полимера и образование монолитного листа стеклотекстолита. Стеклотекстолиты выпускают различных марок, отличающихся толщиной волокна, видом переплетения волокон в ткани, содержанием и видом связующего. Их производят длиной 1,4—2,4 м, шириной 0,65—1 м и толщиной 0,5—8,00 мм.

В строительных конструкциях применяют три вида стеклотекстолита: стеклотекстолит КАСТ, стеклотекстолит КАСТ-В в листах и плитах со следующими физико-механическими показателями: объемная масса — 1850 кг/м³, водопоглощение соответственно — 1,5—3 и 1,5%, временное сопротивление растяжению — 280, 230 и 210 МПа, удельная ударная вязкость — до 600 кГ·см/см². Стеклопластики обладают высокой теплостойкостью, незначительным водопоглощением, а некоторые и абсолютной водостойкостью, хорошей коррозионной и химической стойкостью. Стеклопластики бывают прозрачные (пропускают 85% света), полупрозрачные (30—60%) и непрозрачные; цветные в массе (путем введения пигментов) или окрашенные.

Из стеклопластиков можно изготовлять не только наружные слои и элементы каркаса трехслойных стеновых панелей, но и кровельные материалы, санитарно-техническое оборудование, трубы и другие изделия.

Органическое стекло (полиметилметакрилат) представляет собой высокопрозрачный, светоустойчивый, относительно легкий материал. С течением времени органическое стекло не мутнеет, не желтеет, не становится хрупким, хорошо противостоит атмосферным влияниям. Органическое стекло эластично и сохраняет это свойство даже при пониженных температурах, когда его прочность на изгиб и растяжение возрастает, не увеличивая хрупкости. Органическое стекло превосходит по прочности на изгиб силикатное стекло в 7 раз.

Органическое стекло термопластично, его свойства очень меняются с колебаниями температуры. При нагреве до 60° С оно деформируется даже при малых нагрузках, а при 120° С приобретает эластичность мягкой резины, при 160° С становится текучим, при температуре выше 300° С оно горит.

Органическое стекло производят в виде листов длиной 0,1—1,35 м, шириной 0,1—1,25 м и толщиной 2—2,3 мм. Поделочное стекло выпускают цветным, матовым и бесцветным с объемной массой 1200 кг/м³, удельной ударной вязкостью 40—85 кГ·см/см².

Стекло органическое применяют для устройства светопрозрачных ограждений и перегородок, световых одинарных и двойных вертикальных проемов и куполов верхнего света общественных и промышленных зданий, ограждений теплиц.

Сотопласты характеризуются регулярно повторяющимися полостями, имеющими правильную геометрическую форму. Поло-

сти образуются при формовании или литье исходного пластического материала без его вспенивания. Изготовляют их горячим формованием пропитанных термореактивными полимерами листов бумаги, ткани, шпона и т. д. При этом на материале в прессе выштамповываются гофры. Гофрированные листы покрывают полимером и укладывают в пакеты, а затем склеивают в блоки при нормальной или повышенной температуре и давлении 0,25—0,5 МПа. Сущность новой технологии заключается в получении сотопластов путем приготовления блока из бумаги с одновременным нанесением клея на те участки бумаги, которые склеиваются для образования сот.

Блоки изготовляют на станке, оборудованном вращающейся металлической пластиной и роликом для нанесения клея. Бумагу перематывают из рулона, проходя через систему роликов, которые наносят на полосы клей, на металлическую пластину. Размер сот зависит от расстояния между соседними роликами; после каждого оборота система роликов смещается на полшага сот. В местах, где нанесены полосы клея, бумага склеивается, и получается блок. Снятый с пластины блок разрезают на полосы, растягивают и пропитывают полимером. После пропитки и сушки бумажные сотоблоки становятся полупрозрачными и жесткими с объемной массой 15—60 кг/м³.

Сотопласты изготовляют тканевые, крафт-бумажные и из изоляционно-пропиточной бумаги длиной 1—1,5 м, шириной 0,55—0,65 м и толщиной 300—350 мм. Физико-механические свойства сотопластов зависят от материала сот, вида и количества полимера и размера ячеек (табл. 69).

Таблица 69

Физико-механические показатели сотопластов

Наименование сотопласта	Объемная масса, кг/м³	Предел прочности на сжатие, 0,1 МПа (кГ/см²)	Предел прочности на срез, 0,1 МПа (кГ/см²)
Тканевые	140	40	18
Крафт-бумажные	90	10	6
Из изоляционно-пропиточной бумаги	30	3	0,7

Сотопласты применяют в основном как заполнитель трехслойных панелей. Теплоизоляционные свойства сотопластов повышаются в результате заполнения сот крошкой теплоизоляционного материала, например мипоры.

Жестким пенопластом считают материал с системой изолированных, не сообщающихся между собой ячеек, заполненных газом или смесью газов.

В СССР находят применение пенопласты, получаемые на основе термопластичных и термореактивных полимеров, жесткой и эластичной, пенистой и пористой структуры. Отечественная промышленность производят следующие виды жестких

пенопластов: пенополистирольные марок ПС-1, ПС-4 и ПС-Б; поливинилхлоридные ПХВ-1 и пенополиуретановые ПУ-101.

Пенополистирол марок ПС-1, ПС-4 и ПС-Б применяют для устройства трехслойных панелей для стен и плит покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. Трехслойные панели изготовляют клееными, в качестве наружных слоев применяют стеклопластики, асбестоцемент, алюминий и другие материалы, а для оклейки используют феноло-формальдегидные, карбамидные, эпоксидные и другие клеи. Пенополистирол марки ПС-Б применяют в основном для тепло- и звукоизоляции, а марки ПС-1 и ПС-4 являются еще и конструктивными.

Пенополистирол можно получить несколькими способами: прессовым, беспрессовым (из гранул), автоклавным и т. д. В СССР нашли распространение первые два способа.

Прессовым методом пенополистирол марки ПС-1 изготовляют на основе эмульсионного полистирола марок Б или В; в качестве порообразователя применяют порофор ЧХЗ-57, причем на 100 ч. полистирола берут 2—5 ч. (по массе) порофора ЧХЗ-57.

Производство пенопласта ПС-1 прессовым методом начинают со смешения полимера с газообразователем в шаровой мельнице, снабженной рубашкой охлаждения, в течение 12—24 ч до получения однородной смеси. Приготовленную композицию прессуют на гидравлических прессах в закрытых пресс-формах при температуре 120—180° С и давлении 12—20 МПа. При этом частицы полимера сплавляются в монолитную массу, а газообразователь разлагается. Выделяющиеся газы частично растворяются в полимере, образуя насыщенный раствор, а избыток газа распределяется равномерно в нем в виде мельчайших ячеек. После выдержки заготовка охлаждается и извлекается из пресс-формы. Опрессованные заготовки вспениваются при температуре 100—105° С в среде насыщенного водяного пара.

Пенопласт ПС-1 выпускают в виде прямоугольных плит длиной 1,0—1,2 м, шириной 0,5 м и толщиной 5,0—8,0 мм. Пенопласт можно получить с различной объемной массой (60—220 кг/м³) в зависимости от количества вводимого в смесь газообразователя.

Пенопласт ПС-4 получают на основе эмульсионного полистирола тех же марок, но в качестве пенообразователя применяют смесь углекислого аммония $(NH_4)_2CO_3$ и бикарбонат натрия ($NaHCO_3$). Для этого берут 100 ч. полистирола, 1,5 ч. порофора ЧХЗ-57, 3 ч. углекислого аммония, 2 ч. бикарбоната натрия и 4 ч. (по массе) этилового спирта. Исходную смесь прессуют при температуре 120—180° С и удельном давлении 15—20 кПа. Вспенивание заготовки происходит при 100—105° С в среде неочищенного водяного пара. Пенопласт ПС-4 выпускают в виде прямоугольных плит размером не менее 500×500 мм, толщиной 5—60 мм.

Плиты марок ПС-1 и ПС-4 легко поддаются обработке, склеиваются между собой и с другими материалами.

Беспрессовый метод получения пенополистирола заключается в вспенивании не отдельного блока (заготовки), а небольших гранул с последующим их спеканием (склеиванием). Технологический процесс производства пенополистирола марки ПС-Б (рис. 144) осуществляется в следующем порядке. Пенистый полистирол, полученный полимеризацией стирола суспензионным способом в присутствии инициатора и легколетучего порообразова-

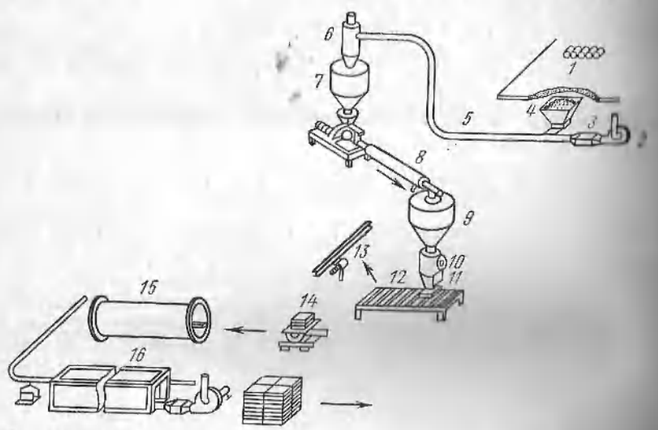


Рис. 144. Технологическая схема производства полистирольного пенопласта:

1 — тара с полистиролом; *2* — вентиляторы высокого давления; *3* — калорифер; *4* — приемный бункер; *5* — воздухопровод; *6* — циклон; *7* — бункер, расположенный над шнекомашиной; *8* — шнекомашина; *9* — бункер для вспученного полистирола; *10* — объемный дозатор; *11* — форма; *12* — рольганг; *13* — калорифер; *14* — запарочная вагонетка; *15* — автоклав; *16* — камера охлаждения

теля (изопентана), подвергают предварительному вспениванию путем нагрева гранул до 100° С в кипящей воде, парами или смесью пара с воздухом. Следующим процессом является вспенивание вспененных гранул на открытом воздухе и выдерживание их в течение 24 ч. Окончательное вспенивание производят несколькими способами: в формах при действии пара, в автоклавах при давлении 0,12—0,15 МПа в течение 10—15 мин; в формах, которые проходят через посты загрузки, прогрева, вспенивания и извлечения изделий; между движущимися непрерывными лентами, образующими прямоугольный канал для вспенивания; методом совмещенного формования в массивной форме, в которую подают острый пар, и т. д.

Пенопласт ПС-Б изготовляют в виде прямоугольных плит длиной 0,8—3 м, шириной 0,8—1,8 м и толщиной до 100 м,

объемной массой 18—100 кг/м³, водопоглощением — не более 3% по объему, пределом прочности при 10%-ном линейном сжатии — 0,13—0,7 МПа.

Жесткий пенополивинилхлорид используют главным образом в качестве тепло- и звукоизоляционного материала для среднего слоя трехслойных панелей стен и плит покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. В некоторых случаях он выполняет роль заполнителя, воспринимающего часть нагрузки. Жесткий пенопласт ПХВ-1 изготовляют прессовым методом на основе поливинилхлоридного полимера марки М, смеси газообразователей порофора ЧХЗ-57, углекислого аммония и бикарбоната натрия. Состав пенопласта ПХВ-1 следующий: поливинилхлорида — 100, метилметакрилата — 25, порофора ЧХЗ-57 — 0,3—0,8, углекислого аммония — 10—16 и бикарбоната натрия — 8 ч. по массе.

Метилметакрилат вводят в первой стадии прессования для повышения текучести. Он к концу прессования в основной массе полимеризуется и его пластифицирующее действие прекращается. В процессе вспенивания заготовки низкомолекулярный полиметилметакрилат и небольшое количество мономера способствуют получению пенопласта с малой объемной массой.

Технология получения пенопласта ПХВ-1 аналогична технологии получения пенополистирола, изготовленного прессовым методом. Технологические параметры следующие: смешение — 18—20 ч; прессование при температуре 160—170° С и удельном давлении 15—18 МПа. При получении пенопласта с объемной массой менее 70 кг/м³ применяют вспенивание, которое производят в паровой камере в формах, имеющих конфигурацию и размеры изделия. Для охлаждения используют воду. Пенопласт ПХВ-1 выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 0,5 м и толщиной до 60 мм с объемной массой 40—130 кг/м³, пределом прочности на сжатие — 0,2—1,0 МПа и очень малым водопоглощением.

Пенополиуретан получают в результате сложных реакций, протекающих при смешивании исходных материалов (полиэфира, диизоцианата и воды) в присутствии катализаторов и эмульгаторов. Жесткие пенополиуретаны изготовляют по непрерывному или периодическому беспрессовому методу.

Технологический процесс производства пенополиуретана марки ПУ-101 периодическим методом состоит в следующем. Приготавливают две смеси при температуре 50—80° С; одну — из изоцианата и замещенного изоцианата; другую — из полиэфира, эмульгатора, катализатора и воды. Смеси затем выдерживают при температуре 28—35° С.

К полиэфирам с добавками приливают изоцианаты и смесь перемешивают в смесителе в течение 0,5—2,5 мин. В результате реакции увеличивают температуру смеси на 7—10° С, и объем смеси начинает возрастать. Приготовленную смесь заливают в формы, где она окончательно вспенивается. Далее смесь прогре-

вают от 80 до 150° С в течение 4—6 ч, и полимер полностью отверждается.

Пенопласт ПУ-101 выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 0,45—0,55 м и толщиной — до 60 мм, объемной массой — 100—200 кг/см³, прочностью на сжатие — более 0,5—2,5 МПа.

Пенополиуретан применяют для среднего слоя трехслойных ограждающих конструкций (панелей стен и плит покрытий), в виде скорлуп для изоляции трубопроводов, холодного и горячего водоснабжения.

§ 4. Погонажные изделия на основе полимеров

Погонажные изделия (плинтуса, поручни, накладки на проступи, раскладки, наличники, нащельники, штанги и конструктивные погонажные материалы — уголки, тавры, трубы) представляют собой длинномерные элементы разнообразных профилей, цвета и назначения, выпускающиеся в полной заводской готовности, не требующей никакой дополнительной отделки или покраски. Изделие в разрезе (рис. 145) должно иметь однородное строение и цвет. Погонажные изделия изготовляют на основе поливинилхлорида, пластификатора, наполнителя и красителя методом экструзии, т. е. непрерывного выдавливания пластической массы из экструдера.

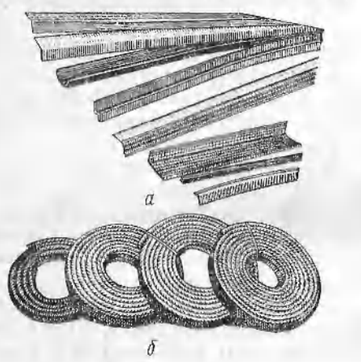


Рис. 145. Виды погонажных изделий:
а — защитные уголки; *б* — поручни; *в* — плинтуса

Поставляют плинтуса длиной 1,2 и 2,4 м; поручни — длиной 12 м; накладки на проступи — в бухтах длиной 12 м, а полосовые, уголковые и покрывающие одновременно проступь и угол — в виде прямоугольных изделий длиной 1,0—1,7 м; раскладки — длиной 1,2 и 3 м.

Физико-механические свойства строительных погонажных изделий характеризуются следующими показателями: водопоглощением — до 0,5%, твердостью по шариковому твердомеру ПШР-2 — не более 0,3—0,5 мм; упругостью — не менее 60%; усадкой по длине — не более 0,5%. Кроме того, защитные накладки на проступи должны хорошо сопротивляться истираемости — при испытании на приборе МИ-2 истираемость не должна быть более 0,03 г/см². Ко всем этим изделиям предъявляют общие требования: поверхность должна быть равномерно глянцевая или матовая без царапин, раковин, трещин и расслоений; они не должны изменять цвет под влиянием воздуха, света и воды, иметь однородное строение и единый профиль и цвет.

Погонажные изделия крепят мастиками, клеями или шурупами. Поручни в разогретом виде надевают на металлические полосы ограждения лестничного марша.

§ 5. Трубы и санитарно-технические изделия

Трубы из пластических масс в последние годы начали широко применяться при монтаже различных трубопроводов в промышленности, а также при сооружении водопроводов, канализации, нефтепроводов, ирригационных систем и т. д. Наибольшее распространение получают у нас полиэтиленовые, поливинилхлоридные, стеклопластиковые трубы и трубы из органического стекла; меньшее — трубы из полипропилена и феполита. Полипропиленовые трубы хорошо работают при температурах до 100° С, а фенолитовые, устойчивые в эксплуатации,— в условиях химической агрессии. Пластмассовые трубы более долговечны, чем металлические, не подвержены электрохимической коррозии, имеют меньшую массу и теплопроводность, высокую водо- и химическую стойкость. Стоимость устройства трубопровода из пластмассовых труб и его эксплуатация дешевле металлических.

Отрицательным свойством пластмассовых труб является их малая теплостойкость; например поливинилхлоридные трубы непригодны для транспортирования жидкости с температурой выше 60° С.

Полиэтиленовые трубы изготовляют из полиэтилена высокого давления методом экструзии. Полиэтилен обладает высокими диэлектрическими свойствами, устойчивостью против действия воды, растворов солей, кислот и щелочей, различных масел, незначительным водопоглощением (до 0,1% после 24 ч выдержки); слабо воспламеняется и медленно горит.

Полиэтиленовые трубы морозостойки, что позволяет эксплуатировать их в интервале температур от +60 до −80° С; пластичны, поэтому их можно наматывать на барабаны и транспортировать; легко поддаются механической обработке. Клеить их нельзя: к поверхности полиэтилена клей не пристает. Обычно их сваривают горячим воздухом. Для монтажа труб применяют фитинги из легких металлов и винипласта.

Поливинилхлоридные трубы изготовляют из стабилизированного поливинилхлорида — винипласта и стабилизатора методом

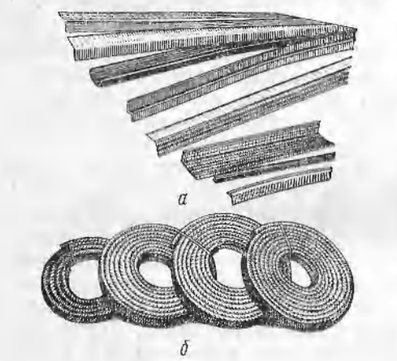
вают от 80 до 150° С в течение 4—6 ч, и полимер полностью отверждается.

Пенопласт ПУ-101 выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 0,45—0,55 м и толщиной — до 60 мм объемной массой — 100—200 кг/см³, прочностью на сжатие — более 0,5—2,5 МПа.

Пенополиуретан применяют для среднего слоя трехслойных ограждающих конструкций (панелей стен и плит покрытий), в виде скорлуп для изоляции трубопроводов, холодного и горячего водоснабжения.

§ 4. Погонажные изделия на основе полимеров

Погонажные изделия (плинтуса, поручни, накладки на проступи, раскладки, наличники, нащельники, штанги и конструктивные погонажные материалы — уголки, тавры, трубы) представляют собой длинномерные элементы разнообразных профилей, цвета и назначения, выпускающиеся в полной заводской готовности, не требующей никакой дополнительной отделки или покраски. Изделие в разрезе (рис. 145) должно иметь однородное строение и цвет. Погонажные изделия изготовляют на основе поливинилхлорида, пластификатора, наполнителя и красителя методом экструзии, т. е. непрерывного выдавливания пластической массы из экструдера.



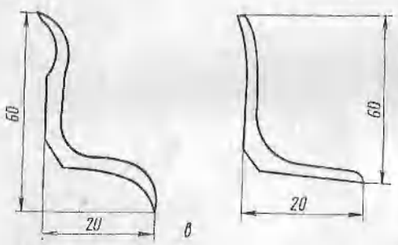


Рис. 145. Виды погонажных изделий:
а — защитные уголки; *б* — поручни; *в* — плинтуса

Поставляют плинтуса длиной 1,2 и 2,4 м; поручни — длиной 12 м; накладки на проступи — в бухтах длиной 12 м, а полосовые, уголковые и покрывающие одновременно проступь и угол — в виде прямоугольных изделий длиной 1,0—1,7 м; раскладки — длиной 1,2 и 3 м.

Физико-механические свойства строительных погонажных изделий характеризуются следующими показателями: водопоглощением — до 0,5%, твердостью по шариковому твердомеру ПШР-2 — не более 0,3—0,5 мм; упругостью — не менее 60%; усадкой по длине — не более 0,5%. Кроме того, защитные накладки на проступи должны хорошо сопротивляться истираемости — при испытании на приборе МИ-2 истираемость не должна быть более 0,03 г/см². Ко всем этим изделиям предъявляют общие требования: поверхность должна быть равномерно глянцевая или матовая без царапин, раковин, трещин и расслоений; они не должны изменять цвет под влиянием воздуха, света и воды, иметь однородное строение и единый профиль и цвет.

Погонажные изделия крепят мастиками, клеями или шурупами. Поручни в разогретом виде надевают на металлические полосы ограждения лестничного марша.

§ 5. Трубы и санитарно-технические изделия

Трубы из пластических масс в последние годы начали широко применяться при монтаже различных трубопроводов в промышленности, а также при сооружении водопроводов, канализации, нефтепроводов, ирригационных систем и т. д. Наибольшее распространение получают у нас полиэтиленовые, поливинилхлоридные, стеклопластиковые трубы и трубы из органического стекла; меньшее — трубы из полипропилена и фенолита. Полипропиленовые трубы хорошо работают при температурах до 100° С, а фенолитовые, устойчивые в эксплуатации, — в условиях химической агрессии. Пластмассовые трубы более долговечны, чем металлические, не подвержены электрохимической коррозии, имеют меньшую массу и теплопроводность, высокую водо- и химическую стойкость. Стоимость устройства трубопровода из пластмассовых труб и его эксплуатация дешевле металлических.

Отрицательным свойством пластмассовых труб является их малая теплостойкость; например поливинилхлоридные трубы непригодны для транспортирования жидкости с температурой выше 60° С.

Полиэтиленовые трубы изготовляют из полиэтилена высокого давления методом экструзии. Полиэтилен обладает высокими диэлектрическими свойствами, устойчивостью против действия воды, растворов солей, кислот и щелочей, различных масел, незначительным водопоглощением (до 0,1% после 24 ч выдержки); слабо воспламеняется и медленно горит.

Полиэтиленовые трубы морозостойки, что позволяет эксплуатировать их в интервале температур от +60 до −80° С; пластичны, поэтому их можно наматывать на барабаны и транспортировать; легко поддаются механической обработке. Клеить их нельзя: к поверхности полиэтилена клей не пристает. Обычно их сваривают горячим воздухом. Для монтажа труб применяют фитинги из легких металлов и винипласта.

Поливинилхлоридные трубы изготовляют из стабилизированного поливинилхлорида — винипласта и стабилизатора методом

непрерывной экструзии или же путем компрессионной сварки листовой заготовки. Отечественная промышленность производит винипласт двух марок: стабилизированный меламином (марка А) и свинцовым глетом (марка Б). Для производства труб применяют винипласт, стабилизированный меламином, который имеет состав: поливинилхлорид — 100 ч., меламин — 2 ч., трансформаторное масло — 2 ч. и стеарин — 1 ч. (по массе).

Винипласт представляет собой негорючую, непрозрачную массу без запаха, цвета от светло- до темно-коричневого; объемной массой — 1400 кг/м³, водопоглощением — 0,4%, пределом прочности на сжатие — 80, растяжение — 50 и изгиб — 120 МПа, удлинением при разрыве — 20—15%, удельной ударной вязкостью — 1200 Н·см/см², модулем упругости — 4000 МПа, теплостойкостью по Мартенсу — 65°. Винипласт стоек против химической агрессии, обладает высокими антикоррозионными и диэлектрическими свойствами. Не разрешается применять винипласт в среде, содержащей ароматические углеводороды и концентрированные кислоты.

В винипластовых трубах можно транспортировать жидкости с температурой до 40° С под давлением, а 50—60° С — самотеком. Теплопроводность винипластовых труб в 400 раз меньше стальных. Трубы из винипласта прочно склеиваются различными клеями (например, 15—20%-ным раствором перхлорвинила в ацетоне или метиленхлориде); их можно также сваривать или соединять с помощью фланцев и накидных гаек. Трубы можно обрабатывать на металлорежущих станках. Винипластовые трубы выпускают длиной 1,5—3 м.

Применяют винипластовые трубы для устройства водопроводных, канализационных и вентиляционных сетей, а также для транспортирования агрессивных жидкостей и газов. Винипластовые трубы хранят в сухих закрытых помещениях при температуре 10—20° С. При транспортировании их нужно предохранять от ударов.

Стеклопластиковые трубы изготовляют на основе полимерных полимеров, армированных стекловолокном. Этот материал обладает исключительными механическими и антикоррозионными свойствами и наибольшей прочностью по сравнению с другими пластмассовыми трубами. Он противостоит действию многих кислот, ароматических и алифатических углеводородов и т. д. Производство стеклопластиковых труб может осуществляться различными методами: намоткой на оправку, методом центробежной отливки и непрерывным протягиванием стекловолокна. Наиболее прогрессивным является метод непрерывного протягивания стекловолокна в виде жгутов, покрытых связующим, сквозь формующее устройство. Жгуты стекловолокна, сматываясь с бобин, подсушивают и направляют в ванну для покрытия связующим, а оттуда — на распределительное устройство. В формующей камере происходит предварительная полимеризация полимера до желеобразного состояния, с тем чтобы при последующем

движении трубы сохранилась ее форма. Далее труба поступает в камеру дополнительной полимеризации, где происходит дальнейшее ее отверждение. Готовую трубу нарезают на куски нужной длины, сортируют и отправляют на склад.

Фитингами называют различные соединительные детали, применяемые при монтаже трубопроводов. Это муфты, угольники, тройники, крестовины, заглушки, футорки, колпачки, сгоны

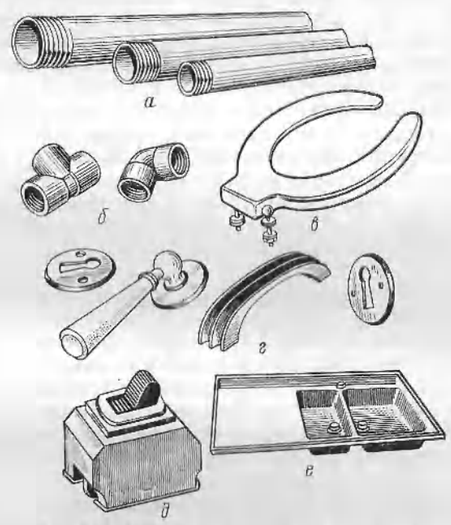


Рис. 146. Различные изделия из пластмасс:

а — трубы; *б* — санитарно-техническая арматура; *в* — крышка унитаза; *г* — дверные приборы; *д* — электровыключатель; *е* — мойка

и др. Пластмассовые фитинги и другую арматуру, необходимую для монтажа трубопроводов, изготовляют методом литья под давлением.

Применять тот или иной метод соединения пластмассовых трубопроводов нужно с учетом всех свойств полимерного материала, из которого изготовлены трубы. Метод склеивания можно использовать при винипластовом трубопроводе, но нельзя рекомендовать нарезку труб, так как резьбу нужно получать при изготовлении трубы путем вдавливания — она прочнее нарезной.

Соединять пластмассовые трубы следует прутковой сваркой и компрессионной, которая является более прочной.

Санитарно-технические изделия из пластмасс имеют красивый цвет, водостойки, легки, прочны и коррозионностойки, устойчивы против растворов кислот и щелочей. К таким изделиям от-

носятся умывальники, ванны, раковины, душевые кабины, вентиляционные решетки, мойки и т. д.

Методы изготовления этих изделий различны и зависят от вида используемого полимера и размеров изделия. Крупногабаритные изделия (например, ванны) прессуют методом эластичного пуансона из термореактивных полимеров с наполнителями из слоистых и волокнистых материалов. Мелкие изделия (например, вентиляционные решетки) изготовляют из полистирола и полиметилметакрилата методом литья под давлением. Применение мочевино-формальдегидных полимеров позволяет получать изделия любых светлых тонов до белоснежного цвета.

Санитарно-технические пластмассовые изделия имеют значительные преимущества по сравнению с металлическими. Они обладают большой прочностью при небольшой массе, не требуют систематической окраски, не корродируют, гигиеничны и имеют красивый внешний вид (рис. 146). Металлические изделия часто требуют антикоррозионной защиты, для этой цели широко применяют винипласт.

§ 6. Клеи и мастики

Клеи и мастики на основе полимеров применяют для склеивания литых, слоистых и волокнистых материалов, а также элементов изделий и конструкций из различных строительных материалов (древесины, металлов, бетонов и др.). Особенно велико значение синтетических клеев в производстве клееных деревянных конструкций.

Мастики и клеи для крепления отделочных материалов и изделий представляют собой клейкие пастообразные композиции, состоящие из клеящей основы — полимеров, растворителей, пластифицирующих компонентов, наполнителей, разжижителей и в отдельных случаях отвердителей. Для крепления отделочных материалов и изделий клеи и мастики делят на две группы: первые — для приклеивания материалов покрытий полов и погонажных изделий и вторые — для крепления материалов при отделке стен, потолков и встроенной мебели. В зависимости от вида связующего различают клеи и мастики битумные, полимерные, каучуковые, нитроцеллюлозные и казеиновые. Для крепления рулонных, плиточных и листовых материалов к полам применяют битумные горячие и холодные мастики: битумно-каучуковую мастику, состоящую из битума, бензина, каолина и резинового клея; резинобитумную мастику изол, состоящую из девулканизированной старой резины, битума, кумаронового полимера, бензина, рубракса, канифоли, креозотового масла и асбеста и другие мастики. Битумные мастики, применяемые в холодном состоянии, перед употреблением в случае загустевания разбавляют бензином. Для крепления отделочных материалов для полов применяют также дифенольную мастику, состоящую из

смолы ДФК, наполнителя и формалина; феноло-формальдегидную мастику — из феноло-формальдегидного полимера, керосинового контакта и мела; коллоксилиновую (нитроцеллюлозную) мастику — из обрезков коллоксилинового линолеума и ацетона; казеино-цементную мастику — из казеинового клея ОБ, портландцемента и воды.

Для приклеивания поливинилхлоридного линолеума к бетонному основанию, цементной стяжке, дереву, древесностружечным и древесноволокнистым плитам применяют кумароно-каучуковую мастику КН-3. Она представляет собой вязкую пастообразную массу, состоящую из полихлоропренового каучука, инден-кумароновой смолы, наполнителя и смеси растворителей. Мастика светлого тона, имеет большую прочность склеивания — через сутки 0,12 МПа, вязкость — 40—75 из.

Мастики для приклеивания отделочных материалов должны обладать хорошими адгезионными свойствами, быть устойчивы к действию температуры 50—60° С, быть удобонаносимыми и легко распределяться слоем толщиной 0,3—0,5 мм (для битумных до 1 мм). Мастики должны быть биостойкими, однородными, без запаха.

Для крепления рулонных листовых и плиточных материалов для потолков, стен и встроенной мебели применяют следующие виды клеев и мастик:

клей К-17 (мочевино-формальдегидный), состоящий из мочевино-формальдегидного полимера (МФ-17), древесной муки и отвердителя — щавелевой кислоты, а также клей ФР-12 (феноло-резольный), состоящий из феноло-формальдегидного резольного полимера и отвердителя — бензосульфокислоты — для приклеивания декоративного бумажного слоистого пластика, древесноволокнистых и древесностружечных плит по дереву;

кумароновая мастика, состоящая из кумаронового полимера, сольвента, дибутилфталата и известняковой муки,— для приклеивания древесноволокнистых, древесностружечных плит по бетону и штукатурке, а также полистирольных плиток и линкруста по бетону, штукатурке и дереву;

канифольная мастика, состоящая из канифоли, денатурированного спирта, олифы «оксоль» и известняковой муки,— для приклеивания древесностружечных, древесноволокнистых плит, бакелизированной фанеры, полистирольных плиток и линкруста по дереву, бетону и штукатурке.

Клеи и мастики приклеивают рулонные листовые и плиточные материалы без пригруза.

Клеи для строительных конструкций представляют собой композиции из каучуков, различного рода модифицирующих добавок, наполнителей, растворителей и отвердителей. Такие клеи используют для склеивания асбестоцементных и других цементно-бетонных материалов, алюминиевых сплавов, черных металлов и древесины как между собой, так и с пенопластами и сотопластами в трехслойных и других конструкциях.

В зависимости от методов применения клеи для строительных конструкций делят на три вида: клеи холодного (при температуре 16—30° С), теплого (при температуре 40—90° С) и горячего отверждения (при температуре 100—160° С). По виду связующего — фенольные, эпоксидные, каучуковые, мочевинные и полиэфирные. Могут применяться также и модифицированные системы на основе указанных клеев.

Фенольные клеи холодного и теплого отверждения, состоящие из феноло-формальдегидного полимера, отвердителя и наполнителя, применяют для склеивания стеклопластиков, пенопластов, сотопластов и древесины между собой, а также с асбестоцементными и алюминиевыми сплавами. Фенольный клей горячего отверждения, состоящий из феноло-формальдегидного полимера и наполнителя, применяют для склеивания асбестоцемента с сотопластами, стеклопластиков и фанеры. Фенольные модифицированные клеи горячего отверждения, состоящие из феноло-формальдегидного и эпоксидного полимеров и наполнителей, используют для склеивания алюминия и его сплавов между собой или с сотопластами и другими материалами. Они обладают хорошими адгезионными свойствами и прочностью.

Эпоксидный клей холодного и теплого отверждения, состоящий из эпоксидного полимера, модификатора, отвердителя и наполнителя, применяют для склеивания асбестоцементных и цементно-бетонных материалов, алюминия и других материалов. Эпоксидный клей горячего отверждения используют для склеивания различных материалов, так как он обладает значительной адгезией, малой усадкой и высокой прочностью.

Полиэфирный клей, состоящий из полиэфирного полимера, инициатора, ускорителя и наполнителя, применяют при температуре 15—80° С для склеивания полиэфирных стеклопластиков. Он обладает хорошей адгезией и прочностью, малым водопоглощением, его усадка достигает 10%.

Мочевинные и мочевино-меламиновые клеи холодного и горячего отверждения, состоящие из одноименных связующих, отвердителей и наполнителя, используют для склеивания древесины.

Каучуковый клей, в состав которого входит каучук, модификатор и вулканизатор, применяют для склеивания алюминия с сотами из древесноволокнистых плит пенопластами. Он обладает значительной адгезией и прочностью и очень малым водопоглощением.

В качестве грунтов при склеивании строительных конструкций используют: полиметилметакрилатный состав, состоящий из полиметилметакрилата, метилметакрилата, растворителя и отвердителя, винильно-фенольный грунт — из поливинилхлорида, феноло-формальдегидного полимера и растворителя.

Клеевые соединения строительных конструкций обеспечивают необходимую прочность при температурах от —30 до +60° С, а иногда и до —60° С. Клеи для строительных конструкций устойчивы к действию воды и ее паров.

Герметизирующую мастику «Полиэф» применяют для герметизации наружных стыков панелей крупнопанельных зданий. Это двухкомпонентная самовулканизирующаяся мастика, состоящая из полиэфирных смол с наполнителями. Мастика имеет объемную массу 200—500 кг/м³, адгезию к бетону — 0,5—1,0 МПа, прочность на разрыв — 1—5 МПа, относительное удлинение — 200—300%, водопоглощение — 0,5—1,0%, температурный интервал применения от —40 до +70° С.

Нанесение мастики осуществляется из пистолетов и пневмопистолетов.

Для уплотнения стыков конструкций крупнопанельных зданий применяют также полиизобутиленовую мастику УМС-50, представляющую густовязкую однородную нетвердеющую массу от светло-серого до коричневого цвета, с пределом прочности на разрыв — 7 кПа, относительным удлинением — до 10%, водопоглощением — 0,8% и теплостойкостью — не ниже 70° С.

Стыки крупнопанельных зданий заделывают также герметизирующими прокладками — гернитом и герметиком ЦПЛ-2. Гернит представляет собой пористый резиновый шнур с плотной наружной оболочкой диаметром 20—60 мм. Гернит изготовляют на основе полихлоропренового каучука с добавлением значительного количества наполнителей, мягчителей и вулканизирующих агентов. Производство герметика ЦПЛ-2 осуществляется на основе бутилкаучука. Применяют его для герметизации стыков бетонных конструкций, не подверженных деструкции под действием влаги, кислот и щелочей. По адгезионной и когезионной прочности он значительно превосходит тиоколовые и силиконовые герметики.

§ 7. Технико-экономическая эффективность применения пластических масс в строительстве

Производство строительных материалов на основе полимеров с каждым годом неуклонно растет и ассортимент их расширяется. Особое значение в этом имеет непрерывный прогресс в области использования все более дешевых видов сырья, усовершенствование процессов получения и переработки пластмасс, повышение их качества, что в конечном итоге приводит к снижению стоимости строительства.

Следует подчеркнуть, что производство полимерных строительных материалов организовано в промышленных масштабах после 1958 г. в связи с решениями ЦК КПСС о развитии химической промышленности. До этого времени в относительно массовом масштабе выпускался лишь глифталевый полимер. За 1958—1972 гг. производство рулонных и плиточных материалов для покрытий полов увеличилось в 5,4 раза (с 11,5 до 59,7 млн. м²), был организован выпуск полистирольных плиток,

клеящих мастик и др. К 1975 г. производство линолеума и плитки для полов достигло 70 млн. м² (примерно на 30% больше уровня 1970 г.), полистирольного пенопласта — более 1 млн. м², бумажнослоистых пластиков — более 20 млн. м².

Производство полимерных строительных материалов относится к весьма материалоемким отраслям. Если в целом по промышленности строительных материалов удельный вес сырья и материалов составляет 32,4%, то в промышленности полимерных строительных материалов — 80,4% (в том числе 25,6% сырье, 27,6% основные материалы и 27,3% — прочие материалы). На долю топлива приходится еще 2,4% затрат.

Себестоимость материалов зависит от вида сырья, технологии производства, мощности предприятия и размеров изделий. Так, в зависимости от толщины себестоимость алкидного гладкого линолеума колеблется от 2,3 руб. (при толщине 2,5 мм) до 4,35 руб. (при толщине 5 мм). Фактическая себестоимость производства в настоящее время в 1,2—1,5 раза превышает проектные данные вследствие неполного освоения мощности и недостатков производства (превышение норм расхода сырья и материалов из-за некондиционности поставок сырья, сверхнормативных потерь и др.).

Отпускные цены на полимерные строительные материалы учитывают более высокое качество отдельных видов изделий (затрат на эксплуатацию и укладку материалов и др.).

Удельные капитальные вложения на полимерные материалы колеблются, так же как и себестоимость, в широких пределах. Наименьший их уровень характерен для полимерных мастичных композиций, пленок, лакокрасочных материалов (0,1—0,15 руб.). Полимерные рулонные материалы для полов изготовляют на высокопроизводительном оборудовании методом литья, проката, прессования и экструзии и характеризуются удельными капитальными вложениями от 1 до 3 руб/м².

Удельные капитальные вложения на организацию производства полимерных строительных материалов зависят как от мощности предприятия, так и от вида изделий и технологии производства.

Удельный вес полимерных материалов в общем балансе строительных материалов и конструкций в перспективе значительно возрастает, например по полимерным покрытиям для полов с 7—8% до 30—35%.

Технико-экономическая целесообразность использования пластмасс в строительстве несомненна и убедительно подтверждается данными табл. 70 на примере материалов для полов, являющихся наиболее распространенным видом строительных полимерных материалов. Полимерные материалы для покрытий полов (даже при сравнительно высоких ценах на полимерное сырье) оказываются на уровне затрат по дощатому полу и несколько выгоднее паркетных полов. В перспективе эта разница еще более возрастает, поскольку производство полимерных

строительных материалов располагает большими резервами снижения себестоимости продукции.

Таблица 70

Экономическая эффективность материалов для покрытий полов

Вид материала	Приведенные затраты на 1 м² пола, руб.	Вид материала	Приведенные затраты на 1 м² пола, руб.
Полимерные покрытия:		Релин	7,7
линолеум безосновный поливинилхлоридный	7,4—7,9	Полимербетонные 20 мм	—
линолеум поливинилхлоридный на войлочной основе	7,8	Полимерцементные 14 мм	—
Кумароновые плитки	7,5	Другие виды покрытий:	
		дощатый пол	7,7
		паркетный пол	10,2

Основные пути снижения себестоимости — это разработка новых конструктивных решений с использованием пластмасс; совершенствование технологии производства изделий из пластмасс; максимальное использование механизации и автоматизации; использование дешевых материалов. Важным элементом, способствующим снижению себестоимости полимерных материалов и конструкций, является создание крупных специализированных производств.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом (ВНИИполимеркровля) был произведен расчет стоимости и трудоемкости работ по устройству покрытия полов с использованием поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе, а также других рулонных и плиточных материалов (табл. 71). Сравнение трудоемкости устройства полов из различных полимерных материалов показывает, что на устройство полов из поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе затрат труда требуется в полтора раза меньше, чем при использовании других полимерных материалов, при этом стоимость указанного линолеума по сравнению с другими видами наибольшая.

Таблица 71

Трудоемкость устройства полов (на 1 м²)

Разновидности полов	Затраты труда, чел-ч		
	на производство материала	на устройство полов здания	всего
Полы на современных рулонных и плиточных полимерных материалах	0,05	1,20	1,25
Пол с покрытием из поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе	0,07	0,75	0,82

Для получения теплых полов с достаточной изоляцией от шумов при устройстве покрытий из полимерных материалов в настоящее время предусматривают устройство покрытия сложной конструкции (рис. 147), состоящего из покрытия со стяжкой, теплоизоляционного слоя, звукоизоляционного слоя и несущей части перекрытия. Необходимость такой конструкции объясняется тем, что применяемые для покрытия полов рулонные,

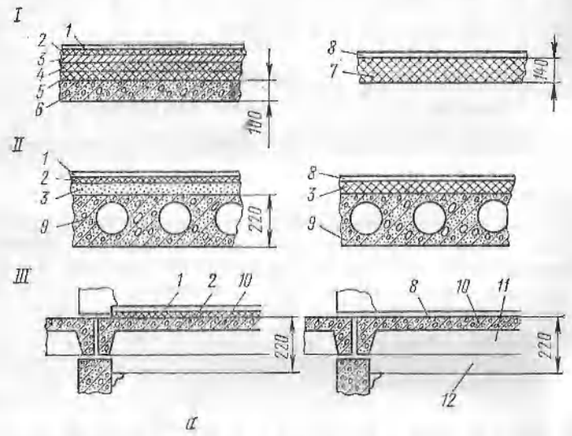


Рис. 147. Конструкции перекрытий жилых домов:

а — пол из обычного линолеума; *б* — пол из поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе; *I* — для домов серии 1-335 и 1-464; *II* — для домов серии 1-468; *III* — для домов серии 11-32; *1* — линолеум обычный; *2* — древесноволокнистая плита толщиной 5 мм; *3* — стяжка толщиной 30 мм на цементно-песчаного раствора; *4* — древесноволокнистая плита толщиной 10 мм; *5* — древесноволокнистая плита толщиной 25 мм; *6* — сплошная железобетонная панель толщиной 100 мм; *7* — сплошная железобетонная панель толщиной 140 мм; *8* — поливинилхлоридный линолеум на войлочной основе; *9* — многопустотная железобетонная панель толщиной 220 мм; *10* — прокатная панель пола СВ-32-1; *11* — воздушная прослойка 25 мм; *12* — панель потолка толщиной 65 мм

листовые и плиточные материалы не являются сами по себе «теплыми» и звукоизолирующими от шума. Использование же поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе обеспечивает звукоизоляцию междуэтажных перекрытий от ударного шума без устройства звукоизоляционных слоев и позволяет получить теплые полы непосредственно по железобетонным элементам перекрытия. Таким образом, линолеум на войлочной основе позволяет значительно сократить затраты труда, снизить стоимость работ по устройству полов и повысить их индивидуальность, а также упростить конструкцию перекрытий.

Одним из путей снижения себестоимости полимерных материалов является уменьшение расхода дорогостоящих полимерных связующих материалов за счет наибольшего введения наполнителя.

Снижение себестоимости полимерных материалов можно получить в результате замены дорогих материалов дешевыми. Например, поливинилхлоридные полимеры имеют очень узкий интервал между температурой текучести и температурой разложения, что затрудняет переработку этого полимера. Дибутилфталат обладает лучшими пластифицирующими свойствами, чем другие пластификаторы, и в настоящее время он широко используется в производстве изделий из пластмасс. Однако он очень летуч и изготовленные из него материалы становятся жесткими и быстрее стареют. Это заставляет изыскивать другие, менее летучие разжижители, повышающие качество и технико-экономические показатели материалов.

Совершенствование технологических процессов в сочетании со строительством новых, более крупных предприятий по производству материалов и изделий на основе пластических масс позволит в ближайшем будущем удовлетворить спрос на эти материалы и решить целый ряд технических проблем.

Ресурсы синтетического сырья являются исключительно дефицитными, что со всей остротой выдвигает задачу его рационального, экономически выгодного распределения как между отраслями — потребителями пластмасс (строительство, машиностроение, легкая и пищевая промышленность и др.), так и в пределах каждой отрасли по различным областям использования пластических масс и синтетических смол.

В настоящее время выявились основные направления экономически наиболее целесообразного использования полимеров в строительстве. К ним, по расчетам НИИЭС, следует отнести применение: эффективных рулонных и плиточных материалов на основе поливинилхлорида для покрытий полов; синтетических лакокрасочных материалов, пленок, бумажнослоистых пластиков и других в отделке стен; новых видов теплозвукоизоляционных материалов на основе вспененных пластмасс для утепления зданий; долговечных латексных кровельных покрытий в крупнопанельном строительстве; долговечных мастичных и профильных материалов на основе синтетических каучуков для герметизации стыковых крупнопанельных зданий; встроенной мебели и шкафов-перегородок из древесностружечных плит, а также высококачественных дверных блоков из древесностружечных и древесноволокнистых плит; полимерных санитарно-технических изделий (сифонов и смывных бачков), а также канализационных труб.

Именно эти виды материалов и получат преимущественное развитие в ближайшей перспективе.

ГЛАВА XVI

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОИ

Лакокрасочными материалами называют природные, искусственные или синтетические составы, наносимые в жидком виде тонким слоем (от 60 до 500 мкм) на окрашиваемую или лакируемую поверхность. Образующиеся плотные твердые пленки, прочно соединенные с поверхностью, должны обладать достаточной прочностью, высокой долговечностью как в отношении длительного сохранения физико-механических свойств, так и декоративных качеств. Лакокрасочные материалы должны быть безвредными для окрашиваемого изделия и живых организмов.

На протяжении долгих лет важнейшими исходными материалами для красочных составов служили натуральные олифы, при изготовлении которых использовались растительные масла, являющиеся пищевым сырьем. Для получения же лаков применялись преимущественно природные смолы, из которых многие ввозились из Конго, Мадагаскара, Занзибара и др. Постепенно эти природные продукты стали заменять синтетическими полимерными и при этом в ряде случаев повышалось качество лакокрасочных материалов. Так, глифталевая (полимерная) олифа по долговечности не уступает классическим олифам из растительных масел; лаки, изготовляемые с применением полимеров — синтетических смол и производных целлюлозы, тоже отличаются высокой стойкостью. Если отнести стоимости полимерных красок и лаков к продолжительности эксплуатации окрашенных конструкций, то полимерные составы в большинстве случаев оказываются дешевле лакокрасочных покрытий из натурального сырья. Таким образом, лакокрасочные составы, изготовляемые с преимущественным применением полимеров, относятся к эффективным материалам, требующим дальнейшего развития производства.

Лакокрасочные материалы можно разделить на краски, лаки и вспомогательные материалы. Краски предназначены для создания непрозрачного цветного декоративного и защитного покрытия, а лаки — для прозрачного покрытия и окончательной декоративной отделки окрашиваемой поверхности; они не изменяют также текстуры окрашиваемого материала. Вспомогательные материалы (шпаклевки, грунтовки, замазки) применяют для подготовки поверхности под окраску и для доведения лаков и красок до рабочей консистенции. К ним относятся эмульсионные разбавители, олифы и растворители, а также сиккативы и смывающие материалы.

Компоненты лакокрасочных составов делят на пигменты, наполнители и связующие вещества.

§ 1. Пигменты и наполнители

Пигменты и наполнители предназначены для придания малярным составам непрозрачности цвета, улучшения механических свойств и долговечности в эксплуатации.

Пигментами называют цветные тонкоизмельченные минеральные или органические вещества, не растворимые или малорастворимые в воде и органических растворителях; в качестве пигментов применяют также металлические порошки (пудры). Пигменты бывают природные и искусственные, минеральные и органические.

Каждый пигмент имеет свой цвет и обладает определенными свойствами. К числу общих свойств пигментов относят укрывистость, красящую способность, тонкость помола, светостойкость, огнестойкость, стойкость против химических воздействий, атмосферостойкость.

Укрывистость пигмента характеризуют расходом его на 1 м^2 окрашиваемой поверхности.

Красящая способность — это свойство пигмента передавать свой цвет в смеси его с белыми, черными и синими пигментами.

Тонкость помола пигмента оказывает сильное влияние как на укрывистость, так и на красящую способность. С увеличением тонкости помола возрастает укрывистость и красящая способность.

Светостойкость — способность пигмента сохранять свой цвет под действием света. Это свойство очень важное для наружных покрасок зданий и сооружений.

Стойкость против химических воздействий — способность некоторых пигментов сохранять свой цвет под действием щелочей.

Атмосферостойкость — способность пигментов сопротивляться совместному действию температуры, влаги, углекислоты и других агентов внешней среды. Сурик железный обладает хорошей атмосферостойкостью.

Огнестойкость пигментов — способность выдерживать действия высоких температур без разрушения и изменения цвета. Органические пигменты лишены огнестойкости; минеральные пигменты по-разному реагируют на изменение температуры.

Антикоррозионная способность — способность в сочетании со связующими защищать металлы от коррозии. Например, железный сурик и свинцовые белила обладают антикоррозионными свойствами, а сажа, наоборот, способствует развитию коррозии.

Пигменты минеральные природные получают путем обогащения и измельчения на специальных установках природных материалов (руды, глины). Их используют для приготовления

известковых и клеевых красок, шпаклевок и цветных строительных растворов. К этой группе пигментов относят: мел природный молотый белого цвета — применяют в клеевых красках, выравнивающих составах и мастиках; охру сухую желтого цвета (глина с содержанием более 15% окиси железа) — применяют в клеевых и известковых красках и цветных растворах; сурик железный (Fe_2O_3, FeO) коричнево-красного цвета, обладающий высокой свето- и антикоррозионной стойкостью — применяют в клеевых и известковых красках и цветных растворах; мумию естественную сухую (бокситную, светлую и темную), имеющую светло-коричнево-красный цвет — применяют в клеевых красках и цветных растворах; графит серый, глауконит зеленый и перекись марганца черного цвета — применяют в клеевых и известковых красках и цветных растворах.

Пигменты искусственные минеральные получают путем химической переработки минерального сырья. Такими пигментами является: двуокись титана (TiO_2) белого цвета, получаемая из титановых руд — применяют в клеевых красках;

белила цинковые, получаемые возгонкой металлического цинка с последующим окислением пород цинка; они обладают хорошей укрывистостью, светостойкостью, не ядовиты — применяют для изготовления масляных, эмалевых и других красок;

свинцовые белила ($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$), получаемые пропусканием углекислого газа через раствор основного углекислого свинца; они обладают хорошей укрывистостью, свето- и щелочестойкостью, в порошке ядовиты; производят в ограниченных количествах — применяют для окраски металлических поверхностей;

литопон белого цвета, представляющий собой смесь сернистого цинка и сернокислого бария; он недостаточно устойчив против действия атмосферы; применяют преимущественно для внутренних работ;

крон цинковый малярный сухой светло-желтого (лимонного) цвета, представляющий собой двойное соединение окиси хромитов цинка с хромово-кислым калием или натрием, содержит небольшое количество основных сернокислых или хлористых солей цинка; применяют в масляных, клеевых и грунтовых красках по металлу;

сурик свинцовый красного цвета получают прокаливанием свинцового глета при температуре 450° С; обладает стойкостью к действию щелочей, но растворяется в кислотах, хорошо защищает сталь от коррозии; применяют в масляных красках, антикоррозионных грунтовках по металлу и дереву;

ультрамарин синего цвета, обладающий средней свето- и щелочестойкостью; применяют в масляных красочных составах, в цветных растворах и известковых красках;

масляная лазурь интенсивно-синего цвета отличается низкой щелочестойкостью, применяют в клеевых и масляных красках;

окись хрома (Cr_2O_3) зеленого цвета обладает стойкостью к действию кислот, щелочей, света и высоких температур; получают нагреванием измельченной смеси $K_2Cr_2O_7$ с каким-либо восстановителем (порошком древесного угля, серы); применяют во многих красках;

сажа газовая — продукт сжигания газов (ацетилена), является наиболее легким пигментом, имеет высокую кроющую и красящую способность, устойчива к действию кислот и щелочей; применяют во всех красках.

Наряду с минеральными искусственными пигментами применяют *металлические порошки:*

алюминиевую пудру — тонкий порошок металлического алюминия — для наружной окраски металлических конструкций и для декоративной окраски;

пудру золотистую — бронзовый порошок — для декоративной окраски по металлу.

Металлические порошки применяют обычно на лаках.

Органические пигменты представляют собой синтетические красящие вещества органического происхождения, они обладают высокой красящей способностью и чистотой цвета. Органические пигменты не растворимы или малорастворимы в воде и других растворителях.

К числу органических пигментов, применяемых в клеевых красках, можно отнести следующие:

пигмент желтый светопрочный лимонного цвета;

пигмент оранжевый прочный, красный, алый, лак рубиновый, пигмент голубой фталоцианитовый, светло-синего цвета;

пигмент зеленый фталоцианитовый и др.

Органические пигменты применяют для придания тона красочным композициям на различных связках. Однако щелочестойкость их сравнительно низкая, несколько ниже оказывается и светостойкость.

Наполнителями называют нерастворимые минеральные вещества, в большинстве случаев имеющие белый цвет и добавляемые в лакокрасочные материалы для экономии пигментов и для придания этим материалам особых свойств, например повышенной прочности, кислотостойкости, огнестойкости и т. д. В качестве наполнителей для приготовления растворов и выравнивающих составов применяют каолин, молотый тальк, песок, пылевидный кварц, андезит, диабаз, асбестовую пыль, волокно и другие материалы.

§ 2. Связующие вещества

По виду связующего вещества красочные составы бывают масляные, клеевые, известковые и полимерные краски. Роль связующего вещества в масляных красках выполняют олифы. Связующие вещества предназначены для создания основы и пленкообразования лакокрасочных покрытий. В клеевых кра-

ских связующими служат животные, растительные, искусственные и синтетические клеи, а в известковых или полимерных красках соответственно воздушная известь и полимер.

Олифами называют связующие, получаемые из высыхающих масел, которые после отверждения в тонких слоях образуют прочные и эластичные покровные пленки. Пленкообразующие составы, не содержащие высыхающих масел, но способные заменить их в малярных работах, называют искусственными и синтетическими олифами. Олифы применяют для разбавления красок, изготовления грунтовок, шпаклевок, для покрытия дерева, штукатурки и других поверхностей. Олифы должны высыхать в тонких слоях, не давая отлипа за 24 ч при температуре 20° С. Для ускорения высыхания в олифы вводят сиккатив.

Олифу натуральную (масляную) изготовляют двух видов: окисленную и полимеризационную. Окисленную олифу получают путем обработки льняного или конопляного масла продуванием воздуха при нагревании до 160° С с введением марганцевого или марганцево-свинцово-кобальтового сиккатива. Полимеризованную олифу получают полимеризацией льняного масла нагреванием при температуре 275° С с введением марганцево-свинцово-кобальтового сиккатива. Так как для приготовления натуральных олиф расходуются дорогие растительные масла, применение ее в строительстве для наружной и внутренней отделки металла, дерева и штукатурки ограничено.

Олифу полунатуральную изготовляют из полимеризованных, оксидированных и других уплотненных масел, обработанных при температуре 150—300° С в присутствии сиккатива и растворенных в летучих растворителях (уайт-спирите, скипидаре, бензоле и др.). К полунатуральным олифам относят олифу оксоль и оксоль-смесь. Олифа оксоль представляет собой заменитель натуральной олифы, изготовленный уплотнением льняного масла продуванием воздуха в присутствии сиккатива с последующим добавлением растворителя (уайт-спирита или сольвент-нафты). Олифу оксоль применяют для разведения густотертых красок для внутренних и наружных работ. Олифа оксоль-смесь представляет собой заменитель натуральной олифы, изготовленный уплотнением смеси льняного или конопляного масла (или их смеси) с подсолнечным маслом путем продувания воздухом в присутствии сиккативов и с последующим добавлением растворителя (уайт-спирита, сольвент-нафты). Олифу оксоль-смесь используют для разведения густотертых красок, идущих для внутренних отделочных работ.

Олифы синтетические в отличие от натуральных или полунатуральных не содержат растительных масел или содержат их не более 35%. Из множества искусственных олиф широко применяют глифталевую, сланцевую, синтоловую, а также этиноль (лак) и кумароно-инденовую олифы. Глифталевую олифу получают при взаимодействии растительных масел, глицерина и фталевого ангидрата с добавлением сиккатива, с последующим

разбавлением специальным бензином (растворителем для лакокрасочной промышленности) до малярной консистенции. Глифталевую олифу применяют для изготовления высококачественных красочных составов для наружной и внутренней отделки металла, дерева и штукатурки. Сланцевая олифа представляет собой раствор дизельного и генераторного сланцевого масла в органических растворителях; применяют ее для изготовления красочных составов для внутренней отделки. Синтоловая олифа — продукт окисления керосина воздухом при повышенной температуре; применяют ее для изготовления красок и шпаклевок в неответственных работах. Этиноль (лак) — отходы производства хлорафенового каучука; применяют его для антикоррозионных грунтовок и красок. Кумароно-инденовая олифа представляет собой раствор кумароно-инденовой смолы в органических растворителях; применяют ее только для изготовления шпаклевок и грунтовок для внутренних работ.

Клеи применяют в качестве связующего вещества водоклеевых красочных составов, для клеевых грунтовок и шпаклевок, а также в качестве стабилизатора при изготовлении красочных водных эмульсий. Различают клеи животные, растительные, искусственные и полимерные.

Животные клеи применяют следующих видов: мездровый, костный и казеиновый. Мездровый клей получают путем варки в воде мездры, спилковой обрези, обрезков пергаментных кож, головок, лапок и обрезков сырых шкур и прочих видов клейдающих отходов с последующим сгущением полученного раствора и высушиванием. Клей мездровый бывает в плитках, дробленый и в чешуйках. Костный клей получают из обезжиренных и отполированных костей животных, состоящих главным образом из глюнита, продуктов его распада и воды. Костный клей вырабатывают четырех видов: твердый плиточный, крупнодробленый, мелкодробленый и галлерит (клеевой студень). Казеиновый клей в порошке представляет собой смесь казеина, гашеной извести, минеральных солей (фтористого натрия, соды, медного купороса и др.) и керосина.

Клеи мездровый и костный, применяемые для красочных составов, должны отвечать следующим требованиям: будучи помещенными в воду в твердом состоянии на 24 ч, они должны набухать, не иметь налетов плесени и гнилостного запаха, а для получения нормальной красочной пленки на 1 кг сухого мела не должно расходоваться более 38 г твердого клея.

Клей казеиновый не должен содержать посторонних примесей, следов плесени и гнилостного запаха, а при размешивании 1 ч. его с 1,1 ч. воды в течение 1 ч при температуре 12+2° С должен давать однородный раствор без комков. Для получения нормальной красочной пленки на 1 кг сухого мела не должно расходоваться более 45 г клея.

Для приготовления казеиновых красок используют только щелочестойкие пигменты.

Клеи растительные производят двух видов: декстрин и мучную пыль (отходы мукомольного производства). При смешивании 45 г сухого крахмала или декстрина с 1 кг сухого мела должен образоваться однородный раствор нормальной клеевой пленки. Растительные клеи применяют в качестве связующего для клеевых грунтовок, шпаклевок и красочных составов и для наклейки обоев.

Клей искусственный представляет собой раствор искусственных смол в воде, он бывает в виде смеси карбоксилметилцеллюлозы и метилцеллюлозы. Карбоксилметилцеллюлоза представляет собой продукт химической переработки древесной целлюлозы желтоватого цвета, мало подверженной гниению, способна набухать и растворяться в воде. Карбоксилметилцеллюлозу используют в клеевых и масляных красках. Краску на карбоксилметилцеллюлозе готовят по той же технологии, что и на животном клее; на 1 кг крошки расходуется 30—50 г клея. Метилцеллюлоза обладает большой стойкостью к действию кислот и щелочей, чем и отличается от карбоксилметилцеллюлозы.

Клей полимерный представляет собой полимерные синтетические вещества, обладающие высокой клеящей способностью. Для его получения используют поливинилацетатную смолу. Полученное связующее применяют в виде эмульсий для приклеивания пленочных материалов и моющихся обоев, водных или спиртовых растворов поливинилацетата.

Разбавители предназначены для разбавления густотертых или разведения сухих минеральных красок. В отличие от растворителей разбавители содержат пленкообразователь в количестве, необходимом для получения качественного лакокрасочного покрытия.

Разбавители эмульсионные представляют собой эмульсии системы «вода в масле». Эмульсионные разбавители применяют для получения грунтовок и разбавления густотертых масляных красок. Их использование позволяет более экономично расходовать слабополимеризованные высыхающие масла и синтетические смолы.

Эмульсионные разбавители применяют для разжижения цинковых и литопонных белил, некоторых цветных густотертых красок, а также сурика железного, мумии и охры. Количество разбавителя для различных красок не должно быть более 22—40%; если при этом не получилось малярной консистенции красочного состава, то в краску добавляют растворитель.

Эмульсионные разбавители дают невысокое качество покрытий, поэтому их применение ограничено.

Растворители представляют собой жидкости, используемые для доведения малярных составов до рабочей консистенции. В зависимости от назначения растворители делят на три вида: для масляных лаков и красок; для глифталевых, пентафталевых и битумных лаков и красок; для нитроцеллюлозных, эпоксидных и перхлорвиниловых лаков и красок. Растворителем для

клеевых водоэмульсионных красок является вода. В качестве растворителей применяют скипидар, сольвент каменноугольный, уайт-спирит и другие растворители.

Сиккативы. В строительстве наиболее широко применяют свинцово-марганцевые сиккативы, представляющие собой раствор свинцово-марганцевых солей нафтеновых кислот или смеси нафтеновых кислот с кислотами высыхающих или полувысыхающих масел в уайт-спирите или скипидаре. Сиккативы применяют для ускорения сушки (отверждения) масляных и синтетических лаков и красок; в краски их вводят до 5—8%, а в лаки — до 10%.

§ 3. Красочные составы

Красочные составы делят на масляные и эмалевые краски, лаки, краски водоразбавленные и летучесмоляные.

Масляные краски представляют собой смесь пигментов и наполнителей, перетертых в краскотерках с олифой из растительных масел. Масляные краски выпускают в виде густотертых красок, которые перед употреблением необходимо разводить олифой до малярной консистенции, и красок, готовых к употреблению. Густотертые красочные составы содержат олифы 12—25%, а краски, готовые к употреблению, — 30—50% от массы пигмента. Масляные краски применяют для наружной и внутренней окраски по металлу, дереву, штукатурке и бетону. Качество масляных красок оценивают по содержанию пигмента и олифы, для чего олифы экстрагируют. Полное высыхание масляных красок при температуре 18—23°С должно быть не более чем за 24 ч, время высыхания черной масляной краски составляет около 30 ч.

В строительстве применяют следующие основные виды масляных красок:

для наружной окраски используют белила цинковые и иногда свинцовые; зелень свинцовую и цинковую; краску черную; земляные густотертые краски (мумия, охра), сурик железный и др.;

для внутренней окраски используют белила цинковые, свинцовые и литопонные; зелень цинковую густотертую; киноварь искусственную светло- и темно-красную; сурик железный и другие цветные масляные краски.

Краски масляные на олифах из растительных масел следует применять по просохшей штукатурке и отвердевшему бетону.

Эмалевые краски представляют собой суспензии минеральных или органических пигментов с синтетическими или масляными лаками. Наиболее употребительными эмалевыми красками являются алкидные, эпоксидные и мочевино-формальдегидные. Эмалевые краски имеют хорошую светоустойчивость, антикоррозионность, быстро высыхают. Эмалевые краски применяют для окраски по металлу, дереву, бетону и штукатурке внутренних и наружных поверхностей.

Алкидные краски представляют собой суспензии тонкодисперсных пигментов в глифталевом, пентафталевом и других алкидных лаках с добавлением растворителей и сиккатива. К алкидным краскам относят глифталевые эмали общего потребления марки ФО, обладающие пониженной водостойкостью, и марки ФСХ с повышенной водостойкостью, но неустойчивые к действию щелочей, и пентафталевые эмали различных марок, обладающие большей долговечностью и водостойкостью, чем глифталевые. В группу алкидных красок входят также алкидностирольные эмали, обладающие повышенной химической стойкостью и водостойкостью, высокой твердостью и блеском.

Эмалевые эпоксидные краски представляют собой суспензию пигментов в растворах эпоксидной смолы. Они обладают повышенной химической стойкостью и водостойкостью, применяют их в качестве антикоррозионных покрытий по металлу и дереву. Суспензия пигмента в мочевино-формальдегидных смолах образует карбамидные эмалевые краски, обладающие повышенной водостойкостью; применяют их для покрытия встроенного оборудования.

Лаки представляют собой растворы смол в летучих растворителях. Последний при лакировании поверхности изделий улетучивается, а смола в виде тонкой пленки остается, придавая поверхности блеск и твердость.

Лаки делят на пять групп.

Масляно-смоляные лаки — растворы в органических натуральных растворителях — алкидных или синтетических смолах, модифицированных высыхающими маслами. Применяют их для внутренних и наружных покрытий по дереву и по масляным краскам светлых тонов, для разведения эмалей и лаков, получения стойких антикоррозионных покрытий и приготовления шпаклевок и грунтовок.

Безмасляные синтетические лаки — растворы синтетических смол в органических растворителях. Широкое применение в строительстве получили лаки на основе мочевино-формальдегидных смол, используемые для покрытия паркетных и дощатых полов, а также полов из древесностружечных плит. Перхлорвиниловые лаки марок ХСЛ, СНИЛХ-3, иденхлорида и перхлорвинила применяют для лакировки масляных покрытий с целью улучшения их антикоррозионных свойств.

Лаки на основе битумов и асфальтов — растворы битумов, асфальтов и растительных масел в органических растворителях (бензине или бензоле). Битумные лаки имеют обычно черный или коричневый цвета, обладают стойкостью против действия кислот и щелочей. Битумные и асфальтовые лаки применяют для антикоррозионных паро- и гидроизоляционных покрытий, отделки печей, окраски газовых плит и других поверхностей.

Спиртовые лаки и политуры — растворы природных и некусственных смол в спирте. Изготовляют их различных цветов (желтый, зеленый, голубой, коричневый и др.) и применяют для

полировки деревянных поверхностей и покрытия изделий из стекла и металла.

Нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные лаки — растворы эфироцеллюлозных смол в органических растворителях. Для повышения качества лака в последний добавляют пластификаторы — натуральные, искусственные или синтетические смолы. Нитроцеллюлозный лак бывает желтого и коричневого цвета; применяют его для лакировки изделий из дерева и мебели. Этилцеллюлозный лак бесцветен; используют его для лакировки окрашенных и неокрашенных изделий из дерева.

Водоразбавляемые и летучесмоляные красочные составы бывают на минеральной основе, полимерцементные, эмульсионные (латексные) и краски и эмали летучесмоляные.

Красочные составы на минеральной основе представляют собой смесь щелоче- и светостойких пигментов и неорганического связующего вещества с различными добавками, разбавленную водой до состояния малярной консистенции.

По виду связующего вещества краски на минеральной основе бывают известковые, силикатные и цементные.

Известковые краски состоят из извести, пигмента, хлористого натрия или хлористого кальция, а также стирата кальция или кальциевых солей, кислот, льняного масла. Известковые краски применяют для окраски фасадов и внутренних помещений по кирпичным, бетонным и оштукатуренным поверхностям.

Силикатные краски изготовляют из смеси тонкоизмельченного мела, талька, цинковых белил и щелочеустойчивого пигмента с последующим затворением растворов натриевого или калиевого растворимого стекла. Силикатные краски заводского производства изготовляют в двухтарной упаковке двух видов — для фасадной и внутренней отделки. Фасадные краски, состоящие из пигмента, наполнителей и калийного жидкого стекла, применяют для окраски фасадов, а также для окраски внутренних помещений с нормальной и повышенной влажностью; краски для внутренних отделок, состоящие из пигментов и наполнителей, применяют для окраски внутренних помещений по бетону, штукатурке и волокнистым плитам, не содержащим смолы.

Силикатные краски значительно экономичнее и долговечнее перхлорвиниловых, известковых и казеиновых.

Для защиты металла от коррозии в атмосферных условиях, влажной среде, в умеренных солевых растворах, для отделки закладных деталей в крупнопанельном домостроении применяют протекторные силикатные краски. Они представляют собой суспензию цинковой пыли и пигментов в силикатно-силиконовом сополимере. Их наносят на поверхность электрокраскопультом, валиками или кистями.

Цементные краски заводского изготовления при употреблении смешивают с водой. Применяют их для наружной и внут-

решней окраски помещений с повышенной влажностью, а также при окраске ячеистого бетона и рельефной отделки.

Полимерцементные краски изготовляют на основе цемента, щелоче- и светостойких пигментов с добавками синтетических смол. Полимерцементные краски производят различных цветов для летних и зимних работ. Краски полимерцементные для летних работ выпускают в двухтарной упаковке, при употреблении смешивают с водной дисперсией полимера; применяют для наружной и внутренней отделки зданий, а также для окраски панелей различной поверхности. Краски полимерцементные заводского изготовления для зимних работ применяют для наружной отделки фасадов и строительных конструкций.

Эмульсионные (латексные) краски представляют собой пигментированные эмульсии или дисперсии полимера в воде. Из эмульсионных красок в строительстве применяют:

водоэмульсионные акриловые краски марки АК-111, представляющие суспензию пигментов и наполнителей в акриловом латексе марки МБМ-5с, в качестве основного кроющего пигмента в акрилатные эмульсионные краски входит двуокись титана. Эти краски могут быть различными по цвету и тону: не токсичны, пожаро- и взрывобезопасны, отличаются высокой свето- и атмосферостойкостью, могут применяться в помещениях с высокой солнечной радиацией. Покрытие имеет приятный внешний вид, хорошо очищается, обладает длительным сроком службы; применяют для наружных и внутренних работ по окраске штукатурки, бетона, кирпича, дерева и других пористых материалов, а также по предварительно загрунтованным металлическим поверхностям;

поливинилацетатную — водную эмульсию поливинилацетата с пигментом, пластифицированную дибутилфталатом; производят ее заводским способом и поставляют в пастообразном состоянии, а до малярной консистенции разводят водой; применяют краску для внутренней и наружной окраски бетона, штукатурки и дерева, а также листовых материалов — линкруста и картона;

стиролбутадиеновую краску, состоящую из суспензии (пигмента в латексе СКС-65) с добавкой эмульгатора и загустителя, изготовляют на заводе в виде паст и до малярной консистенции доводят водой; применяют для внутренней и наружной окраски по различным поверхностям;

эмульсионную краску СТЭМ-45 производят на заводе в виде паст и разбавляют до малярной консистенции водой; применяют ее для внутренней окраски штукатурки, бетона, дерева и кирпича по старой масляной краске;

краску эмульсионную марки СЭМ, представляющую собой суспензию из пигментов и эмульсии, состоящую из глифталевого лака, воды и эмульгаторов с добавлением сиккатива и растворителя, производят разного цвета и перед употреблением эмали разбавляют уайт-спиритом, скипидаром или тяжелым растворителем, получаемым при пиролизе нефти; применяют для внутренней отделки помещений, окраски металлических поверхностей, дерева и штукатурки;

водоразбавляемые глифталевые, эмульсионные краски типа ЭМА и эмульсионные акрилатные краски производят белого, желтого, оранжевого и других цветов; перед употреблением разбавляют водой. Краски стойки в условиях повышенной влажности, применяют их для наружных и внутренних работ по кирпичу, камню, бетону и штукатурке.

Летучесмоляные краски представляют собой суспензию пигментов в лаках (летучесмоляных составах). Высыхание таких покрытий происходит в результате улетучивания растворителя. При большом количестве связующего в красках покрытия получаются с блеском и имеют хороший розлив. Эти краски называют эмалями. Широкого применения в строительстве они еще не получили; наиболее распространены из них перхлорвиниловые и винилиденхлоридные летучесмоляные эмали.

Перхлорвиниловые эмали представляют собой раствор сухой перхлорвиниловой смолы в смеси с летучими органическими растворителями с добавками пигментов, пластификаторов и других смол, например алкидной. Они отличаются повышенной водо- и химической стойкостью, поэтому их применяют для защиты различных строительных конструкций и деталей от воздействия химических агрессивных сред. Производят их различных марок и цветов, доводят до малярной консистенции каменноугольным сольвентом или специальными растворителями, высыхают они при 18—23° С в течение 2—4 ч.

Винилиденхлоридные эмали и краски выпускают различных цветов. Они отличаются повышенной маслостойкостью, применяют их для тех же целей, что и перхлорвиниловые.

Эмали эфироцеллюлозные, используемые в строительстве, делят на нитроглифталевые, нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные. Нитроглифталевые эмали представляют собой раствор нитроцеллюлозы и глифталевой смолы в органических растворителях с добавкой пластификаторов и пигментов, а нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные эмали — суспензию пигментов в нитро- или этилцеллюлозном лаках, они обладают повышенной токсичностью, огнестойкостью и водостойкостью. Применяют их для окраски металлических и деревянных конструкций внутри помещений. Этилцеллюлозные эмали менее огнеопасны нитроглифталевых и нитроцеллюлозных, готовят их на менее токсичном растворителе. Применяют для заводской окраски кухонной мебели и встроенного оборудования.

§ 4. Вспомогательные материалы

В качестве вспомогательных материалов при окрасочных работах применяют шпаклевки, замазки, грунтовки, а также растворители, разбавители и сиккативы, рассмотренные ранее.

Шпаклевками называют отделочные составы, применяемые для выравнивания поверхностей, подлежащих окраске. Шпаклевки бывают различных составов в зависимости от вида применяемой краски. Под водоразбавляемые краски применяют купоросную или квасцовую, клеевую и поливинилацетатную шпаклевки.

Купоросная, или квасцовая шпаклевка, состоит из олифы оксоль, животного клея, масла, хозяйственного мыла, медного или цинкового купороса и воды. Купоросную шпаклевку применяют под клеевую или силикатную окраску, она наносится кистью или распылителем.

Клеевая шпаклевка представляет собой 15%-ный водный раствор животного клея и 75% мела; наносится она шпателем.

Шпаклевки перхлорвиниловые и полистирольные представляют собой пастообразные массы, наносимые на поверхность из дерева, бетона, штукатурки и металла, предназначаемую под окраску. Перхлорвиниловые шпаклевки водостойки, быстро сохнут (не больше 2 ч); некоторые марки из них пригодны для работы при температуре ниже 0° С. Полистирольные шпаклевки применяют для тех же целей, что и перхлорвиниловые, однако они менее долговечны.

Замазки представляют собой пастообразные составы, применяемые для промазывания оконных переплетов при остеклении, фальцевых соединений и гребней кровли из листовой стали. Для оконных переплетов используют меловую, свинцово-суричную, белильную и нафтеновую замазки, состоящие из олифы натуральной, мела молотого, сурика или белил свинцовых. При устройстве кровли из листовой стали применяют специальную кровельную замазку, состоящую из натуральной олифы, мела и сурика железного, или замазку на кузбасском лаке — из кузбасслака, железного сурика и мела молотого.

Замазки обладают хорошей водостойкостью и пластичностью.

В последнее время в строительстве находит все большее применение теплопроводная кислотощелочестойкая самозатвердевающая замазка «Арзамит универсальный». Ее применяют как антикоррозионный теплопроводный футеровочный материал в качестве связующего компонента при футеровке химического оборудования, устройстве химически стойких полов, штукатурке строительных конструкций как металлических, так и железобетонных. Замазку выпускают в виде двух компонентов — раствора и порошка, которые смешиваются перед употреблением. Она обладает хорошей стойкостью к действию кислот, щелочей, растворам их кислот, к переменным средам, к действию органических веществ.

Грунтовки представляют собой красочные составы, состоящие из пигментов или красителей, наполнителей и связующих. Производят их двух видов: грунтовки под водоразбавляемые краски и грунтовки под масляные и синтетические краски. Под

водоразбавляемые краски применяют купоросную грунтовку, мыловар, мыльно-клеевую, известковую с квасцами и др.; их применяют под известковую или силикатную окраску. Грунтовки под масляную окраску обычно разбавляют олифой или растворителем.

В отделочных работах грунтовки используют для уменьшения пористости окрашиваемой поверхности, для сокращения расхода дорогих красочных составов и улучшения внешнего вида получаемого покрытия, для усиления защиты металлических поверхностей от коррозии, для предварительной окраски деревянных и других поверхностей, предназначенных под лакировку, а также для усиления сцепления красочного слоя с основанием.

§ 5. Обои бумажные

Обоями называют рулонный бумажный материал с отпечатанным на лицевой поверхности цветным рисунком. Применяют для декоративной отделки стен помещений. По назначению и эксплуатационным признакам различают бумажные обои обыкновенные, моющиеся (влажностные) и звукопоглощающие (ворсовые).

Рисунки и цвета обоев весьма различны: негрунтованные обои — рисунок нанесен на негрунтованную бумагу; лепковые — краски нанесены на бумагу одновременно с рисунками; грунтованные — рисунок нанесен на грунтованную и окрашенную бумагу; гобелены и ковры — рисунок нанесен на грунтованную и окрашенную бумагу и имитирует ковер или гобелен; фоновые — поверхность имеет однотонную матовую окраску; тисненые — окраска нанесена с одновременным тиснением рисунка; бесшовные — имеют любую фактуру.

В зависимости от характера обработки, рисунка, цвета, размеров обои делят на основное полотно, бордюр к нему или фризы. Путем комбинаций в подборе рисунков, цветов и видов обойных материалов могут быть получены разнообразные композиции при оклейке стен. Для особой отделки стен имеются обои лакированные, а также представляющие собой срезы шпона ценных древесных пород, наклеенных на полотно или бумагу. После оклейки стен такими обоями поверхность шпона полируют, получая вид стены, оклеенной древесным шпоном. Разновидностью обоев является лишкруст. От линолеума он отличается бумажной основой, а от обоев — наличием покровной тонкой полимерной пленки с выделенным на ней рисунком. Эти обои моются, легко окрашиваются масляной краской.

Бумажные обои выпускают длиной до 12 м, шириной 500, 600 и 700 мм, иногда длина рулонов бывает 30 и 50 м. Бордюры выпускают шириной 15—100 мм и длиной до 25 м. Основа обоев должна быть прочной, иметь гладкую и однородную поверхность без пятен, грунт — ровным, покрасочный слой — прочным.

Обои обычно применяют для отделки жилых комнат и общественных помещений; моющиеся — для отделки коридоров, передних, гостиниц, ресторанов и т. д.; звукопоглощающие — для отделки помещений с повышенными звукоизоляционными требованиями (машинописное бюро, радио- и телестудии и т. п.).

§ 6. Технико-экономическая эффективность применения лакокрасочных материалов

Отделочные работы являются завершающим этапом строительства и во многом определяют себестоимость, сроки и ритмичность сдачи в эксплуатацию зданий и сооружений.

В зависимости от объемов и организации производства отделочных работ, от степени заводской готовности отделываемых поверхностей малярно-строительные работы составляют до 30% от стоимости надземной части зданий, 13—30% трудоемкости всех строительно-монтажных работ и примерно $^1/_3$ срока возведения. Однако с внедрением индустриального домостроения существенно изменяется объем и характер отделочных работ, все бóльшая часть их со строительной площадки переносится на заводы по изготовлению конструкций, изменяются фасадные отделочные работы, и на строительной площадке они сведены до минимума. Панели наружных стен поступают с завода либо офактуренные декоративным бетоном, либо облицованные керамическими плитками и только в исключительных случаях — с гладкой бетонной поверхностью, требующей окраски на строительной площадке. Значительно сокращает сроки и трудоемкость отделочных работ перенесение в заводские условия операций по подготовке и окраске поверхности столярных изделий (оконных переплетов и дверных полотен). Перенесение работ по заполнению и частичной отделке оконных проемов на заводы дает снижение трудоемкости внутренних отделочных работ на строительной площадке около 5% при общем сокращении трудовых затрат примерно на 3,5%. Дальнейшее повышение степени заводской готовности конструкций и перенесение отделочных работ на завод является одним из основных путей снижения их стоимости и повышения качества.

В организации отделочных работ на строительной площадке имеется значительный прогресс. При малярных работах широко практикуется отделка поточным и поточно-конвейерным методами, организована централизованная заготовка малярных составов, производство работ ведется комплексными бригадами и специализированными звеньями с применением ручного механизированного инструмента. В массовом строительстве отделка помещений распределяется следующим образом: около 30—45% отделываемых поверхностей производится клеевыми красками, около 42—59% — масляными красками и до 25% — бумажными обоями; на фасадах применяют известковые окраски.

За последние годы все шире начинает внедряться окраска фасадов перхлорвиниловыми красочными составами. Такая окраска требует несколько бóльших по сравнению с известковой единовременных затрат, но более экономична в силу значительного срока службы. В перспективе и этот вид отделки будет вытесняться более долговечными и экономичными заводскими фактурами деталей в полносборном строительстве, а также лицевой кладкой при возведении кирпичных зданий.

В отечественной практике наряду с клеевыми и масляными красками все шире применяют синтетические краски водоразбавляемые, эмульсионные (латексные), эмалевые на различных смолах и др. Синтетические лаки и краски позволяют повысить долговечность отделки зданий в 1,5—2 раза, снизить затраты труда на отделочные работы и повысить защитные и декоративные свойства строительных конструкций.

В строительной практике используют до 40 разновидностей лакокрасочных покрытий. Но не все виды отделки равноценны при эксплуатации зданий, различны и их технико-экономические показатели.

Лакокрасочные покрытия должны создаваться в строгом соответствии с функциональными требованиями к отделке, практически необходимыми сроками службы. Удешевление отделки не должно происходить за счет сокращения срока службы, так же как и удорожание не оправдано без продления межремонтного периода.

Окраску столярных изделий осуществляют более современным методом электростатического окрашивания.

В результате внедрения прогрессивных решений отделки значительно улучшаются эксплуатационные качества строящихся зданий и технико-экономические показатели по строительству их в целом.

ЛИТЕРАТУРА

Аваков А. И. Назначение состава бетонов и растворов. М., Госстройиздат, 1955.

Антонов Н. Г. Автоматизированный растворно-бетонный узел. М., Мосоргстрой, 1970.

Баженов Ю. М. Бетон при динамическом нагружении. М., Стройиздат, 1970.

Боженов П. И. Высокопрочный гипс. Л., Лениздат, 1957.

Будников П. П. [и др.]. Технология керамики и огнеупоров. М., Госстройиздат, 1955.

Будников П. П. Химия и технология силикатов. Киев, «Наукова думка», 1964.

Бурлаков Г. С., Комар А. Г. Технология изделий из легкого бетона. М., Изд-во «Высшая школа», 1966.

Бурлаков Г. С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей. М., «Высшая школа», 1972.

Буров Ю. С. Технология строительных материалов и изделий. М., «Высшая школа», 1972.

Бутт Ю. М., Окороков С. Д. [и др.]. Технология вяжущих веществ. М., «Высшая школа», 1965.

Бужевич Г. А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М., Стройиздат, 1970.

Волженский А. В. [и др.]. Гипсовые вяжущие изделия. М., Стройиздат, 1974.

Воробьев В. А. Строительные материалы. М., «Высшая школа», 1972.

Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., Стройиздат, 1971.

Воробьев В. А. Технология строительных материалов и изделий на основе пластмасс. М., «Высшая школа», 1974.

Гершберг О. А. Технология бетонных и железобетонных изделий. М., Стройиздат, 1971.

Горчаков Г. И. [и др.]. Повышение морозостойкости бетона. М., Стройиздат, 1966.

Горбушин П. Б., Рекитар Я. А. Экономика промышленности строительных конструкций и материалов. М., Стройиздат, 1969.

Горяйнов К. Э. [и др.]. Проектирование заводов железобетонных изделий. М., «Высшая школа», 1970.

Горяйнов К. Э. [и др.]. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. М., Стройиздат, 1966.

Десов А. Е. Вибрированный бетон. М., Госстройиздат, 1956.

Дьяченко П. Я., Миротворский С. А. Заводское изготовление сборного железобетона. М., Госстройиздат, 1960.

Железобетонные конструкции. Под общей ред. Карташева К. П. и Макаричева В. В. М., Стройиздат, 1962.

Жуков А. В. [и др.]. Производство крупных стеновых конструкций из керамики. Киев, «Будівельник», 1965.

Журавлев В. Ф. Химия вяжущих веществ. М., Госхимиздат, 1956.

Карасев К. И. Синтетические лаки и краски, применяемые в строительстве. М., Госстройиздат, 1962.

Кашкаев И. С. Состояние производства пустотелой керамики и кирпича, применение их в крупноразмерных конструкциях в СССР и зарубежных странах (обзор). ЦНИИТЭСтрой, М., 1965.

Колокольников В. С. Производство цемента. М., «Высшая школа», 1967.

Комар А. Г., Глыбин В. С. Технология дорожного цементобетона. М., Автотрансиздат, 1963.

Комар А. Г. Строительные материалы. М., «Высшая школа», 1971.

Кошкин В. Г. [и др.]. Поливинилхлоридный линолеум на тепло- и звукоизоляционной войлочной основе. М., Стройиздат, 1964.

Книгина Г. И. Строительные материалы из горелых пород. М., Стройиздат, 1966.

Кравченко И. В. [и др.]. Высокопрочные особо быстротвердеющие портландцементы. М., Стройиздат, 1971.

Кривицкий М. Я. [и др.]. Ячеистые бетоны. М., Стройиздат, 1972.

Купашкевич В. И. Силикатные плиты для облицовки фасадов. М., Госстройиздат, 1960.

Ларионова З. М., Виноградов Б. Н. Петрография цементов и бетонов. М., Стройиздат, 1974.

Ли Ф. М. Химия цемента и бетона. М., Госстройиздат, 1961.

Люсов А. Н. Цементная промышленность СССР. М., Стройиздат, 1974.

Лысихина А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. М., Автотрансиздат, 1962.

Москвин В. М. Коррозия бетона. М., Госстройиздат, 1952.

Мострюков А. В. Строительные конструкции из алюминиевых сплавов. М., Госстройиздат, 1962.

Миронов С. А., Малинина Л. А. Ускорение твердения бетона. М., Стройиздат, 1964.

Михайлов К. В. Проволочная арматура для предварительного напряжения железобетона. М., Стройиздат, 1964.

Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов. М., Стройиздат, 1971.

Некрасов К. Д. Жаростойкие бетоны. М., Стройиздат, 1974.

Новгородский М. А. Контроль прочности бетона в конструкциях без разрушения. Киев, Госстройиздат УССР, 1963.

Полухин П. И. [и др.]. Технология металлов. М., Госстройиздат, 1960.

Ратиков В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М., Стройиздат, 1973.

Рекитар Я. А. Экономика производства и применения строительных материалов. М., «Высшая школа», 1972.

Рекитар Я. А. Определение капитальных вложений на примере промышленности строительных материалов и конструкций. М., Стройиздат, 1966.

Рояк С. М., Рояк Г. С. Специальные цементы. М., Стройиздат, 1969.

Роговой М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики М., Стройиздат, 1974.

Рыбьев И. А. Технология гидроизоляционных материалов. М., «Высшая школа», 1964.

Соколов П. Н. Производство асбестоцементных листовых изделий и труб. М., «Высшая школа», 1965.

Стефанов Б. В. Технология бетонных и железобетонных изделий. Киев, «Вища школа», 1972.

Сорокер В. И., Довжик В. Г. Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона. М., Стройиздат, 1964.

Спивак П. Я. Крупнопанельные ограждающие конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. М., Госстройиздат, 1964.

«Транспортное материаловедение». Под общей ред. Мчедлова-Петросяна О. П. М., «Транспорт», 1972.

Технология бетонных и железобетонных изделий. Под общей ред. Сизова В. Н. М., «Высшая школа», 1972.

Технология изделий из силикатных бетонов. Под общей ред. Саталкина А. В. М., Стройиздат, 1972.

Хигерович М. И. [и др.]. Строительные материалы. М., Стройиздат, 1970.

Шестоперов С. В. Дорожно-строительные материалы. М., «Высшая школа», 1969.

Элинзон М. П. [и др.]. Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве. Под ред. Лукиенко Е. П. и Неевина Е. А. М., Стройиздат, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 4

Глава I. **Основные свойства строительных материалов** 10

§ 1. Физические свойства материалов 10
§ 2. Механические свойства материалов 19

Глава II. **Природные каменные материалы и изделия** 24

§ 1. Общие сведения и классификация горных пород . . 24
§ 2. Породообразующие минералы 27
§ 3. Изверженные горные породы 29
§ 4. Осадочные горные породы 32
§ 5. Метаморфические (видоизмененные) горные породы 35
§ 6. Разработка и обработка природных каменных материалов 35
§ 7. Материалы и изделия из природного камня 38
§ 8. Методы защиты природных каменных материалов от разрушения 46
§ 9. Экономика производства природных каменных материалов и изделий 46

Глава III. **Керамические материалы и изделия** 53

§ 1. Сырьевые материалы 53
§ 2. Классификация керамических материалов и изделий 57
§ 3. Общая технологическая схема производства керамических изделий 57
§ 4. Стеновые материалы 61
§ 5. Кирпич и камни строительные глиняные специального назначения 67
§ 6. Керамические конструкции для стен и перекрытий зданий 68
§ 7. Изделия керамические для облицовки фасадов зданий 70
§ 8. Изделия керамические для внутренней облицовки 71
§ 9. Кровельная черепица 80
§ 10. Трубы керамические канализационные и дренажные 81
§ 11. Изделия керамические кислотоупорные 83
§ 12. Изделия санитарно-технической керамики 84
§ 13. Керамзит 85
§ 14. Огнеупорные материалы 86
§ 15. Пути повышения эффективности производства и применения в строительстве керамических материалов 87

Глава IV. **Материалы и изделия из минеральных расплавов** 97

§ 1. Материалы и изделия из стеклянных расплавов . . 97
§ 2. Материалы и изделия из каменного литья 106
§ 3. Материалы и изделия из шлаковых расплавов . . 107
§ 4. Ситаллы и шлакоситаллы 111

§ 5. Экономика производства материалов и изделий из минеральных расплавов и пути снижения себестоимости продукции 113

Глава V. **Минеральные вяжущие вещества** 118

А. *Воздушные вяжущие вещества* 118
§ 1. Гипсовые вяжущие вещества 118
§ 2. Ангидритовые вяжущие вещества 123
§ 3. Технико-экономические показатели производства гипсовых вяжущих 124
§ 4. Магнезиальные вяжущие вещества 125
§ 5. Кислотоупорные цементы 126
§ 6. Строительная известь 127
§ 7. Технико-экономические показатели производства извести и пути снижения себестоимости продукции 133
Б. *Гидравлические вяжущие вещества* 135
§ 1. Гидравлическая известь 135
§ 2. Романцемент 137
§ 3. Портландцемент 137
§ 4. Разновидности портландцемента 157
§ 5. Цементы с активными минеральными добавками 159
§ 6. Шлаковые цементы 162
§ 7. Гипсоцементнопуццолановое вяжущее 165
§ 8. Глиноземистый цемент 166
§ 9. Расширяющийся цемент 168
§ 10. Пути повышения экономической эффективности и снижения себестоимости производства цемента . . 169

Глава VI. **Бетоны** 173

§ 1. Основные сведения о бетоне 173
§ 2. Классификация бетонов 173
§ 3. Материалы для тяжелого бетона 174
§ 4. Свойства бетонной смеси и бетона 184
§ 5. Проектирование состава бетона 191
§ 6. Приготовление и транспортирование бетонной смеси 195
§ 7. Укладка бетонной смеси. Уход за бетоном и контроль качества 202
§ 8. Особые свойства бетона 204
§ 9. Особенности бетонирования в зимнее время 207
§ 10. Специальные виды тяжелых бетонов 208
§ 11. Легкие бетоны, их классификация и основные свойства 213
§ 12. Материалы для приготовления легких бетонов . . . 216
§ 13. Подбор состава легких бетонов 219
§ 14. Ячеистые бетоны, их классификация и основные свойства 222
§ 15. Экономическая эффективность легких бетонов . . . 226

Глава VII. **Строительные растворы** 230

§ 1. Классификация строительных растворов 230
§ 2. Свойства строительных растворов 232
§ 3. Растворы для каменных кладок 233
§ 4. Отделочные растворы 236
§ 5. Специальные растворы 238
§ 6. Приготовление строительных растворов 240

Глава VIII. **Искусственные каменные изделия на основе минеральных вяжущих** 242

А. *Гипсовые и гипсобетонные изделия* 242
§ 1. Общие сведения и технико-экономическая оценка гипсовых и гипсобетонных изделий 242

§ 2. Гипсобетонные панели для перегородок 244
§ 3. Гипсовые плиты для перегородок 247
§ 4. Гипсовые вентиляционные блоки 248
§ 5. Гипсовые обшивочные листы 249
§ 6. Технико-экономические показатели производства гипсобетонных изделий и пути снижения их себестоимости 250
Б. *Изделия на основе извести* 257
§ 1. Силикатный кирпич 257
§ 2. Известково-шлаковый и известково-зольный кирпич 260
§ 3. Крупноразмерные изделия из силикатного бетона 261
§ 4. Силикатные плиты для облицовки фасадов 263
§ 5. Ячеистые силикатные изделия 265
§ 6. Экономическая эффективность производства и применения изделий из силикатного бетона 268
В. *Материалы и изделия на основе магнезиальных вяжущих* 271
§ 1. Фибролит 272
§ 2. Ксилолит 272
Г. *Асбестоцементные изделия* 273
§ 1. Общие сведения и классификация асбестоцементных изделий 273
§ 2. Материалы для производства асбестоцементных изделий 278
§ 3. Производство асбестоцементных изделий 280
§ 4. Цветные асбестоцементные изделия 287
§ 5. Основные свойства асбестоцементных изделий и эффективность их применения 288
§ 6. Пути снижения себестоимости и повышения качества асбестоцементных изделий 289

Глава IX. **Металлические материалы и изделия** 292

§ 1. Общие сведения о металлах и сплавах 292
§ 2. Основы технологии черных металлов 296
§ 3. Состав и сортамент сталей 302
§ 4. Термическая и химико-термическая обработка стали 305
§ 5. Производство металлических изделий и конструкций 307
§ 6. Стальная арматура для железобетона 308
§ 7. Сварка металлов 311
§ 8. Цветные металлы и их сплавы 316
§ 9. Коррозия металлов и меры защиты от нее 319
§ 10. Технико-экономическое обоснование применения металлических конструкций 320

Глава X. **Железобетонные изделия** 323

§ 1. Понятие о железобетоне 324
§ 2. Классификация железобетонных изделий и требования к ним 325
§ 3. Номенклатура и технико-экономическая оценка железобетонных изделий 327

Глава XI. **Производство железобетонных изделий** 339

§ 1. Принципиальные технологические схемы производства 339
§ 2. Способы уплотнения бетонной смеси при изготовлении изделий 340
§ 3. Армирование железобетонных изделий 345
§ 4. Формование железобетонных изделий 353
§ 5. Твердение железобетонных изделий 365
§ 6. Отделка поверхности железобетонных изделий . . 371

§ 7. Приемка и испытание железобетонных изделий . . 373
§ 8. Пути повышения эффективности производства железобетонных изделий 374

Глава XII. **Лесные материалы** 382

А. *Древесиноведение* 382
§ 1. Строение дерева 382
§ 2. Свойства древесины 386
§ 3. Пороки древесины 391
§ 4. Предохранение древесины от разрушения 394
§ 5. Предохранение древесины от возгорания 397
§ 6. Породы древесины и их применение в строительстве 397
§ 7. Хранение и сушка лесных материалов 398
Б. *Материалы, изделия и конструкции из древесины* . . . 399
§ 1. Лесоматериалы круглые (бревна) 399
§ 2. Пиломатериалы 400
§ 3. Заготовки из древесины хвойных и лиственных пород 401
§ 4. Фанера и материалы для кровель временных зданий 402
§ 5. Столярные изделия 403
§ 6. Конструкции из древесины 406
§ 7. Приемка, транспортирование и хранение 407
§ 8. Технико-экономическая эффективность применения материалов и изделий из древесины 407

Глава XIII. **Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия** 410

А. *Теплоизоляционные материалы и изделия* 410
§ 1. Структура и свойства теплоизоляционных материалов 410
§ 2. Классификация теплоизоляционных материалов и изделий 412
§ 3. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия 414
§ 4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия 424
§ 5. Технико-экономическая эффективность применения теплоизоляционных материалов и изделий 430
Б. *Акустические материалы и изделия* 432
§ 1. Понятие о звуковых волнах и шумах 432
§ 2. Звукоизоляционные материалы и изделия 433
§ 3. Звукопоглощающие материалы и изделия 435

Глава XIV. **Органические вяжущие (битумы и дегти) и материалы на их основе** 440

А. *Битумные и дегтевые вяжущие и бетоны на их основе* 440
§ 1. Определение и классификация 440
§ 2. Битумы 440
§ 3. Дегти 444
§ 4. Асфальтовые и дегтевые бетоны 446
Б. *Кровельные, гидроизоляционные и пароизоляционные материалы* 449
§ 1. Классификация 449
§ 2. Эмульсии и пасты 449
§ 3. Мастики 451
§ 4. Рулонные и листовые материалы 455
§ 5. Штучные изделия 462
§ 6. Пароизоляторы и герметизирующие материалы . . 463
§ 7. Вопросы экономики производства и применения кровельных и гидроизоляционных материалов на основе битумных и дегтевых вяжущих 464

Глава XV. **Полимеры. Материалы и изделия на их основе** 466

А. *Полимеры и пластмассы* 466
§ 1. Определение и состав пластмасс 466
§ 2. Основные свойства пластмасс 468
§ 3. Полимеры 469
Б. *Строительные материалы и изделия на основе полимеров* 470
§ 1. Материалы для покрытия полов 470
§ 2 Материалы для внутренней отделки стен 486
§ 3. Материалы для строительных конструкций 492
§ 4. Погонажные изделия на основе полимеров 500
§ 5. Трубы и санитарно-технические изделия 501
§ 6. Клеи и мастики 504
§ 7. Технико-экономическая эффективность применения пластических масс в строительстве 507

Глава XVI. **Лакокрасочные материалы и обои** 512

§ 1. Пигменты и наполнители 513
§ 2. Связующие вещества 515
§ 3. Красочные составы 519
§ 4. Вспомогательные материалы 523
§ 5. Обои бумажные 525
§ 6. Технико-экономическая эффективность применения лакокрасочных материалов 526

Литература 528