

А.Г. Комар

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

А. Г. Комар

доктор технических наук, профессор

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено

Министерством высшего и среднего
специального образования СССР

в качестве учебника

для студентов

инженерно-экономических специальностей
вузов



Москва "Высшая школа" 1983

ББК 38.3

К 63

УДК 691

Рецензенты:

кафедра строительных материалов Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Г.И. Горчаков)

Комар А.Г.

К63 Строительные материалы и изделия: Учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов. — М.: Высш. шк., 1983. — 487 с., ил.

В пер. 1 р. 70 к.

В учебнике более широко, чем в предыдущих изданиях (3-е издание вышло в 1976 г.), рассмотрена номенклатура важнейших групп строительных материалов, освещены теоретические основы технологии производства вяжущих материалов, сборных железобетонных, асбестоцементных и керамических материалов, изделий на основе полимеров и др.

Дан сравнительный технико-экономический анализ эффективности производства и применения важнейших материалов и изделий.

К 3203000000 — 448
001 (01) — 83

146 — 83

ББК 38.3

6С3

© Издательство "Высшая школа", 1976

© Издательство "Высшая школа", 1983, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник составлен в соответствии с учебной программой курса "Строительные материалы и изделия" для специальностей "Экономика и организация строительства", "Экономика и организация промышленности строительных материалов", "Экономика и организация городского хозяйства" высших учебных заведений, утвержденной Учебно-методическим управлением по высшему образованию Минвуза СССР.

Учебный материал книги изложен на базе последних достижений науки и производства в области технологии изготовления строительных материалов и изделий, при этом рассматриваются методы дальнейшего ее совершенствования в соответствии с перспективными направлениями развития строительной техники, определенными указаниями партии и правительства.

В книге даются научные основы строительного материаловедения во взаимосвязи с данными прикладного характера, касающимися технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций. Теоретические вопросы излагаются с использованием фундаментальных наук: физики, химии, механики.

Построение учебника обусловлено программой курса и принятой классификацией. Каждая глава объединяет определенную группу материалов, что позволяет выявить общие закономерности формирования их структуры и физико-технических свойств. В учебнике даются сведения об основных направлениях развития отрасли в соответствии с решениями XXVI съезда КПСС. Особое внимание уделено вопросам эффективности и качества строительных материалов, использованию побочных продуктов промышленности, снижению трудовых и топливно-энергетических затрат, показана необходимость применения в индустриальном строительстве крупноразмерных изделий и конструкций, а также объемных элементов полной заводской готовности.

В учебнике вопросы материаловедения и технологии строительных материалов рассматриваются в тесной связи с экономикой 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.

Настоящее четвертое издание учебника отличается от предыдущего сведениями последних достижений науки и техники. В частности, в книге на современном научном уровне изложена связь внутреннего строения и свойств твердых тел, показано влияние структуры на физико-технические свойства материала.

Во всех разделах освещены новые технологии в производстве строительных материалов и изделий и основные направления в их совершенствовании. Например, в це-

ментной промышленности предусматривается развитие сухого способа производства цемента с печами, оборудованными циклонными теплообменниками.

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.

В написании учебника (гл. 6 и 7) принимал участие канд. техн. наук А.А. Комар.

Автор выражает глубокую благодарность коллективу кафедры строительных материалов Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Г.И. Горчаков) за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Значение промышленности строительных материалов в народном хозяйстве нашей страны огромно — от уровня производства их всецело зависят темпы и качество строительных работ.

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

Таблица В.1. Выпуск основных строительных материалов и изделий в СССР с 1940 по 1980 г.

Наименование материалов и изделий	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1980 г.
Цемент, млн. т	5,68	10,2	45,5	72,4	95,0	125
Кирпич строительный, млрд.шт.	7,46	10,2	35,5	36,9	43,2	41,8
Сборный железобетон и бетон, млн.м ³	—	1,3	30,2	56,1	84,6	122
Стекло листовое, млн.м ²	44,7	76,9	147,2	190,3	231,0	245
Мягкая кровля, млн.м ²	127,8	285,0	750,0	1080	1334	1723
Асбестоцементные листовые материалы, млн.шт.усл.пл.	206	546	2991	4162	5840	7308
Минераловатные изделия, млн.м ³	—	0,7	4,0	8,9	13,2	21,5
Легкие заполнители для бето- на, млн.м ³	—	—	1,1	7,25	16,0	37
Линолеум, млн.м ²	—	—	—	31,2	57,4	93
Гипсовые перегородочные плиты и детали, млн.м ²	—	0,5	23,0	27,2	33,0	28
Нерудные строительные ма- териалы, млн.м ³	20	61,6	313,0	396,9	541,7	970,6

Быстрому развитию производства строительных материалов в послевоенный период исключительно важное значение имели постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР по вопросам строительства и производства строительных материалов.

Советский Союз опередил развитые капиталистические страны по выпуску ряда важнейших строительных материалов. Еще в 1962 г. наша страна обогнала США по производству цемента и вышла на первое место в мире

по производству сборного железобетона, асбестоцементных листовых материалов и труб, оконного стекла и др.

XXVI съезд КПСС наметил дальнейшее увеличение объема производства строительных материалов в одиннадцатой пятилетке. Главными направлениями технического прогресса отрасли промышленности строительных материалов являются: создание новых и совершенствование существующих технологических процессов, обеспечивающих получение продукции с минимальными затратами энергетических, материальных и трудовых ресурсов; получение новых видов строительных материалов и изделий с заданными свойствами, отвечающими самым высоким требованиям строительства; широкое внедрение малоотходных и безотходных технологий, использование вторичных продуктов производства.

Большие задачи поставлены перед промышленностью строительных материалов Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981–1985 годы и на период до 1990 года. Намечено увеличить объем продукции этой отрасли на 17–19%, предусмотреть преимущественное развитие производства изделий, обеспечивающих снижение металлоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, а также массу зданий, сооружений и повышение их теплозащиты, произвести в 1985 г. 140 – 142 млн.т. цемента. Однако применение строительных материалов далеко не ограничивается использованием их только для целей строительства. Без них не может существовать ни одна область техники.

С целью осуществления Продовольственной программы СССР, принятой майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС, широкое отражение в учебнике получили материалы, изделия и конструкции и особенно местные строительные материалы, которые наиболее эффективно могут быть использованы при строительстве сельскохозяйственных комплексов, животноводческих помещений, элеваторов, гидромелиоративных, гидротехнических и других зданий и сооружений.

Июньский (1983 г.) Пленум ЦК КПСС обратил внимание на внедрение гибкой технологии в промышленность строительных материалов, позволяющей быстро и эффективно перестраивать производство на изготовление новой продукции, а также получение материалов с заранее заданными свойствами, широкое применение безотходных и энергосберегающих технологий.

Различные эксплуатационные условия зданий и сооружений, параметры технологических процессов обуславливают разнообразные требования к строительным материалам, а отсюда вытекает и весьма обширная номенклатура их свойств: прочность при нормальной или высокой температуре (последняя характеризует жаро- 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. 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 отношении выбрать материал для конкретных условий использования.

На каждый строительный материал имеются ГОСТы или ТУ, в которых даются 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.

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 складывается (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 излагаемых 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 10%, а при увеличении мощности завода, выпускающего мягкие кровельные материалы (толь, рубероид), с 25 до 125 млн.м² — примерно на 15–20%.

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. Уменьшения це-

ховых 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, уменьшение их относительной величины возможно только за счет снижения 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 площади в год удельные капитальные вложения уменьшаются почти на 40%, а увеличение мощности завода оконного стекла с 4–6 до 26–30 млн.м² обеспечивает снижение их примерно на 20–25%. Это 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 снижаются 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 (ремонт, отопление и т.д.). 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 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 на-

стоящее 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 материалов 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: $P = C + 0,12K$ (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 строительно-монтажных 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.

Снижение 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 1. 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, механические и технологические. 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, обуславливающую в конечном итоге 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. *Механические* свойства характеризуются способностью материала сопротивляться сжатию, растяжению, удару, вдавливанию в него постороннего тела и другими видами воздействий на материал с приложением силы. *Технологические* свойства — способность материала подвергаться обработке при изготовлении из него изделий. Эти свойства материалов рассматриваются в соответствующих разделах курса применительно к конкретному материалу.

§ 1.1. Свойства, строение и состав строительных материалов

Свойства строительного материала определяются его структурой. Для получения материала заданных свойств следует создать его внутреннюю структуру, обеспечивающую необходимые технические характеристики. В конечном итоге знание свойств материалов необходимо для наиболее эффективного его использования в конкретных условиях эксплуатации.

Структуру строительного материала изучают на трех уровнях: макро-структура — строение материала, видимое невооруженным глазом; микро-структура — строение, видимое через микроскоп; внутреннее строение вещества, изучаемое на молекулярно-ионном уровне (физико-химические методы исследования — электронная микроскопия, термография, рентгеноструктурный анализ и др.).

Макроструктуру твердых строительных материалов (исключая горные породы, имеющие свою геологическую классификацию) делят на следующие группы: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая и рыхлозернистая (порошкообразная). Искусственные конгломераты представляют собой большую группу; это различного вида бетоны, керамические и другие материалы. Ячеистая структура материала отличается наличием макропор; она свойственна газо- и пенобетонам, газосиликатам и др. Мелкопористая структура характерна, например, для керамических материалов, получаемых в результате выгорания введенных органических веществ. Волокнистая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты и др. Слоистая структура характерна для листовых, плитных и рулонных материалов. Рыхлозернистые материалы — это заполнители для бетонов, растворов, различного вида засыпка для теплозвукоизоляции и др.

Микроструктура строительных материалов может быть кристаллическая и аморфная. Эти формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества, например кварц и различные формы кремнезема. Кристаллическая форма всегда более устойчива. Чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью в производстве силикатного кирпича, применяют автоклавную обработку сырца насыщенным водяным паром с температурой 175°C и давлением 0,8 МПа, в то же время трепел (аморфная форма двуокиси кремнезема) с известью при затворении водой образует гидросиликат кальция при нормальной температуре $15-25^{\circ}\text{C}$. Аморфная форма вещества может перейти в более устойчивую кристаллическую.

Для каменных материалов практическое значение имеет явление полиморфизма, когда одно и то же вещество способно существовать в различных кристаллических формах, называемых модификациями. Полиморфные превращения кварца сопровождаются изменением объема. Для кристаллического вещества характерна определенная температура плавления и геометрическая форма кристаллов каждой модификации.

Свойства монокристаллов в разных направлениях неодинаковы. Теплопроводность, прочность, электропроводность, скорость растворения и явления анизотропии являются следствием особенностей внутреннего строения кристаллов.

В строительстве применяют поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы хаотично. Эти материалы по своим свойствам относятся к изотропным, исключение составляют слоистые каменные материалы (гнейсы, сланцы и др.).

Внутренняя структура материала определяет его механическую прочность, твердость, теплопроводность и другие важные свойства.

Кристаллические вещества, входящие в состав строительного материала, различают по характеру связи между частицами, образующими кристаллическую решетку. Она может быть образована: нейтральными атомами (одного и того же элемента, как в алмазе, или разных элементов, как в SiO_2); ионами (разноименно заряженными, как в кальците CaCO_3 , или одноименными, как в металлах); целыми молекулами (кристаллы льда).

Ковалентная связь, обычно осуществляемая электронной парой, образуется в кристаллах простых веществ (алмазе, графите) или в кристаллах,

состоящих из двух элементов (кварце, карборунде). Такие материалы отличаются высокой прочностью и твердостью, они весьма тугоплавки.

Ионные связи образуются в кристаллах материалов, где связь имеет в основном ионный характер, например гипс, ангидрид. Они имеют невысокую прочность, не водостойки.

В относительно сложных кристаллах (кальците, полевых шпатах) имеют место и ковалентная и ионная связи. Например, в кальците внутри сложного иона CO_3^{2-} связь ковалентная, но с ионами Ca^{+2} — ионная. Кальцит CaCO_3 обладает высокой прочностью, но малой твердостью, полевые шпаты имеют высокие прочность и твердость.

Молекулярные связи образуются в кристаллах тех веществ, в молекулах которых связи являются ковалентными, кристалл этих веществ построен из целых молекул, которые удерживаются друг около друга относительно слабыми ван-дер-ваальсовыми силами межмолекулярного притяжения (кристаллы льда), имеющими низкую температуру плавления.

Силикаты имеют сложную структуру. Так, волокнистые минералы (асбест) состоят из параллельных силикатных цепей, связанных между собой положительными ионами, расположенными между цепями. Ионные силы слабее ковалентных связей внутри каждой цепи, поэтому механические силы, недостаточные для разрыва цепей, расчлениют такой материал на волокна.

Пластинчатые минералы (слюда, каолинит) состоят из силикатных групп, связанных в плоские сетки. Сложные силикатные структуры построены из тетраэдров SiO_4 , связанных между собой общими вершинами (атомами кислорода) и образующих объемную решетку, поэтому их рассматривают как неорганические полимеры.

Состав. Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом. *Химический* состав строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала — механических, огнестойкости, биостойкости, а также других технических характеристиках. Химический состав неорганических вяжущих материалов (извести, цемента и др.) и естественных каменных материалов удобно выражать содержанием в них окислов (в %). Основные и кислотные окислы химически связаны и образуют минералы, которые характеризуют многие свойства материала. *Минеральный* состав показывает, каких минералов и в каком количестве содержится в данном материале, например в портландцементе содержание трехкальциевого силиката ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) составляет 45–60%, причем при большем содержании этого минерала ускоряется процесс твердения и повышается прочность. *Фазовый* состав и фазовые переходы воды, находящейся в его порах, оказывает большое влияние на свойства материала. В материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, т.е. каркас и поры, наполненные воздухом или водой. Изменение содержания воды и ее состояния меняет свойства материала.

§ 1.2. Физические свойства и структурные характеристики

Под **истинной плотностью** (кг/м^3) понимают массу единицы объема абсолютно плотного материала

$$\rho = m_1/V,$$

где m_1 — масса абсолютно твердого материала, кг; V — объем материала, м^3 .

Значения истинной плотности некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Истинная плотность строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м^3	Наименование материала	Истинная плотность, кг/м^3
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 **средней плотностью** ρ_o (кг/м^3) понимают массу единицы объема материала (изделия) в естественном состоянии (с пустотами и порами)

$$\rho_o = m_1/V_1,$$

где m — масса материала, кг; V_1 — объем материала, м^3 .

Средняя плотность одного и того же вида материала может быть разной в зависимости от пористости и пустотности. Сыпучие материалы (песок, щебень, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью — отношением массы зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объему, включая и пространство между частицами. От плотности 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 средней плотности строительных материалов находятся в широких пределах (табл. 1.2.).

Плотность зависит от пористости и влажности материала. С увеличе-

Таблица 1.2. Средняя плотность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м^3	Наименование материала	Средняя плотность, кг/м^3
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		

* В дальнейшем вместо термина "средняя плотность" применен термин "плотность".

нием влажности плотность материала увеличивается. Показатель плотности в определенной мере является характерным и для оценки экономичности.

Пористостью (%) материала называют степень заполнения его объема порами

$$n = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) 100,$$

где ρ_0 — объемная плотность материала, кг/м^3 ; ρ — плотность абсолютно плотного материала, кг/м^3 .

Поры — это мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Поры бывают открытые и закрытые, мелкие и крупные. Мелкие поры, заполненные воздухом, придают строительным материалам теплоизоляционные свойства. По величине пористости можно приблизительно судить о других важных свойствах материала: плотности, прочности, водопоглощении, 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.

Открытая пористость равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к общему объему материала:

$$n_o = \frac{m_2 - m_1}{V} \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где m_1 и m_2 — масса образца в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытые поры сообщаются с окружающей средой и могут сообщаться между собой, они заполняются водой при погружении в ванну с водой.

В материале обычно имеются открытые и закрытые поры ($n_z = n - n_o$). В звукопоглощающих материалах специально создаются открытая пористость и перфорация для большего поглощения звуковой энергии.

Закрытая пористость. По размерам распределение пор характеризуется: а) интегральной кривой распределения объема пор по их радиусам в единице объема (рис. 1.1) и б) дифференциальной кривой распределения объема пор по их радиусам (рис. 1.2).

Пористость, полученная с помощью ртутного поромера, позволяет определить размер и объем пор каждой величины и оценить форму пор. Ртуть не смачивает поры большинства строительных материалов и проникает в поры при повышенном давлении, что следует из уравнения:

$$Pd = -4\sigma \cos \theta,$$

где P — прилагаемое давление; d — диаметр пор; σ — поверхностное натяжение ртути; θ — краевой угол смачивания ртути и испытуемого материала.

Из уравнения видно, что при нулевом давлении несмачивающая жидкость не будет проникать в поры. На рис. 1.3 приведено соотношение между давлением и диаметром пор.

На рис. 1.1 показаны интегральные кривые распределения пор по их размерам для четырех различных материалов. По оси x отложены радиусы пор, а по оси y — объем пор данного размера (он равен объему ртути, проникшей в образец). Кривая 1 характерна для материалов с большим

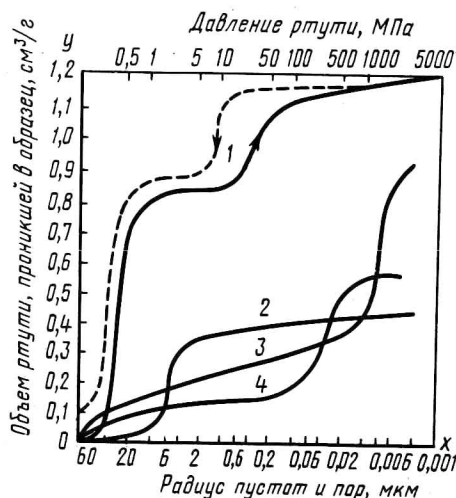


Рис. 1.1. Интегральные кривые распределения пор по радиусам (пунктиром показана кривая гистерезиса)

Удельную поверхность порового пространства определяют, используя средний условный радиус пор или адсорбционными методами (по адсорбции водяного пара, азота или другого инертного газа). Удельная

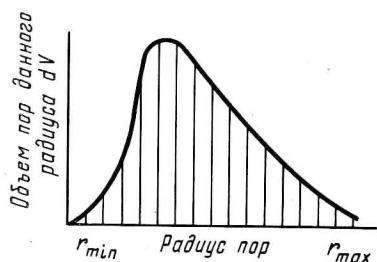


Рис. 1.2. Дифференциальная кривая распределения пор по радиусам

поверхность ($\text{см}^2/\text{г}$) пропорциональна массе адсорбированного водяного пара (газа), необходимого для покрытия мономолекулярным слоем всей внутренней поверхности пор (в 1 г на 1 г сухого материала):

$$a = a_1 N m_1 / m_2,$$

где a_1 — поверхность, покрываемая одной адсорбированной молекулой, для молекулы воды $a_1 = 10,6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$; N — число Авогадро, $N = 6,06 \cdot 10^{23}$;

объемом крупных пустот, размером более 10 мкм. Пунктиром показана кривая гистерезиса. Кривая 2 получена для порошка с большим объемом пустот (4–6 мкм) между зернами. Кривая 3 характерна для материала с мелкой пористостью, а кривая 4 — для материала с однородной структурой и порами 0,02–0,04 мкм.

Дифференциальная кривая распределения объема пор V по их размерам (рис. 1.2)

$$dV/dr = fV(r),$$

где dV/dr — тангенс угла наклона касательной к интегральной кривой.

Площадь под дифференциальной кривой (заштрихована на рис. 1.2) равна суммарному объему пор в единице объема материала.

пространства определяют, используя средний условный радиус пор или адсорбционными методами (по адсорбции водяного пара, азота или другого инертного газа). Удельная

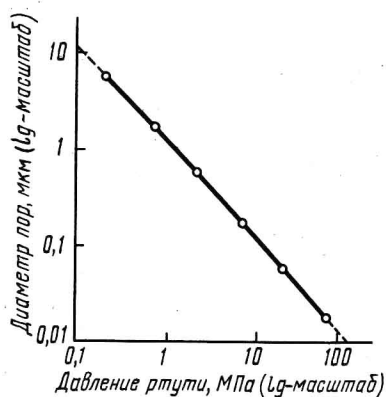


Рис. 1.3. График зависимости между давлением ртути (в поромере) и размером пор