



## ВВЕДЕНИЕ

Термин «строительное материаловедение» в системе естественных наук возник сравнительно недавно и не имеет пока совершенно четкого определения. В отечественной практике сложилось представление о материаловедении как о прикладной науке, изучающей зависимость между составом, строением, свойствами материалов и закономерностями их изменения и формирования под воздействием внешних факторов с целью получения требуемого комплекса свойств. В зарубежной литературе материаловедение представляется как совокупность знаний о взаимосвязях между структурой на микроскопическом уровне и макросвойствами материалов. Причем в терминологии строительного материаловедения существуют такие понятия, как «материал», «изделие», «вещество», «сырье», используемые часто (и не без основания) как синонимы. Однако в физико-химических науках под *веществом* понимается совокупность взаимодействующих частиц (атомов, молекул, ионов и др.), расположенных определенным образом в пространстве, связанных между собой силами взаимодействия и характеризующихся исключительно химическим составом и массой.

*Материал* (от лат. *materia* – вещество) определяется чаще всего как разновидность вещества (совокупности веществ) или промежуточный продукт переработки веществ, которые уже преобразованы или могут быть преобразованы в продукты труда определенной формы и содержания с целью их дальнейшего практического применения или преобразования в изделия (ГОСТ 3.1109). *Строительными* называют материалы (как природного, так и искусственного происхождения), композиции или изделия из них, имеющие сложный химический состав, заранее заданную структуру, внешнюю форму и применяемые непосредственно в строительных целях (для изготовления строительных конструкций, возведения зданий и сооружений).

*Изделие* – это единица продукции, имеющая законченную геометрическую форму и представляющаяся как элемент строительной конструкции, изготовленный из материала или вещества вне места его применения и поставляемый для использования в готовом виде (ГОСТ 15895).

*Сырье* (сырой материал) – это тоже предмет труда, подвергшийся ранее обработке с целью дальнейшего превращения в материал более совершенной формы или изделие.

Строительное материаловедение относится к числу основополагающих дисциплин учебного плана для всех специальностей

строительного профиля и имеет огромное значение в общей подготовке инженеров-строителей. Ни одно здание или сооружение в мире нельзя правильно спроектировать, качественно построить и успешно эксплуатировать без глубоких знаний в области строительного материаловедения (номенклатуры, состава, структуры, технических характеристик строительных материалов и изделий, закономерностей их формирования и изменений под влиянием технологических и эксплуатационных факторов). Можно отметить и тот факт, что уже на ранней стадии развития цивилизации вопросам материаловедения уделялось серьезное внимание, которое проявлялось в том, что в более поздние времена целым эпохам присвоили названия из области материаловедения – каменный, бронзовый, железный век.

Знание основ материаловедения в настоящее время дает возможность инженеру-строителю выбирать материал, наиболее полно отвечающий конкретным условиям эксплуатации, при необходимости заменять один строительный материал другим без нарушения норм проектирования и ухудшения качества строительства или принимать меры по их защите от влияния внешних разрушающих факторов. Только при полном соответствии технических характеристик применяемых материалов предъявляемым конкретными эксплуатационными условиями требованиям инженер-строитель может быть уверен, что построенное им здание или сооружение будет прочным, долговечным, архитектурно выразительным и экологически чистым. А для этого он должен владеть еще и методологией такого сопоставления показателей качества, требований и выбора оптимального варианта. Современное материаловедение направлено на получение и использование материалов с заданными характеристиками и служит основой для наукоемких строительных технологий будущего.

Кроме того, важным критерием, определяющим применение того или иного материала при проектировании и строительстве, является комплексная оценка технико-экономической эффективности принятого решения. Поэтому помимо технических и эксплуатационных характеристик применяемых материалов инженер-строитель должен учитывать их полную приведенную стоимость, т.е. всю сумму затрат, включая расходы на производство, транспортирование, применение, эксплуатацию и ремонт в течение всего срока службы материала и изделия в конструкции. Выполнить это можно, только овладев необходимыми знаниями в области экономики производства и применения строительных материалов и изделий. Также инженер-строитель должен уметь организовать правильное транспортирование и хранение материалов и изделий, чтобы не допускать понижения

показателей их качества как на стадии строительства, так и в процессе эксплуатации.

Правильный выбор и применение материалов определяют в конечном итоге качество, долговечность и стоимость сооружения. Поэтому роль и значение строительного материаловедения рассматриваются в неразрывной связи с работой и поведением строительных материалов в изделиях и конструкциях зданий и сооружений за длительный период в реальных условиях эксплуатации.

На все строительные материалы и изделия, выпускаемые промышленностью, имеются нормативно-правовые документы (ТНПА – технические нормативно-правовые акты), которые регламентируют их технические характеристики, технологические процессы, правила эксплуатации, перевозки, хранения, утилизации, а также требования к терминологии, символике, упаковке и маркировке. В настоящее время национальная нормативно-правовая система в нашей стране представлена стандартами Республики Беларусь (СТБ), строительными нормами (СНБ), межгосударственными стандартами стран СНГ (ГОСТ, ГОСТ EN), международными (ISO и СТБ ISO), европейскими (СТБ EN), стандартами России (ГОСТ Р) и нормативно-правовыми документами организаций (СТО). Большинство стандартов на строительные материалы и изделия – это технические требования и методы испытания. Такие документы призваны способствовать повышению качества выпускаемой продукции и ее безопасности. Выполнение нормативных документов является обязательным.

Авторы выражают искреннюю признательность ректору БНТУ академику НАН Беларуси, доктору технических наук, профессору Б.М. Хрусталеву за полезные советы при обсуждении материалов учебного пособия, а также рецензентам: директору ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» доктору технических наук, профессору В.М. Пилипенко и заведующему кафедрой «Технология стекла и керамики» БГТУ доктору технических наук, профессору И.А. Левицкому за высказанные замечания, способствующие улучшению содержания учебного пособия.

# ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА

## 1.1. Общие сведения

Под *свойствами* материалов понимают их способность реагировать определенным образом на отдельные или совокупные внешние и внутренние воздействия — *механические, химические, биологические* и др. Они характеризуют собой общность или различие одних материалов по отношению к другим и проявляются в процессе переработки, применения, эксплуатации, испытания или сравнения. Например, действие на материал отрицательных температур характеризует его *морозостойкость*, огня — *огнестойкость*, сопротивляться воздействию нагрузок — *прочность, упругость* и др. Количественно свойства определяются при испытании (реже расчетным путем) и выражаются физическими величинами в соответствии с действующими нормативными документами. Различают простые и сложные свойства.

*Простые свойства* нельзя разделить на другие. Например, масса материала не может быть представлена другими более простыми свойствами. *Сложное свойство* может быть разделено на два и более простых свойств. Например, долговечность или надежность материала характеризуются многими факторами в условиях эксплуатации (действие влаги, температуры, ветра, солнечной радиации, нагрузки и др.).

Строительные материалы обладают комплексом различных свойств, которые определяют их качество, области рационального применения и возможность сочетания с другими материалами. Например, для несущих конструкций материалы должны хорошо сопротивляться разрушению и изменению формы под действием внешних нагрузок, т.е. обладать достаточной прочностью, упругостью, быть эстетичными и долговечными. В ограждающих конструкциях (наружных стенах) применяют материалы с низкой теплопроводностью и звукопроницаемостью. К материалам для устройства кровли зданий и сооружений предъявляются требования по водонепроницаемости, атмосферостойкости и т.д.

По совокупности признаков различают физические, механические, химические, технологические, эксплуатационные, специальные и другие свойства. Все эти свойства взаимосвязаны между собой. Например, от структурно-физических свойств зависят механические, технологические, акустические, от механи-

ческих — эксплуатационные, от технологических — механические, эстетические и др.

## 1.2. Составы и структура материалов

Свойства строительных материалов формируются в процессе изготовления и в значительной степени определяются их составом и строением. Знание состава сырья и материалов позволяет прогнозировать свойства изделий при изготовлении и получать их с заданными качественными характеристиками на длительный период эксплуатации. Различают химический, минеральный (минералогический) и фазовый составы.

*Химический состав* указывает на процентное содержание в материале химических элементов или оксидов и позволяет судить об их химической стойкости, механических свойствах, огнестойкости и других свойствах. Например, в состав глины входят кремнезем  $\text{SiO}_2$ , глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , оксиды железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , кальция  $\text{CaO}$  и другие соединения. С повышением содержания кремнезема  $\text{SiO}_2$  снижается связующая способность глин, прочность в высушенном и обожженном состоянии, повышается пористость изделий. Глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышает пластичность и огнеупорность глин, прочность обожженных изделий. Оксид кальция  $\text{CaO}$  понижает температуру плавления, изменяет окраску обожженных изделий, повышает их пористость, снижает прочность и морозостойкость.

В зависимости от химического состава все материалы делятся на органические (древесина, битум, пластмассы), минеральные (бетон, цемент, кирпич, природный камень и др.) и металлы (сталь, чугун, алюминий). К органическим относят соединения углерода с другими элементами (преимущественно водородом, кислородом и азотом). В строительной практике находят применение и органоминеральные материалы, например кремнийорганические полимеры (силиконы, полиорганосилоксаны), в молекулах которых имеется связь между атомами кремния и углерода. Это могут быть вязкие бесцветные жидкости, твердые эластичные вещества (каучуки) или хрупкие материалы (пластики). Каждая группа имеет свои особенности. Все органические материалы горючи, минеральные — огнестойки, металлы хорошо проводят электрический ток, теплоту и т.д.

*Минералогический состав* показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в каменном материале, вяжущем веществе и других композиционных составах. Например, известняк, мел состоят из одного минерала — кальцита, а мергель — из нескольких минералов. Зная минеральный состав, можно

предопределить как физические, химические свойства, так и более специфические характеристики (пластичность, огнеупорность, вязкость, способность к кристаллизации, скорость твердения, коррозионную стойкость). Например, по содержанию алита ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) в портландцементном клинкере (45...60%) можно судить о скорости твердения и прочности цементного камня, по содержанию породообразующих минералов кварца и полевого шпата в гранитах – об их твердости, хрупкости и способности к обработке.

**Фазовый состав** указывает на содержание в материале фаз, т.е. частей, однородных по химическому составу и физическим свойствам и отделенных друг от друга поверхностями раздела. Следовательно, если структуру составляют несколько фаз, то между ними заметна линия или граница раздела. Например, основными фазами раздела цементного клинкера являются алит, белит, целит и др. В пористом материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, и сами поры, заполненные воздухом или водой. Если вода замерзнет в порах, то изменятся и свойства материала. Следовательно, фазовый состав материала и фазовые переходы воды в нем оказывают влияние на свойства и поведение материала при эксплуатации. Материалы, представленные одной фазой, называются *гомогенными*, а двумя и более – *гетерогенными*.

Под **структурой** (от лат. *structura* – строение) строительных материалов понимают совокупность устойчивых связей, обеспечивающих их целостность или внутреннее строение, обусловленное формой, размерами, взаимным расположением составляющих их частиц, пор, капилляров и микротрещин. Различают макроструктуру, микроструктуру материала и внутреннее строение на молекулярно-ионном уровне (наноструктуру).

**Макроструктура** (от греч. *macros* – большой) материала видима невооруженным глазом (визуально) или при небольшом увеличении (до 6 раз). При этом различают структуру поверхностного и внутреннего слоев.

**Микроструктура** (от греч. *micros* – малый) – это строение, видимое под микроскопом.

Макроструктура материала может быть однородной и неоднородной, зернистой (конгломератной или рыхлозернистой), ячеистой (мелко-, средне- и крупнопористой), волокнистой, слоистой и др. Материалы, состоящие из отдельных, не связанных между собой зерен, образуют *рыхлозернистую структуру* – это песок, гравий, порошкообразные материалы, различные засыпки для тепло- и звукоизоляции. *Конгломератная структура* – это структура, в которой отдельные зерна надежно соединены между собой

(бетоны, некоторые природные и керамические материалы). *Ячеистая структура* характерна для материалов, имеющих макро- и микропоры (пено- и газобетоны, газосиликаты, ячеистые пластмассы). *Волокнистую структуру* имеют материалы, у которых волокна расположены параллельно одно другому. При этом они обладают различными свойствами вдоль и поперек волокон (так называемые анизотропные материалы). Волокнистая структура присуща древесине и минераловатным изделиям. *Слоистую структуру* имеют листовые, рулонные и плитные материалы (текстолит, бумажно-слоистый пластик, глинистые сланцы и др.).

В зависимости от порядка расположения атомов и молекул материалы могут быть кристаллическими и аморфными. *Кристаллическая структура* образуется при очень медленном охлаждении расплавов, когда атомы (ионы) имеют возможность перемещаться в пространстве и занимать наиболее устойчивое положение. Линии, условно проведенные через центры атомов в трех направлениях в таких структурах, являются прямыми и образуют так называемую кристаллическую решетку. Поэтому кристаллическими называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены в правильном геометрическом порядке в трехмерном пространстве и образуют кристаллическую решетку. Примером может служить металл, гранит, мрамор и др.

*Аморфная* (бесформенная) *структура* образуется при быстром охлаждении расплавов, когда атомы при переходе в твердое состояние не успевают образовать кристаллическую решетку, а остаются вблизи тех положений, которые занимали в расплаве. Поэтому аморфными называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены беспорядочно (хаотически). Однако аморфная структура не является совершенно беспорядочной. Некое подобие порядка наблюдается в ближайшем окружении атомов. Кроме того, в отличие от кристаллического состояния веществ, аморфное является термодинамически неустойчивым (метастабильным). При определенных условиях (температура, давление, время) аморфные материалы могут перейти в кристаллические. Примером может служить система *стекло — ситалл*. По прошествии некоторого времени аморфные вещества тоже переходят в кристаллические. Однако время это может быть весьма значительным и измеряться годами и десятилетиями.

Часто кристаллическая и аморфная формы микроструктуры могут характеризовать лишь различное состояние одного и того же вещества (кристаллический кварц и аморфный кремнезем). При этом кристаллическая форма всегда более устойчивая. Например, чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью в производстве силикатных изделий,



необходимо применить автоклавную обработку в среде насыщенного пара при повышенной температуре (175 °С) и давлении (0,8 МПа). В то же время диатомиты и трепелы (аморфная форма диоксида кремнезема) взаимодействуют с известью и водой при нормальных температуре (15 °С) и давлении.

Различие между аморфными и кристаллическими материалами еще в том, что кристаллические материалы при нагревании имеют определенную температуру плавления, которая равна температуре отвердевания. Аморфные материалы при нагревании размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Кроме того, прочность аморфных материалов, как правило, ниже кристаллических. Поэтому иногда для получения более высокой прочности аморфного материала специально проводят его кристаллизацию. Тот же пример с ситаллами и шлакоситаллами.

Аморфный материал, как правило, изотропный. Кристаллический – в микрообъеме может быть анизотропный, в макрообъеме, когда кристаллы расположены хаотически (гранит), – изотропный. Аморфные вещества прозрачны, так как не имеют границ между кристаллами, рассеивающих световые волны. Поэтому аморфные вещества называют еще стеклянными, а их структуру – стеклообразной. Однако любое вещество (например, металл), если его охладить достаточно быстро (100 град/с), станет аморфным и прозрачным. Сегодня технически это возможно, и такие металлы уже получают.

### 1.3. Структурно-физические свойства материалов

Структурно-физические свойства строительных материалов определяются параметрами их физического состояния и структуры. Они характеризуют вещество и структуру материала, а также способность реагировать на внешние воздействия, не вызывающие изменения их химического состава и структуры.

**Плотность** – величина, определяемая отношением массы материала (вещества) к занимаемому им объему, т.е. масса единицы объема материала:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – масса, кг (г);  $V$  – объем, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>). Размерность плотности – кг/м<sup>3</sup> или г/см<sup>3</sup>, т/м<sup>3</sup>, кг/л.

Плотностью, близкой к теоретической (максимальной), обладают металлы, жидкости, стекло, некоторые полимеры и пласт-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
<b>Глава 1. Основные свойства строительных материалов и оценка их качества .....</b>	<b>6</b>
1.1. Общие сведения .....	6
1.2. Составы и структура материалов .....	7
1.3. Структурно-физические свойства материалов .....	10
1.4. Гидрофизические свойства .....	14
1.5. Теплофизические свойства .....	18
1.6. Эстетические свойства .....	22
1.7. Химические свойства .....	23
1.8. Технологические свойства .....	26
1.9. Механические свойства .....	27
1.10. Эксплуатационные свойства .....	34
<b>Глава 2. Природные каменные материалы .....</b>	<b>42</b>
2.1. Общие сведения и классификация горных пород .....	42
2.2. Породообразующие минералы .....	44
2.3. Магматические горные породы .....	48
2.4. Осадочные горные породы .....	53
2.5. Метаморфические горные породы .....	59
2.6. Материалы и изделия из природного камня .....	60
2.7. Защита от коррозии природных каменных материалов и изделий в конструкциях и сооружениях .....	63
<b>Глава 3. Древесина, материалы и изделия на ее основе .....</b>	<b>66</b>
3.1. Общие сведения .....	66
3.2. Состав и строение древесины .....	67
3.3. Свойства древесины .....	73
3.4. Видимые пороки древесины .....	78
3.5. Характеристика пород древесины, применяемых в строительстве .....	81
3.6. Сортимент древесных материалов и изделий .....	86
3.7. Формирование эстетических и защитных функций древесины .....	95

<b>Глава 4. Строительная керамика</b> .....	99
4.1. Общие сведения и классификация .....	99
4.2. Сырье для производства керамики .....	99
4.3. Основы производства керамических изделий .....	103
4.4. Способы улучшения внешнего вида керамических изделий	105
4.5. Стеновые материалы и изделия .....	107
4.6. Изделия для внешней и внутренней облицовки .....	113
<b>Глава 5. Строительное стекло из минеральных расплавов</b> .....	120
5.1. Общие сведения .....	120
5.2. Сырье и основы производства силикатного стекла .....	121
5.3. Производство листового стекла .....	123
5.4. Свойства листового стекла .....	124
5.5. Разновидности листового стекла .....	126
5.6. Светопрозрачные изделия и конструкции .....	135
5.7. Стекло в архитектурно-художественном оформлении зданий и сооружений .....	137
5.8. Стеклокристаллические материалы и изделия .....	140
<b>Глава 6. Минеральные вяжущие вещества воздушного твердения</b>	143
6.1. Определение и классификация .....	143
6.2. Магнезиальные вяжущие .....	144
6.3. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент .....	146
6.4. Гипсовые вяжущие .....	148
6.5. Известь строительная (воздушная) .....	152
<b>Глава 7. Минеральные вяжущие вещества гидравлического твердения</b> .....	160
7.1. Общие сведения и классификация .....	160
7.2. Сырье и производство портландцемента .....	162
7.3. Характеристика портландцементного клинкера .....	166
7.4. Твердение портландцемента .....	167
7.5. Свойства портландцемента .....	172
7.6. Коррозия цементного камня .....	176
7.7. Классификация и разновидности цементов .....	178
7.8. Транспортирование и хранение цемента .....	189

<b>Глава 8. Металлические материалы и изделия</b> .....	190
8.1. Определение и классификация .....	190
8.2. Строение металлов .....	192
8.3. Общие сведения о железоуглеродистых сплавах .....	195
8.4. Чугун .....	200
8.5. Сталь .....	204
8.6. Термическая обработка металлов .....	208
8.7. Цветные металлы и сплавы .....	209
8.8. Металлические изделия .....	215
8.9. Коррозия металлов и способы защиты .....	217
<b>Глава 9. Материалы для приготовления бетонов и строительных растворов на минеральных вяжущих</b> .....	220
9.1. Вода .....	220
9.2. Заполнители .....	221
9.3. Арматура .....	227
9.4. Фибра .....	230
9.5. Добавки .....	232
<b>Глава 10. Основы бетоноведения</b> .....	242
10.1. Общие сведения .....	242
10.2. Классификация бетонов .....	243
10.3. Проектирование состава бетона .....	246
10.4. Приготовление и транспортирование бетонной смеси . . . .	249
10.5. Технологические свойства бетонной смеси .....	252
10.6. Влияние различных факторов на удобоукладываемость бетонных смесей .....	255
10.7. Твердение бетона и уход за ним .....	259
10.8. Свойства затвердевшего бетона .....	262
<b>Глава 11. Разновидности бетонов</b> .....	271
11.1. Бетоны плотной структуры .....	271
11.2. Бетоны пористой структуры .....	279
11.3. Армированные бетоны .....	283
11.4. Бетоны на органических вяжущих .....	288
11.5. Бетоны на органических заполнителях .....	293

<b>Глава 12. Строительные растворы</b> .....	296
12.1. Определение и классификация .....	296
12.2. Составы, приготовление и транспортирование растворных смесей .....	297
12.3. Показатели качества растворных смесей .....	299
12.4. Качественные показатели затвердевших растворов .....	300
12.5. Разновидности растворов .....	302
12.6. Сухие строительные смеси .....	306
<b>Глава 13. Органические вяжущие вещества</b> .....	309
13.1. Определение и классификация .....	309
13.2. Битумы .....	309
13.3. Дегти .....	311
13.4. Общие сведения о полимерах .....	312
13.5. Разновидности полимеров .....	318
13.6. Общие сведения о клеящих материалах .....	333
<b>Глава 14. Полимерные композиционные материалы и изделия</b> ....	337
14.1. Определение, классификация и свойства .....	337
14.2. Способы получения полимерных композиционных материалов .....	339
14.3. Стеновые и отделочные материалы и изделия .....	340
14.4. Материалы и изделия для устройства пола .....	346
14.5. Трубы и соединительные детали .....	355
<b>Глава 15. Теплоизоляционные материалы и изделия</b> .....	358
15.1. Определение и классификация .....	358
15.2. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия .....	360
15.3. Органические теплоизоляционные материалы и изделия	366
15.4. Комбинированные теплоизоляционные изделия .....	371
<b>Глава 16. Акустические материалы и изделия</b> .....	374
16.1. Физические основы строительной акустики .....	374
16.2. Классификация акустических материалов .....	375
16.3. Основные свойства акустических материалов .....	377
16.4. Звукопоглощающие материалы и изделия .....	379
16.5. Звукоизоляционные материалы и изделия .....	381

<b>Глава 17. Гидроизоляционные и кровельные материалы</b> .....	384
17.1. Общие сведения .....	384
17.2. Вязкопластичные материалы .....	385
17.3. Рулонные и пленочные материалы .....	391
17.4. Штучные и листовые кровельные материалы и изделия ..	400
<b>Глава 18. Герметизирующие и уплотняющие материалы</b> .....	414
18.1. Определение, классификация и свойства .....	414
18.2. Отверждающиеся герметики .....	416
18.3. Нетвердеющие мастичные герметики .....	422
18.4. Ленточные и профильные герметизирующие и уплотнительные материалы .....	423
<b>Глава 19. Лакокрасочные материалы</b> .....	426
19.1. Определение и классификация .....	426
19.2. Основные компоненты лакокрасочных составов .....	428
19.3. Механизм отверждения лакокрасочных материалов .....	436
19.4. Требования к качеству лакокрасочных материалов .....	438
19.5. Материалы для подготовки поверхности к отделке .....	443
19.6. Материалы основного лакокрасочного слоя .....	445
19.7. Обозначение лакокрасочных составов .....	452
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	455