

Материаловедение

Материаловедением называют науку, изучающую связь состава, строения и свойств материалов; закономерности их изменения при физико-химических, физических, механических и других воздействиях.

Изделия, конструкции должны обеспечивать долговечность и надежность при длительной эксплуатации.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт.

Предельное состояние определяется разрушением изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями.

Долговечность строительных изделий измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и режиме эксплуатации.

Например, для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности:

I – соответствует сроку службы не менее 100 лет,

II – 50 лет,

III – 20 лет.

Надежность представляет собой общее свойство, характеризующее проявление всех остальных свойств изделия в процессе эксплуатации.

Надежность складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости. Эти свойства связаны между

Требования к материалам

Всякий материал в конструкциях зданий и сооружений воспринимает те или иные нагрузки и подвергается действию окружающей среды.

Нагрузки вызывают деформации и внутренние напряжения в материале, поэтому проектирование зданий и сооружений требует точных характеристик прочностных и деформативных свойств применяемых материалов, называемых *механическими свойствами*.

Кроме прочности строительные материалы должны обладать стойкостью.

Стойкость - способность сопротивляться физическим и химическим воздействиям среды: воздуха и содержащихся в нем паров и газов, воды и растворенных в ней веществ, колебаниям температуры и влажности, совместному действию воды и мороза при многократном замораживании и оттаивании, воздействию химически агрессивных веществ — кислот, щелочей и др.

Безотказностью называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы.

Отказом называют событие, при котором система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность. Потеря работоспособности вызывается такой неисправностью, при которой хотя бы один из основных параметров выходит за пределы установленных допусков.

Ремонтопригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией.

Сохраняемость количественно оценивают временем хранения и транспортирования до возникновения неисправности.

Строение и свойства

Для решения практического вопроса, где и как применить материал, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект, необходимо знать свойства строительного материала, которые зависят от его строения.

Строение материала изучают на трех уровнях:

1. *Макроструктура* – строение, видимое невооруженным глазом.
2. *Микроструктура* материала – строение, видимое в оптический микроскоп.
3. *Внутреннее строение веществ*, составляющих материал, на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгено-структурного анализа, электронной микроскопии и т.д.

Макроструктура твердых строительных материалов может быть следующих типов:

- *конгломератная*, такую структуру имеют бетоны различного типа, ряд керамических и других материалов – искусственных конгломератов;
- *ячеистая*, характеризующаяся наличием макропор, свойственных газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам;
- *мелкопористая структура*, характерна для материалов, поризованных способами высокого водозатворения и введением выгорающих добавок;
- *волокнистая*, присуща древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты и др. Особенностью волокнистой структуры является анизотропия – резкое различие свойств (прочности, теплопроводности и др.) вдоль и поперек волокон;
- *слоистая* структура, выражена у рулонных, листовых, материалов в виде плит;
- *рыхлозернистая*, такой структурой обладают заполнители для бетона, зернистые и порошкообразные материалы.

Микроструктура веществ, составляющих материал может быть кристаллическая и аморфная. Кристаллические и аморфные формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества. Примером служит кристаллический кварц и различные аморфные формы кремнезема. Кристаллическая форма всегда более устойчива. Аморфная форма вещества может перейти в более устойчивую кристаллическую форму.

Особенностью кристаллического вещества является определенная температура плавления (при постоянном давлении) и определенная геометрическая форма кристаллов каждой его модификации.

В строительстве применяют поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы беспорядочно.

Внутреннее строение веществ, составляющих материал, определяет механическую прочность, твердость, тугоплавкость и другие важные свойства материала.

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

Ковалентная связь осуществляется обычно электронной парой, образуется в кристаллах простых веществ (алмаз, графит) и в кристаллах некоторых соединений из двух элементов (кварц, карбиды, нитриды). Такие материалы выделяются очень высокой механической прочностью и

Ионные связи образуются в кристаллах тех материалов, в которых связь имеет преобладающе ионный характер. Распространенные строительные материалы этого типа гипс и ангидрит, имеют невысокую прочность и твердость, не водостойки.

Молекулярные кристаллические решетки и соответствующие им *молекулярные связи* образуются преимущественно в кристаллах тех веществ, в молекулах которых связи являются ковалентными. Кристалл этих веществ построен из целых молекул, которые удерживаются около друг друга сравнительно слабыми ван-дер-ваальсовыми силами межмолекулярного притяжения (как в кристаллах льда). При нагревании связи между молекулами легко разрушаются, поэтому вещества с молекулярными решетками обладают низкими температурами плавления.

Состав и свойства

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом.

Химический состав строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других технических характеристиках. Химический состав неорганических веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов удобно выражать количеством содержащихся в нем оксидов (%). Основные и кислотные оксиды химически связаны между собой и образуют минералы, которые и определяют многие свойства материала.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в вяжущем веществе или в каменном материале.

Например, в портландцементе содержание трехкальциевого силиката ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) составляет 45-60%, причем при большем его количестве ускоряется твердение, повышается прочность цементного камня.

Фазовый состав материала и фазовые переходы воды, находящейся в его порах, оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации.

В материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, т.е. «каркас» материала, и поры, заполненные воздухом и водой. Если вода, являющаяся компонентом этой системы, замерзает, то образовавшийся в порах лед изменяет механические и тепломеханические свойства материала. Увеличение объема замерзающей в порах воды вызывает внутренние напряжения, способные разрушить материал при повторных циклах замораживания и оттаивания.

Физические свойства строительных материалов

Физическое состояние строительных материалов достаточно полно характеризуется средней и истинной плотностью, а также пористостью.

Средняя плотность ρ_0 (г/см³, кг/м³) – масса единицы объема материала в естественном состоянии.

Среднюю плотность вычисляют путем деления массы образца m , г (кг), на его геометрический объем V , см³ (м³)

$$\rho_0 = \frac{m}{V}$$

При изменении температуры и влажности среды, окружающей материал, меняется его влажность, а следовательно, и средняя плотность. Поэтому показатель средней плотности определяют после предварительной сушки материала до постоянной массы или вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{\rho_w}{(1 + W)}$$

где ρ_0 и ρ_w средняя плотность влажного и сухого материала; W – количество воды в материале (доля от его массы).

Метод определения средней плотности зависит от формы образца материала.

Определение средней плотности материала на образцах правильной геометрической формы (куб, параллелепипед, цилиндр) основано на вычислении объема образца путем прямых измерений. Определение средней плотности материала на образцах неправильной геометрической формы производят методом гидростатического взвешивания. Этот метод основывается на использовании закона Архимеда, который гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной им жидкости (чаще всего воды).

Необходимо взвесить образец на воздухе и известной плотности, объем вычислить по формуле

$$V = \frac{m - m_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}$$

m и $m_{\text{ж}}$

где m - масса образца взвешенного соответственно на воздухе и в жидкости, кг (г); $\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости кг/м³.

Изложенный способ применяется в случае, когда испытанию подвергается материал со сплошной структурой (без пор и пустот).

Если же испытывается пористый материал, то при гидравлическом взвешивании поры и пустоты будут поглощать воду и искажать результат опыта. Чтобы исключить эту ошибку, образцы материала, имеющие пористую структуру, перед испытанием парафинируют.

Для этого сухой образец неправильной геометрической формы взвешивают на технических весах, затем покрывают тонким слоем расплавленного парафина.

После парафинирования образец повторно взвешивают, затем подвешивают к крючку гидростатических весов. Массу образца уравнивают гирями. После этого образец погружают в стакан с водой так, чтобы он не касался стенок и дна. При этом равновесие весов нарушается. Весы снова уравнивают, сняв часть гирь, и определяют массу образца в воде. ρ_0 вычисляется по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m}{(m_1 - m_2) - (m_1 - m) / \rho_n}$$

ρ_n

где ρ_n - истинная плотность парафина, равная 930 кг/м³; m - масса сухого образца, m_1 - масса образца, покрытого парафином; m_2 - масса гирь, уравнивающих образец, покрытый парафином, в воде.

Насыпной плотностью ρ_n (г/см³, кг/м³) называется отношение массы материала в свободном рыхло насыпанном состоянии к его объему.

Определение насыпной плотности сыпучих материалов производят засыпкой их в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см через воронку или без нее. Объем материала определяют по объему цилиндра. Воронка обеспечивает равномерное заполнение мерного цилиндра материалом. Образовавшуюся (без уплотнения) над краями цилиндра горку материала срезают ножом или линейкой. После этого цилиндр с материалом взвешивают. Насыпную плотность материала рассчитывают по фор

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

где m_1 - масса пустого мерного цилиндра; m_2 - масса цилиндра, заполненного испытываемым материалом; V - объем мерного цилиндра.

Средняя и насыпная плотности материала являются важными характеристиками при расчете прочности сооружения с учетом собственной массы, определении способа и стоимости перевозки материала, для расчета складов и подъемно-транспортного оборудования.

По величине средней плотности косвенно судят о некоторых других свойствах материала.

Например, для каменных материалов существует приближенная зависимость между средней плотностью и теплопроводностью, для древесины – между прочностью и средней плотностью.

Истинной плотностью ρ (г/см³, кг/м³)

называют массу единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии без учета имеющихся в нем пор.

Для определения абсолютного объема образцы измельчают в порошок до полного прохождения через сито с размером отверстий 0,2 мм. (Считается, что каждое отдельное зерно такого размера не содержит внутренних пор.)

Истинную плотность вычисляют по формуле:

Истинную плотность определяют в приборе Ле-Шателье – Кандло. Прибор представляет собой стеклянную колбу с узкой трубкой, имеющей шарообразное уширение в средней части. На трубке ниже уровня уширения имеется черта; верхняя часть трубки градуирована делениями и заканчивается воронкой.



Объем трубки между нижней чертой и нижним делением градуированной части равен 20 см^3 . Прибор заполняют дистиллированной водой до уровня нижней черты, уровень устанавливают по нижнему мениску, затем взвешивают сухой измельченный образец массой m_1 , г. Порошок всыпают в прибор до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до нижнего деления градуированной части. m_2 тогда абсолютный объем порошка, засыпанного в прибор, равен объему вытесненной воды – 20 см^3 . Остаток порошка взвешивают и подсчитывают массу m всыпанного в прибор, по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V_a}$$

$$m = m_1 - m_2$$

В табл. приведены значения средней, истинной и насыпной плотности некоторых видов строительных материалов.

Часто плотность материалов относят к плотности воды при температуре равной 4 °С, равной 1 г/см³, и тогда определяемая плотность становится безразмерной величиной, которую называют *относительной плотностью d*.

Большинство строительных материалов имеет поры, поэтому истинная плотность у них всегда больше средней. Лишь у плотных материалов (сталь, стекло) истинная и средняя плотность практически равны, так как объем внутренних пор у этих материалов ничтожно мал.

Плотность некоторых видов строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		
	средняя	истинная	насыпная
Сталь	7850	7800-7900	-
Гранит	2500-2900	2700-3000	-
Песок	-	2500-2600	1500-1700
Цемент	-	3000-3100	1100-1350
Кирпич обыкновенный	1600-1900	2600-2700	-
Бетон тяжелый	1800-2500	2500-2600	-
Сосна	400-600	1550-1600	-

Пористостью называют степень заполнения общего объема материала порами (отношение объема пор к объему образца). Пористость подразделяется на открытую, закрытую и общую пористости, от величины которых зависят водопоглощение, водо-, газо- и паропроницаемость строительных материалов. С пористостью связаны также такие свойства материалов как прочность, теплопроводность, морозостойкость, звукопроницаемость и др.

Общей (истинной) пористостью называется весь объем пор в данном объеме материала. Пористость $\Pi_{\text{общ}}$, %, вычисляют по формуле:

$$\Pi_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) 100$$

Открытой пористостью материала называется объем тех пор, которые сообщаются с внешней средой. Их объем может быть измерен путем погружения в воду. Открытую пористость, $\Pi_{\text{откр}}$, %

$$\Pi_{\text{откр}} = \left(\frac{m_2 - m_1}{V}\right) * \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}}\right) * 100$$

m_2 и m_1

где m_1 - масса образца соответственно в насыщенном водой и сухом состоянии; V - объем материала; $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды.

Закрытую пористость $P_{\text{закр}}$ находят по разности между общей и открытой пористостью:

$$P_{\text{закр}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{откр}}$$

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 (сталь, стекло) до 90-98% (пенопласт). Пористость материала характеризуют не только с количественной стороны, но и по характеру пор: замкнутые и открытые, мелкие (размеров в сотые и тысячные миллиметра) и крупные (от десятых долей миллиметра до 2-5 мм).

По характеру пор оценивают способность материала поглощать воду. Так полистирольный пенопласт, пористость которого достигает 95% имеет замкнутые поры и практически не поглощает воду. В то же время керамический кирпич, имеющий пористость в три раза меньшую, благодаря открытому характеру пор (большинство пор представляют собой сообщающиеся капилляры) активно поглощает воду. Открытые поры увеличивают водопоглощение и ухудшают морозостойкость. В звукопоглощающих материалах открытые поры желательны, так как они поглощают звуковую энергию.

Величина пористости в значительной мере влияет на прочность материала.

Величина прочности также зависит от размеров пор: она возрастает с их уменьшением. Прочность мелкопористых материалов, а также материалов с закрытой пористостью выше, чем прочность крупнопористых и с открытой пористостью.

Пустотностью $V_{\text{пуст}}$ называется объем пустот между зернами рыхлонасыпанного материала, выраженный в долях единицы или в процентах от общего его объема; она определяется по формуле:

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho}\right) 100$$

Пустотность – очень важная характеристика сыпучих материалов, например заполнителей для бетонов. В плотном конструкционном бетоне все пустоты должны быть заполнены цементным тестом, поэтому чем меньше пустотность заполнителя, тем меньше расход цемента при получении бетона. В крупнопористом бетоне, наоборот, желательна повышенная пустотность заполнителя. Пустотность зависит от формы зерен заполнителя и зернового

Отношение материала к статическому или циклическому воздействию воды или пара характеризуется гидрофизическими свойствами.

При хранении во влажной атмосфере или после дождя пористые строительные материалы впитывают влагу. У плотных материалов вода может адсорбироваться тонким слоем на поверхности. В этом случае состояние материала характеризуют влажностью.

Влажность В – отношение массы воды, находящейся в данный момент в материале, к массе или – к объему материала в сухом состоянии, %:

$$B = \left(\frac{m_B - m_c}{m_c} \right) 100$$

$$B_V = \left(\frac{m_B - m_c}{V} \right) 100$$

где m_B и m_c – масса влажного и сухого материала соответственно;
 V – объем материала в сухом состоянии.

Увлажнение приводит к изменению многих свойств материала: повышается масса строительной конструкции, возрастает теплопроводность; под влиянием расклинивающего действия воды уменьшается прочность материала. Для многих строительных материалов влажность нормирована. Например, влажность стеновых материалов – 5-7%, воздушно-сухой древесины – 12-18%.

Гигроскопичностью называется свойство капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из воздуха.

Степень гигроскопичности зависит от количества и величины пор в материале, его структуры, температуры и относительной влажности воздуха. Материалы с одинаковой пористостью, но с более мелкими порами обладают более высокой гигроскопичностью, чем крупнопористые. Это отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках материалов.

Например, цемент при хранении поглощает из воздуха водяные пары, теряет активность; древесина при влажном воздухе разбухает, коробится, образует трещины усушки, изменяются форма и размеры деревянных изделий.

Гигроскопичность строительных материалов различна: некоторые активно притягивают своей поверхностью молекулы воды (гипс, цемент); другие, наоборот отталкивают воду (битумы, стекло, полимеры). Гигроскопичность строительных материалов необходимо учитывать при их сушке, длительном хранении, транспортировании в определенных эксплуатационных условиях.

За характеристику гигроскопичности принята величина отношения массы поглощенной влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре +20⁰С к массе сухого

Капиллярное всасывание воды пористым материалом происходит по капиллярным порам, когда часть конструкции соприкасается с водой. Например, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть здания. Это свойство характеризуется высотой поднятия воды в капиллярах материала, количеством поглощенной влаги и интенсивностью всасывания.

Капиллярами принято называть каналные поры, которые способны впитывать жидкость.

Средний радиус капилляра, т.е. поры, в которой происходит капиллярный подсос, неодинаков, так как основные параметры этого процесса различаются.

Водопоглощением W называют свойство материала впитывать и удерживать в себе воду при полном или частичном погружении его в воду. Количество поглощенной материалом воды, отнесенное к его массе в сухом состоянии, называют водопоглощением по массе W_m , а отнесенное к объему – водопоглощением по объему W_V , %.

$$W_m = \left(\frac{m_B - m_c}{m_c} \right) 100$$

$$W_V = \left(\frac{m_B - m_c}{V \rho_B} \right) 100$$

где m_B и m_c – масса влажного и сухого материала соответственно; V – объем материала; ρ_B – плотность воды.

Водопоглощение различных строительных материалов колеблется в очень широких пределах. Так, водопоглощение по массе глиняного обыкновенного кирпича составляет от 8 до 20%, тяжелого бетона – около 3%, гранита – 0,5-0,7%, пористых теплоизоляционных материалов – 100% и более. Водопоглощение по массе высокопористых материалов может быть больше пористости, но водопоглощение по объему никогда не может превышать пористость.

Водопоглощение используют для оценки структуры материала, привлекая для этой цели коэффициент насыщения пор водой.

$$k_{\text{нас}} = \frac{W_V}{P_{\text{общ}}}$$

Коэффициент насыщения позволяет оценить структуру материала. Он изменяется от 0 до 1. Уменьшение значения коэффициента насыщения (при той же пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости, что проявляется в повышении морозостойкости.

При насыщении материала водой существенно изменяются его свойства: повышаются средняя плотность, теплопроводность, происходят структурные изменения в материале, приводящие к снижению прочностных показателей.

Водоудерживающая способность - способность растворной смеси удерживать избыточную воду. Водоудерживающая способность предохраняет раствор от потери большого количества воды при нанесении его на пористое основание, а также от расслаивания при хранении и перевозке.

Водостойкость – свойство материала сохранять в той или иной мере свои прочностные свойства при увлажнении. Числовой характеристикой водостойкости служит отношение предела прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии R_H к пределу прочности при сжатии в сухом состоянии R_C . Это отношение принято называть коэффициентом размягчения

$$k_{\text{разм}} = \frac{R_H}{R_C}$$

Этот коэффициент изменяется от 0 (полностью размягчающиеся материалы) до величины, близкой к 1. К водостойким относятся строительные материалы, коэффициент размягчения которых больше 0,8. Такие материалы можно применять в сырых местах без специальных мер по защите их от увлажнения.

Водонепроницаемость – свойство материалов не пропускать через свою толщу воду под давлением.

Данное свойство зависит от пористости, размера и характера пор и оценивается по-разному с учетом специфики условий эксплуатации конкретного материала: для рулонных и мастичных кровельных и гидроизоляционных материалов – временем, по окончании которого вода при определенном давлении начинает просачиваться через образец, для гидроизоляционных строительных растворов и бетонов – односторонним гидростатическим давлением, при котором вода в стандартных условиях не проходит через образец цилиндрической формы.

Водонепроницаемыми являются плотные

На стабильность структуры и свойств материала заметное влияние оказывают попеременное увлажнение и просыхание. В жестких условиях находится тот материал, который увлажняется при резких температурных перепадах. Вода, поглощенная материалом, особенно порами в поверхностном слое, замерзает при переходе через нулевую температуру с расширением на 9%. Чередующаяся кристаллизация льда в порах с последующим оттаиванием приводит к дополнительным внутренним напряжениям. Могут возникнуть микро- и макротрещины со снижением прочности, с возможным разрушением структуры.

Свойство материала, насыщенного водой, выдерживать многократные попеременные (циклические) замораживание и оттаивание без значительных технических повреждений и ухудшения свойств называется *морозостойкостью*.

Материал считают выдержавшим испытание, если после заданного количества циклов замораживания и оттаивания потеря массы образцов не превышает 5%, а прочность снижается не более чем на 20%.

Обычно образцы, насыщенные водой замораживают в специальных морозильных камерах при температуре 18°C , а оттаивание в воде при комнатной температуре. Могут применяться и ускоренные методы испытания на морозостойкость с помощью сернокислого натрия.

Марка по морозостойкости (F 10, F 15 F 500) характеризуется числом циклов замораживания и оттаивания, которое выдержал материал, при допустимом снижении прочности или уменьшении

Отношение материала к постоянному или переменному тепловому воздействию характеризуется его теплопроводностью, теплоемкостью, термической стойкостью, огнестойкостью, огнеупорностью.

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих материал.

Это свойство характеризуется коэффициентом теплопроводности λ (Вт/ (м*⁰С)), который показывает количество теплоты, проходящее через плоскую стенку толщиной 1 м и площадью 1 м² при перепаде температур на противоположных поверхностях в 1⁰С в течение 1 ч.

Теплопроводность зависит от:

- Химического состава;
- Структуры материала;
- Влажности;
- Величины и характера пор материала;
- Размера пор.

Содержащийся в порах воздух, особенно в замкнутых, является малотеплопроводной средой. Воздух при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ имеет теплопроводность $\lambda = 0,023 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$, а при температуре $+100^{\circ}\text{C}$ - $0,306 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$. С увлажнением теплопроводность материала возрастает, так как теплопроводность воды равна $0,54 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$, т.е. в 25 раз больше, чем воздуха.

Если вода в порах замерзает, то теплопроводность материала еще больше увеличивается, поскольку теплопроводность льда в 4 раза больше, чем воды - $2,1 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$.

В связи с тем, что в крупных и сообщающихся порах усиливается перенос теплоты конвекцией, что повышает суммарную теплопроводность, мелкопористые материалы и материалы с замкнутыми порами обладают меньшей теплопроводностью. Материалы слоистого или волокнистого строения имеют различную теплопроводность в зависимости от направления потока по отношению к волокнам.

Материалы кристаллического строения более теплопроводны, чем материалы того же состава, но аморфного строения.

В справочной литературе приводятся значения λ различных строительных материалов в сухом состоянии при 20⁰С; они используются при тепловых расчетах и для решения практических задач. На практике для ориентировочной оценки теплопроводности материалов используют эмпирическую формулу В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м*⁰С), d – относительная плотность материала.

Точное значение λ материала определяют экспериментально. Теплопроводность является главным свойством как для большой группы теплоизоляционных материалов, так и для материалов, применяемых для наружных стен и покрытий зданий.

Теплопроводность учитывается при теплотехнических расчетах толщины стен и перекрытий зданий, а также требуемой толщины тепловой изоляции. Она связана с термическим сопротивлением слоя материала R (м*⁰С/Вт), которое определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

где δ – толщина слоя, м.

От значения термического сопротивления зависят толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий.

Теплоемкость характеризует способность материала аккумулировать теплоту при нагревании.

Это свойство материала оценивается с помощью удельной теплоемкости, которая показывает количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1⁰С.

Удельную теплоемкость C кДж/(кг*⁰С) иначе называют коэффициентом теплоемкости и численно определяют из выражения

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

где Q – количество теплоты, затраченное на нагревание материала, m – масса материала, $t_2 - t_1$ – разность температур материала до и после нагревания, ⁰С.

Коэффициент теплоемкости воды равен 4,2 кДж/(кг*⁰С). Строительные материалы в сухом состоянии имеют более низкие значения этого коэффициента:

- Каменные материалы – 0,75-0,94 кДж/(кг*⁰С);
- Лесные материалы – 2,42-2,75 кДж/(кг*⁰С);
- Сталь – 0,5 кДж/(кг*⁰С).

С увлажнением материала коэффициенты теплоемкости возрастают, вместе с тем возрастают и значения теплопроводности.

Огнестойкость - свойство материала в конструкции сопротивляться действию огня, высоких температур, воды и ограничивать распространение огня.

Огнестойкость характеризуется пределом огнестойкости – временем (в минутах) от начала теплового воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления предельного состояния, зависящего от назначения конструкции.

Предельным состоянием считают чрезмерные деформации конструкции (потеря несущей способности); образование сквозных трещин или отверстий, через которые могут проникать пламя и дым (потеря целостности); высокая температура на необогреваемой поверхности, что может вызвать самопроизвольное воспламенение горючих материалов (потеря изолирующей способности).

В огнестойких конструкциях должны использоваться негорючие материалы (бетон, сталь, керамический кирпич). Но необходимо учитывать, что при пожаре температура достигает 1000°C .

При этой температуре некоторые негорючие материалы (гранит) растрескиваются, другие (сталь) сильно деформируются и разрушаются, у третьих (известняк, мрамор, доломит, органические материалы) огонь вызывает химическое разложение, четвертые (алюминий, пластмассы) плавятся.

Строительные материалы по степени огнестойкости подразделяются на три группы:

- несгораемые,
- трудносгораемые,
- сгораемые.

Несгораемые материалы в условиях пожара не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К ним относятся керамический кирпич, черепица, бетон, асбестоцементные и природные каменные материалы.

Трудносгораемые материалы под действием огня и высокой температуры с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются, но только при наличии источника огня. (При удалении источника огня горение и тление прекращаются). К этим материалам относят фибролит, стеклопластики, асфальтовый бетон.

Сгораемые материалы под действием огня и высокой температуры воспламеняются, горят или тлеют и продолжают гореть после удаления источника огня. К сгораемым материалам относят древесину, рубероид, пластмассы, полимерные материалы.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580°C и выше), не деформируясь и не размягчаясь.

Классификация огнеупорных материалов

- Легкоплавкие (температура плавления менее 1350°C) – кирпич керамический строительный;
- Тугоплавкие (выдерживают без оплавления и деформации $1350 - 1580^{\circ}\text{C}$) – тугоплавкий печной кирпич ;
- Огнеупорные (применяются для внутренней футеровки промышленных печей, не деформируются и не размягчаются при температуре более 1580°C) – динас, шамот, хромомagneзит, корунд.

Механические свойства

Прочность – свойство материалов сопротивляться разрушению из-за возникающих в них внутренних напряжений.

Численной характеристикой этого свойства является предел прочности (временное сопротивление), который в строительном материаловедении обозначается R .

Предел прочности равен напряжению, вызывающему разрушение материала, поэтому для нахождения предела прочности необходимо определить напряжение, при котором материал разрушается.

Например, чтобы определить предел прочности при сжатии бетона, необходимо сначала вычислить площадь грани образца, на которую будет распределена нагрузка, а затем на испытательной машине (прессе) зафиксировать разрушающую нагрузку в кгс или ньютонах.

После этого подсчитывают напряжение, при котором разрушился образец, т.е. $R_{сж} = \frac{P_{раз}}{F}$ прочности при сжатии $R_{сж}$

$$R_{сж} = \frac{P_{раз}}{F}$$

На результат при определении предела прочности материала влияет множество факторов. Например, предел прочности при сжатии малых образцов получается выше, чем образцов большего размера. Влияет на результат испытаний и форма образца. Например, более предпочтительна форма цилиндра по сравнению с формой кубика.

С увеличением размеров образца, главным образом его высоты, влияние сил трения снижается, под нагрузкой образец разрушается от поперечного разрушения.

Предел прочности материалов – условная величина, которая зависит от множества причин. Это размеры и конфигурация образцов, их температура и влажность, скорость приложения нагрузки и т.д.

Методы определения прочностных показателей различных материалов подробно прописаны в соответствующих нормативных документах.

Коэффициент конструктивного качества (ККК) – это характеристика относительной прочности материала, т.е. предела прочности по отношению к плотности.

Чтобы плотность перевести в безразмерную величину, пользуются понятием *относительная прочность* (т.е. по отношению к плотности воды), МПа:

$$\text{ККК} = \frac{R}{d_{\text{отн}}}$$

В строительстве используют различные строительные материалы, выбирая те, у которых высокая величина этого коэффициента, т.е. высокая прочность при малой плотности, например, стеклопластик (225 МПа), древесину (200 МПа), сталь (50-120 МПа), бетон (10-50 МПа), кирпич (5,5 МПа).

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела.

Твердость пластичных материалов, в частности металлов, наиболее часто определяют путем вдавливания в образец малодеформирующихся тел, изготовленных в виде шарика, конуса или пирамиды. В этом случае твердость характеризует свойство материала сопротивляться пластической деформации на поверхности образца.

Известен ряд способов определения твердости материалов посредством вдавливания твердого наконечника, например, метод Бринелля.

По этому методу в поверхность испытуемого образца вдавливается при заданной нагрузке шарик определенного диаметра из закаленной хромистой стали. По результатам испытаний вычисляют число твердости учитывая нагрузку на шарик, площадь поверхности отпечатка, диаметр шарика, диаметр отпечатка.

Твердость хрупких материалов, например минералов или мономинеральных пород, можно характеризовать по условной десятибальной шкале Мооса, в которой в качестве эталонов принята твердость десяти минералов, расположенных по возрастающей твердости:

- 1 – тальк;
- 2 – гипс;
- 3 – кальцит;
- 4 – флюорит;
- 5 – апатит;
- 6 – ортоклаз;
- 7 – кварц;
- 8 – топаз;
- 9 – корунд;
- 10 – алмаз.

Испытуемый материал имеет число твердости между эталонными минералами шкалы Мооса, из которых один чертит данный материал, а другой сам чертится испытуемым материалом.

Чем выше твердость материалов, тем больше сопротивление истиранию.

Истираемость – способность материала истираться тонкими слоями при трении его о другой, более твердый материал.

Сопротивление материала истиранию определяют на специальных машинах (кругах истирания) и выражают потерей массы образца, отнесенной к площади истирания.

Истираемость I , г/см² вычисляют по формуле:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{F}$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после испытания, г; F – площадь истирания, см².