***Морозостойкость плотных и пористых материалов***

В строительном материаловедении понятие «морозостойкость» связывают с воздействием на материал двух основных факторов:

- влияние низких температур - для абсолютно плотных материалов (стекло, металлы, полимерные изделия и др.);

- совокупное влияние низких температур и воды - для материалов мелкопористой структуры (природные и искусственные каменные материалы, в том числе строительная керамика, бетоны, растворы и др.).

Таким образом, для плотных материалов морозостойкость — способность материала сохранять эксплуатационные свойства при низких температурах. К таким материалам предъявляются требования в зависимости от их назначения с учетом условий эксплуатации. В большинстве случаев основным требованием является сохранение целостности структуры.

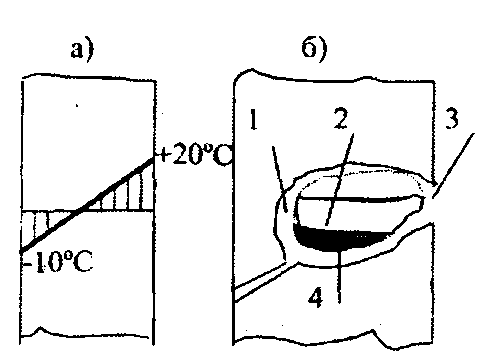
Механизм разрушения структуры материала при перепадах температуры связан с явлением расширения — сжатия и изменением упругих свойств материала. При низких температурах материал становится более хрупким, ломким; резко снижается его ударная прочность.

Это в большей степени относится к полимерным материалам и металлам.

Морозостойкость природных и искусственных каменных материалов — способность материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии (без видимых признаков разрушения и допустимого понижения прочности).

Разрушительное воздействие мороза на ограждающую конструкцию можно условно разделить на три основных периода: водонасыщение, промерзание и, собственно, разрушение.

В наиболее влажный период года происходит водонасыщение поверхностного слоя ограждающей конструкции



*Рис. 6.1. Распределеление температуры в наружной стене здания (а) и заполнение пор водой (б) вблизи наружной поверхности:*

*1 - адсорбированная вода; 2 - конденсат; З - устье; 4 - дождевая вода*

При понижении температуры окружающей среды наружные слои конструкции постепенно охлаждаются, фронт низких температур распространяется внутрь конструкции. Водяной пар, находящийся в противоположной зоне конструкции, перемещается от тепла к холоду, поскольку давление влажного воздуха при отрицательной температуре ниже, чем при положительной. Попадая в зону низких температур, водяной пар конденсируется в порах, вблизи наружной поверхности ограждающей конструкции (рис. 6.1.).

При наступлении даже небольших морозов (-5..-8оС) вода, находящаяся в крупных порах, замерзая и превращаясь в лед, создает напряженное состояние в материале.

***Механизм разрушения структуры пористых тел при замораживании***

Существует несколько гипотез, объясняющих причины разрушения структуры материала при замораживании:

- вода, находящаяся в крупных порах материала при температуре ниже 0,01оС, превращается в лед с увеличением в объеме около 9%. Если при этом коэффициент насыщения приближается к 1, то в стенках пор могут возникнуть растягивающие напряжения, являющиеся основной причиной разрушения структуры;

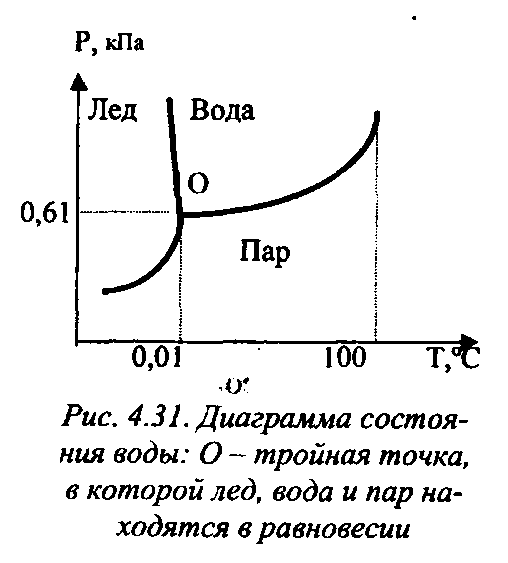
- давление расширения воды при замерзании заставляет мигрировать еще не замерзшую воду, создавая большое гидростатическое давление, которое усиливает напряжения на стенки сообщающихся пор;

- перемещение незамерзшей воды в направлении поверхности из тонких пор в крупные в момент образования в них льда и понижение при этом давления пара (эффект вспучивания грунта при замерзании).

Анализируя вышеперечисленные гипотезы, отметим, что, несмотря на некоторые противоречия (например, между двумя последними причинами в плане направления миграции воды), главным фактором разрушения следует признать изменение фазового состояния воды при изменении температуры или давления.

С точки зрения термодинамики, процесс замораживания сопоставим с процессом сушки пористых материалов по двум основным положениям:

- изменение агрегатного состояния воды или установление равновесного состояния «вода —лед» при замораживании и «вода — пар» при сушке (рис. 4.31);

 ‘

- возникновение массообменных процессов внутри материала в результате высоких градиентов давлений над водой при замораживании и высоких градиентов влажности при сушке.

Известно, что процесс диффузии влаги внутри материала при сушке зависит от характеристики структуры материала и свойств воды, а также градиентов температуры, влажности и давления.

Проводя аналогию между процессами диффузии влаги при сушке и замораживании материалов, отметим следующие основные моменты:

- если при сушке основной движущей силой влагопроводности является градиент влажности, который во многом зависит от интенсивности испарения воды, то при замораживании — градиент давления, который зависит от изменения температур и скорости кристаллизации воды;

- направление движения влаги в обоих случаях одинаковое — в сторону расположения критической точки превращения воды: в первом случае — в пар, во втором — в лед, т. е. к поверхности;

- роль воздуха в пористой структуре материала в двух этих процессах неодинаковая, но положительная: при сушке, особенно во время интенсивного нагрева, влага в порах испаряется и за счет избыточного давления пара увеличивает диффузию, а при замораживании наличие свободного воздушного пространства уменьшает гидростатическое давление и снижает напряжение в материале.

***Факторы, влияющие на морозостойкость***

Анализ механизма при замораживании показывает, что морозостойкость пористых строительных материалов связана в основном с двумя характеристиками структуры: водопоглощением и способностью сопротивляться растягивающим напряжениям.

Водопогющение — косвенная характеристика пористости, которая показывает способность материалов впитывать и удерживать влагу в период эксплуатации. Водопоглощение характеризуется коэффициентом насыщения пор водой, который определяется по формуле:

Кн = W / П,

где: Кн — коэффициент насыщения, ед.;

W - водопоглощение по объему, %;

П — общая пористость материала, %.

Коэффициент насыщения может изменяться от 0 (все поры в материале замкнутые) до 1 (все поры открытые), и тогда W = П. Уменьшение коэффициента насыщения при неизменной пористости свидетельствует о сокращении открытой пористости, что значительно повышает морозостойкость структуры.

Предел прочности при растяжении зависит от природы химических связей и наступает при нарушении равновесия между силами притяжения и отталкивания с последующим нарушением связности структуры. Эта характеристика является константой для каждого материала.

Однако следует заметить, что в условиях замораживания в локальных участках пористой структуры имеет место не классическое осевое растяжение, а гидростатическое давление расширения, которое меняет характер и механизм разрушения структуры.

Главной проблемой повышения морозостойкости пористых материалов является снижение растягивающих напряжений при замораживании, которое может быть достигнуто:

- при уменьшении водопоглощения за счет создания микропористой структуры с преимущественно замкнутыми порами;

- путем воздухововлечения, когда в материале образуются воздушные резервуары, гасящие избыточное давление мигрирующей воды;

- посредством введения в структуру материала высокодисперсного армирующего компонента, увеличивающего пластическую составляющую в целом упругой деформации.

Количественно морозостойкость материала оценивается циклами замораживания и оттаивания. Количество циклов определяется по потере прочности материала, которая не должна превышать 25%, или по потере массы, которая не должна превышать 5%.

Показатель морозостойкости (марка) обозначается символами:

F15; F25; F50.. F500, где цифры показывают количество циклов замораживания и оттаивания материала при испытании.

Условия испытания, установленные российскими и международными стандартами, являются значительно более суровыми, чем реальные условия эксплуатации материала, особенно в части интенсивности замораживания и оттаивания, что в значительной мере связано со сроками проведения этих испытаний. В табл. 6.2 представлены показатели морозостойкости некоторых строительных материалов.

Таблица 6.2. Морозостойкость строительных материалов в зависимости от водопоглощения и предела прочности при разрыве

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Водопо-глощение, % | Плот­ность,  г/см3 | Rразр, МПа | Морозостой-кость, циклы |
| Керамический кирпич | 8...15 | 1,6...1,9 | 0,9..3,5 | 15...50 |
| Кер. фасадная плита | 1..5 | 1,9...2,2 | 4..6 | 35...50 |
| Клинкерный кир­пич | < 1 | 2,3...2,5 | 6...10 | 50...100 |
| Ячеистый бетон | 40...60 | 0,5...1,2 | 0,078... 1 | 15...75 |
| Легкий бетон | - | 0,8...1,8 | 0,8..3,2 | 25...400 |
| Тяжелый бетон | 3...10 | 2,2...2,5 | 0,8..3,2 | 50...500 |
| Асбестоцемент | 20...25 | 1,6...1,8 | 10..15 | 50...100 |

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы:

- водопоглощение и сопротивление растяжению являются основными факторами, влияющими на морозостойкость любого вида пористых каменных материалов;

- с увеличением водопоглощения и уменьшением сопротивления растяжению морозостойкость материалов уменьшается;

- мера влияния водопоглощения и сопротивления растяжению на морозостойкость зависит от вида материала и особенностей его структуры:

- *керамические материалы*: оба фактора имеют примерно равное значение;

- *тяжелые бетоны*: главным является водопоглощение;

- *легкие бетоны*: главный фактор — особенность структуры, связанная с наличием резервной пористости заполнителя; водопоглощение и сопротивление растяжению, практически, влияния не оказывают;

- *ячеистые бетоны*: наличие преимущественно крупных (10.. .200 мк), неопасных пор; водопоглощение и сопротивление растяжению второстепенны;

- *асбестоцементные материалы*: высокое сопротивление растяжению и снижение напряжения расширения благодаря увеличению доли пластических деформаций при разрушении; водопоглощение — второстепенный фактор.

**Контрольные вопросы:**

1. Понятие морозостойкость?

2. Факторы влияющие на морозостойкость.