

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие

Под редакцией д-ра техн. наук, профессора Н.А. Машкина

***Рекомендовано Новосибирским
региональным отделением УМО
вузов Российской Федерации по образованию
в области строительства в качестве учебного посо-
бия
для студентов, обучающихся по направлению
270100 «Строительство»***

НОВОСИБИРСК 2010

УДК 620.22
ББК 30.3
М 383

Машкин Н. А.

Материаловедение. Курс лекций : учеб. пособие / Н. А. Машкин [и др.] ; под ред. Н. А. Машкина ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 104 с.

ISBN 978-5-7795-0475-1

Учебное пособие представляет курс лекций по материаловедению и содержит сведения о структуре и свойствах материалов, данные о сырье и основах технологии производства строительных материалов и изделий. Пособие предназначено для студентов специальностей направления «Строительство».

Учебное пособие, на основе многолетнего опыта чтения лекций по материаловедению, подготовили преподаватели кафедры строительных материалов и специальных технологий НГАСУ (Сибстрин): В.А. Безбородов, канд. техн. наук, доцент, В.Ф. Завадский, д-р техн. наук, профессор, И.В. Генцлер, канд. техн. наук, доцент, Т.Ф. Каткова, канд. техн. наук, доцент, А.М. Коледина, канд. техн. наук, доцент, Э.А. Кучерова, канд. техн. наук, профессор, Н.А. Машкин, д-р техн. наук, профессор.

Печатается по решению издательско-библиотечного совета
НГАСУ (Сибстрин)

Рецензенты:

- А.П. Пичугин, д-р техн. наук, профессор НГАУ;
- В.Д. Баланчук, д-р техн. наук, профессор СГУПС

ISBN 978-5-7795-0475-1 © Машкин Н.А., Безбородов В.А.,
Завадский В.Ф., Генцлер И.В.,
Каткова Т.Ф., Коледина А.М.,
Кучерова Э.А.

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Тема 1 (лекция 1). ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО НАЗНАЧЕНИЮ	9
1.1. Основные понятия.....	9
1.2. Значение строительных материалов.....	9
1.3. Классификация строительных материалов.....	10
1.4. Стандартизация	12
1.5. Принципы обеспечения комплекса требуемых свойств	13
Тема 2 (лекция 2). СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	15
2.1. Состав материалов	15
2.2. Строение материалов.....	20
Тема 3 (лекции 3–4). СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	27
3.1. Виды сырья	27
3.1.1. <i>Природное неорганическое сырье (нерудные полезные ископаемые)</i>	27
3.1.2. <i>Природное органическое сырье</i>	30
3.1.3. <i>Решение экологических проблем при производстве строительных материалов</i>	31
Тема 4 (лекция 5). ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	35
4.1. Основные принципы производства	35
4.2. Технологические приемы обеспечения заданной структуры и свойств.....	40
4.3. Использование технологических добавок	41
Тема 5 (лекции 6–12). СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ	

МАТЕРИАЛОВ	43
5.1. Классификация свойств	43
5.2.1. Свойства материала, характеризующие его как физическое тело	44
5.2.2. Гидрофизические свойства строительных материалов (свойства материалов по отношению к действию воды)	49
5.2.3. Теплофизические свойства	66
5.3. Механические свойства строительных материалов	77
5.3.1. Механические свойства	77
5.3.2. Специальные механические свойства	87
5.3.3. Неразрушающие методы испытаний	90
5.4. Химические свойства материалов	91
5.4.1. Химические свойства	91
5.4.2. Выветривание горных пород и способы защиты	97
5.4.3. Коррозия цементных материалов и способы повышения коррозионной стойкости	100
5.5. Долговечность и срок эксплуатации материалов и конструкций	101
5.6. Техничко-экономическое обоснование выбора материалов	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	105

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение как наука о природе согласно точности экспериментальных результатов и глубине идей включает в себя знания физики, химии, биологии. Вследствие интеграции наук и установления связи между ними материаловедение сформировалось как самостоятельная наука. Развитие кристаллографии и кристаллохимии, а затем структурного анализа и представлений о реальной структуре материалов повлияло на развитие материаловедения как системы упорядоченных знаний. Каждая из этих наук как подсистема материаловедения представляет свою развивающуюся систему знаний со своей конкретной концепцией, а само материаловедение, естественно, выступает подсистемой в естествознании (математике, физике, химии, биологии). Материаловедение является наукой, которая представляет собой не просто сумму знаний (набор фактов), а единую систему знаний с обобщениями и классификацией, способную предсказать не только цепь преобразования веществ при тех или иных воздействиях на них, но и свойства вновь получаемых веществ и материалов.

Потребность техники в прочных материалах тесно связана с химией и физикой. Свойства материалов напрямую зависят от взаимодействия между атомами, формирующими пространственную структуру, от размера зерен (микрочисталлов), составляющих материал, а также от процессов на границах зерен при технологическом изготовлении материалов.

Сегодня достигнуты границы прочности материалов при величине зерен $5\text{--}10\text{ нм} = (50\text{--}100\text{ \AA})$, т.е. при значениях энергии объема зерна, близких к значениям энергии на его поверхности, и активно изучается взаимодействие и влияние наноразмерных частиц. Современное материаловедение требует знаний о веществе и материалах на уровне атомов и взаимодействия между ними.

Все это способствует знаниям о веществе как идеально упорядоченных атомах (молекулах) в пространстве и установле-

нию связей между структурой и способами получения или технологического изменения вещества (материала). Становится понятным, что от структуры зависят конкретные свойства веществ и материалов.

Настоящее учебное пособие представляет оригинальную область физического материаловедения, связанную со структурой и свойствами строительных материалов. Знание материаловедения необходимо для дальнейшего изучения курса «Строительные материалы» студентами строительных специальностей.

Цель дисциплины – дать базовые знания:

- по свойствам строительных материалов;
- по их связи с составом и строением;
- по основным закономерностям изменения свойств под воздействием различных факторов;
- по грамотному подходу к выбору строительного материала для конкретных условий эксплуатации.

Основные сведения о дисциплине:

В течение семестра: лекций – 24 часа, лабораторных работ – 10 часов, самостоятельная работа (по заданию преподавателя) – 26 часов. Форма контроля – тест и зачет.

Тема 1 (лекция 1)

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

1.1. Основные понятия

Строительный материал – материал, используемый в строительстве зданий или сооружений или для производства строительных изделий и конструкций.

Строительные изделия – изделия из строительных материалов, имеющие определенную форму и постоянные размеры.

Номенклатура – перечень названий основных видов готовой продукции (материалов, изделий).

Сырье, сырьевые материалы – исходные вещества или их смеси (*сырьевые смеси*) из 2-х или большего числа компонентов, которые подвергаются переработке при получении строительных материалов и изделий.

Технология – в широком смысле это наука о процессах и способах производства, в более узком – это последовательность операций по переработке сырья в готовое изделие или в строительный материал.

1.2. Значение строительных материалов

Строительство – одна из самых материалоемких отраслей хозяйства. Ни одно здание или сооружение не может быть построено без применения самых разнообразных строительных материалов. Затраты на материалы составляют около 50 % от общей стоимости строительства зданий и сооружений.

Использование материалов для целей строительства известно с глубокой древности. Древнейший каменный дом, остатки которого найдены недалеко от водопада Калембо в Родезии, был построен 57 тысяч лет назад.

Если сначала использовались природные материалы (камень, древесина, глина), то затем все больше стали применяться

искусственные материалы – продукты переработки природного сырья, а в XX веке начался массовый выпуск синтетических материалов – полимеров и композиционных материалов на их основе – пластмасс.

Номенклатура строительных материалов чрезвычайно широка и продолжает расширяться. Это связано прежде всего с тем, что не существует одного универсального материала, наилучшим образом отвечающего любым эксплуатационным требованиям. Поэтому разрабатываются и выпускаются материалы, имеющие определенное назначение, т.е. обладающие комплексом свойств, необходимых для определенных условий.

В связи с этим, из всех системных классификаций (т.е. делений на группы по определенному признаку) особое значение имеет классификация материалов и изделий по назначению, в которой материалы каждой группы далее подразделяются на подгруппы по другому признаку, например, по виду сырья, из которого они изготовлены.

1.3. Классификация строительных материалов

1. *Конструкционные материалы и изделия* – предназначены для создания несущих конструкций, т.е. воспринимающих эксплуатационные механические нагрузки:

- природные каменные материалы (например, блоки, камни, бутовый камень из плотных горных пород);
- искусственные каменные материалы:
 - на основе неорганических вяжущих веществ – цементные и силикатные бетоны;
 - керамические кирпич и камень;
 - стеклянные изделия (стеклоблоки, стеклопрофильные изделия);
- металлические конструкции (фермы, балки);
- железобетонные конструкции (колонны, плиты покрытий и перекрытий);

- конструкции из пластмасс;
 - деревянные конструкции.
2. *Вяжущие вещества* – предназначены для соединения («склеивания») сыпучих зернистых материалов в единое целое с приданием определенной формы:
- неорганические (минеральные) вяжущие – гипс, известь, портландцемент;
 - органические вяжущие – битум и деготь;
 - полимерные связующие – поливинилхлорид, эпоксидные смолы, акриловые водные дисперсии.
3. *Теплоизоляционные материалы изделия* – предназначены для предотвращения потерь тепла (или холода):
- минеральные (стеклянная и минеральная вата, пеностекло, пенокерамика);
 - органические (древесноволокнистые плиты, фибролит);
 - полимерные – ячеистые пластмассы (пенополистирол, пенополиуретан, фенольные поропласты).
4. *Гидроизоляционные материалы* – предназначены для защиты (изоляции) конструкций от воды:
- битумные и дегтевые рулонные материалы (рубероид, толь, гидроизол), эмульсии и мастики;
 - полимерные материалы – пленки (полиэтиленовая, поливинилхлоридная) и мастики.
5. *Отделочные материалы* – предназначены для придания привлекательного внешнего вида, улучшения санитарно-гигиенических свойств поверхности и защиты материалов конструкций:
- из природного камня – плиты с полированной поверхностью из гранита, мрамора, плит;
 - керамические – плитки для облицовки фасадов и внутренней поверхности стен;
 - стеклянные – марблит, стемалит;
 - материалы и изделия из древесины;
 - из пластмасс – моющиеся обои, бумажно-слоистые мастики.

6. *Материалы для пола и дорожные материалы.*
7. *Кровельные материалы.*
8. *Гидротехнические материалы.*
9. *Материалы и изделия специального назначения – акустические, огнеупорные, кислотостойкие, радиационно-защитные.*

Качество, долговечность и стоимость сооружений в большой мере зависят от правильного выбора и применения строительных материалов.

Для выбора строительного материала из обширной номенклатуры в каждой группе по назначению надо учитывать условия эксплуатации, диктующие требования к свойствам материала, долговечность материала и срок службы сооружения, стоимость и другие факторы.

1.4. Стандартизация

Для выпуска материалов с определенными показателями свойств, вне зависимости от места производства и предприятия – производителя продукции, создана система стандартизации. Это система нормативных документов, в соответствии с которыми выпускается, транспортируется, хранится и используется материал. Нормативные документы определяют перечень свойств и требуемый уровень показателей этих свойств.

Основные свойства материалов часто характеризуются *маркой* или *классом*.

Например, для конструкционных материалов наиболее важным свойством является прочность, поэтому для них марка – требуемый показатель прочности. Марка цемента – 400, 500, 550 и 600 – показатель прочности при сжатии с учетом прочности при изгибе. Классы для тяжелого бетона – В10, В20, В30 и т.д. – также характеризуют прочность при сжатии.

Класс бетона – одно из нормируемых значений унифицированного ряда показателей прочности бетона при сжатии

(МПа), принимаемое с гарантированной обеспеченностью на основании испытаний контрольной серии образцов.

Для теплоизоляционных материалов главным свойством является способность проводить тепло, поэтому класс этих материалов определяет требования к коэффициенту теплопроводности, а марка – значение средней плотности.

Стандарты на материалы бывают разного уровня: государственные – ГОСТ, отраслевые – ОСТ, стандарты отдельных предприятий.

Обычно для большинства материалов существует не один нормативный документ, а несколько. Один из них определяет название, виды, перечень нормируемых свойств и требований к ним (например, «ГОСТ 10178-95. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»). Другие документы устанавливают методы испытаний (т.е. определение показателей свойств для конкретного материала) – например, шесть ГОСТов под общим номером ГОСТ 310 для испытаний портландцемента и шлакопортландцемента, правил транспортирования, хранения и т.д.

Значение стандартизации в том, что материалы выпускаются качеством не ниже, чем установлено нормативным документом. Это позволяет обеспечивать надежность и долговечность конструкций и сооружений.

Стандарты регулярно пересматриваются, требования к материалам, методы испытаний при этом могут изменяться. Учитывается технический прогресс и возрастающий уровень требований к потребительским свойствам. Это стимулирует выпуск более эффективных материалов.

1.5. Принципы обеспечения комплекса требуемых свойств

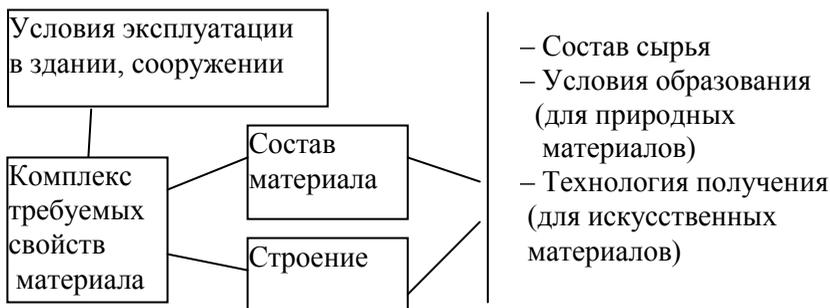
Несмотря на большие различия между разными строительными материалами, между ними есть много общего.

Задачей строительного материаловедения является выявление общих для всех материалов закономерностей с тем, чтобы иметь возможность получать материалы с требуемыми свойствами.

Основной зависимостью материаловедения, в том числе и строительного материаловедения, является взаимосвязь «*состав – строение – свойства – применение*», которая говорит, что применение материалов определяется их свойствами, а свойства зависят от состава и строения.

Управление свойствами (т.е. получение комплекса заданных свойств) заключается в создании необходимой структуры материала определенного состава путем технологического воздействия на сырьевые материалы.

Эту взаимосвязь можно изобразить в виде схемы:



В дальнейшем на конкретных примерах рассматривается эта взаимосвязь и возможность целенаправленного получения материалов с заданными свойствами при подборе их оптимального состава и создания необходимой структуры.

Тема 2 (лекция 2) СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Состав материалов

Состав строительного материала может быть охарактеризован:

- химическим составом;
- минеральным или фазовым составом;
- вещественным составом.

Химический состав отражает содержание в материале химических элементов или их оксидов в процентах.

По химическому составу материалы подразделяются на:

- органические – состоящие, главным образом, из углеводов (битумы, дегти, древесина, полимеры);
- неорганические, которые подразделяются на:
 - неметаллические (или минеральные) – горные породы, керамические, бетонные;
 - металлические.

Многие минеральные материалы называются *силикатными* из-за высокого содержания SiO_2 в химическом составе.

Химический состав органических материалов принято выражать процентным содержанием химических элементов. Например, химический состав битума:

C – 70–87 %	S – до 1,5 %
H – до 15 %	N – менее 1 %
O – до 10 %	

Химический состав неорганических материалов принято выражать процентным содержанием оксидов. Примеры химического состава некоторых широко используемых строительных материалов представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав материалов

Горная порода мрамор (чистый, без примесей)	Обычное оконное стекло	Портландцементный клинкер*
CaO – 56 % CO ₂ – 44 %	SiO ₂ – 71–72 % Na ₂ O – 14–15 %; CaO – 6,5–7 % MgO – 4 % Al ₂ O ₃ – 2 %	CaO – 64–67 % SiO ₂ – 21–25 % Al ₂ O ₃ – 4–8 % Fe ₂ O ₃ – 2–4 %; MgO < 5 %

*Портландцементный клинкер – это основной компонент портландцемента, который получают по технологической схеме:

Сырье:

карбонатная
горная порода (CaCO₃) –
(известняк, мел) – 75–78 %

+

глинистая порода – 22–25 %
(алюмосиликат)
(глина, глинистый сланец)

→ тонкий помол →
обжиг → ПЦ клинкер

ПЦ клинкер + гипс (+ добавки) → помол → цемент.

Химический состав материалов влияет на свойства.

Органические материалы способны гореть, неорганические – не горят, но при нагревании многие материалы способны расплавляться. Металлические материалы проводят электрический ток.

Изменяя химический состав материала, можно изменять его свойства.

Например, изменение химического состава стеклянных расплавов позволяет изменять свойства получаемых из него стекол:

– увеличение содержания SiO_2 приводит к увеличению тугоплавкости, механической прочности и термостойкости стекла;

– увеличение содержания PbO приводит к увеличению блеска и светопреломления стекла.

– введение соединений фтора и фосфора приводит к тому, что стекло становится непрозрачным.

Минеральный состав показывает, в какие минералы соединены химические элементы в материале и каково их содержание в процентах.

Например, горная порода мрамор, главным образом, состоит из одного минерала – кальцита с формулой CaCO_3 , поэтому ее называют мономинеральной. Свойства этого минерала будут во многом определять свойства горной породы – невысокую твердость (царапается ножом), разрушение под действием растворов кислот.

В портландцементном клинкере оксиды образуют следующие основные минералы:

Трехкальциевый силикат (алит)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S)	40–65 %
Двухкальциевый силикат (белит)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S)	15–40 %
Трехкальциевый алюминат	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)	3–15 %
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)	10–20%

Таблица 2.2

Свойства минералов цементного клинкера

Минералы	Активность	Тепловыделение при взаимодействии с водой	Прочность, создаваемая при твердении	Стойкость к коррозии
C_3S алит	Взаимодействует с водой активно, быстро твердеет	Высокое	Высокая	Пониженная
$\beta-C_2S$ белит	Медленно взаимодействует с водой, медленно твердеет	Низкое	В ранние сроки – низкая, при длительном твердении – высокая	Высокая
C_3A	Очень активно взаимодействует с водой, быстро твердеет	Очень высокое	Низкая	Низкая
C_4AF	Средняя	Среднее	Средняя	Высокая

Изменяя химический состав сырьевой смеси, можно изменять содержание того или иного минерала в клинкере и изменять тем самым свойства цемента. Таким образом получают быстротвердеющие, высокопрочные портландцементы, цементы с низким и высоким тепловыделением, сульфатостойкие и др.

Фазовый состав – это содержание и соотношение кристаллических и аморфных веществ, воздушных пор, микротрещин и пор, заполненных водой. *Фазой* называют однородную часть системы, обладающую одинаковым составом, физическими и химическими свойствами и отделенную от других частей систе-

мы поверхностью раздела, т.е. любой минерал можно рассматривать как отдельную фазу.

Для многих материалов говорить о химическом или минеральном составе не имеет смысла, поскольку они состоят из нескольких веществ, каждое из которых может иметь свой достаточно сложный химический и минеральный состав.

Вещественный состав характеризует содержание различных веществ в композиционном материале, получаемом смешиванием нескольких веществ (материалов), каждый из которых при этом не будет изменять ни своего состава, ни строения.

Например, портландцемент кроме клинкера содержит добавку природного гипса (двуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – для регулирования сроков схватывания, а также очень часто активную минеральную добавку (доменный гранулированный шлак, вулканические пеплы, пемзы, осадочные горные породы диатомит, трепел). Добавки позволяют сэкономить клинкер и повысить стойкость бетонов на таких цементах к коррозии. Содержание трех компонентов – это и есть вещественный состав цемента. Например:

Портландцемент ПЦ Д0 (без активных минеральных добавок)	клинкер	– 95–93 %
	гипс	– 5–7 %
Портландцемент ПЦ Д20 (с активными минеральными добавками)	клинкер	– 90–73 %
	гипс	– 5–7 %
	АМД	– 5–20 %
Шлакопортландцемент ШПЦ	клинкер	– 75–15 %
	гипс	– 5–7 %
	АМД	– 20–80 %

Вещественный состав бетонной смеси показывает содержание в ней цемента, мелкого (песка) и крупного (щебня или гравия) заполнителя и воды. Состав бетонной смеси часто выражают не в процентах, а в частях по массе, где за единицу принимается масса цемента. Например:

1:2,3:4 при В/Ц = 0,5 – т.е. масса песка в 2,3 раза больше массы цемента, а щебня – в 4 раза больше массы цемента, соотношение воды и цемента – 0,5, т.е. масса воды в два раза меньше массы цемента.

В натуральных единицах состав бетонной смеси на 1 м³ бетона может быть: цемент – 300 кг, песок – 690 кг, щебень – 1200 кг, вода – 150 кг.

2.2. Строение материалов

Под *строением* строительного материала, как и любого физического тела, понимают *пространственное расположение* отдельных частей, частиц, пор, микротрещин, а также соотношение компонентов, фаз и поверхностей раздела.

Строение материалов изучают на разных уровнях.

Внутреннее строение вещества – это строение на молекулярно-ионном уровне, это расположение, взаимоотношение и взаимосвязь атомов, ионов и молекул, из которых состоят вещества.

Типы связей между атомами, группами атомов, молекулами: ионные, ковалентные, молекулярные (связи Ван-дер-Ваальса), водородные и металлические.

Тип связей между микрочастицами отражается на свойствах вещества. Например, для веществ с ковалентными связями характерна повышенная прочность; ионные связи определяют способность хорошо растворяться в воде, металлические связи – способность проводить электрический ток.

Наиболее характерные типы внутреннего строения:

- *Кристаллическое строение* – упорядоченное расположение частиц вещества (атомов, молекул) в пространстве, образующее характерную кристаллическую решетку. Это называют «дальним порядком». Кристаллическое строение характерно для большинства минералов горных пород: кварца, слюды, полевых шпатов.
- *Аморфное строение* (стеклообразное) – неупорядоченное расположение атомов (молекул) в пространстве,

отсутствие кристаллической решетки. Может наблюдаться «ближний порядок» в расположении частиц относительно случайно выбранного центра – упорядоченность в микрообъеме, но отсутствует «дальний порядок». Подобные материалы называют переохлажденными жидкостями. Наиболее распространенные представители – вулканические и искусственные стекла (обсидиан, оконное стекло).

Кроме этого, возможны переходные типы строения, например, *стеклокристаллическое строение* ситаллов: наличие в объеме материала аморфного строения участков кристаллического строения.

Свойства кристаллических и аморфных веществ значительно различаются.

Для кристаллических веществ характерно наличие определенной температуры плавления (фазовый переход из твердого состояния в жидкое при определенной температуре), определенная правильная форма кристаллов.

Для аморфного строения характерно отсутствие температуры плавления как физической константы – при нагревании материал постепенно размягчается.

Кристаллическое и аморфное строение иногда являются разными состояниями одного и того же вещества. Например, минерал кварц и кварцевое стекло имеют одинаковый химический состав, они состоят из оксида кремния SiO_2 , но у кварца – кристаллическое строение, а у кварцевого стекла – аморфное. Нагревая кварц до полного расплавления, а затем быстро охлаждая расплав, можно получить кварцевое стекло. В природе кроме кристаллического кремнезема – кварца – имеется ряд минералов аморфного и скрытокристаллического строения, состоящих из кремнезема, – опал, халцедон, агат, яшма.

Как правило, при одинаковом химическом составе вещества аморфного строения обладают более высокой химической активностью (т.е. менее стабильны), чем вещества кристаллического строения.

Очень яркий пример из области строительного материаловедения – это взаимодействие оксида кремния с известью.

В принципе, оксид кремния способен взаимодействовать с известью с образованием гидросиликатов кальция – соединений, обеспечивающих прочность и водостойкость структуры искусственных материалов:



Кварц (вещество кристаллического строения) в обычных условиях практически не взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Поэтому строительные растворы на воздушной извести не имеют высокой прочности. Для того чтобы результат взаимодействия стал заметен, необходимы десятки и сотни лет; примером служит прочность кирпичных кладок древних сооружений.

Для ускорения химической реакции между кристаллическим кремнеземом и известью необходимы условия автоклавной обработки: в среде насыщенного водяного пара при температуре 170–200 °С и давлении 0,8–1,6 МПа материалы достигают прочности в 10–25 МПа за 8–10 часов. Таким образом получают силикатный кирпич.

Кремнезем аморфного строения (например, в составе вулканического стекла или в виде горной породы трепела) может взаимодействовать с известью в обычных условиях (при температуре 15–25 °С), придавая изделиям прочность и водостойкость за 1–2 месяца.

Аморфная форма вещества при благоприятных условиях может перейти в более устойчивую кристаллическую форму.

При переходе от аморфного к стеклокристаллическому строению свойства также изменяются. Примеры изделий разного строения, получаемых из стеклянного расплава, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Свойства стекломатериалов

Наименование	Плотность,	Предел прочно-	Предел прочно-	Ударная вязкость,	Истирание,

	г/см ³	сти при изгибе, МПа	сти при сжатии, МПа	кДж/м ²	г/см ²
Оконное стекло (аморфное строение)	2,5	44	450–500	2,0	0,5–0,6
Ситалл (стеклокристаллическое строение)	2,5–2,6	до 250	до 600	3,0–4,0	0,01–0,03

Иногда одно и то же кристаллическое вещество способно существовать в различных кристаллических формах. Это называется *полиморфизмом*. Полиморфные модификации имеют одинаковый химический состав, но разное строение кристаллических решеток. Свойства при этом тоже изменяются, иногда очень резко.

Самый яркий пример – кристаллические модификации углерода (С): алмаз – самое твердое вещество на Земле, а графит – мягкое вещество.

Полиморфизм характерен для оксида кремния (SiO₂), у которого семь кристаллических модификаций, стабильных при разных температурах. При обычной температуре стабилен β-SiO₂. При нагревании вплоть до плавления (температура 1700 °С) происходит неоднократная перестройка кристаллической решетки, иногда с заметным изменением объема. Поэтому материалы, в составе которых присутствует кварц, не являются термостойкими, они плохо переносят резкое охлаждение после нагревания.

Кристаллические модификации есть у трехкальциевого силиката и двухкальциевого силиката – основных клинкерных минералов. Например, β-модификация двухкальциевого силиката

(минерал белит) отличается способностью химически взаимодействовать с водой, благодаря чему обеспечиваются вяжущие свойства, а γ -модификация, устойчивая при обычной температуре, с водой практически не взаимодействует.

Микроструктура – строение, видимое в микроскоп и изучаемое специальными физико-химическими методами исследования. Под микроструктурой подразумевается размер и взаимное расположение кристаллов и аморфных фаз, форма, размеры и характер микропор и других дефектов, контактная зона между различными частями материала.

Типы микроструктур:

- однородные (коагуляционные, конденсационные, кристаллизационные);
- микронеоднородные (например, как у цементного камня);
- плотные и капиллярно-пористые.

Макроструктура – строение, видимое невооруженным глазом (или в лупу).

Различают типы строения на макроуровне:

- *Конгломератное строение* – материал состоит из различных по размеру, форме, составу зерен, соединенных воедино непрерывной матрицей затвердевшего вяжущего вещества. Типичные представители – природные горные породы конгломерат и брекчия, из искусственных каменных материалов – бетоны.
- *Ячеистое строение* – с равномерно распределенными в объеме макропорами с формой, близкой к сферической. Типичные представители – газо- и пенобетоны, ячеистые пластмассы.
- *Волокнистое строение* – материал состоит из ориентированных или хаотически расположенных волокон (древесина, асбест, гипс селенит, стеклянная вата и изделия из нее).

- *Слоистое строение* (древесно-слоистые пластики, бумажно-слоистые пластики, сланцы).
- *Зернистое строение* – материал состоит из зерен разных минералов (горные породы гранит, сиенит, габбро).
- *Рыхло-зернистое, порошкообразное* – для сыпучих материалов.

С особенностями строения вещества и материала связаны присущие ему изотропия или анизотропия.

Изотропия – это одинаковость характеристик свойств материала независимо от направления в объеме, в котором они определяются.

Анизотропия – это неодинаковость показателей свойств в разных направлениях в объеме материала.

Анизотропия может быть вызвана:

- особенностями макроструктуры:
 - волокнистые материалы с упорядоченным расположением волокон относительно друг друга (древесина – показатели прочности, теплопроводности различны вдоль и поперек волокон);
 - слоистые материалы (бумажно-слоистые пластики, фанера);
- особенностями строения кристаллической решетки:
 - слюды, графит – слоистая решетка, способны расщепляться на тонкие пластинки чешуйки;
 - минералы полевые шпаты – при ударах дают обломки с ровными гладкими плоскостями в двух направлениях (т.е. вдоль этих направлений прочность ниже);
 - у одноосных кристаллов вдоль и поперек главной оси кристалла свойства различны (например, у горного хрусталя светопропускание вдоль оси выше, чем поперек).

Изотропия характерна для однородности строения:

- проявляющейся на микроуровне, например, у веществ аморфного строения;
- при статистически однородном распределении частиц или частей материала, неупорядоченности, неориентированности на макроуровне.

Например: *гранит* – псевдоизотропная горная порода в связи с неориентированным расположением зерен минералов, большая часть которых сами по себе анизотропны. А для горной породы *гнейса*, состоящей из тех же самых минералов, но с ориентированным расположением зерен, характерна анизотропия: вдоль слоев прочность ниже, чем поперек.

Искусственные каменные материалы типа бетона изотропны из-за статистически однородного неориентированного расположения зерен заполнителя в объеме.

Тема 3 (лекции 3–4) СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Виды сырья

3.1.1. Природное неорганическое сырье (нерудные полезные ископаемые)

Сырье – это исходные вещества или смеси, которые перерабатываются в строительные материалы или изделия.

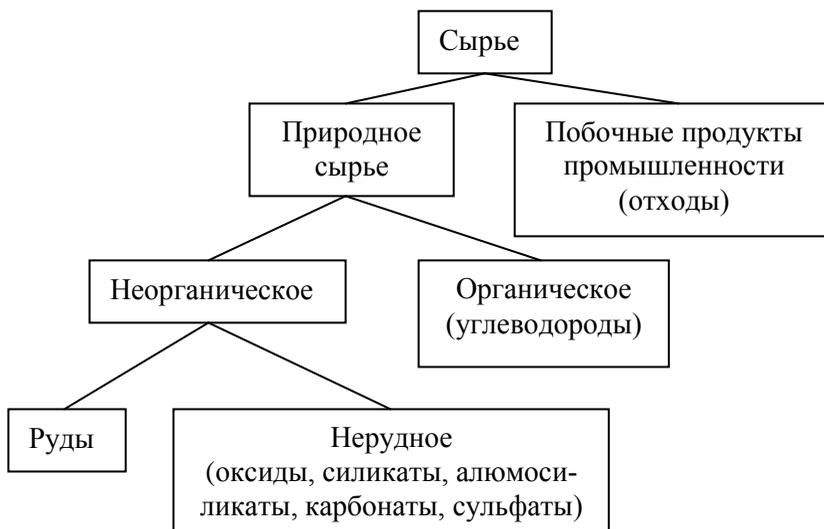
Сырье → переработка → готовый материал (изделие)

Состав и свойства сырья – важные факторы, определяющие способ переработки и качество строительного материала.

Основными сырьевыми материалами для производства строительных материалов являются природные материалы.

Наиболее широко используется неорганическое природное сырье (нерудные материалы), которые по химическому составу являются оксидами (SiO_2), силикатами и алюмосиликатами щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg), карбонатами и сульфатами кальция и магния. В меньшем объеме используется органическое сырье (древесина, нефть, уголь, газ).

Кроме того, в качестве основного компонента сырьевой смеси или добавок могут использоваться побочные продукты различных отраслей промышленности (отходы).



Природное неорганическое сырье (нерудные полезные ископаемые)

К этому виду относятся широко распространенные в природе горные породы, обладающие необходимым химическим и минеральным составом, многими благоприятными физико-химическими свойствами и привлекательным внешним видом.

– Особенности состава и свойств некоторых горных пород, главным образом осадочного происхождения, позволяют рассматривать их как основную сырьевую базу для производства вяжущих веществ (извести, гипса, цемента), керамики, стекла.

– Декоративные свойства других горных пород (гранита, габбро, мрамора) позволяют применять их в качестве отделочных материалов после механической обработки поверхности.

– Еще одна в больших количествах используемая группа – породы, находящиеся в природе в рыхлом состоянии (пески, гравий, природный щебень). Они практически без переработки используются в качестве заполнителей при производстве бетонных и растворных смесей.

Таблица 3.1.

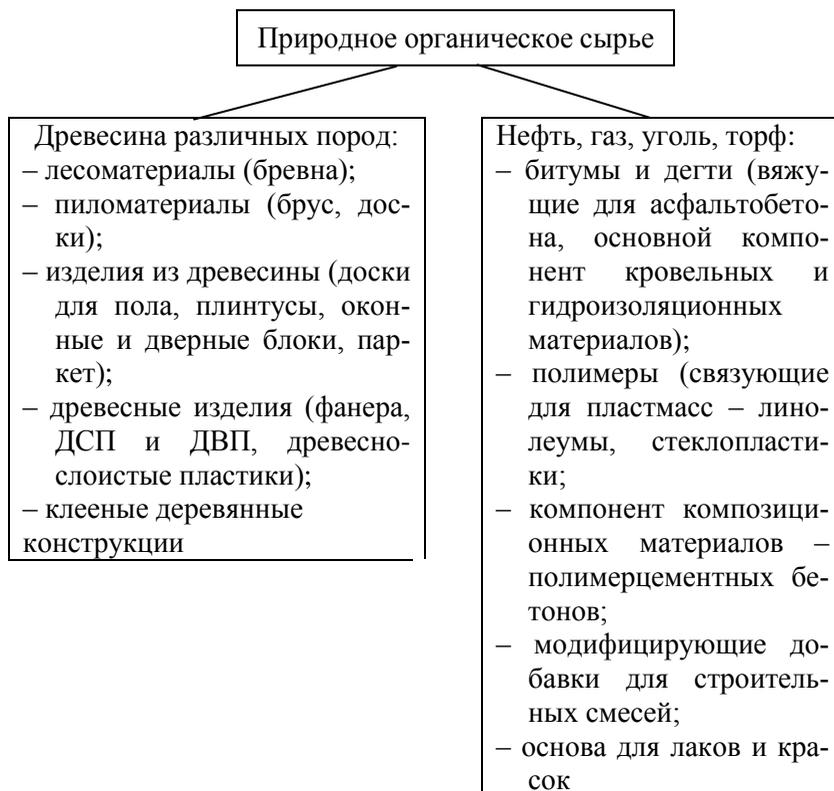
Примеры использования горных пород

Горная порода	Химический состав	Применение	
Песок	Кремнезем (SiO_2)	Заполнитель в бетонах, растворах	Сырье для получения стеклянных расплавов
Глина	Алюмосиликаты (SiO_2 , Al_2O_3)	Керамический кирпич, керамическая плитка	Сырье для керамики, один из сырьевых компонентов для получения ПЦ клинкера
Гранит	Силикаты и алюмосиликаты	Блоки, плиты, щебень	Сырье для заполнителей бетона
Диабаз	Силикаты и алюмосиликаты	Блоки, плиты, щебень	Сырье для получения каменных расплавов
Известняк	Карбонат кальция (CaCO_3)	Отделочные плитки	Сырье для получения воздушной извести, один из сырьевых компонентов для получения ПЦ клинкера
Мрамор	Карбонат кальция (CaCO_3)	Облицовочные плиты, декоративный щебень	Сырье для декоративного бетона
Гипсовый камень	Двуводный сульфат кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Отделочные плитки	Сырье для получения гипсовых вяжущих, один из компонентов портландцемента

3.1.2. Природное органическое сырье

К этой группе относятся различные древесные породы и другое сырье растительного происхождения (стебли камыша, сельскохозяйственных культур), нефть, природный газ, каменный и бурый уголь, торф.

Природное сырье перерабатывается по различным технологиям с получением материалов разного назначения.



3.1.3. Решение экологических проблем при производстве строительных материалов

Добыча природного минерального сырья для нужд промышленности строительных материалов и последующая переработка сырья в изделия и материалы порождают ряд экологических проблем.

Производство строительных материалов является очень материалоемкой отраслью. Примеры:

- для производства 1000 штук керамического кирпича требуется примерно 4 тонны глинистого сырья;
- для получения 1 тонны извести нужно обжечь 2 тонны известняка;
- сотни миллионов кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве заполнителей для бетонов и строительных растворов.

В свое время Советский Союз занимал второе место в мире по производству нерудных строительных материалов. Ежегодная добыча горных пород для нужд строительства и промышленности строительных материалов составляла около 2 млрд тонн.

Поскольку разработка месторождений горных пород большей частью ведется открытым способом, земля выводится из сельскохозяйственного оборота, на больших площадях нарушаются естественные растительные покровы, изменяется природный рельеф местности, появляются выработки большого объема. Рядом с разрабатываемым месторождением накапливаются вскрышные породы, нарушается природное равновесие.

В настоящее время все большее значение приобретает проблема рационального использования природного сырья, утилизация побочных продуктов добычи и переработки горных пород, *объем которых иногда достигает 80 % от объема добычи нерудного сырья.*

При изготовлении деловой древесины и изделий из нее образуется большой объем отходов в виде стружки, опилок, кускового материала.

Таким образом, *одна из экологических задач* – максимально полное использование природного сырья и отходов, образующихся при его добыче и переработке.

Использование отходов иногда позволяет сократить потребление природного сырья. 1 м³ ДВП заменяет 2,5 м³ строганного пиломатериала. Примером может служить современный отделочный материал ламинат – слоистый клееный материал, получаемый на основе древесностружечных и древесноволокнистых плит – изделий, изготовленных из древесных отходов.

Еще одна задача – утилизация отходов других отраслей промышленности.

Отходы других отраслей могут служить заменителем природного сырья, когда состав отходов близок к необходимому составу сырьевых материалов или компонентов смесей.

Наиболее широко используемыми являются отходы теплоэнергетики: золы, шлаки. По своему составу они представляют силикаты кальция, алюмосиликаты, т.е. близки по составу к вяжущим веществам, некоторым горным породам. Многие золы и шлаки являются активными материалами, т.е. способны химически взаимодействовать с водой, известью, сульфатами. Это обусловлено не только их составом, включающим ряд активных минералов, но и особенностью микроструктуры – большим содержанием стеклофазы, т.е. аморфного вещества.

Примеры широко используемых промышленных отходов:

- *Отходы добычи и переработки горных пород:*

Отходы распиловки и обработки поверхности	⇒	декоративные плиты из кусков мраморных и гранитных плит (типа «брекчия»); дробление на заполнители
Отходы производства щебня (частицы с размером 5–70 мм)	⇒	рассев с получением искусственно-го песка (размеры частиц от 0,16 до 5 мм); помол с получением каменной муки (наполнитель асфальтобетонов, мастик, пластмасс)
- *Отходы обработки древесины:*

Стружка, щепа, неделовая древесина	⇒	ДСП, ДВП, фибролит, арболит
Опилки	⇒	наполнитель в пластмассах, гипсо-бетонных изделиях
- *Отходы теплоэнергетики:*

Золы	⇒	добавки в бетонные и растворные смеси; компонент сырьевой смеси для производства ПЩ клинкера; компонент смешанных вяжущих
Шлаки	⇒	заполнители; компонент смешанных вяжущих (местных, низкомарочных); активная минеральная добавка в составе цемента

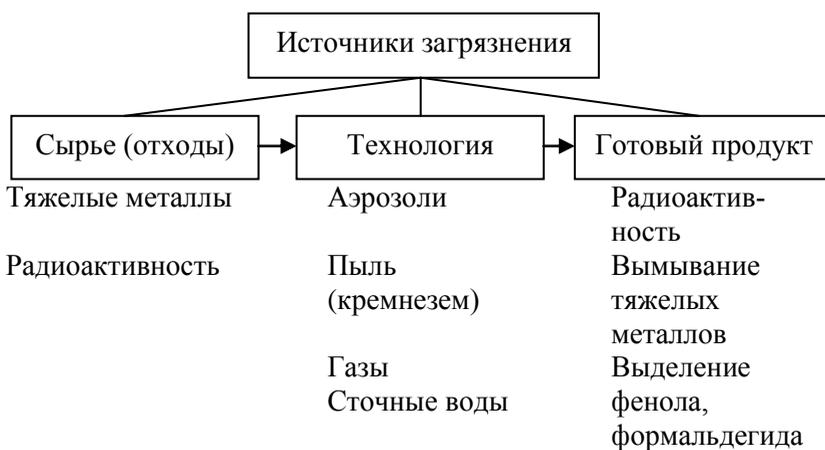
Использование отходов имеет не только экологическую, но и экономическую стороны:

- в тех регионах, где нет или недостаточно природного сырья, расширяется сырьевая база производства строительных материалов;
- снижается стоимость строительных материалов, так как исключаются или уменьшаются затраты на транспортирование природного сырья из других регионов;

- решается проблема утилизации промышленных отходов, исключается необходимость устройства полигонов для их хранения.

Проблемы загрязнения окружающей среды

Использование отходов, а иногда и природного сырья в производстве строительных материалов может привести к загрязнению воздуха промышленных и гражданских зданий, атмосферы, а значит, повлиять на здоровье человека и природу.



Наиболее полно в настоящее время изучены токсикологические свойства полимерных строительных материалов, и в меньшей степени проводится экологическая оценка материалов на основе неорганического сырья (цемент, стеновые материалы, например шлакоблоки, теплоизоляционные материалы). К обязательным испытаниям в последнее время стали относить оценку радиационных свойств сырьевых материалов (например, щебня) и готовых изделий. Для новых видов продукции оцениваются токсиколого-гигиенические свойства.

Тема 4 (лекция 5)
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1. Основные принципы производства

Цель любой технологии – получение материала или изделия определенной формы, определенных размеров с заданными стабильными (постоянными) свойствами.

Вернемся к схеме:

Сырье → *переработка* → готовый материал (изделие)

В зависимости от глубины процессов, происходящих при переработке сырья, различают разные виды технологий:

- *механические технологии* – в процессе переработки исходного сырья не изменяются его состав, строение, свойства; изменяются форма, размеры, состояние поверхности (фактура) (эти технологии используются для получения изделий из природных каменных материалов, из древесины);
- *физико-химические технологии* – при изготовлении строительных материалов или изделий под действием технологических факторов (температуры, давления) происходят различные физико-химические процессы, в результате которых изменяются состав, строение и свойства сырьевых материалов (так изготавливаются керамические изделия, вяжущие вещества, бетоны).

При механических технологиях «первозданная сущность» природных материалов остается неизменной, при использовании физико-химических технологий получают новые, отличные от природных материалы.

Для протекания физико-химических процессов при изготовлении строительных материалов создаются определенные условия. Так, для получения стекла необходимо обеспечить об-

разование расплава, что достигается высокотемпературной обработкой до полного расплавления сырьевой массы; при получении бетонов на основе цемента необходимо обеспечить условия для взаимодействия его с водой (гидратации), в результате чего возникает структура, обеспечивающая набор прочности (твердение).

Технологии в зависимости от процессов, формирующих строительный материал, можно разделить на несколько групп.



Цели процессов:

- получение изделий заданной формы и размера (раскалывание горных пород – колотые камни);
- зернистый материал с заданной крупностью зерен (дробление, рассев – щебень, песок);
- изделия с заданной фактурой поверхности (полировка – облицовочные плиты из горных пород);
- порошки заданной дисперсности (помол – наполнители для пластмасс)

Цели процессов:

- получение материалов и изделий не только заданных размеров и формы, но и необходимого состава и структуры, обеспечивающих комплекс заданных свойств

Можно привести много примеров физико-химических процессов, большинство из них вписывается в схему (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Физико-химические технологии

Сырье	Условия для протекания процесса	Процесс	Получаемый строительный материал, изделие
1	2	3	4
Неорганическое	Высокотемпературная обработка	Обжиг без спекания (разложение сырья) $t = 110-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 900-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$	Гипсовые вяжущие вещества Воздушная известь
		Обжиг со спеканием $t = 950-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$	Керамический кирпич, плитки ПЦ клинкер
		Обжиг до плавления $t = 1100-1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 1700\text{ }^{\circ}\text{C}$	Стекла Минеральная вата
	Нормальные условия ($t = 18-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, различная влажность среды)	Твердение воздушных и гидравлических вяжущих веществ	Изделия на основе неорганических вяжущих, строительные растворы
	Тепловлажностная обработка ($t = 80-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность 100 %, давление 0,1–1,6 МПа)	Гидратация и твердение цемента	Бетоны

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4
Органическое	Нагревание–охлаждение	Размягчение–отверждение	Изделия на основе термопластичных полимеров (поливинилхлоридный линолеум); на основе битума (асфальтобетон)
	Нагревание	Отверждение (реакция поликонденсации)	Изделия на основе термореактивных полимеров (ДСП, бумажно-слоистые пластики)
	Нормальные условия или сушка	Испарение растворов	Лаковые, эмалевые покрытия

Для получения каждого вида строительных материалов используется своя специфическая технология (т.е. последовательность операций по переработке сырьевых материалов в изделие). Выбор технологии производства зависит от многих факторов: свойств сырья и заданных свойств продукции, экономических факторов (затраты на производство должны быть минимальными при заданном уровне качества).

При большом разнообразии специфических технологий все они условно представляют собой последовательность достаточно общих технологических стадий (переделов) (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Стадии производства

Технологические стадии	Назначение
Склад сырья и добавок	Обеспечение бесперебойности работы предприятия
Подготовительный процесс ↓	Сушка сырья Измельчение (дробление, помол) Удаление вредных включений (обогащение, отсев, магнитная сепарация) Повышение реакционной способности
Приготовление смеси ↓	Обеспечение соответствующего состава и однородности смеси: – точное дозирование всех компонентов; по массе (взвешиванием) или объему; – тщательное перемешивание; – для стеклянных изделий – плавление смеси
Формование ↓	Придание определенной формы изделиям: – укладка в форму и уплотнение при вибрировании (бетоны); – прессование (керамическая плитка, пластмассы); – центрифугирование (железобетонные трубы); – экструзия (выдавливание) (профильные пластмассовые изделия, керамический кирпич); – вытягивание, прокат (стеклянные изделия); – раздув на волокна (минеральная вата)
Специальная обработка ↓	Обеспечение условий для протекания процессов формирования структуры (закрепление формы) и свойств (рост прочности): – сушка (гипсовые изделия); – пропаривание (изделия на основе цемента – бетоны); – автоклавирование (изделия на основе воздушной извести и песка – силикатные бетоны)
Складирование готовой продукции	Обеспечение сохранности

4.2. Технологические приемы обеспечения заданной структуры и свойств

В зависимости от назначения строительный материал должен обладать комплексом свойств, среди которых можно выделить главные – функциональные.

Для отделочных материалов это декоративность.

Для теплоизоляционных материалов – пористость, низкий коэффициент теплопроводности.

Для гидроизоляционных материалов – водонепроницаемость.

Для конструктивных материалов – прочность.

Таблица 4.3

Способы придания изделиям декоративности

Способы	Назначение	Материалы
Механические: – полирование; – шлифование	Создание фактуры поверхности	Изделия из древесины и горных пород Мозаичные бетонные полы
Физико-термические: – глазурирование	Нанесение лицевого отделочного слоя	Керамика, стемалит
Физико-химические: – облицовка поверхности (склеиванием); – окрашивание	Создание декоративных покрытий	Ламинат, бумажно-слоистые пластики Изделия из древесины
Физические: – введение в массу окрашивающих добавок (пигментов)	Объемное окрашивание	Декоративные бетоны, пластмассы

4.3. Использование технологических добавок

Это самый распространенный прием в технологии производства строительных материалов:

- для корректирования свойств сырья;
- для изменения свойств сырьевых смесей;
- для снижения затрат сырья, топливно-энергетических ресурсов;
- для обеспечения заданных структуры и свойств готовой продукции.

Примеры использования технологических добавок

1. Добавки при производстве керамических материалов

Керамические материалы изготавливаются из глинистого сырья, которое в процессе обжига превращается в искусственный камень (керамический черепок) в результате спекания.

Спекание сопровождается образованием расплава, который заполняет пустоты между твердыми частицами, стягивая их друг к другу. В результате снижается пористость, происходит усадка (уменьшение в размерах). При охлаждении расплав частично кристаллизуется, частично образует стекловидную фазу; в результате обеспечивается прочность структуры.

Таблица 4.4

Добавки к глине

Виды добавок	Влияние на свойства	Изделия
<i>Добавки – плавни</i> (полевые шпаты, железная руда, доломит), при обжиге взаимодействуют с глинистым веществом с образованием легкоплавких соединений	↓ температура появления расплава (температура обжига) ↓ пористость ↓ водопоглощение (спекшийся (плотный) керамический черепок имеет водопоглощение менее 5 %) ↑ прочность	Керамические плитки
<i>Выгорающие добавки</i> (опилки, уголь) – сгорают при обжиге	↑ пористость ↓ теплопроводность	Кирпич, теплоизоляционные керамические материалы

2. Добавки при производстве искусственного камня на основе неорганических вяжущих (бетонов)

Таблица 4.5

Добавки в бетоны

Строительный материал	Добавка	Назначение	Результат
Тяжелый цементный бетон	Пластифицирующие	Уменьшение содержания воды в смеси (↓ В/Ц)	↓ пористость ↑ прочность
	Воздухововлекающие	↑ пористость (мелкие замкнутые воздушные поры)	↑ морозостойкость
Газобетон (ячеистый бетон)	Газообразующие (алюминиевая пудра)	↑ пористость (крупные замкнутые воздушные поры)	↓ теплопроводность

Тема 5 (лекции 6–12) СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Классификация свойств

Свойствами называют способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельного или нескольких внешних или внутренних факторов: силовых, усадочных, тепловых и других.

Каждый материал обладает комплексом свойств.

Кроме понятия «свойство» существуют количественные показатели, по которым оценивают «степень» его проявления для каждого материала, сравнивают материалы между собой.

Все многообразие свойств строительных материалов принято разделять на четыре группы.

1. *Физические свойства* характеризуют материал как физическое тело, а также его отношение к различным физическим факторам (действию воды, различных температур, электрического тока и т.д.).

2. *Механические свойства* характеризуют способность материала сопротивляться действию внешних механических сил, приводящих к сжатию, растяжению, изгибу и т.д.

3. *Технологические свойства* характеризуют способность материала подвергаться обработке и переработке (шлифоваться и полироваться, изменять форму, уплотняться и т.д.).

4. *Химические свойства* характеризуют способность материала к химическим превращениям под действием различных веществ и факторов (превращениям полезным – гидратация вяжущих веществ и вредным – коррозия материалов).

5.2. Физические свойства

5.2.1. Свойства материала, характеризующие его как физическое тело

Истинная плотность (ρ) – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор, трещин или пустот, присущих материалу в его естественном состоянии.

Рассчитывается как отношение массы материала к его объему в абсолютно плотном состоянии:

$$\rho = \frac{m}{V_a}. \quad (5.1)$$

Размерность – г/см³ или кг/м³.

Истинная плотность позволяет судить о том, каким – легким или тяжелым – является вещество материала, потому что значение истинной плотности показывает, какую массу имеет 1 см³ или 1 м³ вещества материала. Можно сказать, что истинная плотность является физической константой данного материала.

На истинную плотность материала влияют:

- *химический состав материала*, например:
 - для органических материалов (С, Н) 1–1,6 г/см³
 - для неорганических материалов:
 - оксиды Si, Ca, Al 2,2–3,3 г/см³
 - портландцементный клинкер 3,2 г/см³
 - керамический черепок 2,5–2,6 г/см³
 - для стали (Fe) 7,8–7,9 г/см³

- *внутреннее строение вещества, плотность упаковки частиц (атомов, молекул)*, например:

H ₂ O	– вода	– 1 г/см ³ ,	лед	– 0,92 г/см ³ ;
С	– графит	– 2,2 г/см ³ ,	алмаз	– 3,5 г/см ³ .

Основной задачей в определении истинной плотности является измерение объема материала в абсолютно плотном состоянии. Для этого материал измельчают и погружают в объемомер, заполненный инертной для данного материала жидкостью (при-

бор Ле Шателье, мерные цилиндры, пикнометры). Объем определяется по методу вытеснения жидкости.

Средняя плотность (ρ_m) – характеризует массу единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами). Рассчитывается путем деления массы образца на его объем:

$$\rho_m = \frac{m}{V_e}. \quad (5.2)$$

Размерность – в г/см³ или кг/м³.

Средняя плотность позволяет судить о том, каким – легким или тяжелым – является материал или изделие, потому что значение средней плотности показывает, сколько весит 1 см³ или 1 м³ материала.

Средняя плотность строительных материалов изменяется от 10–20 до 2500 кг/м³ и более.

На среднюю плотность влияют:

– *пористость материала* (при увеличении пористости средняя плотность уменьшается);

– *влажность материала* (чем выше влажность, тем выше средняя плотность).

Среднюю плотность определяют у материалов в сухом состоянии.

Объем материала измеряют по-разному в зависимости от формы образца или изделия (правильная геометрическая форма или неправильная).

По величине ρ_m можно косвенно судить о многих свойствах материала (теплопроводности, прочности).

Средняя плотность – одно из самых важных свойств теплоизоляционных материалов, поэтому значение средней плотности является *маркой* теплоизоляционных материалов.

Например, марка теплоизоляционного газобетона Д 400 означает, что средняя плотность не превышает 400 кг/м³.

Пористость (II) – степень заполнения объема материала порами; ее вычисляют по формуле:

$$П = \frac{V_{пор}}{V_e} \cdot 100 \%. \quad (5.3)$$

Пористость можно определить с помощью специальных приборов – поромеров или вычислить по формуле:

$$П = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 \%. \text{ или} \quad (5.4)$$

$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100 \%. \quad (5.5)$$

Пористость изменяется в широком диапазоне у строительных материалов:

П = 0 % – стекло, битум, сталь, полимеры;

П = 0,2–0,8 % – гранит;

П = 75–85 % – газобетон (ячеистый бетон);

П = 90–98 % – ячеистые пластмассы.

Поры различаются по размеру, форме и характеру.

Поры могут быть размером от 10^{-3} до 10^{-9} м:

– микрокапилляры, $r \leq 0,1$ мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм}$)

(мелкие);

– макрокапилляры, r от 0,1 до 10 мкм (средние);

– некапиллярные поры (крупные).

По форме и характеру бывают:

– изолированные, закрытые поры (рис. 5.1);

– сообщающиеся поры (рис. 5.2);

– открытые поры (рис. 5.3).

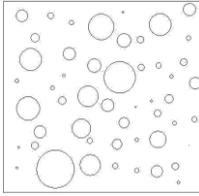


Рис. 5.1

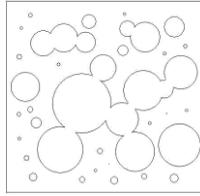


Рис. 5.2

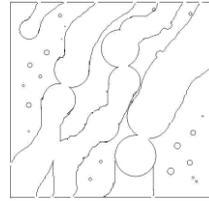


Рис. 5.3

Поры в материале могут быть заполнены воздухом или водой.

При увеличении пористости:

уменьшаются	средняя плотность материала, теплопроводность материала,
увеличиваются	водопоглощение (при открытых порах), водопроницаемость (при открытых порах).

Для большинства материалов наиболее благоприятная структура – микропористая с равномерно распределенными замкнутыми порами.

Кроме понятия «пористость» существует еще понятие «пустотность» для строительных изделий со специально созданными в процессе изготовления правильными по форме пустотами.

Пустотность – степень заполнения объема изделия пустотами, %.

$$П = (V_n/V_e)100 \%$$

Пустоты могут быть сквозными и несквозными.

Примеры: пустотелый керамический кирпич и камень.

Пустотность снижает массу изделия и его среднюю плотность и влияет на другие свойства.

Для зернистых сыпучих материалов, не имеющих постоянной формы, характеристиками являются плотность зерна, насыпная плотность и межзерновая пустотность.

Плотность зерна (ρ_z) – масса единицы объема зерна в естественном состоянии, т.е. это средняя плотность применительно к зерну.

Насыпная плотность (ρ_n) – характеризует массу единицы объема зернистого материала (песка, щебня, гравия) в рыхлонасыпанном состоянии. В ее величине отражается влияние не только межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объеме материала, но и пор в каждом зерне.

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}. \quad (5.6)$$

Размерность – г/см³ или кг/м³.

Примеры: насыпная плотность песка – 1600 кг/м³,
насыпная плотность цемента – 1100–1300 кг/м³,
насыпная плотность легких заполнителей –
250–1100 кг/м³.

Межзерновая пустотность – степень заполнения объема рыхлонасыпанного материала межзерновыми пустотами, %.

$$\Pi = [(\rho_z - \rho_n) / \rho_z] 100, \%$$

Межзерновая пустотность зависит от наличия в материале зерен разного размера и соотношения между ними. Если все зерна одного размера, то пустотность максимальна. Поэтому для песка и щебня ГОСТами предъявляются требования к гранулометрическому составу.

Для тонкодисперсных материалов, получаемых помолом, важной характеристикой является степень измельчения – тонкость помола, определяемая путем просеивания пробы через стандартное сито.

Тонкость помола – величина остатка на сите в %.

Например, для цемента остаток на сите № 008 не должен превышать 15 %. Стандартным ситом для гипса является сито № 02.

Номер сита показывает размер отверстий в свету в мм.

Например, № 008 – это 0,08 мм, на 1 см² такого сита находится 6400 отверстий, а у сита № 02 (0,2) – 900 отверстий на 1 см².

5.2.2. Гидрофизические свойства строительных материалов (свойства материалов по отношению к действию воды)

Одним из важнейших физических факторов, воздействующих на строительные материалы, является вода – жидкая и газообразная. Очень часто в процессе эксплуатации строительные конструкции увлажняются, и различные свойства материалов изменяются.

В зависимости от отношения материалов к действию воды они подразделяются на:

- *гидрофильные* – смачиваемые водой (рис. 5.4а) (бетон, керамика),
- *гидрофобные* – несмачиваемые водой (рис. 5.4б) (битум, большинство полимеров).

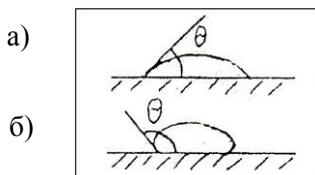


Рис. 5.4

Вода – полярная жидкость, способность воды смачивать поверхность материалов зависит от степени полярности поверхности. Степень смачиваемости оценивается краевым углом смачивания θ . Для гидрофильных материалов угол θ острый. Чем меньше угол θ , тем лучше поверхность смачивается водой. Если $\theta > 90^\circ$ (угол тупой), то вода почти или совсем не смачивает поверхность материала.

Гигроскопичностью называют способность пористых гидрофильных материалов поглощать водяной пар из влажного воздуха.

Вода *адсорбируется* на поверхности пор и капилляров и конденсируется в микрокапиллярах тела. Этот физико-химический процесс называется *сорбцией* и является обратимым (сорбция \leftrightarrow десорбция).

Количество адсорбированной влаги – *сорбционная или гигроскопическая влажность* – определяется по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \% . \quad (5.7)$$

Сорбционная влажность зависит от температуры воздуха, его относительной влажности. *Сорбционная влажность* повышается при:

- повышении относительной влажности воздуха;
- понижении температуры воздуха;
- увеличении парциального давления водяного пара.



Рис. 5.5. Изотерма адсорбции (относительная влажность воздуха при постоянной температуре)

Гигроскопичность зависит от *вида, количества и размера пор* в материале.

Если у материалов одинаковая пористость, то те материалы, которые имеют более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые материалы. Например, древесина, у которой длинные и открытые поры, очень гигроскопична, а бетон и отвердевшие цементные растворы, у которых поры замкнуты, малогигроскопичны.

Вследствие процессов адсорбции и капиллярной конденсации водяного пара из атмосферы *влажность* пористых строительных материалов даже после их длительной выдержки на воздухе достаточно велика. Такое состояние называется *воздушно-сухим*, а установившееся значение гигроскопической влажности — *равновесной влажностью*.

Равновесная влажность:

– песка	4–9 %
– керамических стеновых материалов	5–7 %,
– воздушно-сухой древесины	12–18 %,
– ячеистых бетонов	20 % и более.

Гигроскопичность обычно отрицательно сказывается на ряде свойств строительных материалов и приводит к:

- старению цемента (для длительного хранения выпускают специальный гидрофобный цемент);
- набуханию древесины;
- увеличению коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов (поэтому стремятся предотвратить увлажнение, покрывая плиты утеплителя гидроизоляционной пленкой).

Капиллярное всасывание воды пористым материалом происходит, когда материал соприкасается с водой.

Так, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Чтобы не было сырости в помещении, устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундаментную часть конструкции стены от ее наземной части.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой подъема воды в материале, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Высота подъема воды в капилляре:

$$h = 2 \sigma \cos \theta / (r \rho g),$$

где σ – поверхностное натяжение на границе жидкость–воздух;

θ – краевой угол смачивания;

r – радиус капилляра;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Теоретически максимальное значение высоты подъема воды в капилляре гидрофильного материала может составлять 15 м при радиусе пор 1 мкм (0,001 мм).

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней за счет капиллярного всасывания, диффузии, заполнения крупных пор и т.д.

Водопоглощение оценивается по степени заполнения пор материала водой. Водопоглощение строительных материалов изменяется главным образом в зависимости от объема пор, их вида и размеров: чем больше пористость, тем больше водопоглощение. Влияет на величину водопоглощения и природа вещества, и степень его гидрофильности.

Водопоглощение различных материалов (бетона, кирпича и др.) определяют по стандартным методикам, выдерживая образцы в воде в течение заданного срока при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Водопоглощение, определяемое погружением образцов материала в воду, характеризует в основном открытую пористость, так как вода не проникает в закрытые поры. К тому же при извлечении образцов из ванны вода частично вытекает из крупных пор, поэтому водопоглощение обычно меньше пористости.

Например, пористость легкого бетона может быть 50–60 %, его водопоглощение составляет 20–30 % объема.

Величина водопоглощения оценивается по массе и объему.

Водопоглощение по объему W_v (%) – степень заполнения объема материала водой:

$$W_v = [(m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}) / V_e] \cdot 100 \%, \quad (5.8)$$

где $m_{\text{нас}}$ – масса образца материала, насыщенного водой, г;

$m_{\text{сух}}$ – масса образца материала в сухом состоянии, г;

V_e – объем в естественном состоянии, см^3 .

W_v не может превышать 100 %.

W_v характеризует открытую пористость материала, т.е. количество пор, доступных для воды. Поэтому $W_v \leq P$.

Водопоглощение по массе W_m (%) определяют по отношению к массе сухого материала:

$$W_m = [(m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}) / m_{\text{сух}}] \cdot 100 \%. \quad (5.9)$$

W_m высокопористых материалов может быть больше 100 %. Зная водопоглощение по массе и объему, можно рассчитать ρ_m :

$$\frac{W_v}{W_m} = \rho_m, \text{ г/см}^3. \quad (5.10)$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах:

– гранита	0,02–0,7 %,
– тяжелого плотного бетона	2–4 %,
– кирпича	8–15 %,
– пористых теплоизоляционных материалов	100 % и больше.

Водопоглощение косвенно характеризует структуру материала. Для строительной керамики величина водопоглощения по массе является характеристикой, по которой керамические материалы подразделяются на изделия с плотным черепком ($W_m \leq 5$ % – плитка для пола) и пористым черепком ($W_m > 5$ % – кирпич, плитка для облицовки внутренних стен, черепица).

Насыщение водой отрицательно влияет на основные свойства материала: повышается средняя плотность

$$\rho_{m \text{ нас}} = \rho_{m \text{ сух}} (1 + W_m),$$

материал набухает, увеличивается теплопроводность, снижаются прочность и морозостойкость.

Влагоотдача – это способность материала отдавать находящуюся в его порах воду окружающей среде при благоприят-

ных условиях (понижении влажности воздуха, увеличении температуры).

Влагоотдача характеризуется количеством воды (в процентах), испарившейся из образца в течение 1 суток при температуре воздуха 20 °С и его относительной влажности 60 %. Масса испарившейся воды равна разнице между массой образца до начала испытания и после его окончания.

Величина влагоотдачи имеет большое значение, особенно для стеновых материалов. Свежештукатуренные стены всегда имеют повышенную влажность, в обычных условиях благодаря влагоотдаче стены высыхают.

Вода испаряется до тех пор, пока не установится равновесие между влажностью материала стен и влажностью окружающего воздуха, т.е. пока материал не достигнет воздушно-сухого состояния.

Гидрофильные материалы значительно быстрее насыщаются водой, чем высыхают.

Влажностные деформации характерны для пористых строительных материалов, при изменении влажности изменяются их размеры и объем.

Набухание (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Молекулы воды, проникая в промежутки между частицами или волокнами, слагающими материал, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц, исчезают внутренние мениски, а с ними и капиллярные силы.

Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров материала при высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала. Усадка возникает и увеличивается, когда из материала удаляется вода, находящаяся в гидратных оболочках частиц и в мелких порах. Испарение воды из крупных пор не ведет к сближению частиц материала и практически не вызывает объемных изменений.

Высокопористые материалы, такие как древесина, ячеистые бетоны, способные поглощать много воды, характеризуются большой усадкой.

Древесина (поперек волокон)	30–100 мм/м
Ячеистый бетон	1–3 мм/м
Строительный раствор	0,5–1 мм/м
Тяжелый бетон	0,3–0,7 мм/м
Кирпич керамический	0,03–0,1 мм/м
Гранит	0,02–0,06 мм/м

Чередование высыхания и увлажнения пористого материала, часто встречающееся на практике, сопровождается попеременными деформациями усадки и набухания. Такие многократные циклические воздействия расшатывают структуру материала, нередко вызывают трещины, ускоряющие разрушение. Это характерно для бетона в дорожных покрытиях, в наружных частях гидротехнических сооружений. Для такого анизотропного материала, как древесина, попеременные увлажнение–высыхание кроме набухания–усадки сопровождаются короблением.

С влажностными деформациями связано такое свойство строительных материалов, как *воздухостойкость*.

Воздухостойкость – это способность материала выдерживать циклические воздействия увлажнения–высушивания без заметных деформаций и потери механической прочности.

Испытанию на воздухостойкость должны подвергаться материалы, используемые для цокольной части зданий, кровель, переменного уровня воды гидротехнических сооружений.

Водопроницаемость – это способность материала пропускать воду под давлением.

Характеристикой водопроницаемости служит *коэффициент фильтрации K_{Φ}* (м/ч) – объем воды (м^3), просачивающейся в течение 1 ч через 1 м^2 поверхности материала при толщине

1 м при заданном давлении воды (разность гидростатического давления на $P_1 - P_2 = 1$ м вод. ст.).

$$K_{\Phi} = V_{\text{в}} \delta / [S (P_1 - P_2) t], \quad (5.11)$$

где $V_{\text{в}}$ – объем воды, м³;

S – площадь поверхности, м²;

δ – толщина слоя материала, м;

t – время, ч;

$(P_1 - P_2)$ – разность гидростатического давления на противоположных поверхностях материала.

Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Степень водопроницаемости зависит от пористости материала, формы и размеров пор. Степень водопроницаемости можно снизить, повышая плотность структуры материала, изменяя характер пористости и используя гидроизоляцию, например, из битума.

Водопроницаемость – специальное свойство, оценивается для материалов, используемых при строительстве гидротехнических сооружений (плотин, дамб), резервуаров для хранения жидкостей, коллекторов, стен подвалов зданий и пр.

Водонепроницаемость – способность материала не пропускать воду под давлением.

Характеризуется *маркой*, обозначающей одностороннее гидростатическое давление, при котором образец материала не пропускает воду в условиях стандартного испытания.

Марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W12.

Цифра означает давление воды в атмосферах (W2 – давление 0,2 МПа).

Марка по водонепроницаемости назначается, например, для железобетонных напорных труб.

Между коэффициентом фильтрации и маркой по водонепроницаемости имеется определенное соотношение: чем ниже K_{Φ} , тем выше марка по водонепроницаемости.

Паро- и газопроницаемость – способность материалов пропускать через свою толщу водяной пар или воздух (газы) при разности давлений на противоположных поверхностях материала. Оцениваются с помощью особых коэффициентов, сходных между собой. Они равны количеству водяного пара (или воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 ч при разности давлений 10 Па.

При возникновении у поверхностей ограждающей конструкции разности давления газа (водяного пара) происходит его перемещение через поры и трещины материала.

Стеновой материал должен обладать определенной проницаемостью. Тогда стена будет «дышать», т.е. через наружные стены будет происходить естественная вентиляция, что особенно важно для жилых зданий, в которых отсутствует кондиционирование воздуха. Поэтому стены жилых зданий, больниц и т.п. не отделяют материалами, задерживающими водяной пар. Наоборот, стены и покрытия влажных производственных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения водяного пара.

В зимнее время внутри теплых помещений (текстильных фабрик, коммунальных предприятий, коровников, свинарников и т.п.) в 1 м³ воздуха содержится водяного пара значительно больше, чем снаружи, поэтому пар стремится пройти через стену или покрытие. Попадая в холодную часть ограждения, пар конденсируется, резко повышая влажность в этих местах. Создаются условия, способствующие быстрому разрушению материала (легкого бетона, кирпича) наружной ограждающей конструкции при действии мороза.

Паронепроницаемые материалы должны располагаться с той стороны ограждения, с которой содержание водяного пара в воздухе больше.

В ряде случаев необходима практически полная газонепроницаемость; это относится к емкостям для хранения газов, а также к специальным сооружениям, внутреннее пространство

которых должно быть защищено от проникновения зараженного воздуха (например, газоубежища).

Паро- и газопроницаемость в большей степени зависят от структуры материала (плотности и пористости) (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Относительные значения паро- и газопроницаемости
(за 1 принята проницаемость кирпича)

Материал	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Относительные значения	
			паропроницаемости	газопроницаемости
Кирпич керамический	1800	31	1	1
Легкий бетон	1800	31	0,8	0,9
Кирпич трепельный	1100	58	2,2	4,2
Известняк	2000	23	0,7	1,2
Бетон на гравии	2200	15	0,25	0,1

Водостойкость – способность материала сохранять в той или иной мере свои прочностные свойства при увлажнении.

Степень понижения прочности материала при насыщении водой – количественный показатель водостойкости – называется коэффициентом размягчения.

Коэффициент размягчения ($K_{\text{разм}}$) рассчитывается как отношение предела прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии к пределу прочности при сжатии в сухом состоянии.

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{нас}} / R_{\text{сух}}. \quad (5.12)$$

Водостойкость материала необходимо учитывать, когда строительная конструкция из этого материала должна работать во влажных условиях или подвергаться действию воды.

Если у материала есть открытые поры и он насыщается водой, то его прочность при этом всегда снижается. Это происхо-

дит за счет расклинивающего действия воды и частичного растворения составляющих материала, нестабильных контактов между кристаллами и т.д.

Коэффициент размягчения строительных материалов может изменяться от 0 до 1:

– глины	$K_{\text{разм}} = 0$	(материал размокает),
– гипсовые изделия	$K_{\text{разм}} \approx 0,6$	(за счет растворимости),
– гранит, бетон, асбестоцемент	$K_{\text{разм}} \geq 0,8$,	
– металлы, стекло, битум	$K_{\text{разм}} \approx 1$.	

Строительный материал считается водостойким, если $K_{\text{разм}} \geq 0,8$ (т.е. прочность при насыщении водой снижается не более чем на 20 %), такие материалы можно применять во влажных условиях эксплуатации без специальных мер по защите от увлажнения.

Морозостойкость строительного материала – это одно из важнейших физических свойств, отражающее его отношение к совместному действию воды и отрицательных температур.

Под морозостойкостью материала понимают его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и понижения прочности.

Разрушение материала при замерзании в его порах воды связано:

- с давлением растущих кристаллов льда;
- с давлением воды при замерзании из-за увеличения объема примерно на 9 % (так как плотность воды – 1 г/см^3 , а льда – $0,917 \text{ г/см}^3$).

Насыщение материала водой в процессе эксплуатации может происходить за счет:

- капиллярного всасывания (при контакте материала с водой – гидросооружения, фундаменты);

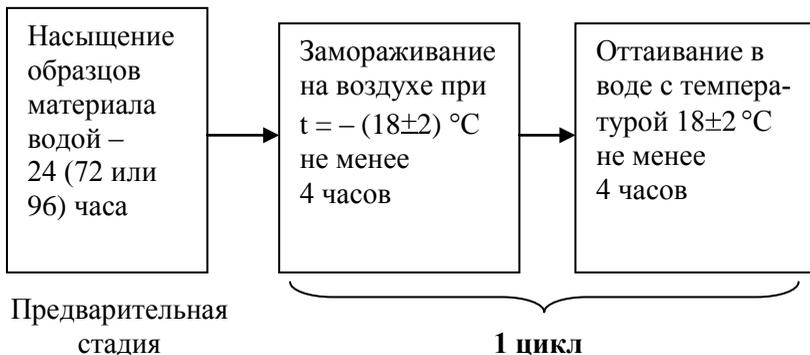
– конденсации гигроскопической влаги (материалы стеновых конструкций).

При полном заполнении всех пор и капилляров материала водой (не менее чем на 85–90 %) разрушение может наступить при однократном замораживании. Для строительных материалов в обычных условиях такого водонасыщения не наблюдается.

Морозостойкость материала измеряется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без существенного изменения прочности.

Оценка морозостойкости производится по методикам ГОСТ, которые могут несколько различаться для разных материалов.

1-й метод (ГОСТ 10060-87):



Нормируется скорость охлаждения и продолжительность пребывания при отрицательной и положительной температурах.

2-й метод (для бетона дорожных и аэродромных покрытий) предварительное насыщение и оттаивание производится в растворе хлорида натрия (NaCl) концентрацией 5 %.

3-й ускоренный метод испытания – насыщение и оттаивание в 5%-ном растворе хлорида натрия и замораживание при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Косвенный метод оценки морозостойкости – насыщение в растворе Na_2SO_4 и высушивание (напряжения за счет кристаллизации $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ с увеличением объема).

Повторяемость замерзания и оттаивания приводит к постепенному расшатыванию структуры материала и его разрушению. Сначала начинают разрушаться выступающие грани, затем поверхностные слои, и постепенно разрушение распространяется вглубь материала, снижается прочность (рис. 5.6).

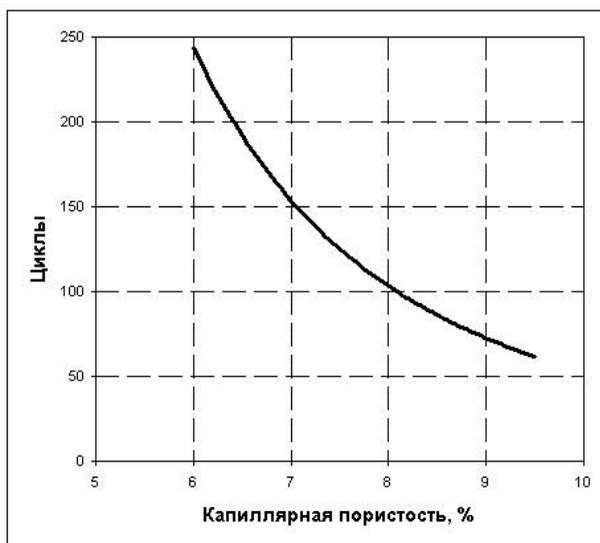


Рис. 5.6. Зависимость морозостойкости бетона от капиллярной пористости

Маркой по морозостойкости называется число циклов замораживания и оттаивания по стандартному методу, после которого:

- материал сохраняет заданный уровень прочности ($K_{\text{мрз}} = R_{\text{мрз}}/R_{\text{нас}}$):
 - не менее 95 % от исходной прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии для тяжелого бетона;
 - не менее 85 % прочности для большинства других материалов;

- не менее 75 % прочности для строительных растворов;
- нет заметных признаков разрушения (шелушения, трещин), потери массы (нормируется не всегда, но если нормируется, то $\Delta m \leq 5\%$).

Марка по морозостойкости обозначается **F**. Например, для бетона марки по морозостойкости: F25, 35, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 1000. Для керамического и силикатного кирпича: F15, F25, F35 и F50.

Требования к морозостойкости материала задаются в проекте для конструкций всех сооружений, подвергающихся климатическим, а также технологическим воздействиям, при которых конструкции могут оказаться в среде с отрицательной температурой (холодильники, производство и хранение сжиженных газов и т.д.). В проектах морозостойкость нормируется марками морозостойкости, определяемыми по 1-му методу. При контроле морозостойкости допускается пользование переходными коэффициентами от 2-го и 3-го методов к морозостойкости, определенной по 1-му методу.

Морозостойкость материала зависит от его строения, особенно от:

- величины пористости: чем меньше Π , тем больше F , и наоборот, но эта зависимость сложная, так как не все поры материала заполняются водой (если $W_v < \Pi$, значит, в материале есть замкнутые, недоступные для воды поры, заполненные воздухом, куда может «отжиматься» вода при замерзании, разрушая перегородку между порами, – такие поры называют «резервными»);
- характера пористости – с сообщающимися или с изолированными порами. Морозостойкость материалов с высокой пористостью, но с замкнутым характером пор может быть достаточно высокой (пеностекло, ячеистые бетоны – общая пористость до 70 %, но преобладают замкнутые поры сферической формы). У тяжелых бетонов, у которых значение пористости сравнительно невелико, но поры носят капиллярный характер,

морозостойкость резко уменьшается при незначительном увеличении от пористости (см. рис. 5.6).

- размера пор. В микропорах материала размером менее 0,1 мкм (10^{-7} м) обычно содержится связанная вода, которая не переходит в лед даже при очень низких температурах (до -70 °С), поэтому такие поры не оказывают заметного влияния на морозостойкость материала. Морозостойкость главным образом зависит от объема макропор в материале и от их строения. Наиболее опасными являются сообщающиеся между собой капилляры диаметром более 200 мкм.

Степень повреждения материала при замораживании зависит от степени его водонасыщения, т.е. связана со структурой материала и с условиями эксплуатации (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Особенности увлажнения материалов

Виды конструкций, условия эксплуатации	Состояние материала	Какие поры материала заполнены водой	Какие поры материала заполнены воздухом («резервные»)
Подводные, подземные, наземные – в контакте с водой	Водонасыщенное	Крупные поры и капилляры	Микрокапилляры
Наземные – воздушно-влажные	Гигроскопически увлажненное	Микрокапилляры (за счет конденсации пара)	Крупные поры и капилляры

Степень водонасыщения ниже, а «резервная» пористость выше у материалов, используемых для ограждающих конструкций. Поэтому требования к морозостойкости для них существенно ниже, чем для материалов, постоянно находящихся в контакте с водой. Например, максимальная марка по морозостойкости керамического кирпича – F50, а марки по морозостойкости тяжелого бетона гидротехнических сооружений, находящегося в зоне переменного уровня воды, – F300–F500.

Для повышения водостойкости строительных материалов могут использоваться различные технологические приемы, например:

- в состав сырьевой смеси вводится дополнительный компонент, в результате изменяется фазовый состав материала, появляются составляющие с меньшей растворимостью (переход от гипсовых смесей к гипсо-цементно-пущоцолановым);

- повышение плотности структуры (снижение капиллярной пористости), т.е. снижение водопоглощения и повышение водостойкости.

Один из самых распространенных приемов – снижение смачиваемости поверхности пор и капилляров и внешней поверхности изделий – гидрофобизация строительных материалов. При гидрофобизации снижается капиллярное всасывание, водопоглощение, сорбционное увлажнение, таким образом, увеличивается водостойкость.

Объемная гидрофобизация осуществляется путем введения небольших количеств добавок в сырьевые смеси при изготовлении материалов (или при использовании гидрофобного цемента – для бетонов) – гидрофобизируются стенки пор и капилляров в объеме материала.

Введение добавок незначительно усложняет технологию изготовления изделий: большая часть из них – водорастворимые жидкости либо водоразбавляемые эмульсии.

Поверхностная пропитка поверхностного слоя раствором или эмульсией гидрофобизирующей жидкости обеспечивает несмачиваемость внешней поверхности и гидрофобизацию поверхности пор и капилляров наружного слоя материала.

Гидрофобизация не должна ухудшать эксплуатационные свойства изделий, например воздухо- и паропроницаемость.

Пропитка наружных слоев материала пленкообразующими веществами (битумами, полимерами) также обеспечивает снижение водопоглощения.

Все приемы, повышающие водостойкость, одновременно повышают и морозостойкость (особенно гидрофобизация).

Кроме этого, эффективным и сравнительно простым способом повышения морозостойкости является применение добавок.

Добавки, создающие в материале резервную пористость (мелкие замкнутые сферические воздушные поры), – это воздухововлекающие добавки в бетонных смесях.

Добавки, повышающие плотность структуры, могут быть:

– уменьшающими объем капиллярных пор (пластифицирующие добавки и суперпластификаторы в бетонных смесях, снижающие содержание воды);

– заполняющими (кольматирующими) поры (тонкомолотые минеральные порошки, уменьшающие сечение капилляров, снижающие проницаемость для воды).

5.2.3. Теплофизические свойства

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

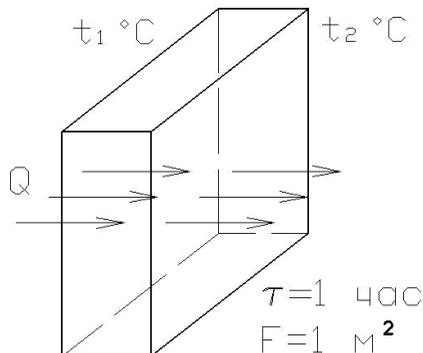


Рис. 5.7. Схема прохождения теплового потока через материал

$$Q = \lambda \cdot F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2) / a, \quad (5.13)$$

где Q – количество тепла, кДж;
 λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);
 F – площадь, через которое проходит тепло, м²;
 a – толщина стены, м;
 $t_1 - t_2$ – разность температур на поверхностях, °С;
 τ – время, ч.

Теплопроводность оценивают *коэффициентом теплопроводности* λ , который равен количеству тепла, проходящего через стену из материала толщиной в 1 м и площадью 1 м² в течение 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях в 1 градус Цельсия.

Единицы измерения λ – Вт/(м · К).
 $1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) = 1,163 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$.

Например:

Теплоизоляционные материалы	< 0,175;
Кирпич керамический	0,8–0,9;

Бетон тяжелый	1,3–1,6;
Гранит	2,9–3,3.

Теплопроводность является главным свойством для теплоизоляционных материалов, применяемых для устройства наружных стен и покрытия зданий. По величине λ назначается класс ТИМ.

Величина теплопроводности λ зависит от целого ряда факторов:

- плотности и пористости;
- состава и внутреннего строения материала;
- влажности и температуры материала.

Влияние плотности и пористости на теплопроводность материалов. Тепловой поток проходит через твердый каркас и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха ($\lambda = 0,023$ Вт/(м · К)) меньше, чем теплопроводность твердого вещества, из которого состоит каркас строительного материала. Таким образом, чем выше пористость материала, тем ниже его теплопроводность (рис. 5.8).

Теплота через воздушный слой передается с помощью теплового движения молекул, конвекцией и излучением.

Конвективный теплообмен возрастает по мере роста размеров пор и воздушных прослоек, связывающих эти поры.

На лучистый теплообмен решающее влияние оказывает температура эксплуатации: чем выше t , тем выше λ .

Для теплоизоляционных материалов предпочтительно мелкопористое строение с замкнутыми порами, это затрудняет теплопередачу конвекцией.

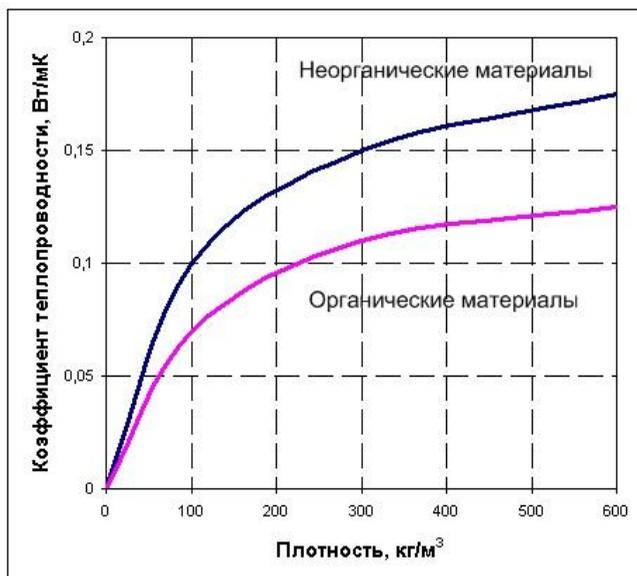


Рис 5.8. Зависимость теплопроводности ТИМ от плотности

Влияние состава и строения материала каркаса. Чем сложнее и больше по размерам молекулы вещества каркаса, тем ниже λ . Поэтому при одном значении средней плотности теплопроводность ниже у органических (высокомолекулярных) материалов, чем у неорганических (низкомолекулярных) (см. рис. 5.8).

У кристаллических веществ теплопроводность выше, чем у материалов аморфного строения.

Например:

- кварц (кристаллическое строение) $\lambda = 13,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- песчаник (смешанное строение) $2\text{--}3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- кварцевое стекло $0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

У волокнистых и слоистых материалов теплопроводность зависит от направления теплового потока: вдоль или поперек волокон или слоев.

Например, у древесины сосны $\lambda_{\parallel} = 0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
 $\lambda_{\perp} = 0,17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Влияние влажности на теплопроводность материалов. Теплопроводность пористых материалов резко возрастает при увлажнении и особенно замерзании воды в порах материала, так как:

$$\lambda_{\text{возд.}} = 0,023 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

$$\lambda_{\text{воды.}} = 0,55 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

$$\lambda_{\text{льда.}} = 2,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

В определенных пределах теплопроводность повышается прямо пропорционально возрастанию объемной влажности:

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta W_o,$$

где λ_w , λ_c – теплопроводность влажного и сухого материала, Вт/(м·К);

W_o – объемная влажность материала, %;

δ – приращение теплопроводности на 1 % объемной влажности;

$\delta = 0,002 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для неорганических материалов при положительной температуре, $\delta = 0,004 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при отрицательной температуре.

Влияние температурных воздействий на теплопроводность. Повышение температуры приводит к линейному возрастанию теплопроводности. Для пересчета значений теплопроводности, полученных при 0 °С, на значения их при других температурах служит эмпирическая формула:

$$\lambda_t = \lambda_o (1 + \beta t), \quad (5.14)$$

где λ_t, λ_0 – теплопроводность материала при температуре t и 0 °С, Вт/(м · К);

β – коэффициент, показывающий приращение теплопроводности на 1 °С повышения температуры (для неорганических материалов $\beta = 0,002$ при положительной температуре и $\beta = 0,004$ при отрицательной; для органических материалов соответственно 0,003 и 0,004).

Теплопроводность определяют физическим методом с помощью точной аппаратуры согласно ГОСТ 7076-78 «Метод определения теплопроводности», графическим методом и по эмпирическим формулам (формула В.П. Некрасова).

Теплопроводность материалов учитывается в теплотехнических расчетах ограждающих конструкций, толщины тепловой изоляции горячих поверхностей и холодильников.

Термическое сопротивление [(м²·К)/Вт] слоя материала зависит от λ и толщины слоя:

$$R = \delta/\lambda, \quad (5.15)$$

где δ – толщина слоя материала, м;

λ – теплопроводность материала, Вт/(м · К).

Требования к термическому сопротивлению ограждающих конструкций в соответствии с изменениями СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» с 1995 г. по 2000 г. возросли более чем в 3 раза. Это связано с необходимостью энергосбережения в жилищном хозяйстве и других отраслях. Поэтому необычайно увеличилось значение теплоизоляционных материалов.

Теплоемкость – способность материалов поглощать (аккумулировать) теплоту при нагревании. Теплоемкость оценивается величиной удельной теплоемкости C , которая равняется количеству тепла, необходимому для нагревания 1 кг материала на 1 °С.

$$C = Q/m (t_2 - t_1), \quad (5.16)$$

где C – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) или Дж/(кг·°С);
 Q – количество тепла, Дж, кДж;
 m – масса материала, кг;
 $t_2 - t_1$ – разность температур, К или °С.

Удельная теплоемкость материала зависит от его природы и, в незначительной степени, от пористости. Органические материалы имеют значительно большую C , чем минеральные:

– древесина, древесноволокнистые плиты	– 2,4–2,7;
– битумы нефтяные, асфальтобетон, рубероид	– 1,68;
– линолеум поливинилхлоридный	– 1,47;
– бетоны, растворы, каменные материалы, минвата	– 0,75–0,9;
– металлы и стекло	– 0,48;
– вода (теплоноситель)	– 4,2.

Чем больше теплоемкость материала, тем больше тепла он аккумулирует при повышении температуры окружающей среды (дольше нагревается) и тем больше выделяется теплоты при снижении температуры окружающей среды, тем самым поддерживается температурный режим в помещении. В деревянных домах тепло зимой и прохладно летом.

Показатели теплоемкости разных материалов нужны для расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций, режима прогрева материалов при зимних работах, при расчете печных агрегатов.

Температурные деформации – изменения линейных размеров или объема материала при изменении его температуры.

Обычно при повышении температуры размеры и объем увеличиваются, при снижении температуры размеры и объем, соответственно, уменьшаются.

$$l_t = l_0 (1 + \alpha_t t), \quad (5.17)$$

где l, l_0 – длина образца из данного материала при температуре t и 0 °С;

t – температура, °С;

α_t – коэффициент линейного температурного расширения, °С⁻¹, характеризующий способность материала к температурным деформациям – изменение длины при увеличении температуры на 1 °С, например:

– бетон и сталь	$(10-12) \cdot 10^{-6}$;
– гранит	$(8-10) \cdot 10^{-6}$;
– древесина	$(3-5) \cdot 10^{-6}$;
– полимеры	$(25-120) \cdot 10^{-6}$.

При сезонном перепаде температур окружающей среды и материала на 50 °С относительная температурная деформация достигает 0,5–1 мм/м. Во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают деформационными швами.

При создании композиционных материалов необходимо, чтобы α_t составляющих были близки (железобетон, пластмасы). Коэффициент температурного расширения необходимо учитывать для защитно-отделочных, облицовочных материалов.

Термостойкость – способность материала выдерживать чередование (циклы) резких тепловых изменений без разрушения.

Термостойкость оценивают значением температуры, при нагревании до которой и последующем резком охлаждении материал не растрескивается.

Термостойкость материала зависит от степени его однородности и от способности каждого компонента к тепловым расширениям (различия коэффициентов температурного расширения).

Чем меньше α_t и выше однородность, тем выше термостойкость, т.е. тем больший перепад температур и большее количество циклов способен выдержать материал.

Например, кварц (минерал кристаллического строения) менее термостоек, чем кварцевое стекло, из-за различия α_t .

Недостаточная термостойкость материала может служить причиной его разрушения при тушении пожаров (стекло, бетон).

Гранит нетермостоек, поскольку в его составе содержится минерал кварц, у которого высокий α_t , и при нагревании (575 °С и более) происходят полиморфные превращения с изменением объема. На недостаточной термостойкости гранита основан способ добычи крупных блоков газопламенной струей.

Огнестойкость – способность материалов противостоять действию огня при пожаре в течение определенного времени без существенного снижения прочности и значительных деформаций.

- Все материалы по степени пожарной опасности делятся на:
- негоряемые;
 - трудногоряемые (зависит от химического состава);
 - сгораемые.

Несгораемые материалы – это неорганические материалы: природные каменные материалы, бетон и другие материалы на минеральных вяжущих, кирпич керамический, сталь, минеральная вата и др.

Трудногоряемые материалы – под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются с трудом, тлеют и обугливаются, но после прекращения действия огня их горение и тление прекращается.

К трудногоряемым материалам относятся:

- органоминеральные материалы – асфальтобетон, цементно-стружечные плиты, фибролит;

– пластмассы на специальных полимерах – поливинилхлорид, перхлорвинил, кремнийорганические полимеры, политетрафторэтилен (тефлон);

– древесина, обработанная антипиренами.

Сгораемые материалы – органические материалы, которые под воздействием огня и высокой температуры воспламеняются или тлеют и продолжают гореть и тлеть после удаления источника огня: древесина, битум, большинство полимеров.

Сгораемые материалы необходимо защищать от возгорания. Широко используются конструктивные меры, исключающие непосредственное воздействие огня на материал в условиях пожара. Применяется пропитка защитными веществами – антипиренами.

Не все несгораемые материалы можно считать огнестойкими. Некоторые несгораемые материалы при пожаре растрескиваются (гранит, куда входит минерал кварц, который при температуре 575 °С увеличивается в объеме) или сильно деформируются (металлы, стекло) при температуре, начиная с 600 °С. Конструкции из подобных материалов нередко приходится защищать более огнестойкими материалами.

Огнестойкость – важное свойство всех строительных материалов.

Предел огнестойкости – продолжительность сопротивления воздействию огня до потери несущей способности или прочности:

- металлические конструкции – 0,5 ч;
- железобетон – 1–2 ч;
- бетон – 2–5 ч.

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительные воздействия высоких температур без разрушения и деформаций (без плавления).

Строительные материалы по огнеупорности в зависимости от температуры плавления подразделяются на:

- легкоплавкие – < 1350 °С;
- тугоплавкие – 1350–1580 °С;
- огнеупорные – 1580–2000 °С;
- высшей огнеупорности – > 2000 °С.

Огнеупорность зависит от химического состава материалов (Fe_2O_3 , Na_2O – снижают огнеупорность, Al_2O_3 , SiO_2 – повышают огнеупорность).

Огнеупорность оценивается для специальных материалов, эксплуатируемых при высоких температурах: конструкции тепловых агрегатов, дымовых труб, материалы для внутренней футеровки промышленных печей.

Кроме этого, огнеупорность оценивают для сырьевых материалов в обжиговых технологиях производства строительных материалов (для назначения температуры обжига, плавления). Например, различают легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные глины.

Легкоплавкие глины – сырье для керамического кирпича, облицовочных плиток.

Тугоплавкие глины – плитка для пола (метлахская), клинкерный кирпич.

Огнеупорные глины – санитарно-технические изделия, шамот.

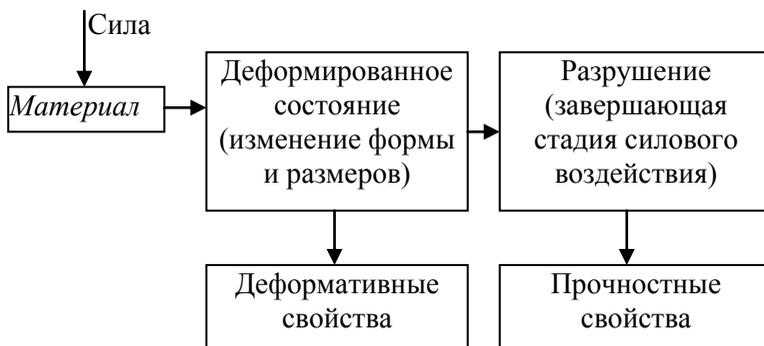
5.3. Механические свойства строительных материалов

5.3.1. Механические свойства

Механические свойства характеризуют способность материалов сопротивляться воздействию внешних механических сил – нагрузок, которые вызывают в них деформации и внутренние напряжения.



Внешние силы, действующие на материал, вызывают его деформации и могут привести к разрушению.



Деформативные свойства строительных материалов характеризуют способность материала к изменению формы и размеров (без изменения массы).

Деформация – изменение формы и размеров под действием внешних и внутренних факторов. Деформации происходят вследствие удаления или сближения частиц, их которых состоит материал (атомов, молекул).

В зависимости от того, исчезают или нет деформации после снятия нагрузки (восстанавливаются размеры и форма или нет), деформации делятся на две группы:

- *Обратимые* деформации исчезают после снятия нагрузки, форма и размеры восстанавливаются полностью.

Упругие деформации исчезают мгновенно после снятия нагрузки.

Эластические деформации исчезают в течение более или менее длительного периода времени.

- *Необратимые (остаточные)*, или *пластические*, деформации полностью или частично сохраняются после снятия нагрузки.

Зависимость «напряжение – относительная деформация» (σ – ε) может быть представлена графически:

а)

б)

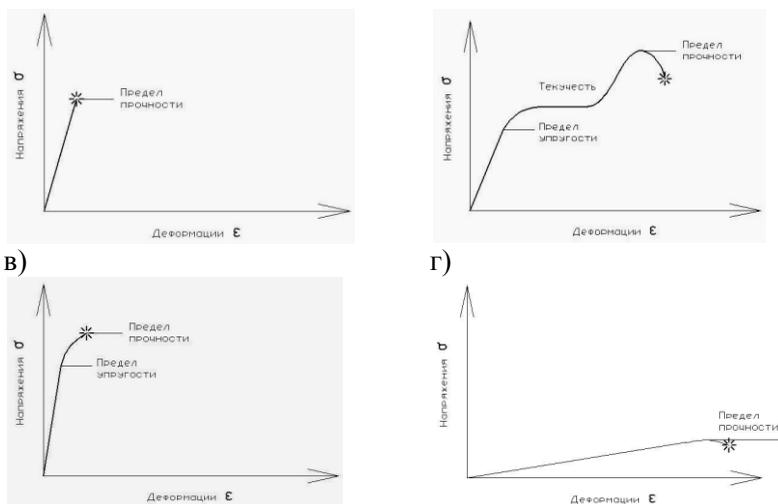


Рис. 5.9. Диаграммы деформации:

а – стекло (упругий хрупкий материал); б – сталь (сохраняет упругость при значительных напряжениях); в – бетон (хрупкий материал); г – эластомер (эластичный материал)

Область упругих деформаций (линейная зависимость σ – ϵ) характеризуется модулем упругости E (модулем Юнга) – тангенс угла наклона прямой к оси ϵ . Модуль упругости представляет собой меру жесткости материала: чем больше энергия межатомных связей, тем больше модуль упругости (и тем выше температура плавления).

Таблица 5.3

Упругость материалов

Материал	Модуль упругости (10^3 МПа)	Температура плавления, °С
Железо	211	1539
Свинец	15	327
Полистирол	2	100
Каучук	0,02	300

В зависимости от величины деформации в момент разрушения материалы подразделяются на:

– хрупкие – разрушаются без заметных деформаций (бетон, керамика, каменные материалы);

– пластичные – значительные деформации при разрушении (сталь, древесина, пластмассы).

Характер и величина деформаций зависят также от скорости нагружения, влажности и температуры материала. Чаще всего с увеличением скорости нагружения и с понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругопластическим.

Например, у битума при понижении температуры уменьшается пластичность, при отрицательных температурах он разрушается как хрупкий материал. То же характерно для стали.

Поэтому более правильно для большинства материалов говорить о пластическом и хрупком состояниях.

Деформативные свойства

Упругость – способность материала восстанавливать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры.

Количественно характеризуется пределом упругости, который условно приравнивают напряжению, при котором материал начинает получать остаточные деформации очень малой величины, устанавливаемой в технических условиях для данного материала. Примером упругого материала является сталь.

Эластичность – способность к значительным упругим деформациям под действием сравнительно небольших нагрузок (первоначальная форма и размеры в основном восстанавливаются после снятия нагрузок) – резина, эластомеры (каучуки, поролон).

Пластичность – способность материала при нагружении в значительных пределах изменять форму без образования трещин и сохранять эту форму после снятия нагрузки.

Это свойство важно учитывать при выборе материалов для несущих конструкций. Желательными для несущих конструкций являются материалы с большой упругостью, которые перед разрушением обладают высокой пластичностью. Разрушение в

подобных материалах не будет происходить внезапно (например, такие характеристики наблюдаются у стали).

Пластичность сырьевых масс оказывает большое влияние на выбор технологии изготовления некоторых изделий. Пластичность многих сырьевых масс зависит как от свойств сырья и состава масс, так и от количества воды в смеси.

Например, при изготовлении керамических изделий в зависимости от способности глин образовывать пластичное тесто принимают пластический способ формования (выдавливание пластичного теста через формующую головку прессы) или полусухое прессование (из увлажненного порошка).

Пластичность бетонных смесей значительно меняется в зависимости от расхода воды (чем больше воды, тем выше пластичность):

– для пластичных смесей способ уплотнения – вибрирование;

– для жестких смесей – вибропрессование и другие интенсивные методы уплотнения.

Для полимеров, битума, стекла, металлов характерна *термопластичность* – увеличение пластичности с повышением температуры.

Хрупкость – способность материала под действием нагрузки разрушаться без заметных деформаций.

Материал разрушается в области упругих деформаций или при незначительных пластических деформациях (бетон, каменные материалы, стекло). Так как для развития пластических деформаций требуется определенное время, то хрупкость особенно четко проявляется при ударной нагрузке.

Текучесть – способность материалов к значительным пластическим деформациям, медленно нарастающим без увеличения напряжений.

Ползучесть – способность материалов к пластическим деформациям, медленно нарастающим в течение длительного времени под действием нагрузки, не способной вызвать остаточные деформации за непродолжительный период. Ползучесть характерна для пластмасс.

Прочностные свойства

Прочность материала является одной из основных характеристик для большинства строительных материалов, так как они в сооружениях всегда подвергаются тем или иным воздействиям, вызывающим напряженное состояние (сжатие, растяжение, изгиб, срез, удар и др.). По заданной нагрузке можно рассчитывать технически и экономически целесообразное сечение конструкций из данного материала.

Прочность – способность материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих в нем под действием внешних нагрузок.

В зависимости от вида внешних воздействий различают:

- прочность при сжатии;
- прочность при растяжении;
- прочность при изгибе и т.д.

От внешней нагрузки P в материале возникают внутренние напряжения σ , т.е. нагрузке противодействуют внутренние силы, знак которых противоположен:

$$P = \Sigma \sigma.$$

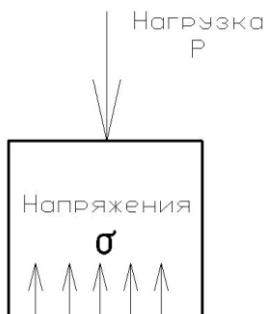


Рис. 5.10. Схема возникновения внутренних напряжений

По мере возрастания нагрузки (P) до разрушающей ($P_{\text{раз}}$) внутренние напряжения (σ) нарастают, а при разрушении стано-

вятся равными 0, поскольку связь между частицами материала разрывается.

Прочность количественно оценивается пределом прочности.

Предел прочности (R) – критическое напряжение, при котором наступает разрушение материала (нарушение сплошности).

Определение предела прочности производится при испытании до разрушения:

– стандартных образцов (специально изготовленных или выпиленных из конструкции) на специальных прессах или разрывных машинах;

– непосредственно конструкций на специальных испытательных стендах.

Теоретически прочность однородного материала характеризуется напряжением, необходимым для разделения двух примыкающих слоев атомов, т.е. зависит от сил атомно-молекулярного взаимодействия.

Прочность реальных тел в тысячи раз меньше прочности, рассчитанной для идеальных кристаллов. Причины – дефекты в структуре материала: микродефекты – дефекты кристаллической решетки, микротрещины; макродефекты – поры и трещины.

Таблица 5.4

Прочность материалов

Материал	Теоретическая прочность	Фактическая прочность
Сталь	30000 МПа	~ 400 МПа
Стекло	14000 МПа	70–150 МПа

Для материалов конгломератного строения прочность зависит не только от прочности составляющих, но и от силы сцепления между ними.

Предел прочности материалов, определяемый при испытании образцов, является условной характеристикой, так как зависит от:

- формы и размеров образцов;
- условий испытания (скорость нагружения, конструкция испытательной машины);
- состояния опорных поверхностей.

Поскольку строительные материалы неоднородны по строению, то предел прочности определяют как средний результат испытаний серии стандартных образцов. Форма и размеры образцов должны соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ (например, для бетона – куб с ребром 15 см, для раствора – куб с ребром 7,07 см для испытаний на сжатие). Размер образцов зависит от степени однородности строения материала.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ (МПа) равен частному от деления разрушающей силы $P_{раз}$ на площадь поперечного сечения образца S (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж} = P_{раз}/S, \text{ кгс/см}^2, \text{ МПа (Н/м}^2 = \text{Па)}.$$

Если $P_{раз}$ измерена в кгс, а S в см^2 , то $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$.

Силы трения (τ), возникающие между опорными гранями образца и плитами пресса, удерживают части образца, прилегающие к плитам, от разрушения. Средние же части образца разрушаются в первую очередь (рис. 5.11). Поэтому для хрупких материалов наблюдается характерная форма разрушения кубов: две усеченные пирамиды, сложенные вершинами.

Действием сил трения объясняется разница в пределе прочности материала, определенная на образцах разного размера: у кубиков малых размеров предел прочности при сжатии оказывается выше, чем у кубиков больших размеров из того же материала.

Если же смазать опорные грани куба или покрыть их парафином, то силы трения уменьшаются, стремятся к нулю ($\tau \rightarrow 0$) и изменяется характер разрушения образца (см. рис. 5.11). Куб распадается на ряд слоев, разделенных вертикальными трещинами. Предел прочности куба со смазанными опорными гранями

составляет 50 % предела прочности того же образца с несмазанными поверхностями.

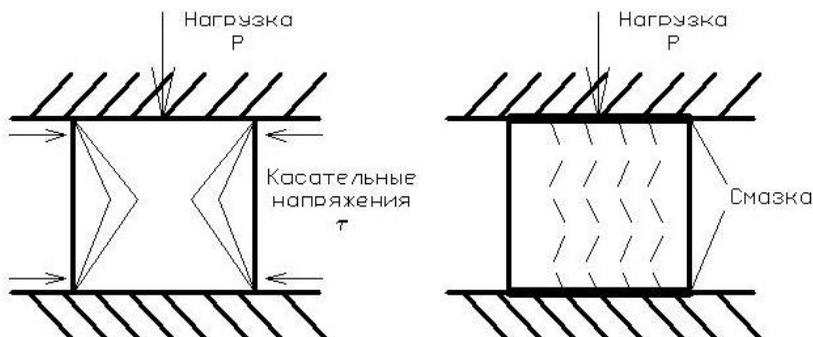


Рис. 5.11. Характер разрушения образцов при сжатии

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ (МПа) определяют путем испытания образца материала в виде призмы, уложенной на двух опорах. Образец нагружают одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения. Вычисляют $R_{изг}$ по формуле:

$$R_{изг} = M_{изг}/W, \quad (5.18)$$

где $M_{изг}$ – наибольший изгибающий момент, Н·м;
 W – момент сопротивления сечения образца, м³.

При приложении одной сосредоточенной изгибающей силы:

$$R_{изг} = 3Pl/(2bh^2), \quad (5.19)$$

при двух силах:

$$R_{изг} = Pl/(bh^2), \quad (5.20)$$

где l – расстояние между опорами;

b и h – ширина и высота поперечного сечения образца.

Предел прочности при растяжении R_p (МПа) используется в качестве прочностной характеристики стали, бетона, волокнистых материалов. Определение R_p осуществляется на прессах с захватывающими устройствами, тянущими образцы в разные стороны.

У хрупких и пластичных материалов различно соотношение между разными видами прочности:

- пластичные – $R_p \approx R_{изг} > R_{сж}$ (металлы, древесина);
- хрупкие – $R_{сж} > R_{изг} > R_p$ (бетон, кирпич, каменные материалы). $R_{сж}$ таких материалов превышает R_p в 10–15 раз и более.

Таблица 5.5

Прочностные свойства и применение материалов

Наименование материала	Предел прочности, МПа, при			Вид материала	Применение в конструкциях
	сжатии	изгибе	растяжении		
Гранит	137–180	15–25	4–5	хрупкие	работающих на сжатие
Кирпич керамический	7,5–30	1,8–4,4	не нормируется		
Бетон	10–60	2–5	1–3		
Сосна (вдоль волокон)	30–50	70–90	80–110	пластичные	работающих на изгиб, растяжение, сжатие
Дуб (вдоль волокон)	40–70	90–120	100–130		
Сталь (Ст3)	350–450	350–450	350–450		

Предел прочности материала (чаще при сжатии) определяет его *марку*.

Например, при марке бетона М200 предел прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 150 мм, изготовленных из бетонной смеси и твердевших в течение 28 суток в нормальных

условиях ($t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $W_{\text{отн}} \geq 90 \%$), должен быть не менее 20 МПа (200 кгс/см^2).

Для оценки прочностной эффективности материала используется коэффициент конструктивного качества (**ККК**):

$$\text{ККК} = R_{\text{сж}}/\rho_m,$$

где $R_{\text{сж}}$ – в МПа или кгс/см^2 ,

ρ_m – относительная плотность, безразмерная величина, численно равная ρ_m в г/см^3 или кг/м^3 .

Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность (табл. 5.6).

Таблица 5.6

ККК строительных материалов

Материал	Прочность, МПа	Средняя плотность, г/см^3	ККК
Кирпич керамический	10	1,8	5,6
Бетон тяжелый В50	40	2,4	17
Сталь Ст3	400	7,85	51
Оконное стекло	500	2,65	189
Древесина (сосна)	100	0,5	200
Стеклопластик	450	2,0	225

5.3.2. Специальные механические свойства

Истираемость – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям.

Сопротивление истиранию определяют главным образом для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных маршей и др.

Степень истирания материала выражают потерей массы образца, отнесенной к площади истирания (**И**).

Испытание проводят на специальном круге истирания с установленным количеством оборотов вращения при заданном давлении на образец при использовании абразивов (кварцевый песок, корундовый наждак).

$$I = \Delta m/S, \text{ г/см}^2, \text{ г/м}^2, \quad (5.21)$$

где Δm – потеря массы, г;
 S – площадь поверхности истирания, см^2 .

Образец вставляется в обойму, с помощью которой прижимается к поверхности истирающего круга, задается число оборотов круга. Определяется первоначальная масса образца – m_1 и масса после прохождения заданного пути – m_2 ; $\Delta m = m_1 - m_2$.

Чем меньше показатель истираемости, тем долговечнее материал в соответствующих условиях.

Таблица 5.7

Истираемость материалов

Материал	$I, \text{ г/см}^2$
Гранит	0,05–0,07
Плитки керамические для пола	0,08–0,1
Поливинилхлоридный линолеум	0,06

Ударная вязкость (ударная прочность) – способность сопротивляться ударным нагрузкам.

Дорожные и аэродромные покрытия испытывают большие динамические нагрузки, поэтому они должны подвергаться испытаниям на удар.

Оценивается $R_{уд}$ по работе A (Дж), затраченной на разрушение материала, отнесенной к единице объема (V) или площади (S) образца:

$$R_{уд} = A/V \text{ (Дж/м}^3\text{)} \text{ или } R_{уд} = A/S \text{ (Дж/м}^2\text{)}.$$

Испытанию подвергаются образцы-цилиндры $d = h = 25$ см.

Испытания производятся на специальном приборе – копре. Нормированный груз поднимается на определенную высоту и падает на образец до тех пор, пока не разрушит его.

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела (поверхностная прочность).

Твердость для разных материалов оценивают по-разному.

Для природных каменных материалов – по относительной шкале – шкале твердости, или шкале Мооса. Шкала состоит из 10 эталонных минералов (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Шкала относительной твердости (шкала Мооса)

Минерал-эталон	Балл твердости	Характеристика
Тальк	1	Легко царапается ногтем
Гипс	2	Царапается ногтем
Кальцит	3	Легко царапается стальным ножом
Флюорит	4	Царапается стальным ножом под небольшим нажимом
Апатит	5	Царапается ножом под сильным нажимом
Полевой шпат (ортоклаз)	6	Царапает стекло под нажимом
Кварц	7	Царапает стекло
Топаз	8	Легко царапают стекло
Корунд	9	
Алмаз	10	

Минерал-эталон оставляет царапину на предшествующем минерале по шкале и царапается последующим.

Твердость древесины, металлов, бетона определяют, вдавливая в них стальной шарик или твердый наконечник (в виде конуса или пирамиды).

Число твердости материала (**НВ**) рассчитывают как отношение нагрузки при вдавлении в образец в течение определенного времени стандартного стального шарика (наконечника)

к площади поверхности отпечатка (на поверхности материала от вдавливания):

$$HB = P/S.$$

Высокая прочность материала не всегда говорит о его твердости. Например, прочности при сжатии древесины и бетона близки, но твердость бетона существенно выше.

Для металлов и бетона существует связь между твердостью и прочностью, для каменных материалов – между твердостью и истираемостью.

Износ – способность материала сопротивляться одновременному воздействию истирающих и ударных нагрузок.

Образцы материалов испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Показателем износа служит потеря массы пробы материала в результате проведенного испытания (в % от первоначальной массы).

5.3.3. Неразрушающие методы испытаний

Кроме разрушающих методов определения прочности с целью контроля качества материалов могут использоваться неразрушающие методы определения прочности.

Неразрушающие методы испытаний основаны на взаимосвязи прочности материала с какой-либо другой характеристикой материала, определяемой с помощью физических приборов или ударных инструментов.

Например, известно, что прочность материала зависит от его пористости, и скорость распространения в материале ультразвуковых волн зависит от степени дефектности структуры, т.е. пористости.

Следовательно, может существовать взаимосвязь «прочность – скорость распространения ультразвуковых волн». Таким образом, скорость распространения ультразвука в материале может служить косвенной характеристикой прочности.

В качестве таких косвенных характеристик прочности используются:

- скорость распространения в материале ультразвуковых волн;

- динамический модуль упругости, рассчитываемый по частоте собственных колебаний материала (*резонансный метод*) или скорости распространения и затухания в материале ультразвуковых волн (*импульсный метод*);

- диаметр отпечатка от удара специального молотка и др.

Для оценки прочности материала неразрушающим методом сначала строят тарировочную кривую по результатам испытаний образцов материала неразрушающим и разрушающим методами (определяют косвенную характеристику и предел прочности на одних и тех же образцах и в виде точки наносят на график). Затем по результатам неразрушающего метода испытаний и тарировочной кривой оценивают прочность материала без его разрушения.

5.4. Химические свойства материалов

5.4.1. Химические свойства

Химические свойства материалов характеризуют их способность вступать в химические взаимодействия с различными веществами окружающей среды.

В зависимости от результата химических превращений материалов (полезные и вредные) условно химические свойства можно разделить на группы.

1. *Свойства, характеризующие химическую активность вяжущих веществ.* В результате химического взаимодействия образуются новые соединения, обеспечивающие формирование структуры и комплекса полезных свойств композиционных материалов.

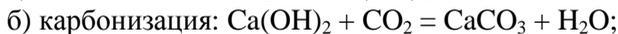
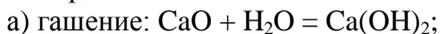
Твердение неорганических вяжущих веществ основано, главным образом, на химических реакциях минералов вяжущих веществ с водой.

Например,

– твердение строительного гипса:



– твердение извести:

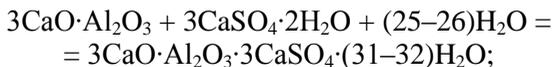


– твердение цемента:

а) трехкальциевый силикат (алит) взаимодействует с водой с образованием гидросиликатов кальция переменного состава (ГСК) и гидроксида кальция:



б) трехкальциевый алюминат взаимодействует с водой в присутствии гипса с образованием гидросульфоалюмината кальция – минерала этtringита:



кроме этого образуются гидроалюминаты кальция;

в) при взаимодействии с водой двухкальциевого силиката (белита) образуются гидросиликаты.

Химическая активность вяжущих веществ зависит от химического и минерального состава.

Для воздушной извести, например, основной показатель, от которого зависит сорт извести, – это активность, которая определяется содержанием активных CaO и MgO в %. Например, известь 1-го сорта должна содержать не менее 90 % (CaO + MgO) активных, т.е. вступающих в реакцию с водой в процессе гашения.

Для других вяжущих (цемент, гипс) активность оценивается по способности обеспечивать прочностные свойства к определенному сроку твердения.

Об активности вяжущих можно также судить по количеству тепла, которое выделяется в ходе химических реакций.

2. *Свойства, характеризующие способность материалов сопротивляться действию химически агрессивной среды, вызывающей в них обменные реакции и приводящие к разрушению материалов.*

Это кислотостойкость, щелочестойкость, стойкость к одновременному действию комплекса химически активных агентов и др. Кроме того, для некоторых материалов химические свойства оцениваются по способности не разлагаться, не разрушаться с течением времени (органические вяжущие вещества, полимеры и материалы на их основе).

Химическая стойкость зависит от:

- химического состава;
- минерального (фазового) состава;
- микроструктуры (соотношения кристаллических и аморфных фаз: у аморфных фаз выше химическая активность, чем у кристаллических);
- макроструктуры: чем плотнее материал (ниже пористость), тем выше химическая стойкость.

Кислото- и щелочестойкость – свойства материалов, характеризующие их способность противостоять разрушающему действию, соответственно, растворов кислот или их смесей и водных растворов щелочей. Эти свойства характеризуются потерей массы измельченного материала при обработке определенными растворами кислот или щелочей (в %).

О химической стойкости материалов можно приблизительно судить по химическому составу и по *модулю основности*:

$$M_o = \frac{\%CaO + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}. \quad (5.22)$$

При низких значениях модуля основности (много SiO_2 в составе) материалы стойки к кислотам, но способны к взаимодействию со щелочами – кварц, гранит, кварцит, силикатное стекло. Кроме этого, кислотостойки углеродистые стали, чугуны, содержащие более 2,5 % углерода, титан.

При высоких значениях модуля основности материалы щелочестойки, но разрушаются кислотами.

Например, M_o цементного камня $\sim 3/2$ – цементные материалы разрушаются большинством кислот и щелочестойки. У горных пород, состоящих из кальцита $CaCO_3$ (известняк, мрамор), модуль основности имеет очень большое значение – породы легко разрушаются кислотами, но щелочестойки.

К щелочестойким материалам относятся известняки, мрамор, бетоны на основе портландцемента и глиноземистого цемента, специальные хромоникелевые стали, никелевые латуны, стекло, содержащее оксид бора и др.

Степень стойкости материалов к разрушающему действию растворов различных кислот или щелочей различна и требует конкретной оценки в зависимости от предполагаемой области применения.

Битум не устойчив в щелочной среде, а древесина не устойчива ни в щелочной, ни в кислой среде.

Достаточно высокую стойкость к действию растворов щелочей и кислот проявляют керамические материалы, диабаз и базальт, шлакоситаллы, многие пластмассы.

Важным свойством, характеризующим стойкость органических строительных материалов, в первую очередь полимерных материалов, является их *маслобензостойкость* (топливостойкость) – способность этих материалов противостоять действию жидких углеводородных топлив. При контакте с углеводородами и маслами минерального происхождения многие полимеры, особенно резины, набухают. У резиновых материалов степень

набухания может достигать нескольких сотен процентов. Маслостойкость необходимо учитывать при выборе материалов для покрытия полов гаражей, станций технического обслуживания, некоторых промышленных зданий, животноводческих помещений и т.п.

При выборе химически стойких материалов необходимо учитывать также способность материалов противостоять действию растворов солей, газов и одновременному действию нескольких агентов в химически агрессивных средах.

К физико-химическим свойствам материалов относят их *адгезионную способность*. *Адгезия* (от лат. adhaesio – «прилипание») – сцепление и связь между находящимися в контакте поверхностями разнородных по составу (твердых или жидких) тел (фаз), обусловленные межатомными силами притяжения. Это свойство имеет большое значение при сварке и пайке материалов, склеивании, нанесении защитно-декоративных (эмалевых, лакокрасочных и др.) покрытий, создании композиционных материалов – пластмасс, бетонов.

В связи со все расширяющимся внедрением в строительную практику синтетических полимерных материалов (и особенно отделочных пластмасс) важным критерием аттестации качества строительных материалов и изделий является оценка их *санитарно-гигиенических характеристик* – токсичности, биологического действия вредных для людей химических загрязнений внешней среды и интенсивного запаха в результате миграции из материалов остаточных мономеров, катализаторов, стабилизаторов, пластификаторов, растворителей и других низкомолекулярных соединений, а также в результате деструкции в процессе переработки и эксплуатации. Применение в зданиях и сооружениях материалов, обладающих любой степенью токсичности, категорически запрещается.

Коррозия (от лат. corrodo – «разъедаю») – процесс разрушения материала под действием агрессивных факторов окружающей среды.

Коррозия металлов – разрушение вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой;

коррозию железа и сплавов на его основе называют ржавлением. Коррозию горных пород называют выветриванием. Коррозия бетона – разрушение бетона в результате физического, химического, физико-химического и биологического взаимодействия с внешней средой.

Коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться разрушению в результате действия внешней агрессивной среды.

Коррозионная стойкость – это комплексное, а не только химическое свойство строительных материалов.

Коррозионная стойкость определяется составом и структурой материала, наличием механических напряжений, состоянием поверхности, условиями воздействия агрессивной среды.

Количественно коррозионная стойкость материалов оценивается по 10-балльной шкале (табл. 5.9), характеризующей уменьшение толщины материала (в мм/год).

Таблица 5.9

Шкала оценки коррозионной стойкости материалов

Группа стойкости материалов	Скорость коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001...0,005	2
	0,005...0,01	3
Стойкие	0,01...0,05	4
	0,05...0,1	5
Понижено стойкие	0,1...0,5	6
	0,5...1	7
Малостойкие	1...5	8
	5...10	9
Нестойкие	Более 10	10

Материалы, отличающиеся коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах (оценка по шкале не выше 5 баллов), называются коррозионностойкими. К ним относятся керамические материалы с плотным черепком, стекла, асбесты,

легированные стали, сплавы титана и алюминия, многие пластмассы и др.

Коррозионная стойкость металлов оценивается также по потере массы материала с единицы площади (в $г/(м^2 \cdot ч)$), по потере механической прочности, пластичности и по другим показателям.

Коррозионную стойкость металлов повышают легированием, рафинированием, нанесением защитных покрытий, химико-термической обработкой и другими способами.

5.4.2. Выветривание горных пород и способы защиты

Выветривание – процесс разрушения горных пород и каменных материалов под действием различных факторов окружающей среды.

Стойкость к выветриванию зависит от минерального состава и строения. Устойчивым к выветриванию является кварц, малоустойчивыми – полевые шпаты ортоклаз и микроклин, неустойчивыми – основные плагиоклазы, оливин, кальцит, доломит, гипс, химически активные минералы – сульфиды, сульфаты.

Факторы, вызывающие разрушение каменных материалов:

- *физико-механические:*
 - суточные колебания температуры (возникновение внутренних напряжений за счет разного изменения объема зерен различных минералов с отличными показателями температурного линейного и объемного расширения);
 - совместное действие воды и мороза (возникновение напряжений, связанных с проникновением и замерзанием воды в порах и микротрещинах материалов, в том числе возникающих при добыче и переработке горной породы);
- *физико-химические:*
 - действие воды на минералы с повышенной растворимостью (гипс, карбонаты) (растворение и вымывание);

- действие воды, содержащей растворенные газы, в том числе от промышленных выбросов, особенно CO₂, SO₃, SO₂, NO₂ и др., приводящей к образованию новых и легко растворимых соединений.

Например:

- для карбонатных пород:

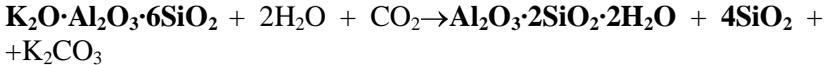


соединение	хорошо
с низкой	растворимое
растворимостью	соединение



соединение	хорошо
с низкой	растворимое
растворимостью	соединение

- для полевошпатных пород:



полевоый шпат-ортоклаз	каолинит	аморфный
растворимое соединение		кремнезем

- действие органических кислот, образующихся при жизнедеятельности микроорганизмов на поверхности и в трещинах камня.

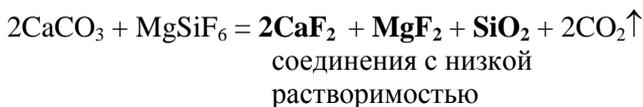
Способы защиты от выветривания подразделяются на три группы:

1. Конструктивные:

- придание изделиям и конструкциям такой формы, которая обеспечивает хороший сток воды с поверхности камня;
- повышение плотности и гладкости поверхности путем шлифования и полирования.

2. Физико-химические способы защиты, направленные на уплотнение поверхности и повышение водостойкости:

- обработка гидрофобными составами, например, кремнийорганическими жидкостями (уменьшение смачиваемости поверхности, скорости капиллярного подсоса);
- пропитка пористых горных пород растворами солей кремнефтористоводородной кислоты (H_2SiF_6) – флюатами (способ флюатирования). Применяется непосредственно для карбонатных пород, другие породы предварительно пропитываются раствором известковой соли, а затем флюатом.



При флюатировании образуется защитный слой из нерастворимых соединений, заполняющих поверхностные поры, в результате уменьшается водопоглощение, увеличивается морозостойкость;

- обработка поверхности добавками оксида свинца или железистых соединений увеличивает погодоустойчивость.

3. Физико-химические способы защиты, направленные на образование водонепроницаемых пленок на поверхности:

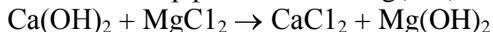
- обработка полимерами (например, раствором мочевиноформальдегидной смолы) или мономерами с последующей полимеризацией в порах камня;
- пропитка горячим льняным маслом;
- покрытие слоем воска, растворенного в скипидаре, парафина, растворенного в нефтяном дистилляте или каменноугольном дегте.

5.4.3. Коррозия цементных материалов и способы повышения коррозионной стойкости

В результате химического взаимодействия продуктов гидратации клинкерных минералов с водой и содержащимися в ней веществами происходит так называемая химическая коррозия цементного камня и бетона. Различают три вида коррозии:

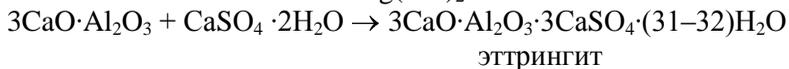
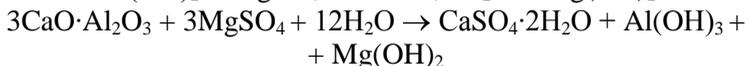
- *1-й вид коррозии* – разложение составляющих частей цементного камня практически чистой водой, например пресной, растворение и вымывание образующегося при этом и уже ранее имевшегося гидроксида кальция;
- *2-й вид коррозии* – образование легкорастворимых солей в результате взаимодействия составляющих цементного камня с веществами, находящимися в окружающей среде, растворение и вымывание этих солей, а также образование рыхлых продуктов, не обладающих прочностью. Наиболее характерны углекислотная и магниезальная коррозии.

Например, за счет обменных реакций образуются растворимые соли кальция и аморфный осадок $Mg(OH)_2$:



- *3-й вид коррозии* – образование в цементном камне под влиянием проникающих в него веществ таких соединений, которые имеют больший объем, чем исходные вещества. В результате возникают внутренние напряжения, которые приводят к появлению трещин.

Например, в воде, содержащей сульфат магния, протекает ряд реакций:



где $Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$ – рыхлые осадки.

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и эттрингит – кристаллы, вызывающие напряжение. Особенно опасно образование эттрингита в порах бетона, так как это призматические или игольчатые кристаллы, у которых объем более чем в 2 раза превышает объем исходных фаз.

Меры предотвращения коррозии (кроме общекислотной):

- Использование цементов с пониженным содержанием алита и C_3A в клинкере, при этом в цементном камне уменьшается содержание $Ca(OH)_2$ и неустойчивых высокоосновных гидрoалюминатов кальция.
- Введение при помолe оптимального количества гипса, который должен полностью связываться в первые 24–48 часов твердения цемента.
- Введение активных минеральных добавок – в результате происходит связывание $Ca(OH)_2$ в низкоосновные гидросиликаты кальция; уменьшение размеров кристаллов $Ca(OH)_2$; уплотнение структуры за счет дополнительно образующихся гидросиликатов кальция.
- Все меры, направленные на снижение водопотребности цемента, снижение пористости камня, уплотнение структуры (например, снижение В/Ц при использовании пластифицирующих добавок).
- Для защиты бетона также применяют защитные покрытия.

5.5. Долговечность и срок эксплуатации материалов и конструкций

Кроме коррозионных процессов при эксплуатации (или при длительном хранении) под действием различных факторов происходит постепенное изменение свойств материала. Этот процесс называется *старением*.

Довольно быстро стареют с заметным ухудшением эксплуатационных свойств многие пластмассы (например, полиэтиленовая пленка со временем мутнеет, теряет прозрачность, гибкость), ухудшаются свойства резиновых материалов, подвержены старению и некоторые металлические сплавы.

В связи с коррозией и старением возникает необходимость прогнозирования срока эксплуатации материалов и изделий.

Долговечность – способность материала (изделия) сохранять свойства при комплексном воздействии атмосферных и других факторов в условиях эксплуатации.

Нормативный срок службы материала определяется длительностью достижения предельного состояния материалом, конструкцией, сооружением.

За предельное состояние материала принимается то допустимое значение показателей свойств, ниже которых материал (конструкция) уже не может применяться в заданных условиях эксплуатации.

Долговечность материала зависит, с одной стороны, от состава, структуры и качества (совокупности свойств) самого материала, с другой – от совокупности воздействующих на него в период эксплуатации факторов: режима и уровня нагрузок, температуры, влажности и агрессивности среды и т.п.

Требование наибольшей долговечности предъявляется ко всем конструкционным материалам. Для материалов несущих и ограждающих конструкций она должна быть не менее срока службы здания и сооружения. Долговечность отделочных материалов может быть ниже, поскольку они могут заменяться в процессе ремонтов.

5.6. Техничко-экономическое обоснование выбора материалов

Качество, долговечность и стоимость сооружений в большой мере зависят от правильного выбора и применения материалов.

Для грамотного выбора необходимо учитывать:

- условия эксплуатации;
- строительно-технические и эксплуатационные свойства материалов;
- стоимость и эксплуатационные затраты.

Оценка экономической эффективности строительных материалов и изделий при сравнении нескольких вариантов производится на единицу измерения (например, 1 м³ или 1 м² продукции, на 1000 условных единиц изделия и т.п.). Она отражает конечное потребительское назначение данного вида продукции, по сумме приведенных затрат, учитывающих все расходы на его изготовление (или добычу), транспортирование, хранение, применение и эксплуатацию в течение всего срока службы.

Под эффективными строительными материалами и изделиями понимают такие их виды, производство и применение которых способствует максимальной экономии затрат труда и, прежде всего, снижению стоимости строительства без ухудшения эксплуатационных и эстетических показателей строящихся зданий и сооружений. Немаловажно повышение степени механизации и автоматизации труда на заводе и стройке, экономия сырья и топлива, наиболее рациональное использование капитальных вложений на развитие материально-технической базы строительства.



Одна из основных экономических характеристик – показатель себестоимости строительных материалов (изделий), которая складывается из всех затрат на их производство. Этот показатель подробно будет рассмотрен в курсе «Экономика строительства».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Овладение знанием структуры и свойств строительных материалов является важной частью подготовки инженеров-строителей для архитектурно-строительного комплекса России.

Как показано в пособии, свойства материалов неразрывно связаны с особенностями их структуры, а с помощью технологических приемов удается получать материалы с заранее заданным набором эксплуатационных характеристик, т.е. управлять свойствами и структурой материалов, в том числе и на наноуровне.

Конечно, в рамках краткого лекционного курса невозможно рассмотреть особенности структуры и свойств современных строительных материалов, поэтому при подготовке инженеров-строителей необходимо рекомендовать изучение и другой учебно-справочной литературы по строительному материаловедению.

Учебное пособие, подготовленное на основе многолетнего опыта чтения лекционных курсов по материаловедению, поможет инженерам-строителям грамотно оценивать строительные материалы и технологические решения для производства строительных изделий и конструкций или строительства зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байер В. Е. Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров : учеб. пособие для вузов / В. Е. Байер. – СПб. : Астрель ; АСТ ; Транзиткнига, 2004. – 251 с.
2. Байер В. Е. Строительные материалы : учеб. для вузов / В. Е. Байер. – М. : Архитектура-С, 2004. – 238 с.
3. Барташевич А. А. Материаловедение : учеб. пособие для проф.-техн. училищ / А. А. Барташевич, Л. М. Бахар. – Минск : ТЕХНОПРИНТ, 2002. – 244 с.
4. Богодухов С. И. Курс материаловедения в вопросах и ответах : учеб. пособие для вузов / С. И. Богодухов, В. Ф. Гребенюк, А. В. Синюхин. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2005. – 288 с.
5. Горбунов Г. И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов) : учеб. пособие для вузов / Г. И. Горбунов. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2002. – 168 с.
6. Горчаков Г. И. Строительные материалы : учеб. для строит. спец. вузов / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 381 с.
7. Завадский В. Ф. Строительные материалы и изделия для ремонта зданий и сооружений : учеб. пособие / В. Ф. Завадский, А. С. Денисов ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2000. – 70 с.
8. Киреева Ю. И. Строительные материалы : учеб. пособие для вузов по строит. спец. / Ю. И. Киреева. – Минск : Новое Знание, 2005. – 400 с.
9. Клюковский Г. И. Лабораторный практикум по общей технологии строительных материалов : учеб. пособие для техникумов / Г. И. Клюковский, Г. Г. Ульянова. – М. : Высш. шк., 1982. – 208 с.
10. Козлов Ю. С. Материаловедение : учеб. пособие для техн. спец. сред. учеб. заведений / Ю. С. Козлов. – М. ; СПб. : АГАР : Лань, 1999. – 181 с.
11. Комар А. Г. Строительные материалы и изделия : учеб. для вузов / А. Г. Комар. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 527 с.
12. Лабораторный практикум по строительным материалам : учеб. пособие для вузов / А. М. Гридчин [и др.]. – Белгород, 2001. – 224 с.

13. Мартынов К. Я. Материаловедение : учеб. пособие / К. Я. Мартынов, Н. А. Машкин, Г. С. Юрьев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2001. – 180 с.
14. Материаловедение : практикум / В. И. Городниченко [и др.] ; под ред. С. В. Ржевской. – М. : Логос, 2004. – 271 с.
15. Материаловедение : метод. указания / М. В. Балахнин, О. А. Игнатова, С. А. Иноземцева. – Новосибирск, 1996. – 33 с.
16. Материаловедение: природные и обжиговые строительные материалы : учеб. пособие / В. Ф. Завадский [и др.] ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2000. – 88 с.
17. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 4-е изд., стер. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 648 с.
18. Наназашвили И. Х. Строительные материалы и изделия : справ. пособие / И. Х. Наназашвили, И. Ф. Бунькин, В. И. Наназашвили. – М. : Аделант, 2005. – 479 с.
19. Основин В. Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. – 2-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 443 с.
20. Попов К. Н. Строительные материалы и изделия : учеб. / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М. : Высш. шк., 2002. – 368 с.
21. Попов Л. Н. Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия» : учеб. пособие / Л. Н. Попов, Н. Л. Попов. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 224 с.
22. Ржевская С. В. Материаловедение : учеб. для вузов / С. В. Ржевская. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Логос, 2004. – 422 с.
23. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение : учеб. пособие для вузов / И. А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 2002. – 702 с.
24. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) : учеб. для вузов / В. Г. Микульский [и др.] ; под ред. В. Г. Микульского. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2004. – 536 с.
25. Физико-химические методы исследования строительных материалов : метод. указания / Н. И. Тюленева. – Новосибирск, 1999. – 24 с.
26. Физико-химические основы строительного материаловедения : учеб. пособие / Г. Г. Волокитин [и др.] ; под общ. ред. Г. Г. Волокитина, Э. В. Козлова. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2004. – 192 с.