

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Частина 1

*(для здобувачів вищої освіти*

*спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)*

*(Електронне видання)*

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

на засіданні кафедри будівництва,  
урбаністики та просторового  
планування

Протокол № 1 від 12.08.2025 р.

Київ - 2025

Конспект лекцій з дисципліни «Будівельне матеріалознавство» Частина 1 для (для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: М.В. Білошицький, Г.О. Татарченко, Н.І. Білошицька. – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 140 с.

Методичне видання спрямоване на вивчення і засвоєння здобувачами самостійно та на підставі лекційного матеріалу теоретичної основи та практичного матеріалу з дисципліни «Будівельне матеріалознавство». Конспект лекцій, охоплює широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»: питання основних положень будівельного матеріалознавства, основні матеріали природні та синтетичні які використовуються у будівництві.

Укладачі: М.В. Білошицький, к.т.н., доцент кафедри БУПП

Г.О. Татарченко, д.т.н., професор кафедри БУПП

Н.І. Білошицька, к.т.н., доцент кафедри БУПП

Рецензент: П.Є. Уваров, к.т.н., професор

## Зміст

<b>Вступ</b>	4
<b>1. ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ І РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНИХ ГОДИН</b>	
<b>2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДИСЦИПЛІНИ «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»</b>	5
<b>3. НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»</b>	
<b>Тема 1. КЛАСИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ. БУДОВА, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>	
1.1. Значення курсу «Будівельне матеріалознавство»	
1.2. Загальні відомості	
1.2.1. Стандартизація будівельних матеріалів	
1.2.2. Класифікація будівельних матеріалів	
1.3. Будова та склад матеріалів	
1.3.1. Будова матеріалів	
1.3.2. Склад матеріалів	
1.4. Властивості будівельних матеріалів	
1.4.1. Фізичні властивості матеріалів	
1.4.2. Механічні властивості матеріалів	
1.4.3. Хімічні й технологічні властивості матеріалів	
Контрольні запитання	
<b>Тема 2. ПРИРОДНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ</b>	
2.1. Гірські породи і мінерали	
2.1.1. Магматичні гірські породи	
2.1.2. Осадкові гірські породи	
2.1.3. Метаморфічні гірські породи	
2.1.4. Природні кам'яні матеріали	
2.1.5. Техногенні відходи	

### **Тема 3. ЛІСОВІ МАТЕРІАЛИ**

- 3.1. Загальні відомості
- 3.2. Будова і склад деревини
- 3.3. Загальні властивості деревини
- 3.4. Деревні породи
- 3.5. Основні властивості деревини
- 3.6. Вади деревини
- 3.7. Біокомпозити та композиційні матеріали на основі відходів переробки деревини
- 3.8. Захист деревини від гниття, ураження комахами і загоряння
- 3.9. Матеріали й вироби з деревини

Контрольні запитання

### **Тема 4. КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**

- 4.1. Загальні відомості
- 4.2. Класифікація керамічних матеріалів
- 4.3. Сировина для виробництва керамічних матеріалів
- 4.4. Матеріали для декорування (глазур, ангоби, керамічні фарби)
- 4.5. Загальна схема технології виробництва керамічних матеріалів
- 4.6. Керамічні матеріали та вироби
  - 4.6.1. Стінові керамічні матеріали
  - 4.6.2. Вироби для облицювання фасадів
  - 4.6.3. Плитки для внутрішнього облицювання
  - 4.6.4. Керамічні вироби для покрівлі та перекриттів
  - 4.6.5. Санітарно-технічна кераміка і керамічні вироби спеціального призначення

Контрольні запитання

### **Тема 5. МІНЕРАЛЬНІ РОЗПЛАВИ ТА ВИРОБИ НА ЇХ ОСНОВІ І МЕТАЛЕВІ РОЗПЛАВИ**

- 5.1. Загальні відомості

- 5.2. Основи виробництва скла
  - 5.3. Властивості скла і скловиробів
  - 5.4. Різновид скляних виробів
  - 5.5. Ситали, шлакоситали і ситалопласти
  - 5.6. Матеріали та вироби із кам'яного литва
  - 5.7. Металеві матеріали
    - 5.7.1. Загальна характеристика металів
    - 5.7.2. Основні властивості металів
    - 5.7.3. Фізико-хімічні основи отримання чорних металів і сплавів на їх основі
    - 5.7.4. Класифікація та характеристика чавунів
    - 5.7.5. Класифікація вуглецевих сталей
    - 5.7.6. Вироби зі сталі
    - 5.7.7. Кольорові метали та сплави й матеріали на їх основі
- Контрольні запитання

## **Тема 6. ПОВІТРЯНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ**

- 6.1. Загальні відомості
  - 6.2. Повітряні в'язучі речовини
    - 6.2.1. Гіпсові в'язучі речовини
    - 6.2.2. Повітряне вапно
    - 6.2.3. Магнезіальні в'язучі речовини
- Контрольні запитання

## **Тема 7. ГІДРАВЛІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ**

- 7.1. Гідравлічне вапно
- 7.2. Романцемент
- 7.3. Портландцемент
- 7.4. Виробництво портландцементу
- 7.5. Хіміко-мінералогічний склад і властивості портландцементу
- 7.6. Корозія цементного каменю

7.7. Спеціальні види портландцементу

7.8. Транспортування і зберігання в'язучих матеріалів

Контрольні запитання

**Короткий словник спеціальних термінів, що використовуються для вивчення дисципліни «Будівельне матеріалознавство»**

**Літературні джерела**

## ВСТУП

Дисципліна вивчає будівельні матеріали та вироби, їх значення для розвитку будівництва та підвищенні ефективності капіталовкладень. Приділяється увага таким питанням: класифікація будівельних матеріалів, їх склад і структура, корозія матеріалів, використання вторинної сировини та охорона довкілля при виробництві будівельних матеріалів. Розглядаються принципові питання технології виробництва найважливіших будівельних матеріалів, засоби підвищення їх довговічності.

Метою дисципліни «Будівельне матеріалознавство» є:

- формування у здобувачів вищої освіти системи актуальних теоретичних знань і практичних умінь, необхідних для вибору, контролю якості, транспортування, зберігання та економного використання будівельних матеріалів;
- розуміння їх властивостей, технологій виготовлення та областей застосування в будівництві та архітектурному проектуванні на сучасному науково-технічному рівні;
- вміння поєднувати теоретичну підготовку з будівельних матеріалів та умінь ефективно їх використовувати при проектуванні та виконанні будівельних робіт.
- ознайомлення з нормативною базою, методами та технологіями отримання сучасних матеріалів.

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на такі курси:

Семестр	Найменування дисципліни	Найменування теми
1, 2	фізика	1. Механіка. 2. Молекулярна фізика. 3. Термодинаміка. Основні поняття: густина, теплопровідність, в'язкість, деформація, пружність, температура.
1	хімія (загальна та неорганічна)	1. Основи хімічного складу матеріалів. 2. Хімічні реакції, які впливають на властивості матеріалів (гідратація цементу, корозія металів тощо).
1, 2	вища математика	1. Диференціальне та інтегральне числення (для аналізу змін властивостей). 2. Основи лінійної алгебри та статистики (для обробки експериментальних даних).
1	інженерна графіка	1. Вміння читати креслення та схеми зображень зразків, деталей і конструкцій. 2. Уявлення про геометрію форм матеріалів та елементів.
2	інженерна геологія та вишукування	1. Генетична класифікація порід. 2. Ґрунти.

На цю дисципліну безпосередньо спирається вивчення курсу «Будівельні конструкції», «Архітектура будівель і споруд».

## **1. ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ І РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНИХ ГОДИН**

Основними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Будівельне матеріалознавство» є:

- ознайомлення з основними групами будівельних матеріалів (природні, з конструкційних в'язучих, полімери тощо), їх складом, технологіями виготовлення та властивостями;
- навчитися проводити оцінювання матеріалів за національними та євростандартами (ДСТУ, Єврокодами);
- навчитися обирати матеріали згідно з технічними характеристиками, умовами застосування і вартості (основи економічної витрати);
- освоєння методів випробування матеріалів (мікротріщини, деформація, міцність, морозостійкість, водопоглинання), у тому числі лабораторних;
- опанування базових навичок вирішення прикладних завдань у виробничому середовищі: складання бетонної суміші, розчину, підбір покриттів, утеплення;
- відповідно до концепції сталого розвитку виробляти матеріали з урахуванням екотехнологій та використання вторинної сировини, довговічності матеріалів та їх взаємозамінності за умови охорони довкілля при виробництві будівельних матеріалів.

Програма дисципліни «Будівельне матеріалознавство» розрахована на вивчення теоретичного матеріалу і придбання практичних навичок в організації, виборі матеріалів та розрахунках процесів у будівництві з розподілом навчальних годин на лекції, лабораторні роботи й самостійна робота:

Загальний об'єм – 120 годин,

у тому числі:

лекції – 22 годин;

лабораторні роботи – 20 годин;

самостійна робота – 78 годин.

Для закріплення знань здобувачів по курсу «Будівельне матеріалознавство» і придбання практичних навичок з виробництва і вибору матеріалів застосовуваних у будівництві передбачене виконання лабораторних і самостійних робіт.

Контроль освоєння програмного матеріалу протягом семестру здійснюється при виконанні лабораторних робіт і на практичних заняттях, а також при виконанні самостійної роботи.

Результати самостійної роботи здобувачів денної форми навчання перевіряються за результатами практичних занять й виконання лабораторних і самостійних робіт.

Для підсумкового контролю знань програмного матеріалу з дисципліни «Будівельне матеріалознавство» передбачено екзамен.

## **2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

При вивченні дисципліни «Будівельне матеріалознавство» відповідно до освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти повинні бути сформовані програмні компетентності та програмні результати навчання, а здобувачі повинні частково або повною мірою набути компетентностей:

**ІК** (інтегральна компетентність) – здатність розв’язувати спеціалізовані та практичні завдання у сфері будівництва та цивільної інженерії, що характеризуються комплексністю і системністю, на основі застосування основних теорій та методів фундаментальних та прикладних наук.

### **Загальні компетентності:**

**ЗК02.** Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

**ЗК06.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

### **Спеціальні (фахові, предметні компетентності):**

**СК01.** Здатність використовувати концептуальні наукові та практичні знання з математики, хімії та фізики для розв’язання складних практичних проблем в

галузі будівництва та цивільної інженерії.

**СК04.** Здатність обирати і використовувати відповідні обладнання, матеріали, інструменти та методи для проектування та реалізації технологічних процесів будівельного виробництва.

В результаті вивчення дисципліни «Будівельне матеріалознавство» здобувач вищої освіти отримає наступні **програмні результати** навчання:

**РН01.** Застосовувати основні теорії, методи та принципи математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук, сучасні моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень для розв'язання складних задач будівництва та цивільної інженерії.

**РН02.** Брати участь у дослідженнях та розробках у сфері архітектури та будівництва.

**РН04.** Проектувати та реалізовувати технологічні процеси будівельного виробництва, використовуючи відповідне обладнання, матеріали, інструменти та методи.

**РН07.** Виконувати збір, інтерпретацію та застосування даних, в тому числі за рахунок пошуку, обробки та аналізу інформації з різних джерел.

**РН08.** Раціонально застосовувати сучасні будівельні матеріали, вироби та конструкції на основі знань про їх технічні характеристики та технологію виготовлення.

За результатами вивчення дисципліни «Будівельне матеріалознавство» здобувачі вищої освіти повинні набути:

**знання**

- основних закономірностей зміни властивостей матеріалів залежно від їх структури та складу;
- стану та перспектив виробництва і використання нових ефективних будівельних матеріалів;
- способів підвищення довговічності будівельних матеріалів;
- шляхів економії та зниження матеріаломісткості матеріалів;
- правил прийому, транспортування, зберігання та економного витрачання

будівельних матеріалів;

– про комплексне використання побічних продуктів промисловості (вторинні ресурси), яке є економічно вигідним та сприяє охороні природи; - передові енергозберігаючі технології, які економлять паливо;

– чинних нормативних документів (ДБН, ДСТУ, Європейські стандарти), що регламентують виробництво та застосування будівельних матеріалів.

**вміння** застосовувати на практиці:

– правильно вибирати та використовувати будівельні матеріали, опираючись на конкретні умови експлуатації;

– самостійно доповнювати та узагальнювати теоретичні та практичні навички, необхідні для вирішення конкретних завдань виробництва і використання будівельних матеріалів;

– здійснювати контроль якості сировини і готових матеріалів, використовуючи при цьому досягнення сучасної науки і техніки;

– володіти раціональними прийомами пошуку та використання науково-технічної інформації з будівельних матеріалів;

– підбирати раціональні склади матеріалів, бетонів, розчинів.

**навички**

– розв'язувати практичні завдання у сфері виробництва і використання будівельних матеріалів (розрахунок складу бетонів/розчинів, вибір матеріалу захисту, гідроізоляції тощо);

– аналізу властивостей матеріалів у контексті їх хімічного та структурного складу;

– використання професійної літератури та нормативної документації;

– уміння самостійно виконати лабораторні виміри й обробити результати;

– критичного мислення при аналізі нових або альтернативних матеріалів (наприклад, полімер-композити, теплоізоляція, еко-бетони).

Крім того, в процесі навчання здобувачі першого (бакалаврського) рівня повинні не тільки придбати певні знання та навички, але і виробити певну систему мислення, свої погляди, здатність бачити перспективи розвитку галузі в цілому.

### **3. НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

#### **Найменування тем:**

1. Класифікація будівельних матеріалів і виробів. Будова, склад і властивості будівельних матеріалів.
2. Природні будівельні матеріали.
3. Лісові матеріали.
4. Керамічні матеріали та вироби.
5. Мінеральні розплави та вироби на їх основі і металеві матеріали.
6. Повітряні в'язучі речовини.
7. Гідравлічні в'язучі матеріали.

## ТЕМА 1

# КЛАСИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ. БУДОВА, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### План:

- 1.1. Значення курсу «Будівельне матеріалознавство»
- 1.2. Загальні відомості
  - 1.2.1. Стандартизація будівельних матеріалів
  - 1.2.2. Класифікація будівельних матеріалів
- 1.3. Будова та склад матеріалів
  - 1.3.1. Будова матеріалів
  - 1.3.2. Склад матеріалів
- 1.4. Властивості будівельних матеріалів
  - 1.4.1. Фізичні властивості матеріалів
  - 1.4.2. Механічні властивості матеріалів
  - 1.4.3. Хімічні й технологічні властивості матеріалів

### 1.1. Значення курсу «Будівельне матеріалознавство»

Курс «Будівельне матеріалознавство» є однією з основних інженерних дисциплін, що формує базу знань студента, необхідних для вивчення курсів: будівельні конструкції, технологія будівельного виробництва, економіка й організація будівництва, архітектура та ін.

Будівельне матеріалознавство пов'язане з технологією виготовлення матеріалів і базується на використанні таких дисциплін, як загальна й фізична хімія, хімічна термодинаміка та процеси хімічної технології.

Роль і значення матеріалів розглядаються в нерозривному зв'язку з їхньою роботою і поведінням у конструкціях і спорудах за тривалий період експлуатації в реальних умовах. Але розвиток теоретичної бази будівельного матеріалознавства не тільки змінює погляд фахівців на вибір відповідних матеріалів для будівництва споруд різного функціонального призначення, а також

ефективно впливає на удосконалення методів, що використовуються при проектуванні будівельних конструкцій.

Завдяки розвитку теоретичних основ будівельного матеріалознавства відмічається поступовий перехід від традиційних проблем, пов'язаних з вивченням технічних характеристик будівельних матеріалів та оцінкою їхньої поведінки в різних умовах експлуатації, до встановлення фізико-хімічних закономірностей утворення матеріалів з наперед заданими властивостями та розкриття механізмів їх руйнування.

Завданням курсу є:

- вивчення фундаментальних властивостей будівельних матеріалів та їхньої зміни в умовах експлуатації;
- вивчення асортименту будівельних матеріалів та технології їхнього одержання;
- вивчення особливостей взаємозв'язку «склад – структура – властивості», а також закономірностей їхньої зміни при фізико-хімічних, фізичних, механічних та інших впливах;
- виявлення шляхів ефективного використання будівельних матеріалів поліфункціонального призначення.

Значення курсу «Будівельне матеріалознавство» у підготовці фахівців важливе тому, що жодну споруду не можна правильно спроектувати, побудувати й експлуатувати без наявності відповідних будівельних матеріалів і всебічного знання їхніх властивостей. Вартість матеріалів у загальних витратах на будівництво складає не менше половини, тому знання функціональних особливостей кожного матеріалу дозволяє вирішувати питання, пов'язані не тільки з економією в будівельному виробництві, але і дає можливість фахівцю:

- зробити і професійно обґрунтувати вибір матеріалу з урахуванням експлуатаційних характеристик;
- правильно застосувати прийоми його обробки та укладання в споруди;
- при необхідності замінити одні матеріали іншими без зниження якості споруди;

– організувати правильне транспортування та зберігання матеріалу.

Вивчення цієї дисципліни дозволяє вирішити широкий спектр проблем:

- створення нових матеріалів за рахунок використання раціональних рецептур з урахуванням імовірнісних показників якості й надійності;
- розширення вимог до матеріалів з урахуванням умов експлуатації;
- керування якістю матеріалів за рахунок ускладнення рецептури при введенні коригуючих добавок.

## **1.2. Загальні відомості**

### **1.2.1. Стандартизація будівельних матеріалів**

**Стандартизація** – система єдиних загальноприйнятих нормативів за типами, параметрами, розмірами і якістю виробів, за величинами вимірів показників, методами випробування, контролю, правилами пакування, маркування і зберігання продукції. Стандартизація сприяє встановленню певного граничного рівня якості готової продукції.

**Стандарт** – нормативно-технічний документ, що встановлює певний комплекс норм, правил і вимог до об'єкта стандартизації і затверджений у встановленому порядку.

В Україні діє державна система стандартизації.

Основні вимоги до якості матеріалів, виробів і готових конструкцій масового застосування встановлюються Державними стандартами України (ДСТУ), галузевими стандартами (ГСТ), технічними умовами (ТУ).

ДСТУ і ТУ розробляються на основі новітніх досягнень науки і техніки і містять: точне визначення матеріалу, класифікацію за марками й сортами, технічні умови на виготовлення, методи випробування, умови зберігання і транспортування.

ДСТУ і ТУ – документи, які встановлюють, що даний матеріал чи виріб схвалені для виробництва і застосування при визначеній його якості. ДСТУ і ТУ мають силу закону.

Основні положення будівельного проектування і виробництва будівельних

робіт регламентуються Державними будівельними нормами України (ДБН).

У цих документах вимоги до властивостей матеріалів виражені у вигляді марок на ці матеріали.

**Марка** будівельного матеріалу – умовний показник, установлюваний за найголовнішими експлуатаційними характеристиками чи комплексом найголовніших властивостей матеріалу. Так, існують марки за міцністю, щільністю, морозостійкістю, вогнетривкістю.

Той самий матеріал має кілька марок за різними властивостями. Так, для цегли, основними показниками якості є міцність на стиск і вигин, а також морозостійкість. Наприклад, ДСТУ встановлені такі марки керамічної цегли за міцністю на стиск і згин: М75 – М300. **Цифра вказує мінімально допустиму межу міцності матеріалу, виражену в кгс/см<sup>2</sup> (МПа).**

### 1.2.2. Класифікація будівельних матеріалів

Виходячи з умов роботи матеріалу в споруді, будівельні матеріали поділяють за призначенням на:

– **матеріали для несучих конструкцій** (конструкційні), призначені для сприйняття та передачі навантаження: природні камені, бетони, розчини, кераміка, скло, ситали, метали;

– **оздоблювальні матеріали та вироби**, призначені для надання декоративних властивостей будівельним конструкціям, а також для захисту матеріалів цих конструкцій від впливу зовнішніх факторів(архітектурно-будівельне скло, вироби на основі полімерів і цементу, гірські породи, синтетичні фарби, шаруваті пластики, деревно-волокнисті плити, облицювальні керамічні плитки, вологостійкі шпалери та плівки, суха гіпсова штукатурка та ін.);

– **теплоізоляційні**, основне призначення яких – зведення до необхідного рівня втрат тепла крізь будівельні конструкції із забезпеченням потрібного теплового режиму (мінераловатні вироби, теплоізоляційні пластмаси, піноскло та ін.);

– **акустичні** матеріали й вироби, звукопоглинальні й звукоізоляційні,

призначені для зниження рівня «шумового забруднення» помешкання до регламентованих меж;

– *гідроізоляційні й покрівельні* матеріали для створення водонепроникних прошарків у будинках та спорудах, які піддаються впливу води та водяної пари: покрівельне залізо, азбоцементні плити (шифер), рулонні матеріали на основі полімерних, **бітумних** в'язучих речовин;

– *герметизуючи* – для обробки стиків різних конструкцій.

В основу класифікації матеріалів також покладено **походження**, у зв'язку з чим матеріали можуть бути:

– *неорганічними* (природні камені, цементи, кераміка, скло);

– *органічними* (деревина, полімери, бітуми, дьогті).

За **способом виготовлення матеріали** поділяють на:

– *природні* (деревина, природне каміння), які піддають тільки механічній обробці;

– *безвипалювальні* – матеріали, які твердіють у звичайних умовах, а також матеріали автоклавної обробки;

– *отримані за допомогою теплової обробки та при випалюванні зі спіканням* (кераміка, мінеральні в'язучі);

– *отримані плавленням* – скло, метали.

### **1.3. Будова та склад матеріалів**

#### **1.3.1. Будова матеріалів**

Будову матеріалу вивчають на трьох рівнях:

**1. Макроструктура** матеріалу – будова, видима неозброєним оком.

**2. Мікроструктура** матеріалу – будова, видима в оптичний мікроскоп.

**3. Внутрішня будова** речовин, що складають матеріал на молекулярно-іонному рівні (вивчається з використанням ІЧ-спектроскопії, диференційно-термічного і рентгеноструктурного методів аналізу).

**Макроструктура** твердих будівельних матеріалів може бути: конгломератною, комірчастою, дрібнопористою, волокнистою, шаруватою,

пухкозернистою.

**Мікроструктура** речовин, що складають матеріал, може бути кристалічною і аморфною. Кристалічна й аморфна форми нерідко є різними станами тієї самої речовини. Найбільш стійкою є кристалічна форма.

**Внутрішня будівля** визначає механічну міцність, твердість, тугоплавкість та ін. Розрізняють за характером зв'язку між частками (ковалентна, іонна).

### 1.3.2. Склад матеріалів

Будівельні матеріали характеризуються хімічним, мінеральним і фазовим складом.

**Хімічний склад** дозволяє судити про ряд властивостей матеріалу: вогнестійкості, біостійкості та інших технічних характеристиках. Виражається процентним вмістом основних і кислотних оксидів.

**Мінеральний склад** показує, які мінерали й у якій кількості містяться в матеріалі. Мінерали являють собою зв'язані основні й кислотні оксиди.

**Фазовий склад** матеріалу і фазові переходи води, що знаходяться в його порах, впливають на властивості й поведінку матеріалу при експлуатації. З погляду фазової будови в матеріалі виділяють тверді речовини, що утворюють стінки пор (каркас) і пори, заповнені повітрям чи водою.

Для оцінки складу і структури матеріалу використовують такі фізико-хімічні методи аналізу:

- **петрографічний метод аналізу** застосовують для дослідження цементного клінкера і каменю, бетонів, вогнетривів, шлаків та ін. Здійснюється з використанням поляризаційного мікроскопа. Метод заснований на визначенні характерних для кожного мінералу оптичних властивостей (показник переломлення, колір, сила подвійного переломлення), зв'язаних з його внутрішньою будовою;

- **електронна мікроскопія** застосовується для дослідження матеріалів у вигляді тонкокристалічної маси. Сучасні електронні мікроскопи мають корисне збільшення до 300000 разів, що дозволяє бачити частки розміром 0,3...0,5 нм;

**- рентгенографічний аналіз.** Застосування рентгенівського випромінювання для дослідження кристалічних речовин засноване на тому, що довжина хвилі порівнянна з міжатомною відстанню у кристалічних ґратах речовини. Кожна кристалічна речовина характеризується своїм набором визначених ліній на рентгенограмі. Вказаний метод аналізу використовується для контролю сировини і готової продукції, для спостереження технологічних процесів;

**- диференційно-термічний аналіз (ДТА)** використовується для визначення мінерально-фазового складу будівельних матеріалів. Метод заснований на тому, що будь-які фазові перетворення, які відбуваються в матеріалі, супроводжуються тепловими ефектами. Для виконання аналізу використовують **дереватограф**, що фіксує і записує ендо- і екзотермічні ефекти. Потім поведження матеріалу порівнюють з еталоном, речовиною, що не зазнала ніяких теплових перетворень;

**- спектральний аналіз** – фізичний метод якісного і кількісного аналізу речовини, заснований на вивченні їх спектрів. При дослідженні будівельних матеріалів використовується в основному ІЧ-спектрокопія. ІЧ-спектроскопічний метод аналізу заснований на взаємодії досліджуваної речовини з електромагнітними випромінюваннями в інфрачервоній області. ІЧ-спектри є характерними для певних груп і сполучень атомів.

## **1.4. Властивості будівельних матеріалів**

### **1.4.1. Фізичні властивості матеріалів**

Щоб будівля або споруда була міцною та довговічною, необхідно знати агресивні дії зовнішнього середовища, в якому буде працювати кожна конструкція (рис. 1.1). Тому важливо знати, які властивості має той чи інший матеріал.

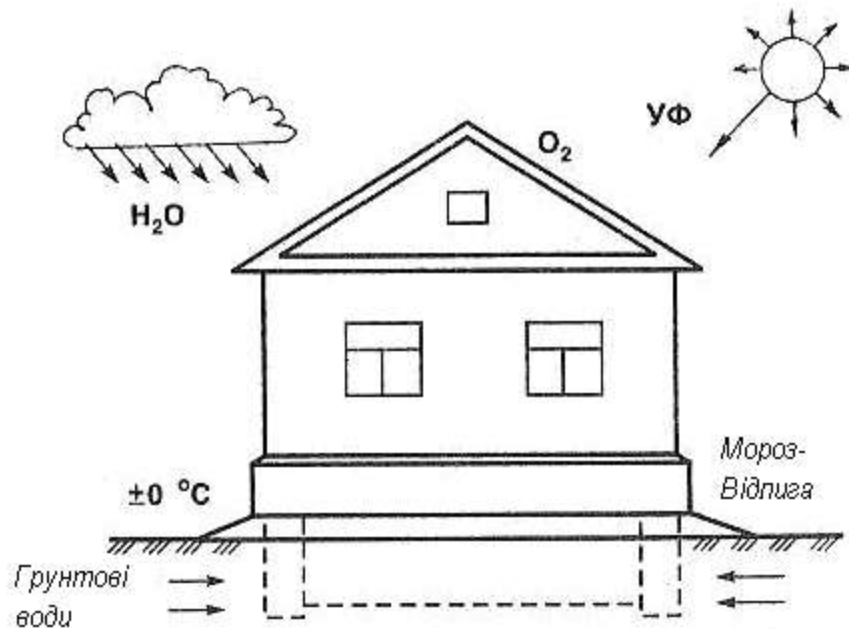


Рис. 1.1. Вплив зовнішнього середовища на конструкції будівель

**Фізичні властивості** матеріалу характеризують його відношення до фізичних процесів навколишнього середовища і визначаються параметрами стану матеріалу. До параметрів стану матеріалу відносять такі технічні характеристики:

**істинна щільність  $\rho$**  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – маса одиниці об'єму абсолютно щільного матеріалу. Якщо маса матеріалу  $m$ , а його об'єм  $V_a$  – його об'єм у щільному стані, то

$$\rho = m/V_a;$$

**середня щільність  $\rho_0$**  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані (з порами і дефектами):

$$\rho_0 = m/V.$$

Середня щільність матеріалу завжди менше істиною щільності. Наприклад: середня щільність легкого бетону – 500...1800 кг/м<sup>3</sup>, а його істинна щільність – 2600 кг/м<sup>3</sup>;

**відносна щільність  $d$**  виражає щільність матеріалу відносно щільності води і

є безрозмірною величиною;

**насипна щільність**  $\rho_n$  (г/см<sup>3</sup> · кг/м<sup>3</sup>) – маса одиниці об'єму пухко насипаних зернистих чи волокнистих матеріалів (цемент, пісок, щебінь та ін.). Якщо маса матеріалу  $m$ , а  $V_n$  – його об'єм у пухко насипному стані, то

$$\rho_n = m/V_n;$$

**пористість**  $\Pi$  – є ступінь заповнення матеріалу порами.

Пористість виражають у % або частках одиниці.

При експериментально-розрахунковому методі визначення пористості використовують значення істинної й середньої пористості:

$$\Pi = (1 - \rho_o/\rho) 100\%.$$

Значення пористості будівельних матеріалів коливається від 0 до 98%. Наприклад, пористість важкого бетону – 10%; цегли звичайної – 32%; природних кам'яних матеріалів магматичного походження – 1,4%; міпори (спінених полімерів) – 98% (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Значення істинної та середньої щільності, пористості для деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Щільність, кг/м <sup>3</sup>		Пористість, %
	середня	істинна	
Граніт	2600...2700	2700...2800	0...2
Важкий бетон	2200...2500	2600...2700	2...25
Цегла	1400...1800	2500...2600	25...35
Деревина	400...800	1500...1550	45...70
Пінопласт	15...100	950...1200	90...98

**Гігроскопічність** – здатність матеріалів поглинати вологу з повітря.

Залежить від хімічного складу матеріалу і характеру його пористості.

**Вологість** матеріалу визначається вмістом вологи, віднесеної до маси матеріалу в сухому стані, залежить як від властивостей самого матеріалу, так і від навколишнього середовища. Вологість впливає на теплопровідність, стійкість до гниття та ін.

**Водопоглинення** – здатність матеріалу всмоктувати й утримувати воду.

Розрізняють водопоглинення за масою і об'ємом :

$$W_m = [(m_1 - m)/m] \cdot 100\%;$$

$$W_v = [(m_1 - m)/v] \cdot 100\%,$$

де  $m_1$  – маса зразка, насиченого водою;

$m$  – маса сухого зразка.

**Водопроникність** – це властивість матеріалу пропускати воду під тиском.

Водопроникність характеризується коефіцієнтом фільтрації  $K_\phi$  (м/з):

$$K_\phi = V_v \cdot a / (S(p_1 - p)t),$$

де  $V_v$  – кількість води (м<sup>3</sup>), що проходить через стінку площею  $S = 1$  м<sup>2</sup>, товщиною  $a = 1$  м, за час  $t = 1$  год. при різниці гідростатичного тиску на межах стінки  $p_1 - p = 1$  м вод ст.

**Коефіцієнт розм'якшення** –  $K_p$  – відношення міцності матеріалу, насиченого водою  $R_v$ , до міцності сухого матеріалу  $R_c$ :

$$K_p = R_v / R_c.$$

Коефіцієнт розм'якшення характеризує водостійкість матеріалу, він змінюється від 0 (розмокла глина) до 1 (метали). Якщо коефіцієнт розм'якшення менше 0,8, то матеріали не застосовують у будівельних конструкціях, що знаходяться у воді.

**Морозостійкість** – це здатність матеріалу витримувати у водонасиченому

стані перемінне заморожування й відтавання без суттєвих утрат міцності та маси.

Під дією від'ємних температур вода у крупних порах замерзає, перетворюючись на лід зі збільшенням об'єму приблизно на 9%, що призводить до виникнення тиску на стінки пор, який становить біля 210 МПа за температури  $-20^{\circ}\text{C}$ . При цьому в матеріалі з'являються внутрішні напруження, які можуть спричинити його руйнування.

Щоб визначити морозостійкість, зразки матеріалу насичують водою, а далі піддають перемінному заморожуванню за температури  $-(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  і відтаванню у воді з температурою  $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  до певної кількості циклів, установлених нормативними документами, або до початку руйнування зразка.

Марка за морозостійкістю F – це кількість циклів перемінного заморожування та відтавання цілих виробів або зразків із матеріалів у насиченому водою стані при збереженні ними початкових фізичних і фізико-механічних властивостей у нормованих межах. Цикл випробування, умови якого регламентуються відповідними стандартами, складається з одного заморожування та відтавання зразків протягом визначеного часу. Залежно від призначення до матеріалів висуваються різні вимоги щодо морозостійкості. Так, рядова цегла мусить мати марку не менше F15.

Морозостійкість матеріалу кількісно оцінюється циклами і відповідно маркою за морозостійкістю. За марку матеріалу по морозостійкості приймають найбільше число циклів поперемінно заморожування і відтавання, що витримують зразки матеріалу без зниження міцності на стиск більше 15%; втрати маси більше 5%.

**Теплопровідність** – властивість матеріалу передавати тепло від однієї поверхні до іншої. Характеристикою теплопровідності є коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  (Вт/м $^{\circ}\text{C}$ ) На практиці зручно судити про теплопровідність за щільністю матеріалу.

Зазначена залежність виражається формулою В.П. Некрасова:

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

де  $d$  – відносна щільність матеріалу.

**Теплоємність** – здатність матеріалу акумулювати тепло при нагріванні і виділяти тепло при остиганні;

**Вогнева усадка** – здатність матеріалів змінювати свої розміри й об'єм внаслідок спікання або оплавлення часток під дією високих температур.

**Вогнестійкість** – властивість матеріалу витримувати тривалий вплив високої температури (від 1580°C), не розм'якшуючись і не деформуючись.

**Вогнестійкість** – властивість матеріалу пручатися дії вогню при пожежі протягом певного часу, залежить від здатності матеріалу спалахувати і горіти. *Неспалювані матеріали* – це бетони, інші матеріали на основі мінеральних в'язучих, цегла, сталь та ін. *Важкоспалювані* під впливом вогню чи високої температури жевріють, але після припинення горіння і тління їх дія припиняється.

**Вогнетривкість** – це властивість матеріалу протистояти, не розплавляючись, впливу високих температур. Вона характеризується температурою, під впливом якої зразок випробуваного матеріалу у вигляді зрізаної тригранної піраміди (піроскопа) розм'якшується й деформується так, що його вершина дотикається підставки.

**Жаростійкість** – це здатність матеріалу за умов тривалої дії температур у заданому інтервалі зберігати або незначно змінювати свої фізичні або механічні властивості.

**Радіоактивність** будівельних матеріалів обумовлена природними довго існуючими радіонуклідами, переважно радієм – 226, торієм – 232 та калієм – 40.

**Радіаційна стійкість** – властивість матеріалу протистояти дії радіоактивного випромінювання, яке змінює його структуру і властивості. Споруди атомної енергетики, деякі науково-дослідні, лікувально-профілактичні установи необхідно захищати від радіоактивного випромінювання, у першу чергу від потоку нейтронів та  $\gamma$ -променів, небезпечних для живих істот. Для захисту від нейтронного випромінювання застосовують матеріали, що містять велику кількість хімічно зв'язаної води (бетони), а від  $\gamma$ -випромінювання – матеріали з

великою середньою щільністю (особливо важкі бетони, свинець, барит).

#### 1.4.2. Механічні властивості матеріалів

Механічні властивості вказують на здатність матеріалу чинити опір руйнуванню або деформаціям (зміна форми і розмірів) під дією зовнішніх навантажень.

Будівельні матеріали і конструкції у процесі експлуатації піддаються різним зовнішнім силам – *навантаженням*, що викликають у них деформації і внутрішні напруження. Навантаження можуть бути: статичними (діють постійно), динамічними (прикладаються раптово і викликають сили інерції). **Під діями зовнішніх сил будівельні конструкції деформуються і змінюють форму та розміри, при цьому реагують після зняття навантаження по-різному, виявляючи властивості пружності й пластичності.**

*Пружність* – властивість матеріалу мимовільно відновлювати первісну форму і розміри після припинення дії зовнішніх сил.

*Пластичність* – властивості матеріалу змінювати форму чи розміри під дією зовнішніх сил, не руйнуючи, причому після припинення дії сили матеріал не може мимовільно відновити розміри і форму.

*Крихкість* – здатність матеріалу руйнуватися без утворення помітних залишкових деформацій.

Основними характеристиками деформаційних властивостей будівельного матеріалу є: модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, модуль зрушення, об'ємний модуль пружності, граничні деформації, повзучість.

*Модуль пружності E* являє собою міру твердості матеріалу і зв'язує пружну деформацію і одноосьове напруження відповідно до закону Гука:

$$\varepsilon = \sigma/E,$$

де  $\sigma$  – відносна деформація матеріалу, рівна відношенню абсолютної деформації  $E$  до первісного лінійного розміру  $L$ .

$\sigma$  – напруження при одноосьовому розтяганні стиску, встановлюване за

формулою:

$$\sigma = P/F,$$

де  $P$  – діюча сила;

$F$  – площа поперечного перерізу матеріалу;

Модуль пружності  $E$  за допомогою коефіцієнта Пуассона зв'язаний з іншими характеристиками матеріалу. Так, об'ємний модуль пружності (всебічного стиску) зв'язаний з модулем пружності наступною залежністю:

$$K = E/[3(1-2\mu)],$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона (поперечного стиску), встановлюваний за формулою:

$$\mu = -\epsilon_x / \epsilon_y ;$$

Одноосьовий розтяг  $\epsilon_z$  викличе подовження по цій осі  $+\epsilon_z$  і відповідно стиск по бічних напрямках  $-\epsilon_x \dots \epsilon_y$ , які у випадку ізотропності матеріалу рівні.

**Міцність** – здатність матеріалу опиратися, не руйнуючи, внутрішнім напруженням, що виникають під дією зовнішнього навантаження.

Міцність є основною властивістю більшості будівельних матеріалів, одним з найважливіших показників якості конструкційних матеріалів. Від значення міцності залежить величина навантаження, що може сприймати даний матеріал при заданому перетині, працюючи в конструкції. Міцність матеріалу оцінюють межею міцності  $R$ , напругою відповідно навантаженню, яке викликало напругу. Значення межі міцності деяких матеріалів наведені в табл. 1.2.

Залежно від міцності будівельні матеріали розділяються на **марки**. Єдина шкала марок охоплює все будівництво. Найчастіше під маркою розуміють границю міцності при стиску, тому що саме цей вид напруження випробує більшість конструкційних матеріалів, які працюють у споруді.

Границя міцності деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Границя міцності, МПа		
	на стиск	на розтяг	на згин
Граніт	137...176	–	-
Цегла керамічна	7,5...30	–	1,7...45
Бетон на цементній основі	10...60	2...12	–
Плити гіпсокартонні	18...50	–	3...7
Сосна (уздовж волокон)	30...45	115	80
Дуб(уздовж волокон)	40...50	175	90
Сталь вуглецева Ст3	359...450	350...450	–

Для оцінки ефективності матеріалу в будівництві використовується *коефіцієнт конструктивної якості* (питома міцність), що розраховується як показник міцності, віднесений до відносної щільності матеріалу:

$$R_y = R/d,$$

де  $d$  – відносна щільність матеріалу (див. 1.4.1), що є безрозмірною величиною.

Найбільш конструктивними й ефективними в будівництві вважаються матеріали, які мають високу міцність при малій власній щільності. Далі наведені значення  $R_y$  для деяких матеріалів:

склопластик –  $450/2 = 225$  МПа;

сталь –  $390/7,85 = 51$  МПа,

важкий бетон –  $40/2,4 = 16,6$  МПа;

легкий бетон –  $10/0,8 = 12,5$  МПа;

цегла –  $10/1,8 = 5,56$  МПа.

**Твердість** – властивість матеріалу пручатися проникненню в нього іншого більш твердого матеріалу.

Твердість кам'яних матеріалів природного походження оцінюється за шкалою Мооса, складеною з 10 мінералів з умовним показником твердості від 1 до 10 (самий м'який тальк – 1, найтвердіший алмаз – 10). Твердість металів, бетону, пластмас визначають вдавленням у випробуваний зразок сталеві кульки. У результаті випробування обчислюють число твердості

$$HB = P/F,$$

де  $F$  – площа поверхні відбитка.

**Стиранність** – властивість матеріалу пручатися стиральним впливам.

Стиранність оцінюють втратою первісної маси зразка матеріалу, віднесеної до площі поверхні стирання:

$$I = (m_1 - m_2)/F,$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маса зразка до і після стирання;

Зазначена властивість є одним з основних показників якості матеріалів, застосовуваних для дорожнього будівництва, влаштування підлог, сходів.

**Ударна в'язкість** – властивість матеріалу пручатися ударним навантаженням. Даний вид навантаження на відміну від розглянутих вище має короткочасний, миттєвий характер. Характеристикою цієї властивості є робота, витрачена на руйнування стандартного зразка, віднесена до одиниці його об'єму:

$$A_{уд} = m (1 + 2 + 3 + \dots + n)/V \cdot 10^3 ,$$

де  $m$  – маса вантажу копра, кг;

$V$  – об'єм зразка, см<sup>3</sup>;

$(1+2+3+\dots+n)$  – шлях, пройдений вантажем копра для руйнування зразка.

**Знос** – властивість матеріалу пручатися одночасному впливу зношуючих і ударних навантажень. Показником зносу служить утрата маси зразка матеріалу в

% від початкової.

### 1.4.3. Хімічні й технологічні властивості матеріалів

**Хімічні** властивості матеріалу визначають його здатність вступати в хімічну взаємодію з речовинами навколишнього середовища, при якому утворюються нові речовини. До хімічних властивостей відносять: корозійну стійкість, розчинення, адгезію, горючість, токсичність, дисперсність.

**Кислотостійкість** – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії розчинних кислот або їхніх сумішей у межах, установлених нормативними документами. Наприклад, кислотостійкість каналізаційних керамічних труб становить не менше 92% (тобто втрати за масою – до 8%).

**Лугостійкість** – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії лугів у межах, установлених нормативними документами.

**Токсичність** – це здатність матеріалу у процесі виготовлення й особливо експлуатації за певних умов виділяти шкідливі для здоров'я людини (отруйні) речовини.

**Розчинність** – це здатність матеріалу розчинятися у воді, олії, бензині, скипидарі та інших речовинах-розчинниках.

**Корозійна стійкість** – це здатність матеріалу не руйнуватися під впливом речовин, із якими він стикається у процесі експлуатації.

Корозійному руйнуванню піддаються не тільки метали, але й кам'яні матеріали, бетони, пластмаси, деревина. Корозія обумовлена хімічними та електрохімічними процесами, які відбуваються у твердих тілах при взаємодії із зовнішнім середовищем.

**Технологічні** властивості матеріалу характеризують відношення матеріалу до різних технологічних процесів, що змінюють стан матеріалу, структуру його поверхні, що додає потрібну форму і розміри. Такі технологічні властивості, як подрібнюваність, розпилюваність, шліфованість, гвоздимість мають важливе практичне значення, тому що від них залежать якість і вартість готових виробів і конструкцій.

**Формувальність** характеризує здатність матеріалу набувати певної форми внаслідок різних механічних впливів (вібрування, пресування, видавлювання, прокатування). Вона залежить від в'язкопластичних властивостей вихідних мас (глиняне тісто, розчини та бетонні суміші, полімерні маси).

**Подрібнованість** – це здатність матеріалу до диспергації внаслідок механічної дії переважно ударних навантажень із утворенням зернистого матеріалу у вигляді щебеню та піску.

**Розпилюваність** – це здатність матеріалу сприймати розпилювання без істотного порушення структури. Прикладами матеріалів, що піддаються розпилюванню, є деревина, м'які гірські породи.

**Пробійність** виражає здатність матеріалу утримувати цвяхи й шурупи за певних умов висмикування. Висока пробійність притаманна деревині та ніздрюватому бетону.

**Полірувальність** – це здатність матеріалу сприймати обробку тонкими абразивними матеріалами. При цьому створюється гладенька блискуча поверхня. Найчастіше поліруванню піддають природні кам'яні матеріали (мармур, граніт, кварцит).

### **Контрольні запитання**

1. Якими документами регламентовані вимоги до якості будівельних матеріалів?
2. На яких рівнях вивчається будова матеріалу?
3. Які фізико-хімічні методи аналізу використовують для оцінки складу й структури матеріалу?
4. Що ви знаєте про істинну і середню щільність матеріалу?
5. Розкажіть про фізичні властивості матеріалів (пористість, водопоглинення, вологість, гігроскопічність, вологовіддача).
6. Від чого можуть руйнуватися матеріали зовнішніх конструкцій будинків і споруд?
7. Як оцінюється морозостійкість матеріалу?

8. Який головний фактор визначає теплопровідність матеріалів?
9. Розкажіть про міцність, твердість, пружність та пластичність?
10. Розкажіть про технологічні й хімічні властивості матеріалів?
11. Що таке густина і середня густина матеріалу, як вони вимірюються?
12. Що означає пористість матеріалу та як вона впливає на міцність?
13. Що таке теплопровідність та водопоглинання?
14. Які показники характеризують міцність матеріалу (межа міцності, модуль пружності)?
15. Що таке морозостійкість і від чого вона залежить?
16. Як визначається вогнестійкість матеріалу?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Ознайомитися з методиками визначення істинної, середньої та насипної густини, водостійкості, вологості, морозостійкості будівельних матеріалів.
2. Розглянути методики, які використовують для визначення зносостійкості та марки за міцністю будівельних матеріалів.

## ТЕМА 2

### ПРИРОДНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

#### **План:**

- 2.1. Гірські породи і мінерали
  - 2.1.1. Магматичні гірські породи
  - 2.1.2. Осадкові гірські породи
  - 2.1.3. Метаморфічні гірські породи
  - 2.1.4. Природні кам'яні матеріали
- 2.2. Техногенні відходи

Природними кам'яними матеріалами називають матеріали та вироби, які одержують за допомогою механічної обробки (подрібнення, розколювання, розпилювання тощо) гірських порід, не змінюючи їхньої природної структури та властивостей.

*Гірські породи* – це природні мінеральні утворення, які сформувались унаслідок геологічних процесів у земній корі, відрізняються ступенем щільності, складаються з одного або кількох мінералів, характеризуються відносно сталим мінералогічним складом, певними будовою та властивостями та мають досить великі площі залягання.

Природні мінерали – це новоутворення, що відрізняються постійними хімічним складом, структурою, властивостями та беруть участь у формуванні гірських порід.

У сучасному будівництві визначилися такі основні напрями використання згаданих матеріалів:

- штучне каміння та вироби для зведення стін будівель, облаштування підлог, сходів тощо;
- облицювальні вироби – плити, каміння, профільовані вироби;
- каміння та вироби для дорожнього будівництва – брущатка, шашка для брукування,

- плити, бортовий камінь;
- каміння та вироби різних типів для гідротехнічних та інших споруд;
- нерудні матеріали – бутовий камінь, заповнювачі для бетону (щебінь, гравій, пісок).

Гірські породи широко застосовують як сировину для одержання мінеральних в'язучих речовин, кераміки та інших матеріалів.

## 2.1. Гірські породи і мінерали

**Мінерали** – це природні фізично й хімічно однорідні тіла, що виникають у земній корі в результаті фізико-хімічних процесів. Гірські породи складаються з мінералів. У складі земної кори більше 2000 мінералів, але тільки 50 з них є породотвірними. Усі мінерали відрізняються один від одного своїми властивостями, тому перевага в породі тих або інших мінералів визначає властивості гірської породи. Породотвірні мінерали поділяються на такі групи:

**Група кварцу** – кристалічний кремнезем (оксид кремнію  $\text{SiO}_2$ ).

Міцність при стиску – до 2000 МПа, міцність при розтягу – близько 100 МПа, висока твердість, хімічна стійкість,  $T_{\text{пл}}$  – 1700°C. Найбільш розповсюджені мінерали цієї групи – опал, халцедон, осадовий кварц.

**Група польових шпатів** – **ортоклаз**  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ , **плагіоклаз**  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  і **анортит**  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ . У порівнянні з кварцом польові шпати мають значно меншу міцність 120...170 МПа. Твердість – 6...6,5, щільність – 2,57 г/см<sup>3</sup>,  $T_{\text{пл}}$  – 1170°C.

**Група алюмосилікатів** – найбільш поширені звичайні (**мусковіт**, **біотит**), **слюди і гідрослюди (гідромусковіт, гідробіотит)** Твердість слюди – 2...3. До цієї ж групи відносяться глинисті мінерали, що складають глини і можуть знаходитися як домішки в піщаниках, вапняках та ін.

**Каолініт** –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , білий, іноді з бурим відтінком, щільність – 2,6 г/см<sup>3</sup>, твердість – 1 за шкалою Мооса.

**Група залізо-магнезіальних силікатів.** До цієї групи входять мінерали, що надають темне фарбування магматичним породам. Найбільш поширені

*олівіни, піроксени, амфіболи, хризотил, азбест*. Вони відрізняються високою істинною щільністю – 3,2...3,6 г/см<sup>3</sup>, твердістю – 5,0...7,0 за шкалою Мооса.

**Група карбонатів і сульфатів.** *Кальцит* (CaCO<sub>3</sub>) – безбарвний або білий, щільність – 2,7 г/см<sup>3</sup>, твердість – 3.

*Доломіт* – CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> – безбарвний, іноді з буруватим і жовтуватим відтінком, щільність – 2,8 г/см<sup>3</sup>, твердість – 3...4.;

*Магнезит* – безбарвний, білий, сірий, щільність – 3,0 г/см<sup>3</sup>, твердість – 3,5...4,5;

*Гіпс* CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – білі або безбарвні кристали, щільність – 2,3 г/см<sup>3</sup>, твердість – 2;

*Ангідрит* CaSO<sub>4</sub> – білий, сірий, склорозовий, блиск – скляний, щільність – 3,0 г/см<sup>3</sup>, твердість – 3...3,5.

**Гірська порода** – природний мінеральний агрегат більш-менш визначеного складу і будівлі, що є продуктом геологічних процесів, які відбуваються в надрах земної кори.

Залежно від умов формування гірські породи поділяються на три генетичні групи: *магматичні* (вивержені), що утворилися у процесі кристалізації складного силікатного розплаву (магми); *осадові*, виникли з продуктів руйнування будь-яких інших порід; *метаморфічні*, що є продуктом перекристалізації і пристосування порід, що змінилися в межах земної кори за фізико - хімічними умовами.

### 2.1.1. Магматичні гірські породи

Утворення магматичних гірських порід тісно пов'язано зі складними проблемами походження магми і Землі. Залежно від умов утворення виділяють дві основних групи магматичних порід – *глибинні й ті, що вилилися*.

*Глибинні (інтрузивні, плутонічні)* – це породи, що утворилися при застиганні магми на різній глибині в земній корі. **Породи, що вилилися (ефузивні, вулканічні)**, утворилися при вулканічній діяльності, виливі магми з глибин і затвердінні на поверхні. Магматичні породи, що утворилися в різній геологічній обстановці, мають наступні середні показники найважливіших

будівельних властивостей: міцність при стиску – 100...300 МПа; щільність – 2600...3000 кг/м<sup>3</sup>; водопоглинання – менше 1%; теплопровідність – близько 3 Вт/(м·°С).

**Граніти** володіють сприятливим для будівельного каменю мінеральним складом, що відзначається високим вмістом кварцу (20...30%), натрієво-калієвих шпатів (35...40%) і плагіоклазу (20...25%), невеликою кількістю слюди (5...10%). Міцність при стиску – 120...250 МПа, пористість – до 1,5%, щільність – 2700 кг/м<sup>3</sup>. Граніти різноманітні за кольором, що залежить від фарбування польових шпатів. У зв'язку з високою міцністю на стиск і морозостійкістю граніти застосовують для захисного облицювання набережних, підвалин мостів, цоколів будинків, а також як щебінь для високоміцних і морозостійких бетонів.

**Сієніти** складаються з калієвих (50...70%) і натрієвих польових шпатів (10...30%), кольорових мінералів (10...20%). За фізико-механічними властивостями близькі до гранітів, трохи уступаючи їм у міцності через відсутність кварцу. Щільність – 2600...2800 кг/м<sup>3</sup>, міцність – 120...150 МПа.

**Діорити** – породи сірого кольору; складаються з плагіоклазу (65...70%) і рогової обманки (25...30%). Щільність – 2900 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску 180...240 МПа.

**Габро** – порода темного, майже чорного кольору, що відзначається великим вмістом кольорових мінералів і фарбуванням плагіоклазу. Для породи характерна щільність – 2900...3000 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стисненні – 200...300 МПа.

**Лабродоріти** – різновид габро, що складаються переважно з польових шпатів і мінералу лабрадору. Ці породи завдяки іризуючій властивості (іризація – яскравий кольоровий відлив) застосовують у будівництві як облицювальний камінь.

**Кварцові порфіри** – за мінеральним складом близькі до гранітів. Міцність, пористість, водопоглинення подібні з аналогічними показниками граніту, але порфіри більш тендітні.

**Трахіти** – є аналогами сієнітів, але більш пористі. Міцність при стиску – 60...70 МПа, застосовуються як кислототривкий матеріал.

**Андезити** – аналоги діоритів, що вилилися, за мінералогічним складом. Фізико-механічні властивості подібні до властивостей базальтів. Щільність – 2700...3100 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 140...250 МПа. Застосовуються як кислотостійкий матеріал, у вигляді щебеню для кислототривкого бетону.

**Базальти** аналоги, що вилилися, габро, породи чорного кольору, дуже щільні. Щільність базальтів – 2700...3300 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 110...500 МПа. Базальти через велику твердість і крихкість важко обробляються, але добре поліруються. Базальти головним чином застосовують як будівельний камінь і щебінку для бетонів, у дорожньому будівництві для мощення вулиць, у гідротехнічному будівництві.

**Діабазити** – мають чорний колір, обумовлений присутністю плагіоклазу і кольорових мінералів, відрізняються високою твердістю, міцність – 300...400 МПа, мало зношуються і застосовуються у вигляді брусчатки для мощення доріг і вулиць.

**Пемза** – пористе вулканічне скло, що утворилося в результаті виділення газів при швидкому застиганні лави. Пористість – 60%, твердість – 6, щільність – 0,3...0,9 г/см<sup>3</sup>. Висока пористість обумовлює гарні теплоізоляційні властивості. Застосовують у вигляді гідравлічної добавки до в'язкого матеріалів, служить як абразивний матеріал при шліфуванні металів і дерева.

**Вулканічний попіл** – найбільш дрібні частки лави, уламки окремих мінералів, є активною мінеральною добавкою.

**Вулканічний туф** – утворився з твердих продуктів вулканічних вивержень: пемзи, попелу, згодом ущільнених і зцементованих. Застосовують у вигляді пиляного каменю для кладки стін житлових будинків, влаштування перегородок і вогнестійких перекриттів, як декоративний камінь.

### **2.1.2. Осадні гірські породи**

Осадні породи залежно від умов утворення поділяють на три групи: *механічні, хімічні й органічні осадки*.

**Механічні породи** утворилися в результаті вивітрювання магматичних і

метаморфічних гірських порід. Можуть бути пухкі (гравій, глина, піски) і зцементовані (піщаник, конгломерат, брекчія).

**Пісок** – пухка зерниста порода крупністю зерен 0,14...5 мм, істинна щільність – 2650 кг/м<sup>3</sup>. Застосовується для виготовлення будівельних розчинів і бетонів, як дрібний заповнювач, служить компонентом сировинної суміші у виробництві скла, силікатних виробів і кераміки.

**Глинисті** – гірські породи, складаються в основному з дрібних лускатоподібних часток глинистих мінералів. Істинна щільність – 2500...2600 кг/м<sup>3</sup>, твердість – 1. Застосовуються для виготовлення керамічних виробів, а також само як компонент сировинної суміші у виробництві цементу.

**Каолініт** – коштовна сировина для виробництва вогнетривких матеріалів.

**Піщаник** – щільна гірська порода, що складається з зерен кварцу, зцементованих різними природними розчинами. Щільність – 2500...2600 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 150...250 МПа, висока твердість і стійкість до стирання. З піщаників виготовляють бутові камені, плити для тротуарів і підлог промислових будинків, щебінь для бетонів.

**Конгломерати** – породи, що складаються з гальки і гравію, зцементованих природним цементом. Щільність – 1600...2800 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 100...160 МПа. Практичне значення цих порід невелике, в основному конгломерати застосовують як оздоблювальний камінь.

**Брекчії** – породи, що складаються з кутастих уламків щебеню, зцементованих природним цементом. Мають обмежене поширення, використовують як оздоблювальний камінь.

**Хімічні породи** утворилися при випаданні з перенасичених розчинів хімічних опадів. Найбільш розповсюдженими є вапняки, доломіти, магнезити, вапняні туфи, гіпс, ангідрит.

**Вапняки** – хімічного походження, в основному складаються з кальциту CaCO<sub>3</sub>, середня щільність – 1900...2600 кг/м<sup>3</sup>, пористість щільних вапняків не перевищує десятої частки відсотка, а пухких – 15...20%. Застосовують у вигляді бутового каменю для фундаментів, у вигляді плит і фасонних деталей для

зовнішнього облицювання будинків. Вапняковий щебінь часто використовують як заповнювач для бетону. Вапняки широко застосовуються як сировина для одержання в'язкої речовини – цементу.

**Доломіти** складаються в основному з однойменного мінералу  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , за своїми властивостями близькі до щільних вапняків, щільність – 2200...2700  $\text{кг/м}^3$ , міцність при стиску 40...200 МПа. З доломіту виготовляють облицювальні плити, щебінь для бетону, вогнестійкі й мінеральні в'язкі речовини.

**Магnezити** – складаються в основному з мінералу магнезиту  $\text{MgCO}_3$ . Застосовують для виготовлення вогнетривких виробів, а також як сировину для виробництва мінерального в'язкого – каустичного магнезиту.

**Вапняні туфи** – утворилися в результаті випадання  $\text{CaCO}_3$  джерел підземних вуглекислих вод. Мають пористу будову. Різновид вапняного туфу – **травертин**, що має високу міцність при стиску – до 80 МПа, застосовують звичайно як декоративний камінь для облицювання будинків. З вапняного туфу одержують вапно, застосовують у виробництві цементу.

**Гіпс** – складається з мінералу тієї ж назви  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , щільність – 2000...2300  $\text{кг/м}^3$ , міцність при стиску – 50 МПа. Головним чином цей природний гіпсовий камінь застосовують для виготовлення гіпсових в'язких і як добавку при виробництві портландцементу.

**Ангідрит** – складається в основному з мінералу ангідриту  $\text{CaSO}_4$ . За зовнішнім виглядом і властивостями мало відрізняється від гіпсу, застосовується для виробництва гіпсових в'язких.

**Органогенні породи** утворилися в результаті відкладення в різних водоймах залишків кістяків і панцирів відмерлих організмів при їхньому наступному ущільненні та цементації.

**Вапняк-черепашиник** – пориста порода, складена з раковин та їх уламків, зцементованих вапняковою в'язучою речовиною. Щільність – 800...1500  $\text{кг/м}^3$ , міцність при стиску – 2...5 МПа, висока пористість, низька теплопровідність. Застосовується у вигляді каменів і блоків для кладки стін житлових будинків, у виді щебеню для легких бетонів.

**Крейда** – легка і пухка порода, складається з карбонату кальцію. Застосовують при виробництві цементу та сповісти, як сировинний компонент при виробництві скла, як наповнювач лакофарбових матеріалів і пластмас.

**Мергелі** – складаються із суміші карбонату кальцію і глинистих часток. Щільність – 1900...2400 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску 30...60 МПа. Мергелі є коштовною сировиною для виробництва цементу.

**Діатоміт і трепел** – легкі пухкі породи, що складаються в основному з аморфного кремнезему. Щільність – 400...1200 кг/м<sup>3</sup>.

Застосовують як сировинні матеріали для виробництва.

### 2.1.3. Метаморфічні гірські породи

Метаморфічні гірські породи сформувалися в надрах земної кори в результаті зміни магматичних і осадових порід під впливом високих температур тиску і хімічно активних речовин.

**Гнейси** – за мінералогічним складом подібні до гранітів, але відрізняються від них сланцевою будовою. Властивості близькі до властивостей граніту, щільність – 2800 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 150...200 МПа. Гнейси застосовують у вигляді лицювальних плит, для кладки фундаментів, у вигляді бутового каменю.

**Кварцити** – перекристалізовані піщаники. Містять 95...99% SiO<sub>2</sub>. Важливою їх властивістю є висока вогнестійкість – до 1710...1770°C і міцність на стиск – 100...455 МПа. У будівництві кварцити використовують у якості стінового каменю, підферменного каменю у мостах, бут, щебінь для брущатки.

**Мармур** – порода, що утворилася в результаті перекристалізації вапняків. Щільність – 2800 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 100...300 МПа, добре полірується, легко піддається обробці. Мармур широко застосовують для внутрішньої обробки будинків, сходів та ін. У вигляді піску й дрібного щебеню його використовують для кольорової штукатурки, облицювального декоративного бетону.

### 2.1.4. Природні кам'яні матеріали

Природний камінь служив основним будівельним матеріалом ще первісній людині. У Єгипті, Мексиці, Греції, Італії, Китаї збереглися видатні пам'ятники кам'яного зодчества, що є архітектурно-будівельною складовою найдавнішої цивілізації.

Кам'яні природні матеріали дуже міцні, довговічні, вогнестійкі і через свої позитивні експлуатаційні і естетичні якості продовжують широко застосовуватися в сучасному будівництві.

Галузі застосування природного каменю дуже різноманітні. Камінь підлягає механічній обробці та використовується у природному вигляді. Гірські породи є також цінною сировиною для одержання інших будівельних матеріалів.

Природні кам'яні матеріали та вироби класифікують за такими ознаками:

**За видом обробки** природні кам'яні матеріали поділяють на:

- грубооброблені (бутовий камінь, валунний камінь, щебінь, гравій і пісок);
- вироби і профільовані деталі (сходини, підвіконня, лиштви, капітелі колон);
- штучний камінь і блоки правильної форми (для кладки стін та ін.);
- плити з по-різному обробленою поверхнею (облицювальні для стін, підлоги),
- вироби для дорожнього будівництва (бортовий камінь, брущатка, шашка для мощення).

**За способом виготовлення** природні кам'яні матеріали поділяють на:

- пиляні (стінові блоки і камені, облицювальні плити та ін.);
- колоті (бортові камені, брущатка та ін.).

**За щільністю** природні камені поділяють на:

- легкі з щільністю ( $\rho_0 \leq 1800 \text{ кг/м}^3$ ) – пемза, вапняк-черепашник;
- важкі з щільністю ( $\rho_0 > 1800 \text{ кг/м}^3$ ) – граніт, діорит та ін.

**За міцністю** при стиску природні камені поділяють на марки ( $\text{кгс/см}^2$ ): М 4, М 7, М 10, М 15, М 25, М 35, М 50, М 75, М 100, М 125, М 200, М 300, М 400, М 500, М 600, М 800, М 1000 (відповідно у МПа від 0,4 до 100).

**За морозостійкістю** поділяють на марки: F 10, F 15, F 25, F 50, F 100, F 200, F 300, F 500;

**За коефіцієнтом розм'якшення:** 0,6; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0.

Коефіцієнт розм'якшення каменю для зовнішніх стін споруд має бути не меншим, ніж 0,6, а для фундаментів, дорожніх і гідротехнічних споруд – не менше 0,8.

Залежно від ступеня обробки розрізняють грубооброблені кам'яні матеріали та штучні вироби і профільовані деталі.

До **грубооброблених** кам'яних матеріалів відносять бутовий камінь, щебінь, гравій, пісок.

Бутовий камінь – це куски каменю неправильної форми розміром 150...500 мм, масою 20...40 кг. Бутовий камінь може бути рваним (неправильної форми) та постілистим. Із буту зводять греблі та інші гідротехнічні споруди, підпірні стінки, фундаменти, його переробляють на щебінь.

Щебінь – це шматки каменю неправильної форми розміром 5...150 мм, які одержують подрібненням великих шматків гірських порід із наступним просіюванням (зустрічається і природний щебінь – «дресва»).

Гравій – це обкочені (округлі) зерна розмірами 5...150 мм, які одержують просіюванням сипких порід; у разі потреби їх промивають, щоб видалити шкідливі домішки (глину, пил).

Пісок – це мінеральні зерна розміром від 0,16 до 5 мм, які одержують просіюванням сипких порід або подрібненням і просіюванням відходів переробки (штучний пісок). Щебінь, гравій, пісок використовують як заповнювачі для бетонів і розчинів.

До **виробів з природного каменю** відносять колоті та пиляні вироби для мурування й облицювання стін, облаштування підлог, дорожніх покриттів, гідротехнічних споруд тощо.

**Каміння та блоки для укладання стін.** Багато пористих гірських порід легко розпилюються на камені та блоки правильної геометричної форми (прямокутні паралелепіпеди). Основні розміри каменів для зведення стін: 390×1000×1500 мм; 490×240×188 мм; 390×190×288 мм. Маса каменя не має перевищувати 16 кг, маса дрібного блока – 40 кг.

Каміння та блоки застосовують для зовнішніх стін, перегородок та інших частин будівель і споруд.

**Облицювальні матеріали та вироби.** Облицювальне каміння і плити, а також архітектурно-будівельні вироби виготовляють, розпилюючи блоки (напівфабрикати), або вдаючись до безпосереднього випилювання з масиву гірської породи. Можна виготовляти також колоті вироби (з некондиційних блоків).

Для зовнішнього облицювання використовують щільні атмосферостійкі породи (граніти, сієніти, габро тощо) або щільні вапняки, для внутрішнього облицювання – породи середньої твердості: мармури, пористі вапняки (травертин, черепашник), вулканічні туфи тощо. Пористі породи, крім декоративного ефекту, забезпечують добру акустику приміщень, тому їх застосовують для оздоблення театрів, кінотеатрів та інших громадських споруд.

Цокольні плити, а також деталі карнизів та інших частин будівлі, що виступають, виготовляють з атмосферостійких порід.

Улаштування покриттів підлог виконують полірованими (рідше шліфованими) плитами з твердих щільних порід (граніт, сієніт, лабрадорит тощо). В приміщеннях з малою інтенсивністю руху та високими вимогами до декоративності можливе використання мармуру. Товщина плит для підлоги має бути не менше 20 мм. Сходи облицьовують також твердими зносостійкими породами.

**Матеріали та вироби для дорожнього будівництва** виготовляють із щільних і зносостійких порід (граніту, діориту, габро, базальту), оскільки умови їх експлуатації надзвичайно суворі. До дорожніх матеріалів і виробів відносять: брущатий камінь; колотий і буличний камінь; тротуарні плити і бортовий камінь.

Брущатий камінь (бруківка) призначається для впорядкування покриттів проїжджої частини доріг. Має форму зрізаної піраміди з паралельними прямокутними верхньою та нижньою основами.

Колотий і буличний камінь використовують для улаштування основ доріг, а також дорожніх покриттів, для укріплення схилів земляних споруд тощо.

Тротуарні плити виготовляють з шаруватих гірських порід. Вони мають форму прямокутної або квадратної плити зі стороною 200...800 мм і рівною лицьовою поверхнею (товщина 40...150 мм).

**Каміння для гідротехнічних споруд.** Для річкових і морських гідротехнічних споруд застосовують каміння правильної та неправильної геометричних форм. Каміння неправильної форми – рваний камінь, який одержують підриванням гірських порід, обкочений камінь (валуни, булижники), щебінь і гравій – використовують для улаштування гребель, дамб, берегових укріплень та інших споруд. Каміння правильної форми використовують для облицювання набережних, шлюзів тощо. До всіх матеріалів висуваються підвищені вимоги не лише за міцністю, а й за водо- та морозостійкістю. Особливо несприятливими є умови експлуатації матеріалів у зоні змінного рівня води, де під час замерзання можуть утворюватися льодові скупчення, які спричиняють значні внутрішні напруження. Захисне облицювання в цій зоні виконують із щільних вивержених порід з водопоглиненням не більше 1%, міцністю при стиску не нижче 80...100 МПа і морозостійкістю не менше 300 циклів (граніти, сієніти, діабазы та ін.).

**Хімічно стійкі та жаростійкі матеріали та вироби.** Численні гірські породи використовують для футерування різних апаратів та установок, які зазнають дії кислот, лугів, солей та агресивних газів, а також впливу високих і різко змінних температур і тисків. Зі щільних кислототривких гірських порід виготовляють тесані плити, цеглу, бруски, фасонні вироби потрібної форми. У подрібненому вигляді ці породи використовують як заповнювачі в кислототривких бетонах. Для захисту від дії кислот використовують граніт, сієніт, базальт, андезит, кварцит, а від дії лугів – карбонатні породи: щільні вапняки, доломіти, магнезити, мармури. Для жаростійких облицювань застосовують вироби з базальту, діабазу, вулканічних туфів.

## **2.2. Техногенні відходи**

**Вторинні ресурси (відходи виробництва)** – це всі види залишків

виробництва, що мають якусь споживчу цінність і можуть бути використані в матеріальному виробництві.

З галузей, що споживають промислові відходи, найбільш ємкою є промисловість будівельних матеріалів.

Найбільше значення для будівельної індустрії мають шлаки чорної і кольорової металургії, золи і шлаки теплових електростанцій. Зазначені техногенні відходи знайшли широке застосування у виробництві шлакопортландцементу, заповнювачів для бетонів, в'язучих речовин автоклавного тверднення, газобетону, вогнетривів.

Відходи деревини і лісохімії (кора, пні, стружка, тріска, обпилювання) використовують для виробництва арболіту, фіброліту, ДВП, ДСП, ксилоліту, клейових виробів.

Декоративні щебінь і пісок – переважно сировинний облицювальний високо декоративний фракціонований (розподілений на зерна певних розмірів) матеріал. Міцність при стиску гірських порід, із відходів яких виготовляють декоративні щебінь і пісок, має бути не меншою 80, 40 та 30 МПа, відповідно, для вивержених, метаморфічних і осадових порід.

Готовий щебінь повинен мати марку за морозостійкістю не менше F15.

Обмежується також наявністю у щебені пластинчастих і голчастих зерен (до 35% за масою). У щебені та піску обмежується кількість пилюватих домішок (від 1 до 5% за масою).

Декоративні щебінь і пісок застосовують для оздоблення лицьових поверхонь бетонних і залізобетонних елементів будівель, виготовлення штучних блоків і декоративних плит.

Штучні блоки виготовляють з бетонних сумішей на основі декоративних щебеню й піску та портландцементу. Готові вироби призначені для наступної переробки на плити, які використовуються для улаштування покриттів підлог і елементів сходів та облицювання стін і колон.

## Контрольні запитання

1. Що таке природні кам'яні матеріали?
2. Як вони класифікуються за походженням?
3. Які основні гірські породи використовують у будівництві?
4. Розповісти про використання природних кам'яних матеріалів у будівництві.
5. Чим розрізняються між собою гірська порода і мінерал?
6. Назвіть три основні групи кам'яних матеріалів за походженням (магматичні, осадові, метаморфічні).
7. Наведіть приклади магматичних гірських порід, що застосовуються у будівництві.
8. Які осадові породи використовуються для оздоблення фасадів?
9. Які метаморфічні породи мають декоративне значення?
10. Що ви знаєте про магматичні породи?
11. Як утворилися осадові породи? Розкажіть про осадові породи механічного походження.
12. Чим відрізняється мрамур від вапняку?
13. Як мінералогічний склад впливає на властивості каменю?
14. Що таке текстура та структура кам'яних матеріалів?
15. Як пористість впливає на міцність та морозостійкість каменю?
16. Які фізичні властивості важливі для будівельного каменю?
17. Що таке водопоглинання та чому воно важливе?
18. Як морозостійкість впливає на довговічність кам'яних матеріалів?
19. Які декоративні властивості можуть мати природні камені?
20. У яких випадках доцільно використовувати граніт?
21. Де найчастіше застосовують вапняк і пісковик?
22. Які камені підходять для облицювання інтер'єрів?
23. Чому мрамур не завжди придатний для зовнішніх робіт у холодних регіонах?
24. Походження техногенних матеріалів?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Написати реферат за темою: «Перспективи розвитку мінерально-сировинної бази промисловості будівельних матеріалів України».
2. Розглянути проблеми довговічності та захист кам'яних матеріалів від корозії.

## ТЕМА 3

### ЛІСОВІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

#### **План:**

- 3.1. Загальні відомості
- 3.2. Будова і склад деревини
- 3.3. Загальні властивості деревини
- 3.4. Деревні породи
- 3.6. Вади деревини
- 3.7. Біокомпозити та композиційні матеріали на основі відходів переробки деревини
- 3.8. Захист деревини від гниття, ураження комахами і загоряння
- 3.9. Матеріали і вироби з деревини

#### **3.1. Загальні відомості**

Дерево завжди привертало увагу будівельників легкістю обробки, невеликою власною масою при відносно високій міцності й гарних теплоізоляційних властивостях. З колод зводили стіни, балки міжповерхових перекриттів, з дощок настиляли підлоги, збивали перегородки, двері, віконні рами, плетіння; з окремих брусів збирали несучі елементи мостів, покриття громадських будинків.

Сьогодні діапазон застосування деревини значно розширився, хоча витрачається вона ощадливіше. Стружка й обпилювання, що неминуче утворюються при обробці деревини, а також деревина із сучковатістю і тріщинами за старих часів зовсім не використовувалися. У наші дні, застосування синтетичних смол і клеїв дозволяє одержати з відходів деревини дерев'яні клеєні конструкції значних розмірів, деревостружкові й деревоволокнисті плити, теплоізоляційний картон і будівельний папір.

У будівництві застосовують як хвойні ( сосна, модрина, ялина, ялиця, кедр) так і листяні (дуб, ясен, бук, береза, осика) породи.

### 3.2. Будова і склад деревини

Зростаюче дерево складається з кореневої системи, крони і стовбура. Стовбур є основною і найбільш коштовною частиною дерева. З нього одержують від 60 до 90% ділової деревини.

За своєю будовою деревина є волокнистим, пористим матеріалом, що складається з живих і мертвих кліток, які забезпечують живильні, запасальні і механічні функції.

**Макроструктуру** (будова стовбура дерева видима неозброєним оком) і **мікроструктуру** (видима під мікроскопом) вивчають у поперечному і двох поздовжніх перерізах: радіальному і тангенціальному.

**Макроструктура** – це будова деревини, що помітна неозброєним оком або при невеликому збільшенні. Вивчення макроструктури дає змогу встановити основні ознаки деревини, визначити її породу і прогнозувати фізико-механічні та інші властивості. Вивчають три основних розрізи стовбура: торцевий, або поперечний, перпендикулярний до вісі стовбура; радіальний – уздовж стовбура; тангенціальний – паралельний вісі стовбура (рис. 3.1).

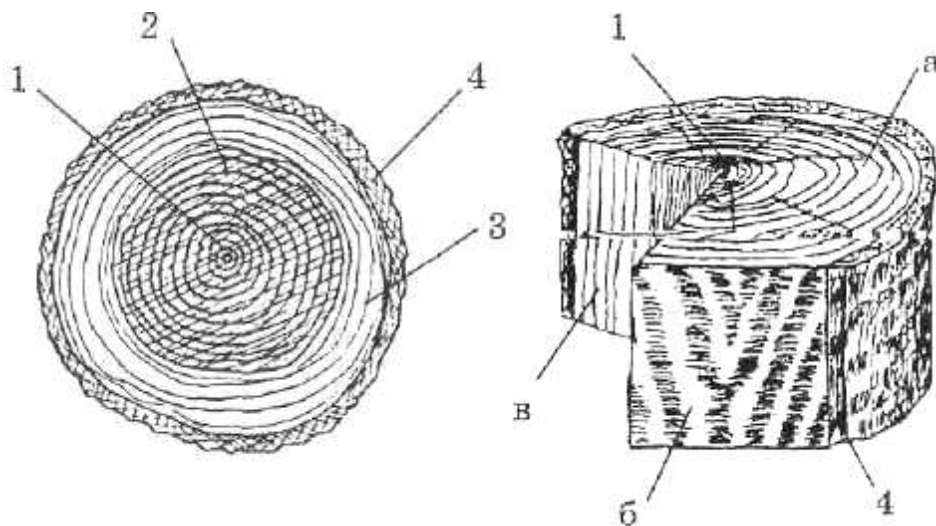


Рис. 3.1. Розрізи стовбура дерева:

а – торцевий; б – тангенціальний; в – радіальний; елементи деревини стовбура: 1 – серцевина; 2 – ядро; 3 – заболонь; 4 – кора

На поперечному розрізі стовбура видно кору, камбій, заболонь, ядро, стрижень, стрижневі промені та різні шари. У різні пори року камбій розвивається

по-різному: влітку він утворює щільну деревину (пізня деревина), навесні – дірчасту (рання деревина). Чим більше утворилося пізньої деревини, тим вища її механічна міцність. Деревина легко розколюється й розтріскується при висиханні за стрижневими променями.

Частина стовбура від лубу до серцевини (деревина) на поперечному розрізі складається з річних кілець. Кожне кільце, у свою чергу, включає світле кільце ранньої деревини і більш темне – пізньої. Рання деревина утворюється навесні чи на початку літа, вона складається з великих тонкостінних кліток, має велику пористість і низьку міцність.

Деревина, що утворилася влітку і на початку осені (пізня), має темний колір, велику міцність і щільність. Отже чим більше вміст пізньої деревини, тим вище міцність дерева.

**Мікроструктура та хімічний склад.** Деревина складається з живих і відмерлих клітин різної форми та величини. Оболонка клітини складається з целюлози, або клітковини  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . У процесі росту клітини оболонка дерев'яніє, що пов'язано з появою лігніну, який надає деревині пружності та твердості.

У деревині хвойних порід зустрічаються ходи, призначені для нагромадження смолистих речовин, що підвищують стійкість і довговічність деревини.

Стінки клітини складені з органічних сполук, які у хвойних порід на 70%, а у листяних на 80% представлені вуглеводнями. До 30% деревини складають речовини ароматичної природи, відомі як лігнін. Вуглеводні та лігнін – високомолекулярні сполуки, полімери з усіма притаманними їм характеристиками.

Незначна частка у складі деревини припадає на екстрактивні речовини, що належать до низькомолекулярних сполук (смоли, смоляні кислоти, ефірні масла, барвники тощо). Вони надають деревині кольору, запаху, смаку, підвищують стійкість проти гниття й ураження грибами.

### 3.3. Загальні властивості деревини

Кожна порода дерева має характерний колір і текстуру. Для хвойних порід характерний простий і одноманітний малюнок, а різноманіття і багатство текстури деревини листяних порід високо цініться в столярно-оздоблювальних роботах.

Деревина всіх порід в основному складається з целюлози, у зв'язку з чим істинну щільність деревини приймають рівної 1,54 г/см<sup>3</sup>. Середня щільність коливається від 450 до 900 кг/м<sup>3</sup>.

Деревина, володіючи гідрофільністю і волокнистою пористою структурою, легко всмоктує і віддає вологу. Вологість деревини виражають у % стосовно маси сухої деревини. Розрізняють *гігроскопічну* вологу (зв'язану в стінках кліток) і *капілярну* вологу (вільно заповнює міжклітинний простір і порожнини кліток). Вологість, придбана деревиною при тривалому перебуванні в умовах постійного температурно-вологого режиму, називають *рівноважною*. Для *кімнатно-сухої* деревини рівноважна вологість складає 8...12%, для *повітряно-сухої* – 15...18%. Унаслідок коливання вологості деревини відбувається небажана зміна розмірів і форми виробу. Нерівномірність усушки, викликана неоднорідністю будови деревини, і наступне короблення сприяють розтріскуванню пиломатеріалів і колод. Для запобігання зазначеним процесом столярні вироби виготовляють з деревини з вологістю 8...10%, зовнішні конструкції – 15...18%.

Зволоження сухої деревини до досягнення нею межі гігроскопічності стінки деревних кліток приводить до їхнього стовщення, збільшення об'єму і розмірів дерев'яних виробів. Вказаний процес називається *набуханням*.

У сухому стані деревина є теплоізоляційним матеріалом і діелектриком. Зазначені фізичні властивості залежать від напрямку теплових потоків, пористості й вологості деревини.

Механічні властивості деревини залежать від напрямку навантаження стосовно деревних волокон, середньої щільності і вологості. Міцність деревини при стиску уздовж волокон у 4...6 разів більше, ніж поперек. Наприклад, для сосни уздовж волокон вона складає 100 МПа, поперек – 20...25 МПа. Волокниста

будова деревини забезпечує дерев'яним конструкціям великий опір згину, тому й застосовують для виготовлення балок, крокв, ферм.

Міцність деревини при *сколюванні* має велике значення при влаштуванні врубок, клейових швів та ін., у дерев'яних конструкціях. Ця міцність складає 6...13 МПа, при сколюванні уздовж волокон і 24...40 МПа – поперек волокон.

**Статична твердість** чисельно дорівнює навантаженню, що необхідне для вдавнення в поверхню зразка половини металевої кульки певної маси і діаметра. Залежно від цього показника всі породи дерева підрозділяють на м'які (сосна, ялина, вільха) – 35...50 МПа, тверді (дуб, граб, береза) – 50...100 МПа, дуже тверді (кизил, самшит) – більше 100 МПа.

### 3.4. Деревні породи

Деревні породи поділяють на хвойні та листяні. Хвойні породи застосовують переважно для інженерних конструкцій.

*Сосна* – ядрова порода, має високу міцність і низьку щільність, середня щільність – 470...540 кг/м<sup>3</sup>. Деревина сосни смолиста, важко піддається загниванню, її застосовують у вигляді кругляка та пиляних лісоматеріалів, а також для виготовлення столярних виробів і меблів.

*Ялина* – порода із стиглою деревиною, маслосмолиста, має високі показники міцності, низьку середню щільність (440...500 кг/м<sup>3</sup>). Її застосовують для виготовлення будівельних конструкцій та столярних виробів. За якістю деревини ялина незначно поступається перед сосною. Найкращі властивості має дерево, зрубане у віці 80...100 років.

*Модрина* – ядрова смолиста порода з підвищеними твердістю та середньою щільністю (630...730 кг/м<sup>3</sup>). Стійка проти загнивання, найкращі властивості має у віці 100...120 років. Застосовують в будівництві мостів, а також у гідротехнічному будівництві, для виготовлення шпал. Недолік модрина – схильність до розтріскування.

*Кедр* – ядрова порода, яка має низьку щільність, її механічні властивості нижчі, ніж у сосни; застосовують як будівельний ліс, пиломатеріали, а також для

виготовлення столярних виробів.

*Тис* – ядрова порода, використовується для виготовлення меблів, у будівництві широкого застосування не знайшла.

Листяні породи налічують багато найменувань (дуб, бук, осика, вільха, береза, липа, ясень, горіх тощо).

*Дуб* – ядрова порода, яка високу механічну міцність і щільність  $720 \text{ кг/м}^3$ . Оптимальний час зрубання – 180 років. Має високу стійкість проти загнивання, добру текстуру. Застосовують у відповідальних конструкціях, мостобудуванні, гідротехнічному будівництві, для виготовлення облицювальної фанери, столярних виробів і паркету.

*Бук* – розсіяно-пориста стиглодеревна порода. Деревина тверда, щільна (середня щільність –  $650 \text{ кг/м}^3$ ), пружна. Найкращі властивості має, якщо зрубана у віці 110 років. Застосовують для виготовлення меблів, столярних виробів і паркету.

*Осика* – заболонна стиглодеревна порода. Деревина легка (середня щільність –  $420 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ ), м'яка, зеленуватого кольору. Застосовують для фанери, тари.

*Вільха* – заболонна порода з м'якою деревиною, що легко піддається обробці, нестійка проти загнивання. Застосовують її для столярних виробів і фанери.

*Береза* – заболонна порода. Деревина щільна (середня щільність –  $650 \text{ кг/м}^3$ ), має високі міцність, в'язкість; нестійка проти загнивання. Застосовують для виготовлення фанери, паркету, столярних виробів, поручнів, опоряджувальних робіт.

### **3.5. Основні властивості деревини**

Фізичні властивості деревини – істинна та середня щільність, вологість, усихання, розбухання, короблення, теплопровідність, пористість та низка інших.

**Істинна щільність** деревини приблизно однакова для різних порід і становить  $1,53 \dots 1,55 \text{ г/см}^3$ .

**Середня щільність** деревини залежить від виду породи, вологості та поруватості і може бути в межах  $450 \dots 900 \text{ кг/м}^3$ .

**Вологість** значною мірою зумовлює якість деревини. Розрізняють гігроскопічну вологу, зв'язану у стінках клітин, і капілярну, яка заповнює міжклітинний простір. При висиханні деревина спочатку втрачає вільну (капілярну) вологу, а далі починає виділяти гігроскопічну.

**Вологість** деревини, що дорівнює 12%, умовно вважається стандартною.

Результати визначення всіх фізичних властивостей деревини треба корегувати з урахуванням цієї вологості. При тривалому перебуванні на повітрі за сталих умов деревина набуває вологості, яку називають рівноважною. Стан деревини в момент, коли в її структурі відсутня вільна волога, називають межею гігроскопічної вологості (для різних порід вона становить 23...35% відносно маси сухої деревини).

**Усихання, розбухання, короблення** деревини відбуваються зі зміною вологості. При висушуванні деревини до межі гігроскопічної вологості її лінійні розміри не змінюються. При подальшому висушуванні розміри деревини зменшуються: уздовж волокон на 0,1...0,4%; у радіальному напрямку – на 3...6%; у тангенціальному – на 6...125. Зменшення лінійних розмірів та об'єму деревини при видаленні з неї гігроскопічної вологи називають усиханням. Зі зволоженням сухої деревини до досягнення нею межі гігроскопічності, стінки деревних клітин потовщуються, розбухають, що призводить до збільшення розмірів та об'єму виробів. Цей стан називають розбуханням. Короблення деревини виникає внаслідок неоднакового всихання в різних напрямках. Широкі дошки дужче коробляться, ніж вузькі, а тому ширина дощок, які зазнають під час експлуатації наперемінного зволоження й висушування (підлога, зовнішня обшивка будівель), не має перевищувати 12 см.

**Теплопровідність** деревини залежить від породи, напрямку волокон і вологості.

Механічні властивості (міцність при стиску й розтягу, при згині та сколюванні).

**Міцність при стиску** деревини визначають на зразках – призмах перерізом 20×20 мм і завдовжки 30 мм уздовж і поперек волокон. Міцність деревини на

стиск уздовж волокон у 4...6 разів більша за її міцність упоперек волокон.

Міцність зразків за стандартної вологості 12 % визначають за формулою:

$$R_{12} = R_w(1 + \alpha(W - 12)),$$

де  $R_{12}$  – границя міцності при 12%-й вологості, %;

$R_w$  – границя міцності при вологості  $W$ , %;

$\alpha$  – поправочний коефіцієнт на вологість (для всіх порід 0,04);

$W$  – вологість деревини під час випробування, %.

**Міцність при розтягу** деревини вздовж волокон у 2...3 рази більша за міцність при стиску й у 20...30 разів вища за міцність при розтягу впоперек волокон.

Для окремих порід границя міцності при розтягу досягає 100...200 МПа.

Питома міцність деревини при розтягу вздовж волокон порівнювана з аналогічними показниками сталі та склопластиків. Проте цінні властивості деревини реалізувати в конструкціях складно через наявність вад (сучки, тріщини тощо), які знижують її міцнісні властивості.

Міцність при розтягу деревини хвойних порід мало залежить від вологості, а для деревини листяних порід цей вплив є значнішим.

**Міцність при статичному згині** деревини перевищує міцність при стиску вздовж волокон, але менша за міцність при розтягу і становить для різних порід 50...100 МПа. Високі значення при статичному згині дають змогу широко застосовувати деревину в конструкціях, які працюють на згин (балки, крокви, бруски, настили тощо).

**Міцність при сколюванні** деревини вздовж волокон становить у середньому 3...13 МПа. Міцність при сколюванні впоперек волокон у 3...4 рази вища за міцність при сколюванні вздовж волокон, але чистого зрізу практично не буває, оскільки одночасно відбувається стиск і згин волокон.

Статична твердість деревини дорівнює навантаженню, потрібному для вдавлювання в поверхню зразка половини металевої кульки на глибину 5,64 мм

(площа відбитка дорівнює 1 см<sup>2</sup>). За твердістю за торцем деревину поділяють на три групи: м'яка – з твердістю 35...50 МПа (сосна, ялина, ялиця, вільха); тверда – 50...100 МПа (дуб, граб, ясен, клен, каштан, береза); дуже тверда – понад 100 МПа (самшит, кизил).

### **3.6. Вади деревини**

**Вади деревини** – це недоліки окремих її ділянок, які знижують якість і обмежують можливості використання. Вади деревини можуть бути пов'язані з відхиленнями від її нормальної будови, пошкодженнями та захворюваннями.

Їх поділяють на такі групи: тріщини, сучки, пошкодження комахами, грибами, трухлявинами, дефекти форми стовбура, вади будови деревини, рани, ненормальні відкладення в середині деревини, хімічні забарвлення. Вплив вад на придатність деревини для будівельних потреб залежить від їхнього місця розташування, виду, розмірів ураження, а також від призначення деревини. Сортність деревини встановлюють із урахуванням наявних вад. Їхнє походження може бути різним. Одні з них утворюються в період росту дерева, інші – у період зберігання й експлуатації.

**Сучки** – це частини в деревині, що порушують однорідність її будови викликають скривлення волокон, утруднюють механічну обробку.

**Тріщини** – розриви деревини уздовж волокон, порушують цілісність матеріалу, знижують механічну міцність і довговічність. Можуть бути:

- метиковими (виникають у зростаючому дереві, розташовані на обох торцях колоди в одній площині),
- морозні (утворюються в зростаючому дереві, мають радіальний напрямок із заболоні в ядро, значну довжину уздовж стовбура), тріщини, усушки (виникають у зрубаному дереві глибиною і довжиною не більше 1 м).

**Збіжистість** – це зменшення діаметра круглих лісоматеріалів від товстого до тонкого кінця, що перевищує нормальний стік, рівний 1 см на 1 м довжини колоди. Зазначена вада характерна для необрізних матеріалів, збільшує відходи при розпилюванні.

**Закомелість** – різке збільшення окоренкової частини стовбура дерева. Може бути округла і ребриста.

**Кривизна** – скривлення поздовжньої осі колод, пов'язане з кривизною стовбура.

**Нахил волокон** – непаралельність волокон поздовжньої осі виробів. Утруднює механічну обробку деревини, знижує міцність пиломатеріалів, при розтяганні і стиску, збільшує міцність при розколюванні.

**Крен** – ненормальне стовщення пізньої деревини в річних шарах.

**Завилькуватість** – безладне розташування волокон деревини.

**Серцевина** – вузька центральна частина стовбура, що складається з рихлої деревини.

**Завиток** – місцеве різке скривлення річних шарів під впливом сучків.

**Пасинок** – відмерла друга вершина або товстий сук, що пронизує стовбур під гострим кутом до його поздовжньої осі.

**Сухобокість** – омертвіла ділянка стовбура.

**Засмолок** – ділянка деревини, рясно просочена смолою.

**Ядрова гнилизна** – результат дії дереворуйнівних грибків, знижує сортність і механічні властивості деревини.

**Червоточини** – ходи й отвори, пророблені в деревині комахами.

### **3.7. Біокомпозити та композиційні матеріали на основі відходів переробки деревини**

Біокомпозити виготовляють з використанням біотехнологій, заснованих на досягненнях біохімії, мікробіології та інженерних наук. Зв'язуючим матеріалом у біокомпозитах є природні клейкі речовини, що видаляються мікроорганізмами з деревини або іншої рослинної сировини. Основними компонентами деревини є природні полімери – целюлоза, геміцелюлоза та лігнін. Лігнін у деревині, яку можна розглядати як природний композиційний матеріал, виконує функцію клею (матриці), а целюлоза – армуючої речовини.

При виготовленні біокомпозитів подрібнена деревина під дією тиску та

температури може утворювати монолітний матеріал. Для прискорення цього процесу використовують дереворуйнівні гриби – ксилотрофи.

Деревношаруваті пластики (ДШП) – листи або плити, виготовлені з тонкого лушеного шпону, просоченого та склеєного полімерами резольного типу.

ДШП використовують для облицювання внутрішніх приміщень громадських і адміністративних будівель і як конструкційний матеріал.

Деревостружкові плити виготовляють гарячим пресуванням деревних стружок із полімерними зв'язуючими речовинами. ДСП використовують як основу під килимові та лінолеумні покриття, для надання декоративного ефекту.

Деревоволокнисті плити виготовляють гарячим пресуванням волокнистої маси, яка складається з органічних волокон, води, наповнювачів, синтетичних полімерів і деяких добавок. Сировиною для виготовлення плит є відходи деревообробних виробництв і лісозаготівель (тріска, дріб'язок), стебла очерету, льняна костриця та інші рослинні матеріали. ДВП застосовують для покриття підлог, для внутрішньої обробки будівель, обшивки салонів літаків і кают пароплавів.

### **3.8. Захист деревини від гниття, ураження комахами і загоряння**

Щоб запобігти загниванню деревини, вживають конструктивних заходів: деревину ізолюють від бетону, цегли, каменю, роблять отвори для провітрювання, захищають від атмосферних опадів. Деревину просочують антисептиками – хімічними речовинами, які вбивають грибні пори чи створюють середовище, у якому їхня життєдіяльність стає неможливою.

*Антисептики* підрозділяються на водорозчинні (фтористий і кремнійфтористий натрій, кремній фторид амонію, суміш борної кислоти і бури (ББК-3), пентахлорфенол (ГР-48), хлористий цинк, мідний купорос) і масляні (антраценова олія, кам'яновугільна олія, сланцева олія). Просочення деревини антисептиками здійснюється декількома методами: поверхнева обробка кистями на глибину 1...2 мм, почергове просочення в гаряче – холодних ваннах з температурою 90...20°C під тиском 0,6...0,8 МПа в автоклавах, зануренням у

високотемпературну ванну при температурі 160...170°C. Через неприємний запах їх можна використовувати для просочування дерев'яних конструкцій, які перебувають на повітрі або у воді (шпали, частини мостів, палі). Крім зазначених способів для попередження гниття деревини вживають конструктивні заходи: ізолюють від ґрунту, каменю, бетону, улаштовують спеціальні канали для провітрювання.

Для захисту деревини від ураження комахами використовують *інсектициди*, роль яких добре виконують масляні антисептики і препарати на органічних розчинниках, розчин хлорофосу, хлоровану, хлорпикрин.

Щоб запобігти займанню, передбачають конструктивні заходи: віддаляють дерев'яні конструкції від джерел нагрівання; влаштовують захисні футерівки з вогнестійких матеріалів (цегли, бетону); укривають шаром малотеплопровідного мінерального матеріалу (азбестового, азбестоцементного, пористої штукатурки тощо). Для оберігання від вогню деревину просочують вогнезахисними сполуками (антипіренами). Найбільш ефективний метод – просочення під тиском. *Антипірени* готують на основі фосфорнокислого або сірчистого амонію, бури, борної кислоти. При нагріванні вони легко плавляться й перекривають доступ кисню або виділяють гази, які не підтримують горіння. Вогнезахисті фарбові суміші виготовляють із розчинного скла, піску або крейди та лугостійкого пігменту. При нагріванні фарба пухириться, й утворюється пористий захисний шар, який знижує температуру на поверхні деревини.

Значне поліпшення властивостей деревини досягається при її модифікації синтетичними полімерами.

### **3.9. Матеріали і вироби з деревини**

Матеріали з деревини застосовують у будівництві, як конструкційні, оздоблювальні, теплоізоляційні, акустичні й погонажні.

До *конструкційного* відносяться круглі лісоматеріали, пиломатеріали, фанера, деревні шаруваті пластики, фіброліт, арболіт, цементно-стружкові плити.

*Круглі* лісоматеріали одержують шляхом розпилювання і очищення від кори

стовбурів дерев. Залежно від діаметра верхнього торця їх підрозділяють на колоди (не менше 14 см), підтоварники (8...13 см) і жердини (3 см). Колоди застосовують для вироблення пиломатеріалів, зведення колодних будинків, виготовлення паль, елементів мостів, опор ліній електропередач, підтоварники і жердини – для допоміжних і тимчасових споруд. При розкрої колоди одержують *пиломатеріали* (рис. 3.2) різного виду і розмірів (бруси, шпали, дошки).

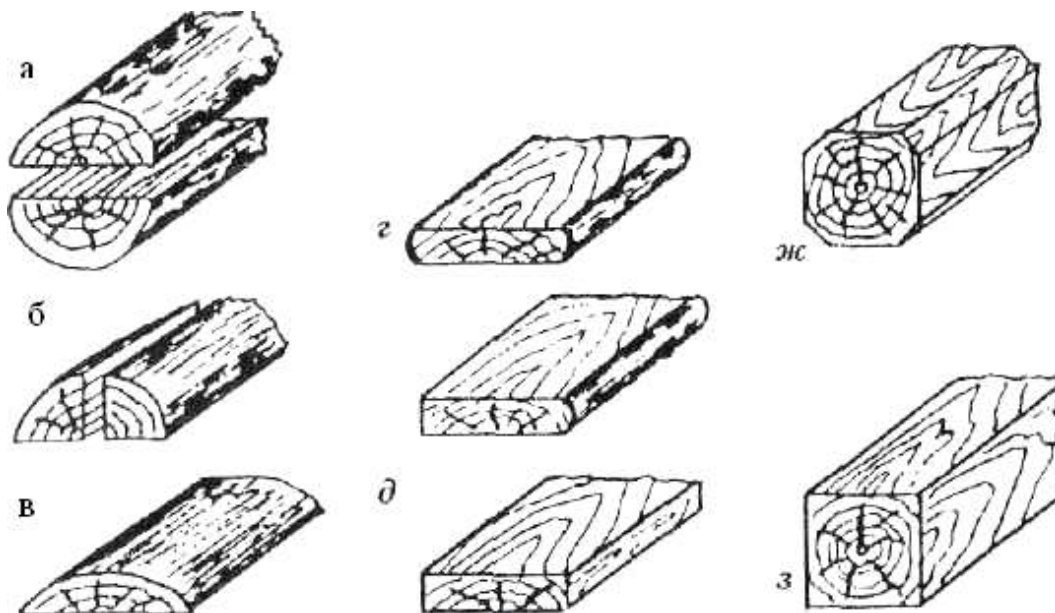


Рис. 3.2. Пиломатеріали: а – пластини; б – четвертини; в – обапіл; г – дошка необрізна; д – дошка напівобрізна; ж – дошка обрізна; з – брус чотирикатний

**Столярні вироби** – віконні й дверні блоки з вмонтованими в них віконними плетіннями і дверними полотнами, підвіконні дошки, щитові двері для житлових і громадських будинків.

**Фанера** являє собою листовий матеріал, склеєний із трьох і більше шарів лущеного шпону таким чином, щоб напрямок волокон у суміжних шарах був взаємно перпендикулярним.

**Шпон** – тонкий листовий матеріал, отриманий лущенням або струганням на спеціальних верстатах розпилених кряжів. Застосовується для обшивання внутрішніх перегородок на дерев'яній рамі, просторових конструкцій у вигляді куполів, а також клеєних балок, арок і ферм.

**Паркет** – виготовляють з твердих порід – дуба, бука, ясена та ін. Буває

звичайним (планочний) і щитовим. Щитовий паркет має основу з дощок або брусів, на які наклеєна паркетна планка.

**Деревні шаруваті пластики** являють собою листовий матеріал, отриманий методом пресування декількох шарів шпону, просочених при високих температурах високомолекулярними смолами. Застосовується в конструкціях, від яких потрібні хімічна стійкість й високий опір стиранню.

**Фібролітом** називають плитний матеріал з тонких довгих деревних стружок, скріплених мінеральними в'язучими. Фібролітові плити технологічні, міцно зчіплюються з незатверділим бетоном, надійно кріпляться до бетонної і кам'яної поверхні. Вироби з фіброліту морозостійкі, не загнивають, не уражаються гризунами. Застосовують для виготовлення перекриттів, перегородок і покриттів сільськогосподарських і складських будівель, а також стін дерев'яних стандартних будинків.

**Арболіт** – легкий деревобетон на мінеральному в'язучому. Для виготовлення арболіту використовують відходи лісопиляння і переробки деревини різних порід, а також подрібнені сучки, обаполи. Застосовують для виготовлення начіпних панелей зовнішніх стін, самонесучих панелей зовнішніх і внутрішніх стін, плит покриттів.

**Цементно-стружкові** плити на відміну від фіброліту й арболіту пресують при підвищеному тиску, тому вони мають велику щільність. Застосовують для зовнішнього обшивання стінових панелей житлових будинків, як опалубку для бетону, виготовлення санітарно-гігієнічних кабін.

**Деревостружкові й деревоволокнисті** плити одержують методом плоского пресування відходів стружки й обпилювань, змішаних із синтетичними смолами. Застосовують для облицювання внутрішніх стін громадських і адміністративних будинків, для покриттів підлог.

**Погонажні вироби** включають лиштви, плінтуси, поручні, дошки для підлоги (рис. 3.3.).

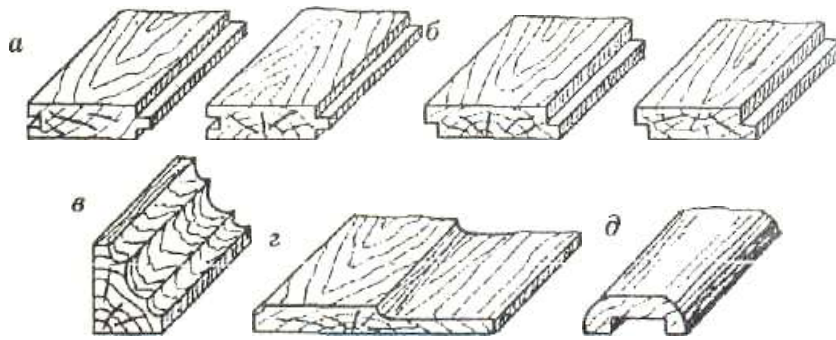


Рис. 3.3. Погонажні вироби: а – шпунтовані дошки; б – фальцові дошки; в – плінтус; г – лиштва; д – поручень

### Контрольні запитання

1. Що відносять до лісових будівельних матеріалів?
2. Які основні переваги та недоліки деревини як будівельного матеріалу?
3. Чим відрізняються дерев'яні конструкції від інших за поведінкою в експлуатації?
4. Як класифікують деревину за походженням (хвойні, листяні породи)?
5. Які породи дерев застосовують у несучих конструкціях?
6. Які породи використовують переважно для оздоблення?
7. Що відносять до пиломатеріалів, заготовок і виробів із деревини?
8. Які штучні лісові матеріали ви знаєте (фанера, ДСП, ДВП, OSB)?
9. Яка мікроскопічна і макроскопічна будова деревини?
10. Що таке річні шари та як вони впливають на властивості деревини?
11. Що таке заболонь і ядро, як вони відрізняються за кольором і властивостями?
12. З яких основних хімічних компонентів складається деревина (целюлоза, лігнін, екстрактивні речовини)?
13. Які фізичні властивості деревини (щільність, вологість, усушка, теплопровідність)?
14. Що таке вологість деревини та які бувають її види (природна, робоча, гігроскопічна)?
15. Як вологість впливає на міцність і розміри деревини?
16. Які механічні властивості деревини найважливіші для будівництва

(міцність на стиск, згин, розтяг)?

17. Які дефекти деревини ви знаєте та як вони впливають на якість матеріалу?

18. Які методи сушіння деревини застосовують (природне, камерне, вакуумне)?

19. Які способи захисту деревини від гниття, комах та вогню ви знаєте?

20. Чому важливо проводити захист деревини перед монтажем конструкцій?

21. Що таке рівноважна вологість деревини?

22. Які вади можуть бути в деревині?

23. Чому деревина жолобиться при зміні вологості?

24. Порівняйте деревину і цеглу за щільністю.

25. Як захистити деревину від гниття?

26. Як захистити деревину від загоряння?

27. Що таке клеєні дерев'яні конструкції, які їх переваги перед звичайними пиломатеріалами?

28. Які матеріали можна одержати з відходів деревини?

29. У яких будівельних конструкціях найчастіше застосовують деревину?

30. Які переваги деревини у каркасному будівництві?

31. Чим відрізняється використання масивної деревини від клеєних дерев'яних конструкцій?

32. Які приклади сучасних інженерних дерев'яних споруд ви можете назвати?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Які конструкційні матеріали виробляють на основі деревини?

2. Розглянути проблеми довговічності дерев'яних конструкцій і виробів.

## ТЕМА 4

### КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

#### **План:**

- 4.1. Загальні відомості
- 4.2. Класифікація керамічних матеріалів
- 4.3. Сировина для виробництва керамічних матеріалів
- 4.4. Матеріали для декорування (глазур, ангоби, керамічні фарби)
- 4.5. Загальна схема технології виробництва керамічних матеріалів
- 4.6. Керамічні матеріали та вироби
  - 4.6.1. Стінові керамічні матеріали
  - 4.6.2. Вироби для облицювання фасадів
  - 4.6.3. Плитки для внутрішнього облицювання
  - 4.6.4. Керамічні вироби для покрівлі і перекриттів
  - 4.6.5. Санітарно-технічна кераміка й керамічні вироби спеціального

призначення

#### **4.1. Загальні відомості**

**Керамічними** називають матеріали та вироби, які одержують формуванням і подальшим випалюванням глинистої та інших видів мінеральної сировини з різними добавками або без них.

Як глинисту сировину використовують глини, суглинки, глинисті сланці, аргіліти, леси. Можуть застосовуватися також інші види мінеральної сировини, у тому числі діатоміти, трепели, кварцити, магнезити, боксити, хромисті залізняки та деякі промислові відходи. Для одержання технічної кераміки використовують чисті оксиди алюмінію, кальцію, магнію, діоксиди цирконію, торію тощо. Таку кераміку застосовують, наприклад, у радіо- та космічній техніці.

Керамічні матеріали – найдавніші з усіх штучних кам'яних матеріалів.

Залишки будівель і споруд з керамічної цегли знайдені археологами на території Стародавнього Єгипту (III...I тисячоліття до н.е.). Керамічна цегла

відома також в Індії. У Китаї для покрівель використовували керамічну черепицю, а для оздоблення будівель – глазуровану кераміку, фарфор. У Стародавній Греції перший храм Гери в Олімпії (VI ст. до н.е.) мав дах із черепиці та прикраси з теракоти. Із керамічної цегли У Стародавньому Римі будували 3...4-поверхові будинки, а також арки та мости.

На території України знайдені вироби з кераміки, що датуються 3...2 тис. р. до н.е., а також збереглися історичні пам'ятники Київської Русі X...XI ст. (залишки Десятинної церкви, Золотих воріт, Софійський Собор), які були збудовані з використанням керамічної цегли та керамічних плиток для підлоги.

Довговічність і простота виготовлення керамічних матеріалів забезпечили їм одне з перших місць серед інших будівельних матеріалів. Випуск керамічної цегли становить майже половину обсягу виробництва всіх стінових матеріалів. Керамічні облицювальні плитки й досі залишаються основними матеріалами для облаштування санітарних вузлів і багатьох інших приміщень. Не втратили свого значення й керамічні матеріали для зовнішнього облицювання будівель. Висока міцність, універсальність властивостей і широкий асортимент дають змогу використовувати керамічні вироби для теплових агрегатів; у якості облицювальних матеріалів для підлог і стін; для мереж каналізації, у якості легких поруватих заповнювачів для бетонних і залізобетонних виробів тощо.

Поряд з позитивними якостями керамічні вироби мають і деякі недоліки: крихкість, їхнє виробництво доволі енергоємне й потребує використання спеціального сушильного та випалювального обладнання.

## **4.2. Класифікація керамічних матеріалів**

**За призначенням** керамічні матеріали та вироби поділяють на такі види:

- стінові (цегла, порожнисті камені);
- покрівельні (черепиця); елементи перекриттів;
- вироби для облицювання фасадів (лицьова цегла та камені, плитки фасадні, килимово-мозаїчні плитки);
- вироби для внутрішнього облицювання (глазуровані плитки та фасонні

деталі до них – карнизи, кутники, пояски);

– заповнювачі для бетонів (керамзит, аглопорит);

– теплоізоляційні вироби (діатомітові, трепельні, перлітобентонітові вироби, ніздрювата кераміка);

– вироби для підлог і дорожніх покриттів (плитки для підлог, дорожня цегла);

– санітарно-технічні вироби (умивальники, унітази, ванни, труби);

– кислототривкі вироби;

– вогнетривкі вироби.

**За видом поверхні** керамічні матеріали та вироби поділяють на: глазуровані та неглазуровані; однокольорові, багатокольорові та з малюнком; із гладенькою поверхнею та рельєфні.

**За структурою** черепка керамічні матеріали та вироби поділяють на поруваті й щільні. До поруватих відносять матеріали та вироби з водопоглиненням більше 5% за масою. Це стінові вироби, черепиця, облицювальні плитки для стін, теплоізоляційні вироби, заповнювачі для бетонів, санітарно-технічні вироби. На зламі вони мають землистий вигляд, непрозорі, при ударі видають глухий звук.

До щільних матеріалів відносять ті, що мають водопоглинення за масою менше 5%. Це плитки для підлог, дорожня цегла, фарфорові вироби. Вони мають блискучий злом, гладеньку поверхню, при ударі видають чистий дзвінкий звук.

**За способом формування** керамічні матеріали поділяють на матеріали, одержані пластичним формуванням, напівсухим пресуванням або лікерним способом.

**За температурою** плавлення кераміку підрозділяють на:

- легкоплавку ( $T_{пл}$  нижче  $1350^{\circ}C$ );

- тугоплавку ( $T_{пл}$   $1350...1580^{\circ}C$ );

- вогнетривку ( $1580...2000^{\circ}C$ );

- вищої вогнетривкістю (більше  $2000^{\circ}C$ ).

#### **4.3. Сировина для виробництва керамічних матеріалів**

Основною сировиною для виробництва кераміки є глини й каоліни. Для

поліпшення технологічних властивостей глини, а також надання готовим виробам певних фізико-механічних властивостей використовують непластичну сировину (плавні, спіснювальні, поротвірні та пластифікуючі добавки).

**Глиниста сировина** є продуктом механічного руйнування вивержених польовошпатових гірських порід, що містить частки глини, кварцу, слюди та інших мінералів, що не розклалися. Глинисті частки мають пластинчасту форму, тому при змішуванні з водою утворюється легко формована пластична маса. Придатність глинистої сировини для виробництва того чи іншого виду кераміки з технологічної точки зору оцінюється його властивостями: *пластичністю, повітряною і вогневою усадкою, вогнетривкістю, вологоємністю, набряканням, розмоканням, тиксотропним зміцненням*. Вказані технологічні характеристики значною мірою пов'язані з хімічним і речовинним складом сировини.

**Хімічний склад** глин включає глинозем  $Al_2O_3$ , кремнезем  $SiO_2$ , оксид заліза  $Fe_2O_3$ , оксид кальцію  $CaO$ , оксиди натрію, магнію і калію. Зі збільшенням вмісту  $Al_2O_3$  підвищується пластичність і вогнетривкість глин, а з підвищенням вмісту  $SiO_2$  пластичність глини знижується, збільшується пористість, знижується міцність виробів.

**Речовинний склад** включає глинисту речовину, добавки та домішки.

Чим більше в глинистій сировині глинистих часток, тим вище пластичність і повітряна усадка глин. Залежно від цього глини підрозділяють на:

- **високопластичні** – вміст глинистих часток 80...90%;
- **помірнопластичні** – 30...60%;
- **малопластичні** – 5...30%;

З метою надання необхідних властивостей як глинам, так і виробам з них до складу глиняної сировини вводять добавки.

**Спіснювальні** добавки вводять у пластичні глини, щоб знизити пластичність і зменшити повітряну та вогневу усадку за рахунок меншої водопотреби формувальної суміші, а також для запобігання деформаціям і тріщинам у виробках. До них відносять: шамот, золи, кварцовий пісок, гранульований шлак.

**Поротвірні** добавки вводять у сировинну суміш для отримання легких

керамічних матеріалів з підвищеною пористістю. До них відносяться: магнезит, крейда, доломіт, які під час випалювання виділяють CO<sub>2</sub>, а також вигораючі добавки-деревні обпилювання, вугільний порошок, торф'яний пил.

**Плавні** сприяють зниженню температури випалу виробів і підвищують щільність матеріалу. Функції плавнів виконують польові шпати, залізна руда, доломіт, магнезит, тальк тощо.

**Пластифікуючі** добавки сприяють підвищенню пластичності маси й поліпшенню її здатності до формування при отриманні виробів. До них належать високопластичні глини, бентоніти, а також поверхнево-активні речовини типу лінгосульфонафту.

#### **4.4. Матеріали для декорування (глазур, ангоби, керамічні фарби)**

Отримання черепка потрібного кольору й структури здійснюється різними методами, в тому числі: покриттям готових виробів ангобами, глазурями, емалями, керамічними фарбами.

**Ангоб** виготовляють з білої або кольорової глини і наносять на поверхню невипаленого керамічного виробу тонким шаром (0,2...0,3 мм) у вигляді водної суспензії. При випалюванні ангоб не розплавляється і надає виробу матову поверхню.

**Глазур (полива)** – це склоподібне покриття (0,1...0,2 мм), яке наносять на поверхню керамічного виробу і закріплюють випалюванням. Глазур знижує водопроникність, підвищує міцність та атмосферостійкість керамічних виробів.

Склади глазури можуть бути різноманітними, але в усіх випадках вони містять не менше 85...90% кремнезему та оксиду алюмінію.

#### **4.5. Загальна схема технології виробництва керамічних матеріалів**

Технологія виготовлення керамічних виробів, незважаючи на різноманітність асортименту, що випускається за властивостями, формами і призначенням є загальною й включає наступні технологічні етапи: добування сировинних матеріалів, підготовка керамічної маси (шихти), формування виробів (сирцю),

сушіння , випалювання.

**Підготовка глини і формування** залежно від виду виготовленої продукції, виду й властивостей сировини здійснюється такими способами:

– **пластичне формування** застосовують тоді, коли глиниста сировина волога, пухка, добре розмокає у воді. Для цього використовують легкоплавкі середньо- та помірнопластичні глини, що містять 40...50% піску. Формування виробів при вологості 18...28% здійснюється на стрічкових пресах, які бувають вакуумними й безвакуумними.

– **напівсухий** спосіб виробництва припускає формування керамічних виробів із шихти вологістю 8...12% при тиску 15...40 МПа. Зазначений спосіб має ряд переваг: вироби мають більш правильну форму й точні розміри, до 30% скорочуються витрати палива, допускається використання малопластичних глин з більшим вмістом відходів промислового виробництва. Пресування виробів виконують у пресформах на гідравлічних пресах. Напівсухий спосіб пресування використовується для виготовлення усіх видів виробів;

– **сухий** спосіб є різновидом напівсухого виробництва керамічних матеріалів. Прес-порошок при цьому способі має вологість 2...6%. Усувається операція сушіння відформованого виробу. Цим способом виготовляють щільні керамічні вироби-плитки для підлог, дорожня цегла;

– **шлікерний** спосіб застосовується для виготовлення керамічних виробів складної конфігурації. Виливок виробів виконують з маси вмістом води 40%. Цим способом виготовляють санітарно-технічні вироби, лицювальну плитку.

**Сушіння виробів.** Перед випалом вироби висушують до вмісту вологи 5...6% у тунельних і камерних сушарках протягом 72-х годин, температура теплоносія 120-150°C. Вказана технологічна операція необхідна, щоб уникнути нерівномірної усадки, скривлень і розтріскування виробів при випалі.

**Випалювання виробів** – найбільш важлива й завершальна стадія виготовлення керамічних виробів. У процесі випалу під дією температури в сировинній суміші відбуваються складні фізико-хімічні перетворення. Так, при нагріванні сирцю до 120°C видалається фізично зв'язана вода й керамічна маса

стає непластичною. У більш високій температурній зоні – від 450°C до 600°C відбувається виділення хімічно зв'язаної води, глинисті мінерали розкладаються на окремі оксиди. При подальшому збільшенні температури вигорають органічні домішки й керамічна маса втрачає свою пластичність. Формування міцності майбутнього черепка починається при 800°C завдяки протіканню твердофазових реакцій. У процесі нагрівання від 1000°C до 1200°C відбувається вогнева усадка виробу й спікання (залежно від виду глини усадка становить 2...8%). Інтервал температур випалу лежить у межах: від 900°C до 1100°C для цегли, каменю, керамзиту; від 1100°C до 1300°C для клінкерної цегли, плиток для підлог; від 1300°C до 1800°C для вогнетривкої кераміки.

## **4.6. Керамічні матеріали та вироби**

### **4.6.1. Стінові керамічні матеріали**

*Керамічну цеглу і камені* виготовляють із легкоплавких глин з добавками й без, застосовують для кладки зовнішніх і внутрішніх стін, для виготовлення стінових панелей і блоків. Цегла має такі розміри: одинарна – 250×125 мм; потовщена – 250×120×88 мм; модульна – 288×138×63 мм, модульна потовщена – 288×138×88 мм. Камені виготовляють таких розмірів: 250×120×138 мм (звичайний); 288×138×138 мм (модульний); 288×288×88 мм (модульний укрупнений); 250×250×120 мм (укрупнений з горизонтальним розташуванням пустот).

Цегла і камені можуть бути пустотілими (рис. 4.1).

**За щільністю в сухому стані** цегла й камені підрозділяють на три групи:

- *звичайні* – з щільністю більше 1600 кг/м<sup>3</sup>;
- *умовноефективні* – з щільністю більше 1400...1600 кг/м<sup>3</sup>;
- *ефективні* – з щільністю не більше 1400...1450 кг/м<sup>3</sup>.

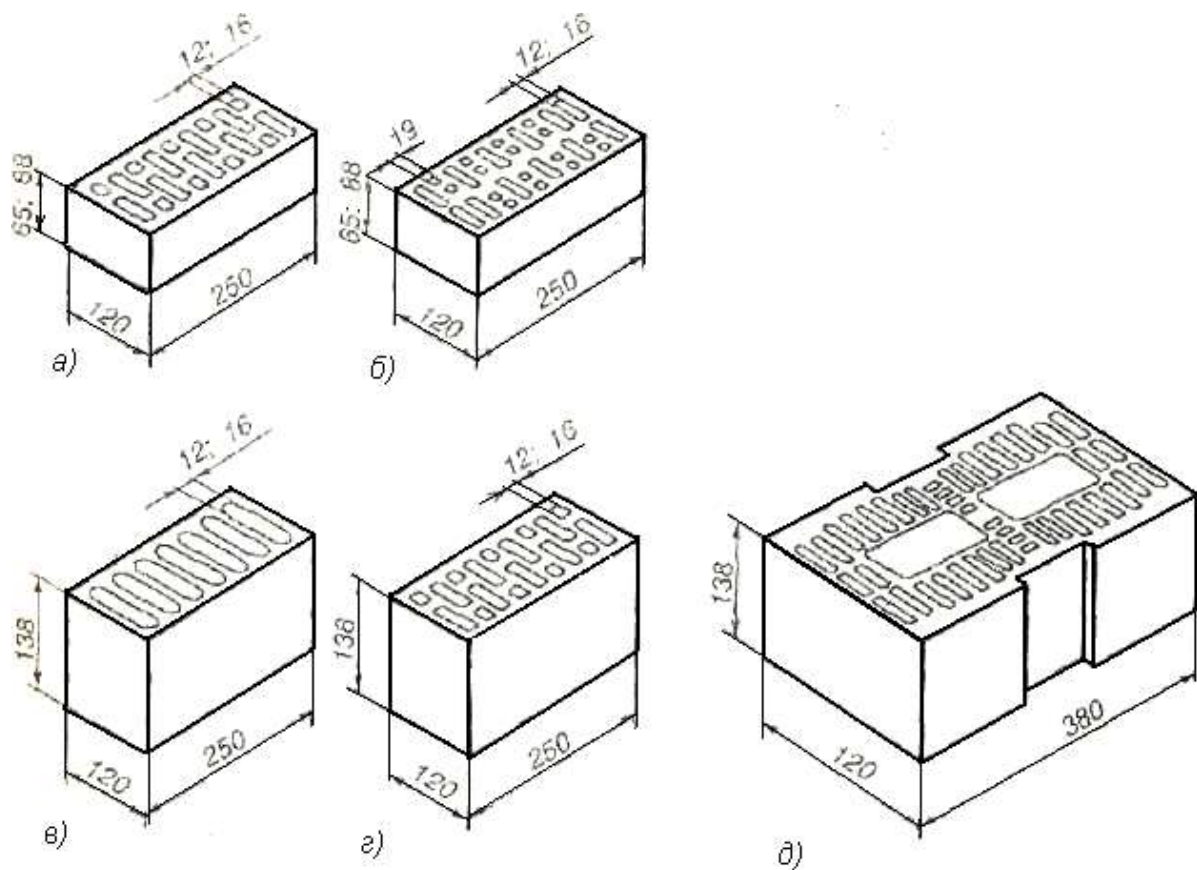


Рис. 4.1. Цегла і камені керамічні:

а – цегла з 18-ма пустотами (пустотність 27 і 36%); б – цегла з 28-ма пустотами (пустотність 32 і 42%); в – камінь із 7-ма пустотами (пустотність 25 і 33%); г – з 18-ма пустотами (пустотність 27 і 36%) ; д – укрупнений камінь для кладки стіни в «один камінь» (пустотність 45%).

Застосування ефективних стінових керамічних матеріалів дозволяє зменшити товщину зовнішніх стін, знизити матеріалоемність конструкцій до 40% скоротити транспортні витрати й навантаження на основу.

Керамічну цеглу, залежно від границі міцності при стиску та згині, а камені – тільки при стиску, поділяють на такі марки: М 75, М 100; М 125; М 150; М 175 ; М 200; М 250; М 300.

За морозостійкістю керамічну цеглу і камені поділяють на марки: F 15; F 25; F 35; F 50.

#### 4.6.2. Вироби для облицювання фасадів

*Цегла й камені облицювальні* є оздоблювальними й конструктивними несучими елементами, що працюють у цегельній кладці разом зі звичайною

цеглою. Облицювальна цегла і камені призначені для мурування і одночасного облицювання зовнішніх стін будівель і споруд, тому мають дві лицьові поверхні. **Облицювальні** цегли й камені випускають тих же розмірів і форм, що й звичайні. Залежно від меж міцності при стиску та згині поділяють на наступні марки: М75; М100; М125; М150. Через підвищену щільність морозостійкість облицювальної цегли становить від 25 до 30 циклів. Регулювання складу сировини й режиму випалу дозволяє випускати вироби від кремового до коричневого кольорів. Достоїнством облицювальної цегли є підвищена атмосферостійкість, однорідність забарвлення і чіткість граней. Залежно від форми та призначення їх ділять на *рядові* (гладка частина стіни) й *профільні* (карнизи, тяги, пояси).

Для офактурення поверхні облицювальних цеглин і каменів використовують ангобування, глазурування і торкретування кольоровою крихтою. Облицювання стін будівель із керамічної цегли і каменів лицьовальними виробами – найефективніший вид оздоблення, оскільки воно виконується одночасно з рядовою кладкою, а облицювальні вироби, крім декоративних функцій, виконують і конструктивні функції стіни.

**Керамічні фасадні плитки** («плинк») виготовляють квадратної або прямокутної форми довжиною з різними координаційними розмірами (від 50×50 до 300×150 мм, завтовшки 7 і 9 мм. Випускаються із глазурованою і неглазурованою, гладкою та рельєфною, одно- або багатокольоровою поверхнею. Застосовують для облицювання фасадів і цоколів, підземних переходів.

#### **4.6.3. Плитки для внутрішнього облицювання**

**Керамічні плити для внутрішнього облицювання** використовуються для облицювання стін і для покриття підлог. Ці вироби експлуатуються всередині приміщення, тому вимоги за морозостійкістю до них не пред'являються. Стіни, облицьовані керамічною плиткою, стійкі до вологого й агресивного середовища, відповідають естетичним і санітарно-гігієнічним вимогам.

Для облицювання стін застосовують *майолікові* (одержувані із сировинної суміші каоліну, польового шпату, кварцового піску) і *фаянсові* (одержувані з

вогнетривких глин, додаючи кварцовий пісок і плавні з наступним глазуруванням) плитки. В основі класифікації плиток лежить характер поверхні (плоскі, рельєфно-орнаментовані, фактурні), вигляд типу глазури (прозорі, блискучі, матові, одноколірні, багатокольорові), форма та призначення (квадратна, прямокутна, фасонна кутова та карнизна, фасонна плінтусна та ін.) Водопоглинення плиток для внутрішньої обробки – до 16%, границя міцності при вигині – 12 МПа. Основні розміри плиток відповідно до європейського стандарту: 100×100, 108×108; 150×150; 150×75; 152×76; 200×15; 200×35; 200×50; 200×75; 200×150; 200×200; 250×200; 300×50; 300×100; 300×200; 300×300.

Для покриттів підлог застосовують *метлахські* (ДСТУ Б В.2.7-282:2011 «Плитки керамічні. Технічні умови (EN 14411: 2006, NEQ)») плитки, які володіють підвищеною щільністю і високим опором стиральним навантаженням. Підлоги з керамічних плиток водонепроникні, легко миються, довговічні, кислото- і лугостійкі. До недоліків слід віднести низький опір ударним навантаженням і високу трудомісткість настилу. Для влаштування підлог застосовують квадратні (від 150×150 мм до 500×500 мм), прямокутні (від 200×150 мм до 500×300 мм), багатогранні й фігурні (чотирьох-, п'яти-, шести- і восьмигранні) плитки.

*Плитки керамічні мозаїчні* для підлог виготовляють квадратними зі стороною 23 і 48 мм, завтовшки 6 і 8 мм. На заводі плитки лицьовим боком наклеюють на крафт – папір або картон з певним рисунком, одержуючи килими розміром 398×48 мм.

*Великорозмірні* плитки типу «керамограніт» використовують для влаштування підлог у виробничих цехах, магазинах, ресторанах, виставкових залах, лабораторіях. Виготовляють зі щільним черепком (водопоглинення менше 1%) розмірами до 1000×1000 мм, завтовшки 6...10 мм. Керамічний граніт випускають з глинистої сировини з добавкою мінеральних пігментів. Плитки формують на пресі під тиском близько 50 МПа, а потім випалюють при  $T=1250^{\circ}\text{C}$ . Отримані вироби не поступаються природному граніту за показниками міцності, зносостійкості, морозостійкості й привертають увагу будівельників, архітекторів

та дизайнерів.

#### 4.6.4. Керамічні вироби для покрівлі і перекриттів

**Керамічна черепиця** (ДСТУ Б В.2.7-28-95 «Черепиця керамічна. Технічні умови. Зміна №1») є найпоширенішим керамічним матеріалом для покрівлі як в Україні, так і в західноєвропейських країнах завдяки своїй екологічній чистоті та довговічності (до 300 років), вогнестійкості, стійкості до атмосферних впливів. Черепицю виробляють з легкоплавких глин широкої колірної гами (від блакитного до чорного) Морозостійкість черепиці повинна бути не менше 25 циклів.

До недоліків відносять крихкість, трудомісткість монтажних робіт, велику вагу 1 м<sup>2</sup> (40...80 кг). Застосовують керамічну черепицю на крутих покрівлях з ухилом не менше 30°. Різновиди керамічної черепиці представлені на рис. 4.2.

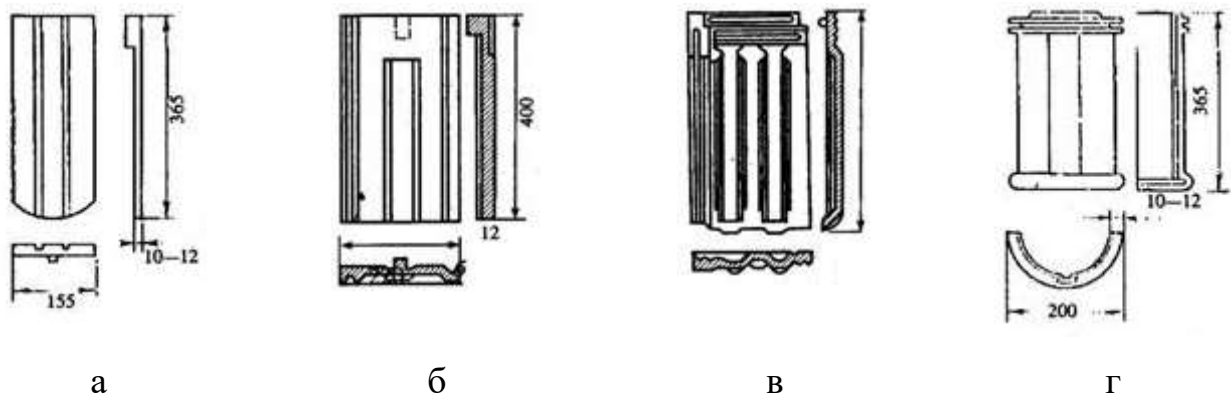


Рис. 4.2. Види глиняної черепиці: а – стрічкова плоска; б – стрічкова пазова; в – штампувальна пазова; г – конькова

#### 4.6.5. Санітарно-технічна кераміка і керамічні вироби спеціального призначення

**Вироби санітарні керамічні** – раковини, умивальники, унітази, зливальні бачки та ін. Ці вироби виготовляють з фарфору й фаянсу. Сировиною є біловипалювальні глини, каоліни, кварц і польовий шпат, у різних співвідношеннях табл. 4.1.

Таблиця 4.1

## Склад сировини для виробів санітарно-технічної кераміки

Складові	Вміст, % за масою		
	У фаянсі	У напівфаянсі	У санітарно-технічному фарфорі
Біловипалювальні вогнетривкі глини та каоліни	55...60	48...50	45..50
кварц	40...50	40...45	30...35
польовий шпат	5...10	7..12	18...22

Основні технічні характеристики санітарно-технічної кераміки наведені в табл. 4.2. Вони показують, що вироби з фаянсу мають пористість, а з фарфору – щільний, сильно спечений черепок. Середня щільність напівфарфору є проміжною за значенням між фаянсом і фарфором.

До групи санітарно-технічних керамічних виробів відносять дренажні й каналізаційні труби. Дренажні труби застосовують у меліоративному будівництві, для безнапірних мереж каналізації, що транспортують промислові, побутові, дощові, агресивні й неагресивні води.

Таблиця 4.2

## Фізико-механічні властивості санітарно-технічної кераміки

Властивості	Фарфор	Напівфарфор	Фаянс
Водопоглинання, %	0,2...0,5	3...5	10...12
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	2250...2300	2000...2200	1900...1960
Границя міцності при стиску, МПа	400...500	150...200	100
Границя міцності при згині, МПа	70...80	38...43	15...30

До спеціальних видів кераміки належить цегла для димарів, клінкерна дорожня цегла, кислототривкі вироби.

**Контрольні запитання**

1. Що таке керамічні матеріали та вироби?
2. Які основні властивості кераміки визначають її застосування в будівництві?
3. Які переваги та недоліки мають керамічні матеріали порівняно з іншими?

4. Як поділяють кераміку за пористістю (щільна, пориста, вогнетривка, легка)?
5. Які основні види будівельної кераміки ви знаєте (цегла, блоки, плитка, труби)?
6. Які існують спеціальні керамічні вироби (кислототривка, теплоізоляційна, електротехнічна)?
7. Які сировинні матеріали використовують для отримання кераміки?
8. Що таке формувальні, вогнетривкі, легкоплавкі та тугоплавкі глини?
9. Які допоміжні матеріали додають у керамічну масу і з якою метою (пісок, шамот, плавні, барвники)?
10. Які види, властивості та засоби виробництва керамічної цегли вам відомі?
11. Наведіть класифікацію керамічних матеріалів за призначенням, структурою черепка та видом поверхні.
12. Наведіть характеристики стінових керамічних виробів.
13. Наведіть характеристики керамічних виробів для облицювання фасадів та внутрішнього облицювання.
14. Що таке черепок керамічного виробу і як він формується?
15. Які фізико-механічні властивості кераміки (міцність, морозостійкість, водопоглинання, теплопровідність)?
16. Як колір і структура черепка пов'язані з властивостями та сировиною?
17. Як пористість впливає на теплоізоляційні властивості кераміки?
18. Які основні етапи технологічного процесу виготовлення керамічних виробів?
19. У чому полягає різниця між пластичним і напівсухим формуванням виробів?
20. Для чого проводять сушіння керамічних виробів перед випалом?
21. Що відбувається з керамічною масою під час випалу?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Розглянути питання про довговічність кераміки та способи її підвищення.
2. Ознайомитися з методиками визначення технічних характеристик керамічних матеріалів.

**ТЕМА 5**  
**МІНЕРАЛЬНІ РОЗПЛАВИ ТА ВИРОБИ НА ЇХ ОСНОВІ І**  
**МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ**

**План:**

- 5.1. Загальні відомості
- 5.2. Основи виробництва скла
- 5.3. Властивості скла та скловиробів
- 5.4. Різновид скляних виробів
- 5.5. Ситали, шлакоситали та ситалопласти
- 5.6. Матеріали та вироби із кам'яного литва
- 5.7. Металеві матеріали
  - 5.7.1. Загальна характеристика металів
  - 5.7.2. Основні властивості металів
  - 5.7.3. Фізико-хімічні основи отримання чорних металів і сплавів на їх основі
  - 5.7.4. Класифікація та характеристика чавунів
  - 5.7.5. Класифікація вуглецевих сталей
  - 5.7.6. Вироби зі сталі
  - 5.7.7. Кольорові метали та сплави й матеріали на їх основі

**5.1. Загальні відомості**

Як галузь прикладного мистецтва виробництво виробів із скла було особливо розвинуте в Древньому Єгипті, Сирії, Фінікії, Китаї. Винахід складувного способу в середині I століття до н.е. у Сирії, а також підвищення температури варіння скла дозволили одержувати прозорі й тонкостінні вироби. Особливо високого розвитку виготовлення скляних виробів досягло у Венеції XVI ст., потім у Богемії і Англії XV ст.(кришталь), у Франції кінця XIX ст.(напівпрозоре кольорове скло). На Русі склоробство було розвинуте ще в домонгольську епоху, але потім це виробництво було забуте. Розвиток науки і техніки в XVIII сторіччі привів до розвитку виробництва виробів з мінеральних розплавів широкої номенклатури, з різними

властивостями і призначенням.

Спільною ознакою будівельних матеріалів і виробів із мінеральних розплавів є силікатна основа, тобто в їх складі переважає оксид силіцію  $\text{SiO}_2$  та сполуки на його основі – силікати.

Сировиною для силікатних розплавів є поширені гірські породи (піски, глини, базальти, діабазы, граніти, гнейси, сієніти, сланці, серпентини тощо), побічні продукти й відходи промисловості – вторинні ресурси (металургійні шлаки, золи та шлаки ТЕС, склобій). Характерною особливістю силікатних розплавів є здатність при швидкому охолодженні переходити у склоподібний стан – аморфний різновид твердого стану.

Залежно від виду вихідної сировини розрізняють матеріали та вироби на основі скляних, кам'яних і шлакових розплавів. При введенні до силікатного розплаву спеціальних добавок (кристалізаторів) і виборі відповідного режиму термічної обробки можна одержати склокристалічні матеріали (ситали, шлакоситали).

*Склом* називають аморфні тіла, одержувані шляхом переохолодження розплавів, що володіють у результаті поступового збільшення в'язкості механічними властивостями твердих тел.

До ознак склоподібного стану речовини відносять: відсутність чітко вираженої температури плавлення, гомогенність та ізотропність. У будівництві застосовують винятково силікатне скло, умовний склад якого залежно від виду і призначення містить оксиди (у % за масою):  $\text{SiO}_2$  – 64...73,  $\text{Na}_2\text{O}_3$  – 10...15;  $\text{C}_2\text{O}$  – 0...5;  $\text{CaO}$  – 2,5...26,5;  $\text{Mg}$  – 0...4,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0...7,2;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0...0,4;  $\text{SO}_3$  – 0...0,5;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 0...5.

Варіювання вмісту зазначених оксидів у складі скломаси дозволяє прискорити процес варіння скла, знизити температуру плавлення, надати блиск, поліпшити світлопропускання, підвищити хімічну стійкість та інші експлуатаційні характеристики скла.

## 5.2. Основи виробництва скла

**Скло** – універсальний і дивовижний матеріал. Його виробництво базується на складній послідовності технологічних операцій, параметри яких в першу чергу залежать від сировинних матеріалів, що входять до складу шихти.

Сировинні матеріали для виробництва скла умовно поділяють на основні та допоміжні (табл. 5.1).

Основні матеріали містять оксиди, які утворюють структуру скла й визначають його властивості. Так, оксид  $\text{Na}_2\text{O}$  прискорює процес варіння, знижуючи температуру плавлення, але зменшує хімічну стійкість скла. Оксид  $\text{CaO}$  підвищує хімічну стійкість, оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$  підвищує міцність, термічну та хімічну стійкість, оксид  $\text{PbO}$  підвищує показник світлозаломлення.

Допоміжні матеріали вводять для покращення реологічних характеристик скломаси, прискорення її варіння, забарвлення, освітлювання, сприяння кристалізації тощо.

Таблиця 5.1

Сировинні матеріали для виробництва скла

Групи матеріалів	Назва
<b>Основні матеріали</b>	
– кремнеземисті, що містять $\text{SiO}_2$ , 55...75 мас. %;	кварцовий пісок, мелений пісок і кварцити;
– глиноземисті, що містять $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2...25 мас. %;	технічний оксид алюмінію, гідроксид алюмінію, польові шпати, пегматити, каолін, граніт, вулканічний попіл;
– лужноземельні, що містять $\text{Na}_2\text{O}$ та $\text{K}_2\text{O}$ до 15 мас. %	сода, поташ, сульфати лужних металів;
<b>Допоміжні матеріали</b>	
– модифікатори для надання склу спеціальних властивостей;	оксиди свинцю, барію, цинку, цирконію, титану, фосфору;
– освітлювачі	селітра, хлорид натрію

Сировинні матеріали можуть застосовуватися як у вигляді природної сировини, так і у вигляді відходів хімічної, металургійної, гірничодобувної промисловості.

Технологія виготовлення скла та виробів на його основі передбачає такі

операції та процеси: підготовку сировинних матеріалів, приготування скляної шихти, скловаріння, формування зі скломаси матеріалів та виробів, механічну, термічну та хімічну обробку виробів для підвищення експлуатаційних властивостей.

Підготовка включає подрібнення та розмелювання крупних шматків, сушіння вологих матеріалів, класифікацію дисперсних матеріалів.

Приготування скляної шихти починається з усереднення, дозування та перемішування компонентів.

Скловаріння здійснюється в печах безперервної (ванні печі) і періодичної (горшкові печі) дії.

Процес варіння скла складається з п'яти етапів: силікатоутворення, склоутворення, освітлення, гомогенізації й охолодження.

На першому етапі утворюються силікати та інші проміжні сполуки, і внаслідок плавлення евтектичних сумішей з'являється рідка фаза. Утворені в шихті силікати разом із рідкою фазою та компонентами, що не прореагували, спікаються в щільну масу. Процес силікатоутворення зазвичай розпочинається за температури майже  $725^{\circ}\text{C}$  і завершується майже при  $1150^{\circ}\text{C}$ .

Із подальшим підвищенням температури в розплаві завершуються реакції силікатоутворення, відбувається взаємне розчинення силікатів і надлишкового кремнезему, внаслідок чого утворюється скломаса, насичена газовими бульбашками. Процес склоутворення зазвичай завершується за температури майже  $1250^{\circ}\text{C}$ .

Освітлення та гомогенізація скломаси відбуваються майже в одному інтервалі температур. З цією метою скломасу нагрівають до температури  $1150\text{...}1600^{\circ}\text{C}$ . З підвищенням температури різко знижується в'язкість розплаву, й, відповідно, полегшується видалення газових бульбашок.

Процес скловаріння завершується охолодженням скломаси на  $300^{\circ}\text{C}$ , внаслідок чого вона набуває в'язкості, необхідної для формування виробів (витягування, прокатування, пресування, лиття тощо).

**Формування** виробів здійснюється різними методами, зокрема

вертикальним і горизонтальним витягуванням, прокатуванням, способом плаваючої стрічки (флоат – спосіб), пресуванням, видуванням тощо.

Спосіб плаваючої стрічки є найбільш досконалим із всіх способів, відомих на цей час. Він дозволяє виготовляти скло з високою якістю поверхні. Особливістю цього способу є те, що процес формування стрічки перебігає на поверхні розплавленого олова. Нижня поверхня скла виходить рівною за рахунок контакту з розплавленим металом, а верхня – завдяки дії сил поверхневого натягу скломаси. Після формування поверхня листового скла не потребує подальшого полірування.

**Відпалювання** – обов’язкова операція під час виробництва виробів. При швидкому охолодженні у виробах виникають великі внутрішні напруження, які можуть призвести до їхнього саморуйнування.

**Гартування** – ця операція застосовується для підвищення фізико-механічних характеристик скла і здійснюється доведенням скла до пластичного стану з подальшим різким охолодженням його поверхні.

Крім гартування, для покращення механічних властивостей застосовують травлення з наступним покриттям плівками, електрохімічну обробку поверхні, мікрокристалізацію.

Заключна стадія обробки включає операції шліфування, полірування, декоративної обробки.

### **5.3. Властивості скла та скловиробів**

Структура скла зумовлює низку його властивостей, у тому числі прозорість, міцність, стійкість до атмосферних впливів, водо- та газонепроникність.

Найбільш важливими для скла є не тільки оптичні властивості, але й механічні, оскільки його використання є багатоцільовим.

Оптичні властивості скла характеризуються прозорістю, світлопроникністю, світлопоглинанням, світловідбиванням, світлорозсіюванням тощо. Звичайні віконні стекла пропускають видиму частину світлового спектра й не пропускають інфрачервоних та ультрафіолетових променів. Світлопроникнення вимірюють

коефіцієнтом пропускання, який визначається відношенням кількості світлової енергії, що пройшла крізь скло, до повної його енергії. Світлопропускання віконного скла при товщині 5 мм становить 84...87% і залежить не лише від виду скла, а й кута падіння світлових променів.

У будівельних конструкціях скло зазнає дії розтягуючих й ударних навантажень, рідше – дії стиску, тому основними характеристиками, що визначають його якість, є міцність при розтягу та крихкість.

Теоретична міцність скла при стиску становить більше 20000 МПа, а при розтягу – 12000 МПа, фактична – значно нижча (при стиску – 500...2000 МПа, при розтягу – 35...100 МПа).

Однією з причин великої різниці між теоретичною та реальною міцністю скла є дефектність поверхні реального скла – наявність мікротріщин, що сильно послаблюють опір матеріалу впливу зовнішніх навантажень.

Вважають, що утворення поверхневих дефектів залежить від ступеня однорідності вихідної маси, способу й умов формування виробів, характеру механічної та термічної обробки, температури та вологості навколишнього середовища, тривалості дії навантаження, масштабного фактора.

Крихкість як показник деформативності є головним недоліком скла.

Щільність скла становить 2,45...2,55 г/см<sup>3</sup>, а для спеціального скла вона може досягати 8 г/см<sup>3</sup>.

Теплопровідність звичайного скла становить 0,4...0,8 Вт/(м·К), а теплоємність – 0,63...1,05 кДж/(кг·К).

Термічна стійкість. При різкому охолодженні скла поверхневі шари охолоджуються швидше внутрішніх і тому на поверхневих шарах скловиробів виникають напруження розтягу, у внутрішніх – стиску. При швидкому нагріванні виробу, навпаки, на поверхневих шарах скловиробів виникають напруження стиску, у внутрішніх – розтягу. Враховуючи, що руйнування скла починається з поверхні і міцність скла при стиску в багато разів більша за міцність при розтягу, різке охолодження скловиробів більш небезпечне, ніж швидке нагрівання. Зазвичай термостійкість скла залежить від хімічного складу, температурного

коефіцієнта лінійного розширення і товщини виробів.

Скло має значну щільність і водночас високу звукоізоляційну здатність. За цим показником скло завтовшки 1 см відповідає цегляній стіні завтовшки 12 см.

Хімічна стійкість скла залежить від його хімічного складу. Оксиди елементів I групи найбільш вагомо знижують водостійкість скла. Найбільший вплив на підвищення хімічної стійкості проти води мають оксиди IV групи елементів:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ . Силікатне скло має високу стійкість до більшості розчинів кислот, за винятком  $\text{HF}$  та  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

#### 5.4. Різновид скляних виробів

*Листове віконне скло* виробляється товщиною від 2,0 до 6,0 мм, максимальними розмірами залежно від товщини – від 1000×1600 мм до 400×500 мм. Може бути полірованим, неpolірованим, неpolірованим поліпшеним. Світлопропускання складає 84...89%. Маса 1 м<sup>2</sup> – 2...5 кг. У табл. 5.2 наведено розподіл віконного скла за марками й областю застосовування.

Таблиця 5.2

Марки листового скла

Марка скла	Товщина, мм	Умовна назва	Рекомендована область застосування
1	2	3	4
M1	2...6	Дзеркальне поліпшене	Виготовлення високоякісних дзеркал, вітрових стекол легкових автомобілів
M2	2...6	Дзеркальне	Виготовлення дзеркал загального призначення, безпечних стекол транспортних засобів
M3	2...6	Технічне поліроване	Виготовлення декоративних дзеркал, безпечних стекол транспортних засобів
M4	2...6	Віконне поліроване	Високоякісне скління світлопрозорих конструкцій
M5	2...6	Віконне неpolіроване	Скління світлопрозорих конструкцій, безпечних стекол для сільськогосподарських машин
M6	2...6	Те саме	Скління світлопрозорих конструкцій
M7	6,5...12	Вітринне поліроване	Високоякісне скління вітрин, вітражів
M8	6,5...12	Вітринне неpolіроване	Скління вітрин, вітражів, ліхтарів

**Вітринне скло** застосовується для застелення вітрин, вікон цивільних будівель. Виробляється двох марок: М7 – поліроване, М8 – неpolіроване, товщиною 6,5...12 см, розмірами до 3000×6000 мм.

**Скло листове візерункове** виготовляється прокатним способом, на одній або на обох сторонах має рельєфний візерунок. Застосовується для декоративного застелення віконних і дверних прорізів, внутрішніх перегородок, критих веранд. Може бути кольоровим і безбарвним.

**Армоване листове скло** відрізняється підвищеною міцністю і вогнестійкістю за рахунок армування звареною або крученою сіткою зі сталевого дроту. Може мати гладку, рифлену і візерункову поверхню. Застосовується для влаштування світлових прорізів, ліхтарів верхнього світла та ін. Світлопропускання безбарвного армованого скла складає 65...75%.

**Увіолеве скло** (від лат. Ultra – за межами та viola – фіолетовий колір), скло, пропускає ультрафіолетове випромінювання застосовують для застелення оранжерей і прорізів у дитячих і лікувальних закладах. Пропускає 25...75% ультрафіолетових променів. Такі особливості скла обумовлюють сировинні компоненти з мінеральним вмістом домішок оксидів заліза, титану і хрому.

**Триплекс** (багатошарове скло) при ударі не дає осколків, тому що складається з декількох листів скла, міцно склеєних між собою полівінілбутерольною плівкою. Товщина триплексу становить не менше 9 мм, а маса 1 м<sup>2</sup> – близько 20 кг. Світлопроникнення триплексу залежно від типу й товщини скла становить 69...78%. Може бути армованим і неармованим.

**Теплопоглинаюче скло** захищає інтер'єри будинків від впливу прямого сонячного випромінювання, зменшує сонячну радіацію і нагрівання сонцем приміщень. Як правило, теплопоглинальні стекла мають блакитний, сірий або бронзовий відтінки, тому що до складу скломаси на стадії виробництва вводять оксиди кобальту, заліза, селенів.

**Тепловідбиваюче скло** одержують нанесенням на поверхню тонких плівок металів та їх оксидів. Світлопропускання такого скла 30...70%. Застосовується для нагрівання приміщень від сонячних і теплових променів. У процесі

експлуатації саме скло не нагрівається, тому що велика частина інфрачервоних променів у таких стеклах не поглинається.

**Електропровідне скло** використовується як джерело тепла і застосовується в будівництві для виготовлення склопакетів. Електропровідне прозоре покриття (тонка плівка солей металевого срібла) напилюванням наноситься на поверхню скла і забезпечує обігрів і запобігання запотіванню.

**Блоки скляні пустотні** являють собою герметичні скляні коробки з гладкою або ребристою зовнішньою поверхнею. Крім гарної світлопропускнуої здатності мають добрі тепло- та звукоізоляційні властивості. Застосовуються для влаштування зовнішніх і внутрішніх огорожень. Випускають таких типорозмірів: 194×194 мм, 244×244 мм, завтовшки 98 мм і 244×244 мм завтовшки 75 мм. Світлопропускання становить 50...65%.

**Склопакети** (ДСТУ Б В.2.7-110-2001 «Скло загартоване будівельне. Технічні умови (ГОСТ 30698-2000)») застосовуються для скління вікон, вітрин, дверей. Це вироби, що складаються з декількох листів світлопропускнуго скла, з'єднаних між собою по контуру. У такий спосіб утворюється герметичний замкнутий прошарок, заповнений сухим повітрям або газом. Склопакети можуть бути звичайними, світлорозсіювальними, зміцненими, безосколковими, сонцезахисними, звукоізоляційними, електроопалювальними. Достоїнством склопакетів є гарна тепло- и звукоізоляція, а також гігієнічність. Випускають склопакети таких розмірів: довжина 400...2550 мм, ширина 400...2950 мм, товщина до 46 мм. Відстань між стеклами у двошарових склопакетах становить 9, 12, 15 мм, у тришарових 9 і 12 мм. Основні фізичні властивості склопакетів наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Фізичні властивості склопакетів

Показник	Склопакет з повітряним прошарком, мм			
	з 2-х стекол		з 3-х стекол	
	15	20	15	20
Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м <sup>2</sup>	3,13	2,72	1,97	1,74
Світлопропускання, %	70	70	60	60
Звукоізолююча здатність при частоті 550 Гц, дБ	40...45	40...45	48...55	48...55

**Труби скляні** використовують для транспортування рідини, газів і твердих речовин при температурі від  $-50$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . Застосовують для напірних, безнапірних і вакуумних трубопроводів. Їх застосування обмежене крихкістю і недостатньою термостійкістю виробів.

**Кольорове листове скло** являє собою листи, головним чином бронзового кольору, зі світлопропусканням  $1,5\dots 2\%$ . Забарвлення поверхні скла здійснюється електрохімічним способом. Кольорові стекла мають в основному декоративне призначення і застосовуються для застосування вікон, дверей, виготовлення і влаштування вітражів.

**Скломармур (марблін)** являє собою виріб з кольорового глушеного скла, що має мармуроподібне фарбування, поліровану лицьову і рифлену тильну сторони. Застосовується для декоративного захисного облицювання стін будинків, покриття підлог, оформлення інтер'єрів, антикорозійного захисту будівельних конструкцій.

**Піноскло** – штучний матеріал, отриманий спучуванням розмеленого скла, невеликої кількості деревного вугілля або вапняку, інших матеріалів, що виділяють гази при температурі розм'якшення скла. Піноскло застосовується в конструкціях як тепло- і звукоізолятор. Виготовляють у вигляді блоків і гранул, щільність –  $100\dots 700\text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності –  $0,04\dots 0,15\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ .

**Скляне волокно** у вигляді ниток, тканин, полотен широко застосовується для виробництва композиційних матеріалів (склопластики, склотекстоліт, склоруберойд та інші гідроізоляційні й покрівельні матеріали), виконуючи в них функції зміцнювача. Діаметр скловолокна –  $5\dots 15\text{ мкм}$ , міцність при розтягу досягає  $4000\text{ МПа}$ .

## **5.5. Ситали, шлакоситали та ситалоласти**

**Ситали** – це склокристалічні матеріали, отримані зі скляних розплавів шляхом їх повної або часткової кристалізації.

Технологія виробництва ситалів аналогічна технології виробництв скла, однак передбачається додаткова термічна обробка в кристалізаторі. На відміну від

скла об'єм кристалічної фази в ситалах досягає 90...95%. Така структура будови забезпечує ситалам позитивні властивості скла, підвищує міцність при згині та теплостійкість, робить ситали менш крихкими, ніж скло. Твердість ситалів наближається до твердості загартованої сталі, термостійкість виробів із ситалів досягає 1100°C. За зовнішнім виглядом ситали бувають сірого, коричневого, кремового кольору, глухі та прозорі. У будівництві ситали застосовують для підлог у промислових цехах, де можливі дії агресивних речовин і розплавів металів, а також рух транспорту великої вантажопідйомності.

**Шлакоситали** – різновид ситалів. Одержують шляхом керованої кристалізації скла, сировиною для виробництва якого служать металургійні шлаки, кварцовий пісок і деякі добавки. Це щільний, непрозорий матеріал, що володіє міцністю при стиску 650 МПа, щільністю – 2500...2700 кг/м<sup>3</sup>, термічною стійкістю до 750°C.

За останні десятиліття розроблені склади та технології одержання різноманітного асортименту скляних і склокристалічних матеріалів, що з успіхом застосовуються в будівництві та архітектурі, забезпечують розмаїтість інтер'єру і дизайну в складі художніх і декоративних композицій. До числа таких матеріалів відносяться: смальта, сігран, склокристаліт, склокремнезіт, стемаліт та ін.

Однак відходи склоробного виробництва, що складають у різних країнах 28...38% усіх побутових відходів становлять важливу екологічну проблему. Остання знаходить певне вирішення у промисловості будівельних матеріалів.

## **5.6. Матеріали та вироби із кам'яного литва**

**Литі кам'яні вироби** – це штучні силікатні матеріали, одержані на основі розплавлених гірських порід – базальту, діабазу, доломіту, крейди тощо.

Змінюючи умови структуроутворення, одержують матеріали різної структури: щільні, комірні та волокнисті.

Із кам'яного литва випускають вироби у вигляді плоских та вигнутих плиток, деталей жолобів, труб, штуцерів. Литі вироби світлих тонів застосовують у будівництві у якості лицювальних матеріалів, архітектурних деталей, а також в

інших галузях промисловості.

Плавлені вироби характеризуються великою середньою щільністю (2900...3000 кг/м<sup>3</sup>). Через малу пористість (до 2%) і закритий характер пор вони мають низьке водопоглинення (до 0,22%) і підвищену морозостійкість (до 500 циклів). Висока довговічність зумовлена підвищеними значеннями кислотостійкості (98,6...99,8%) та лугостійкості (до 90%). Стиранність виробів становить 0,04...0,08 г/см<sup>2</sup>, тобто в 3...5 разів менша, ніж у граніту. Границя міцності при стиску становить 230...300 МПа, при згині 30...50 МПа. Литі кам'яні вироби відрізняються діелектричними властивостями та високою термостійкістю (до 900°C).

Волокнисті матеріали виготовляють на основі мінерального волокна. У якості сировини використовують магматичні гірські породи (габро, базальт, діабаз, сієніт) або метаморфічні породи (гнейси, слюдяні сланці). Із мінеральних розплавів виготовляють мінеральну вату та вироби на її основі. Високі теплоізоляційні властивості мінеральної вати зумовлюються її малою середньою щільністю за рахунок високої пористості (93...95%). Мінеральна вата не сприяє розвитку грибів, проте, внаслідок виділення останніми органічних кислот, вона може руйнуватися. Мінеральну вату застосовують як тепло- та звукоізоляційний матеріал, а також як основу для виготовлення різних виробів (шнури, джгути, плити, циліндри, сегменти тощо).

## **5.7. Металеві матеріали**

### **5.7.1. Загальна характеристика металів**

*Металами* називають матеріали, які мають велику електро- та теплопровідність, непрозорі, здатні до значних пластичних деформацій, що дає можливість обробляти їх під тиском: прокатуванням, куванням, штампуванням, волочінням. Вони добре зварюються, працюють за низьких і високих температур.

Металічний блиск і пластичність – це основні властивості, які притаманні всім металам. Усі метали в твердому стані мають кристалічну будову. Розташування атомів (іонів) у кристалічній речовині зображують у вигляді

елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторення її відображає розташування атомів у об'ємі всієї речовини.

Кристалічна будова реальних металів і сплавів не ідеальна, тобто періодичність розташування атомів (іонів) у кристалічній ґратці порушується чисельними мікродефектами.

Під час поліморфних перетворень змінюється будова кристалічної ґратки металу та його властивості – об'єм, пластичність, здатність розчиняти в собі різні домішки тощо.

Метали та сплави поділяють на **чорні** та **кольорові**. До **чорних металів** належать залізо та сплави на його основі (чавун, сталь, феросплави), а до **кольорових** – мідь, алюміній, цинк, нікель та ін. Зазвичай, використовують не чисті метали, а їх сплави, що дає змогу підвищити властивості кінцевого продукту.

### **5.7.2. Основні властивості металів**

Особливості структури металів обумовлюють їх фізичні властивості, тобто високу щільність, твердість, тепло- та електропровідність, тугоплавкість, ковкість.

Істина щільність металів змінюється в широких межах: найлегшим є калій –  $0,86 \text{ г/см}^3$ , найважчим – осмій ( $22,5 \text{ г/см}^3$ ).

Висока електропровідність металів пояснюється наявністю вільних електронів, які переміщуються в потенціальному полі кристалічної решітки. Висока теплопровідність металів обумовлюється рухливістю вільних електронів, а висока пластичність – періодичністю їх атомної будови та відсутністю спрямованості металевого зв'язку. Наприклад, при прокатуванні залізного бруска товщиною 80...100 мм отримують дріт завтовшки 4 мм та менше.

### **5.7.3. Фізико-хімічні основи отримання чорних металів і сплавів на їхній основі**

**Чавун** – це сплав заліза з вуглецем, вміст якого становить від 2,14 до 6,67%. Його виплавляють в доменних печах. Принцип одержання чавуну в доменній печі

полягає у відновленні заліза, насиченні його вуглецем та іншими домішками – марганцем, сіркою, фосфором.

Вихідними матеріалами для виробництва чавуну є залізні руди, флюсуючі матеріали та паливо. Залізна руда – це порода, яка містить різну кількість заліза у вигляді його хімічних сполук.

У доменному виробництві застосовують такі руди: магнітний залізняк ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), що містить заліза 70%, червоний залізняк ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – до 60%, бурий залізняк ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – до 40%.

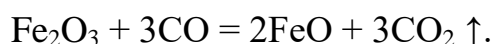
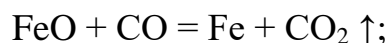
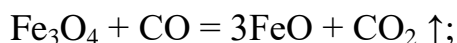
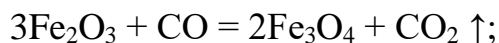
Для зниження температури плавлення пустої породи та відокремлення її від металу в доменну піч подають флюси (крейда, вапняк). Введені в шахту доменної печі флюси утворюють з пустою породою руди сплав, який відокремлюють від металу у вигляді шлаків.

У якості палива в доменному виробництві застосовують кокс.

У процесі плавлення залізної руди кокс, поєднуючись із киснем повітря, інтенсивно згоряє і утворює вуглекислий газ (II), який відновлює оксиди феруму до чистого заліза за такою схемою:



Головними реакціями відновлення є:



При цьому відновлюються й інші сполуки, що містяться в руді. За температури  $1130^\circ\text{C}$  чавун (сплав заліза з вуглецем в кількості 2,14...6,67%) розплавляється.

У процесі доменної плавки можна одержати: переробний (білий) чавун у

кількості до 90%, який використовують для виробництва сталі; ливарний (сірий) чавун – 8...15%; феромарганець і дзеркальний чавун, які використовують як домішки при виробництві сталі.

Існує декілька способів виробництва сталі, у тому числі мартенівський, конвертерний та електросталеплавильний. Виробляють киплячу, спокійну та напівспокійну сталь.

#### **5.7.4. Класифікація та характеристика чавунів**

**Білі чавуни** – це сплави, в яких вуглець знаходиться у зв'язаному стані – у вигляді цементиту. Ці чавуни мають високу твердість та крихкість і практично не обробляються ні різанням, ні тиском. Проте значна кількість цементиту обумовлює високу зносостійкість білих чавунів. Цей матеріал переробляють на сталь та сірі чавуни.

**Сірі чавуни** характеризуються наявністю в структурі вуглецю у вільному стані – у вигляді графіту пластинчастої форми. Чим більше графіту, тим нижчі механічні властивості чавуну. Ось чому кількість карбону не повинна перевищувати 3,8%, але для забезпечення ливарних якостей його повинно бути не менше 2,4%.

Сірі чавуни поділяють на сірі, високоміцні, леговані, ковкі.

Незважаючи на низькі механічні властивості, сірі чавуни мають низку позитивних якостей: низька собівартість, високі ливарні якості, добрі антифрикційні властивості, висока корозійна стійкість, жаростійкість.

**Ковкий чавун** отримують з білого тривалим відпалюванням за високих температур.

Маркують ковкі чавуни літерами КЧ, за якими вказують дві групи цифр.

Першою позначено границю міцності, другою – відносне подовження у відсотках.

Наприклад, КЧ 350-10 – ковкий чавун міцністю 350 МПа, відносне подовження складає 10%.

**Високоміцні чавуни** отримують модифікуванням, тобто перед розливанням у

рідкий чавун додають домішки магнію або церію (до 1%). За ДСТУ 3925-98 високоміцні чавуни маркують літерами ВЧ і двома групами цифр: першою позначено границю міцності при розтягу, другою – відносне подовження. Наприклад, ВЧ 800-2 – високоміцний чавун міцністю 800 МПа, відносне подовження складає 2%.

### 5.7.5. Класифікація вуглецевих сталей

Залежно від вмісту шкідливих домішок сірки та фосфору вуглецеві сталі поділяють на:

- сталі звичайної якості ( $S \leq 0,05\%$ ,  $P \leq 0,04\%$ );
- якісні сталі ( $S \leq 0,04\%$ ,  $P \leq 0,35 \dots 0,04\%$ );
- високоякісні сталі ( $S \leq 0,02\%$ ,  $P \leq 0,03\%$ ).

Вуглецеві сталі, повністю розкислені після виплавляння, називають спокійними (СП), розкислені частково – напівспокійними (ПС) і киплячими (КП).

*Спокійні сталі* кристалізуються без помітного виділення газів. Їм притаманні кращі міцнісні властивості, але вища вартість.

*Сталі звичайної якості* дешеві, їх використовують у мостобудуванні у вигляді зварних, клепаних або болтових конструкцій (швелери, балки, труби, листи, каркаси парових котлів, конструкції підйомних кранів та ін.).

Маркування таких сталей починається з літер Ст (група сталі), а далі – цифри від 0 до 6. Ці цифри позначають умовний номер марки сталі, залежно від хімічного складу і механічних властивостей. Чим більша цифра, тим більше у складі сталі вуглецю і тим вища міцність. Для позначення ступеня розкислення сталі після цифри ставлять індекси: кп – кипляча, сп – спокійна, пс – напівспокійна.

Сварні конструкції виготовляють із спокійних або напівспокійних низьковуглецевих сталей типів Ст1, Ст3, Ст2.

Між індексом, який вказує на ступінь розкислення, та номером марки може стояти літера Г, що означає підвищений вміст мангану. Наприклад, ВСт3Гпс.

Сталі звичайної якості поділяють на три групи: група А – з нормованим

складом; Б – нормованими властивостями; В – з нормованими механічними властивостями та хімічним складом. Сталь кожної групи додатково поділяють на категорії залежно від нормованих показників.

Основою для будівельних зварних конструкцій є сталь групи В. Для неї встановлені такі марки: ВСт2, ВСт3, ВСт3Гпс, ВСт4, ВСт5.

Якісні сталі поділяють на конструкційні та інструментальні.

Конструкційні сталі маркуються цифрами 08, 10, 15, 20...80, 85, які відповідають середньому вмісту вуглецю у сотих частках процента.

Вуглецеві інструментальні сталі маркують за літерою У і цифрою, що вказує на вміст вуглецю у десятих частках процента: У7, У10, У11, У12, У13.

Зі збільшенням вмісту вуглецю зростає міцність і твердість сталей, але знижується пластичність та зварюваність. Для покращення властивостей вуглецевих сталей до їх складу вводять спеціальні легуючі елементи (лігатура), наприклад, домішки алюмінію, молібдену, мангану, купруму, кобальту, хрому. Залежно від вмісту цих домішок розрізняють сталі: низьколеговані (до 2,5%), середньолеговані (2,5...10%) та високолеговані (більше 10%).

Леговані сталі, на відміну від вуглецевих, містять ще й легуючі добавки, які підвищують якість сталі і надають їй певних властивостей. До легуючих добавок відносять: С – силіцій, Х – хром, Г – манган, Н – нікель, М – молібден, Д – купрум.

Марка легованої сталі означає її наближений хімічний склад: цифри перед літерами – середній вміст вуглецю, збільшений у 100 разів; цифри після літер – вміст легуючої домішки у процентах. Наприклад, марка 09Г2СД розшифровується так: карбону – 0,09%, мангану – до 2%, силіцію – до 1%, купруму до 1%.

#### **5.7.6. Вироби зі сталі**

Сталеві конструкції виготовляють з прокатних виробів, а також із гнутих та зварних профілів (ДСТУ EN 10079:2018 Вироби сталеві. Номенклатура (EN 10079:2007, IDT)).

Найчастіше використовують прокатні вироби: сортову сталь, листову сталь,

спеціальні види прокату, труби. З прокатних виробів збирають колони, балки, бункери, башти, трубопроводи, резервуари тощо.

**Сортова сталь** (ДСТУ 2254-93 (ГОСТ 19771-93) «Куточки сталеві гнуті. Рівнополочні. Сортамент», ДСТУ 2255-93 «Куточки сталеві гнуті з різними полками. Сортамент. Зі зміною № 1 (ГОСТ 19772-93)», ДСТУ 3436-96 (ГОСТ 8240-97) «Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент», ДСТУ 2252-93 «Профілі сталеві гнуті корита рівнополочні. Сортамент (ГОСТ 8283-93)») включає профілі масового попиту (круглий, квадратний, кутовий), швелери, двотаври та профілі спеціального призначення (рейки). Найлегші кутові профілі мають розміри 20×20 мм та товщину 3 мм, а найважчі – відповідно 250×250 та 30 мм (рис. 5.1).

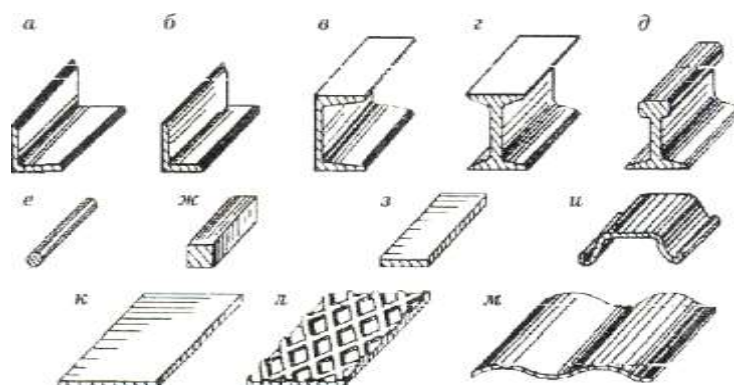


Рис. 5.1. Прокатні вироби із сталі різного профілю: а – кутова рівнобока; б – кутова нерівнобока; в – швелер; г – двотавр; д – підкранова рейка; е – кругла; ж – квадратна; з – штабова; и – шпунтова паля; к – листова; л – рифлена; м – хвиляста

**Двотаври та швелери** вибирають за номерами, що відповідають їх висоті в сантиметрах. Номери двотаврів змінюються від 10 до 60, швелерів – від 5 до 40. Двотаври прокатують завдовжки до 19 м, а швелери – до 18 м.

**Листову сталь** залежно від товщини листів поділяють на товстолистову (4...160 мм), тонколистову (0,2...4 мм), універсальну широкополицеву (4...60 мм), ролонну та рифлену. Ширина листів – 8500 мм, довжина – до 12 м.

Найширше у будівництві використовують сталеві листи завтовшки до 40 мм.

**Металочерепиця** – це багатошаровий виріб, що використовується для влаштування покрівель. Виготовляється з гарячеоцинкованої холоднокатаної листової сталі товщиною 0,5 мм, вкритої після пасивації та ґрунтування шаром

кольорового полімерного покриття. Довжина панелі 500...8000 мм, а крок 275...450 мм.

### **5.7.7. Кольорові метали та сплави й матеріали на їх основі**

Кольорові метали, на відміну від чорних, мають вищу пластичність при нормальних температурах, більшу стійкість проти корозії, більш тепло- і електропровідні, мають нижчу температуру плавлення. У будівництві кольорові метали використовують у вигляді сплавів.

**Алюміній і його сплави.** Щільність алюмінію – 2,7 г/см<sup>3</sup>, температура плавлення – 660°C. Алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, апатити й алуніти.

**Силуміни** – сплави алюмінію з кремнієм (у кількості 4...13%). Ці сплави мають високі ливарні якості, малу усадку і пористість, тверді й міцні.

**Магналії** – сплави алюмінію з магнієм, які відрізняються здатністю до зварювання та володіють високою корозійною стійкістю.

**Авіалії** – сплави алюмінію з магнієм та силіцієм.

**Дюралюміні** – сплави алюмінію з міддю та магнієм. Ці сплави мають високу міцність, але меншу корозійну стійкість порівняно з магналіями.

Сплави алюмінію використовують для виготовлення зварних деталей, трубопроводів, бункерів та інших деталей та виробів.

Вироби та конструкції з алюмінієвих сплавів є антимагнітними, вогне- та сейсмостійкими, при ударі не дають іскор. Вони економічні, мають добрий зовнішній вигляд, не потребують додаткової обробки лицьової поверхні, легко обробляються різанням.

Алюміній набув широкого використання у будівництві для виготовлення конструкцій, в тому числі панелей зовнішніх стін та покриттів безперервного типу, підвісних стель, збірно-розбірних та листових конструкцій.

Вироби з алюмінієвих сплавів у вигляді листового прокату, гнутих і пресованих профілів широко застосовують для виготовлення огорожувальних конструкцій та вікон і дверей.

**Мідь** – це метал щільністю 8,94 г/см<sup>3</sup>, температура плавлення – 1083°C.

**Латунь** – сплав міді з цинком.

**Бронзи** – це сплави міді з такими легуючими елементами, як олово, алюміній, берилій, силіцій. Ці сплави застосовують для виготовлення таких виробів, як пружини, мембрани, слюсарний інструмент тощо.

### **Контрольні запитання**

1. Що називають склом?
2. Які сировинні матеріали використовують для виготовлення скла?
3. Технологія отримання скла?
4. Які найголовніші оксиди входять до складу скла?
5. Які найголовніші властивості скла?
6. Як отримують листове скло?
7. Назвіть матеріали й вироби зі скла.
8. Назвіть марки скла.
9. Що таке ситали?
10. Що таке метали, сталь, чавун?
11. Розкажіть про сплави.
12. Які метали відносяться до чорних?
13. Які метали відносяться до кольорових?
14. Розкажіть про будову і властивості залізобуглецевих сплавів.
15. Які основи виробництва чавуну?
16. Які основи виробництва сталі?
17. Які вам відомі вироби із сталі?
18. Що означає марка легованої сталі?
19. Які легуючі елементи покращують властивості сталі?
20. Назвіть кольорові метали?
21. Які кольорові сплави використовують в будівництві?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Ознайомитися з вимогами відповідних ДСТУ до якості листового

будівельного та декоративного скла і письмово відповісти на запитання:

- 1.1. Які для скла допускаються недоліки в невеликій кількості?
- 1.2. Які стандартні типорозміри скла?
- 1.3. Для чого рекомендовано використовувати армоване скло та листове скло зі спеціальними властивостями?
2. Навести технологію виготовлення багатошарового ламінованого скла «триплекс».
3. Охарактеризувати будівельні вироби зі скляних розплавів. Навести їх номенклатуру і дати рекомендації щодо використання.
4. Навести технологію виготовлення декоративних облицювальних виробів.
5. Порівняти властивості склокристалічних і аморфних матеріалів.
6. Обґрунтувати можливість використання відходів у виробництві плавлених силікатних виробів.
7. Навести приклади використання відходів.
8. Навести приклади використання сплавів на основі титану.
9. Розшифрувати марки сталі **09Г2СД; Ст3пс; 1Х18Н9; 35ХН3МА.**

## ТЕМА 6

### ПОВІТРЯНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ

#### **План:**

- 6.1. Загальні відомості
- 6.2. Повітряні в'язучі речовини
  - 6.2.1. Гіпсові в'язучі речовини
  - 6.2.2. Повітряне вапно
  - 6.2.3. Магнезійні в'язучі речовини

#### **6.1. Загальні відомості**

**Неорганічними в'язучими** речовинами називають порошкоподібні матеріали, які при змішуванні з водою утворюють пластично-в'язке тісто, здатне згодом мимовільно тверднути у результаті фізико-хімічних процесів.

Властивість в'язучих матеріалів скріплювати між собою зерна піску, гравію, щебеню в процесі переходу з пластичного стану в твердий, використовується для виготовлення бетонів, будівельних розчинів, силікатної цегли, азбестоцементу та ін.

Неорганічні в'язучі речовини застосовувалися ще в давності. Так, при будівництві морських споруд у 1 ст. н.е. в Древньому Римі було помічено, що коли вапно змішати з тонкомолотою обпаленою глиною, то отриманий на їх основі виріб не тільки здобуває водостійкість, але і підвищує свою міцність, знаходячись у воді. Таке вапно з глиняною добавкою назвали гідравлічним. Будівельники назвали таку в'язучу речовину «цементом» і використовували її при будівництві Десятинної церкви і Софійського собору в Києві, стін Московського Кремля.

У 1825 р., в наукових працях російського військового техника Е. Челієва з'явилося повідомлення з описом технології одержання цементу шляхом випалу до спікання суміші вапняку і глини. Одночасний винахід цементу був запатентований англійцем Джозефом Аспдіном (21 жовтня 1824 року), який

порівнюючи затверділий стан цементного каменю з гірською породою, що добувалася біля м. Портленда, назвав свій винахід «портландцементом».

Неорганічні в'язучі речовини залежно від умов тверднення і експлуатації прийнято класифікувати на *повітряні*, *гідралічні* та *в'язучі речовини автоклавного тверднення*.

*Повітряні в'язучі речовини* можуть тверднути і набирати міцність тільки на повітрі. До цієї групи відносяться гіпсові, магнезійні, вапняні в'язучі речовини, рідке скло.

*Гідралічні в'язучі речовини* тверднуть та зберігають міцність не тільки на повітрі, але й у воді. За хімічним складом гідралічні в'язучі речовини являють собою складну оксидну систему –  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . До гідралічних в'язучих речовин відносять: портландцемент і його різновиди, глиноземистий цемент і його різновиди, гідралічне вапно і романцемент.

*В'язучі речовини автоклавного тверднення* здатні тверднути й утворювати міцній камінь в автоклавах в умовах підвищених температур, тиску і вологості. До таких в'язучих речовин належать вапняно-кремнеземисті, вапняно-шлакові та вапняно-зольні.

## **6.2. Повітряні в'язучі речовини**

### **6.2.1. Гіпсові в'язучі речовини**

**Гіпсові в'язучі речовини** (ДСТУ Б В.2.7-82:2010 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови») – складаються головним чином з напівводного гіпсу або ангідриду.

Сировиною для одержання гіпсових в'язучих речовин найчастіше служить природний гіпсовий камінь, що переважно складається з мінералу гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  а також ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , відходи промисловості (фосфогіпс, борогіпс).

В основу класифікації гіпсових в'язучих речовин покладена температура теплової обробки.

**Низьковипалювальні** гіпсові в'язучі речовини виготовляють тепловою

обробкою природного гіпсу при температурі 110...180°C. При зазначеному температурному режимі відбувається дегідратація сировини з одержанням напівгідрату  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ :



До **низьковипалювальних** гіпсових в'язучих речовин відносять будівельний, високоміцний і формувальний гіпс.

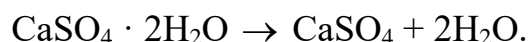
**Будівельний гіпс** складається в основному з кристалів  $\beta$ -модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , містить частки сировини, що не розклалася, і незначну кількість  $\text{CaSO}_4$ . Його одержують у варильних або казанових печах. Міцність при стиску складає 10...12 МПа.

**Високоміцний гіпс** одержують термічною обробкою високосортного гіпсового каменю в герметичних апаратах під тиском пари. Зазначена технологія дозволяє одержати більш активну  $\alpha$ -модифікацію напівводного сульфату кальцію  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , тому міцність високоміцного гіпсу при стиску 15...25 МПа.

**Формувальний гіпс** застосовується для виготовлення форм у керамічній і фарфоро-фаянсовій промисловості, містить незначну кількість домішок, в основному складається з модифікації напівгідрату.

**Високовипалювальні** гіпсові в'язучі речовини (естрих-гіпс) одержують шляхом випалу гіпсового каменю при високих температурах 600...900°C.

При вказаній температурній обробці сировини відбувається повна дегідратація з утворенням ангідриту  $\text{CaSO}_4$ :



Високовипалювальний гіпс, на відміну від будівельного, повільно тужавіє і твердне, але його водостійкість і міцність при стиску вище (10...20 МПа).

Технічні характеристики гіпсових в'язучих речовин оцінюються визначенням тонкості помелу, водопотреби, строків тужавлення, міцності при

згині й стиску, водостійкості.

*Істинна щільність* гіпсових в'язучих речовин – 2,6...2,75 г/см<sup>3</sup>;

*Насипна щільність* – 800...1100 кг/м<sup>3</sup>;

*Водопотреба* визначається кількістю води, потрібної для приготування тіста стандартної консистенції (діаметр розпливу 180±5 мм).

Для отримання тіста нормальної густоти з  $\beta$ -модифікації CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O потрібно 50...70% води, а з  $\alpha$ -модифікації CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O – 30...40%.

*Строки тужавлення.* За строками тужавлення гіпсові в'язучі речовини поділяють на три групи:

**А** – швидкотверднучі (з початком тужавлення не раніше 2 хв. і кінцем не пізніше –15 хв.);

**Б** – нормальнотверднучі (з початком тужавлення не раніше 6 хв. і кінцем – не пізніше 30 хв.);

**В** – повільнотверднучі (початок тужавлення не раніше 20 хв.).

*Міцнісні* показники гіпсових в'язучих речовин визначають випробуванням зразків балочок розмірами 40×40×160 мм з гіпсового тіста стандартної консистенції через 2 години після виготовлення.

Для гіпсових в'язучих речовин встановлено 12 марок за міцністю при стиску (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25, де цифра означає нормовану границю міцності при стиску.

Маркування гіпсу здійснюється з урахуванням його міцності, строків тужавлення та тонкості помелу, наприклад гіпсова в'язуча речовина з позначкою Г-5-А-ІІ ДСТУ Б В.2.7-82:2010 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови» відповідає марці Г-5, є швидкотверднучою і характеризується середньою тонкістю помелу.

*Водостійкість* гіпсових виробів є невисокою: коефіцієнт розм'якшення становить 0,35...0,4.

Гіпсові в'язучі речовини застосовують для виготовлення гіпсобетонних виробів (перегородкові панелі), сухої штукатурки, штукатурних розчинів, гіпсоцементнопуццоланових в'язучих речовин (ГЦПВ) а також для виробництва

ГКЛ (гіпсокартонних листів).

### 6.2.2. Повітряне вапно

*Повітряне вапно* (ДСТУ Б В.2.7-90:2011 «Вапно будівельне. Технічні умови») – продукт помірною випалювання кальцієво-магнієвих карбонатних гірських порід (вапняку, крейди, вапняка-черепашника, доломітизованого вапняку). Високодисперсний кремнезем та глинисті домішки при їх обмеженому вмісті 5...7% і відповідно вибраному режимі випалювання не знижують якість вапна. Домішки гіпсу та піриту небажані, оскільки вони сприяють утворенню вапна, що гаситься повільно.

Вміст глинистої речовини в сировині до 6% обумовлює тверднення вапна на повітрі.

Для одержання повітряного вапна сировина піддається випалюванню в шахтних печах при температурі 900...1200°C до повного видалення CO<sub>2</sub> (що складає 44% від маси CaCO<sub>3</sub>), при цьому утворюється продукт (грудкове негашене вапно) у вигляді пористих шматків, що активно взаємодіють з водою:



Продукт випалу у вигляді шматків білого кольору називається *грудковим негашеним вапном* крім основного оксиду CaO може містити деяку кількість оксиду магнію MgO, що утворюється в результаті розкладання карбонату магнію:



Для випалювання карбонатної сировини використовуються печі різних конструкцій: шахтні, обертові, з «киплячим шаром», циклонно-вихрові, агломераційні гратниці.

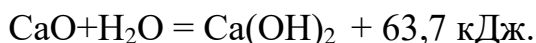
Недовипалення або перевипалення вапна в печі знижує його якість.

Чим вище вміст основних оксидів (CaO+MgO), тим пластичніше вапняне тісто і вище сорт вапна. На якості повітряного вапна позначається також вміст зерен недовипалення або перевипалення, що робить вапняне тісто менш

пластичним. Недовипалені частки являють собою зерна сировинного матеріалу, що залишився, не розклався у процесі виробництва вапна, перевипаленні частки – ущільнений оксид кальцію.

Мелене негашене вапно транспортують у герметично закритих металевих контейнерах або мішках. Зберігати мелене вапно можна не більш як 15 діб на сухих складах.

*Гашене вапно* утворюється за реакцією:



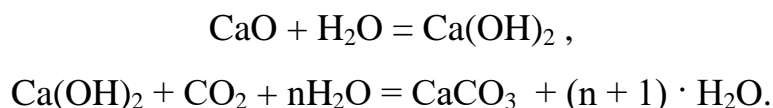
Вапно гасять у гідраторах періодичної або безперервної дії.

Теоретично для гашення вапна потрібно 32,13% води від маси CaO. Залежно від того, скільки води витрачається для гашення, отримують три різні продукти.

Якщо кількість води становить біля 70% від маси вапна, отримують *вапно-пушонку* або *гідратне вапно*, яке збільшується в об'ємі в 2...3,5 рази порівняно з грудковим вапном, і має насипну щільність 400...450 кг/м<sup>3</sup>.

Якщо кількість води при гашенні досягає 200...250% від маси вапна, то утворюється пластичне *вапняне тісто*, що містить 50% води. При витраті ще більшої кількості води утворюється *вапняне молоко*.

При змішуванні з водою тверднення гашеного вапна пов'язане з двома процесами: кристалізацією гідроксиду кальцію Ca(OH)<sub>2</sub> при висиханні вапняних розчинів та наступною його карбонізацією:



Відповідно до реакції тверднення при карбонізації виділяється вода, розчини з використанням вапна тверднуть повільно, тому процес тверднення прискорює сушіння.

Утворений карбонат кальцію CaCO<sub>3</sub> зростається з кристалами Ca(OH)<sub>2</sub> та зміцнює вапняний розчин та підвищує його водостійкість. Щоб прискорити

тверднення, до вапна додають цемент і гіпс, піддають виробі штучній карбонізації.

Процес гасіння грудкового вапна з одержанням вапняного тіста на спеціалізованих розчинних заводах здійснюється у вапногасильних машинах. Для одержання вапна-пушонки використовують гідратори безупинної дії, які дозволяють перетворити грудкове вапно в найтонший порошок із щільністю 400...450 кг/м<sup>3</sup>.

Залежно від вмісту оксиду магнію повітряне вапно розділяється на *кальцієве* (MgO до 5%), *магнезіальне* (MgO=5%...20%) і *доломітове* (MgO = 20...40%).

Відсотковий вміст оксидів, здатних вступати в реакцію гідратації (піддаватися гасінню) називають активністю вапна.

Залежно від тривалості протікання реакції гасіння вапна розрізняють:

- *швидкогашене* – гасіння до 8 хв.,
- *середньогашене* – від 8 до 25 хв.,
- *повільногашене* – більше 25 хв.

Час гасіння і активність вапна є визначальними показниками якості.

**Технічні характеристики будівельного вапна** оцінюються визначенням активності, тонкості помелу, швидкості гашення, водопотреби, строків тузавлення, міцності при стиску.

Істинна щільність негашеного вапна – 3,1...3,3 г/см<sup>3</sup>, а гашеного у кристалічному стані Ca(OH)<sub>2</sub> – 2,23 г/см<sup>3</sup>. Насипна щільність грудкового вапна – 1600...2600 кг/м<sup>3</sup>, а меленого негашеного вапна – 900...1100 кг/м<sup>3</sup>, гідратного (гашеного) вапна – 400...500 кг/м<sup>3</sup>, а вапняного тіста – 1300...1400 кг/м<sup>3</sup>.

За вимогами стандарту сорт будівельного повітряного вапна визначається залежно від його активності, що оцінюється за вмістом активних оксидів (CaO+MgO), який становить не менше 70...90 %.

Повітряне вапно характеризується пластичністю, пов'язаною з його високою водоутримуючою здатністю, внаслідок чого вапняні розчини мають високу легкоукладальність, рівномірно розподіляються тонким шаром на поверхні цегли або бетону, добре зчіплюються з ними.

*Строки тужавлення.* Будівельні розчини на основі гашеного вапна тужавіють дуже повільно (протягом 5...7 діб), при чому цей процес прискорюється при сушінні.

Будівельні розчини і бетони на основі меленого негашеного вапна швидко тужавіють і тверднуть (через 15...60 хв. після замішування), при чому водовапняне відношення зазвичай становить 0,9...1,5. Розчини та бетони, що здатні до самонагрівання під час гідратації, доцільно використовувати при проведенні робіт у зимовий період (штукатурення, мурування, бетонування тощо).

Міцність будівельних розчинів і бетонів на основі повітряного будівельного вапна залежить від умов його тверднення. Будівельні розчини на основі гашеного вапна повільно тверднуть при звичайних температурах (10...20°C) і через місяць набувають невеликої міцності (0,5...1,5 МПа). Тверднення розчинів на основі негашеного вапна в повітряних умовах через 28 діб сприяє отриманню каменю міцністю 2...3 МПа. Автоклавне тверднення щільних вапняно-піщаних бетонів дозволяє отримати камінь міцністю 30...40 МПа та вище.

Повітряне вапно використовують для приготування мурувальних розчинів, а також для виготовлення штучних бетонних виробів, силікатної цегли та інших вапняно-піщаних виробів автоклавного тверднення, фарбових сумішей.

Маркування вапна здійснюється з урахуванням його міцності, швидкості гашення та активності, наприклад, вапно з позначкою **ВП-А-1** ДСТУ Б В.2.7-90:2011 «Вапно будівельне. Технічні умови» відповідає вапну повітряному, швидко гашеному, першого сорту.

### **6.2.3. Магnezіальні в'язучі речовини**

**Магnezіальні в'язучі речовини** – *каустичний магнезит  $MgO$  і каустичний доломіт  $MgO + CaCO_3$*  – це дисперсні порошки, головною складовою частиною яких є оксид магнію. Особливістю цих в'язучих речовин є те, що вони замішуються не водою, а водними розчинами солей. Магnezіальні цементи, відомі як цементи Сореля, не потребують вологих умов тверднення, забезпечують

високу вогнестійкість, низьку теплопровідність, підвищені зносостійкість та міцність утвореного штучного каменю. Магнезіальні в'язучі речовини одержують шляхом помірною випалювання (750...850°C) магнезиту:



Особливістю цих в'язучих речовин є то, що вони замішуються не водою, а водними розчинами солей: хлориду магнію  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , сульфату магнію. Застосування водних розчинів солей магнію сприяє прискоренню тверднення та підвищенню міцності магнезіальних в'язучих речовин.

Магнезіальні в'язучі речовини мають високу міцність при стиску, що досягає 60...100 МПа. Каустичний магнезит – речовина швидкого тверднення, яка має початок тужавлення не раніше 20 хв., кінець – не пізніше 6 год. Каустичний доломіт відрізняється строками тужавлення: початок через 3...10 год., кінець не раніше 8...20 год.

Магнезіальні в'язучі речовини характеризуються високою адгезією до органічних заповнювачів. Такі вироби (ксилоліт, фіброліт) відрізняються підвищеною ударною в'язкістю, добре обробляються, є жаростійкими, мають звукоізоляційні властивості. Типовими прикладами таких матеріалів є ксилоліт (заповнювач – деревна тирса) та фіброліт (заповнювач – довговолокниста деревна маса).

На основі магнезіальних в'язучих речовин виготовляють теплоізоляційні піно- і газоматеріали. Ці в'язучі речовини можна застосовувати при проведенні штукатурних робіт, використовуючи у якості заповнювача кварцовий пісок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке в'язучі речовини і яка їх роль у будівництві?
2. Чим відрізняються повітряні в'язучі від гідравлічних?
3. Які матеріали відносять до повітряних в'язучих речовин?
4. Як класифікують повітряні в'язучі речовини за складом і способом отримання?

5. Які основні групи повітряних в'яжучих ви знаєте (вапняні, гіпсові, магнезіальні, інші)?
6. Яка сировина використовується для виробництва вапна?
7. Яка сировина застосовується для виробництва гіпсу?
8. Опишіть основні стадії виробництва вапняного в'яжучого.
9. Опишіть технологію виробництва гіпсових в'яжучих речовин.
10. Які основні фізико-хімічні властивості повітряних в'яжучих?
11. Що таке час схоплювання і тверднення?
12. Як на властивості вапна впливає ступінь випалу?
13. Як вологість і температура впливають на тверднення гіпсу?
14. Чому повітряні в'яжучі не можна застосовувати у вологому середовищі?
15. Розповісти про міцність і швидкість тверднення в'яжучих речовин.
16. За якими показниками маркірують гіпсові й вапняні в'яжучі речовини?
17. У яких будівельних роботах доцільно використовувати повітряне вапно?
18. Де застосовують гіпсові в'яжучі?
19. Які види оздоблювальних матеріалів виготовляють на основі гіпсу?
20. Чому повітряні в'яжучі часто застосовують у поєднанні з іншими матеріалами?
21. Як отримують повітряне вапно, які існують його різновиди?
22. Як отримують гіпсові в'яжучі речовини?
23. Як отримують магнезіальні в'яжучі речовини?
24. Як перевіряють якість вапна?
25. Як перевіряють якість гіпсових в'яжучих?
26. Які показники нормуються стандартами для повітряних в'яжучих речовин?

### **Завдання для самостійної роботи**

1. Ознайомитися з методиками визначення властивостей будівельного гіпсу, вапна.
2. Які критерії відповідають за якість повітряного вапна, гіпсу?

## ТЕМА 7

### ГІДРАВЛІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

#### Питання:

- 7.1. Гідравлічне вапно
- 7.2. Романцемент
- 7.3. Портландцемент
- 7.4. Виробництво портландцементу
- 7.5. Хіміко-мінералогічний склад і властивості портландцементу
- 7.6. Корозія цементного каменю
- 7.7. Спеціальні види портландцементу
- 7.8. Транспортування і зберігання в'язучих матеріалів

В групу гідравлічних в'язучих речовин входять гідравлічне вапно і вапновмісні в'язучі, романцемент, портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий і глиноземистий цементи та їх різновиди. Для будівництва найбільше значення мають портландцемент і похідні від нього в'язучі матеріали.

Гідравлічні в'язучі речовини являють собою тонкомолоті порошки, що складаються із силікатів і алюмінатів кальцію, що гідратують у водному середовищі з утворенням міцного водостійкого штучного каменю.

#### 7.1. Гідравлічне вапно

**Гідравлічне вапно** – це продукт, отриманий випалюванням мергелястих вапняків, що містять від 6 до 20% глинистих або високодисперсних піщаних домішок.

Основними операціями при виробництві гідравлічного вапна є добування сировини, її подрібнення, випалювання і помел. Процес випалювання здійснюють у шахтних або обертових печах при температурі від 900 до 1150, а іноді й 1200°C.

Під час випалювання, паралельно з процесами зневоднення глинистих мінералів і розкладання карбонатів кальцію та магнію, утворюються не лише вільні оксиди CaO та MgO, а й їх сполуки з SiO<sub>2</sub> та дегідратованою глиною у

вигляді кальцієвих силікатів, алюмінатів та феритів, які надають вапну гідравлічних властивостей.

Гідравлічне вапно перші сім діб має тверднути на повітрі, а далі може тверднути й набувати міцності як на повітрі, так і у воді.

#### **Технічні характеристики гідравлічного вапна.**

Істинна щільність становить 2,6...3,0 г/см<sup>3</sup>, а насипна – 700...800 кг/м<sup>3</sup>.

Водопотреба та водоутримувальна здатність гідравлічного вапна нижчі, ніж повітряного. Строки тужавлення гідравлічного вапна залежить від вмісту вільного СаО.

За вимогами ДСТУ Б В.2.7-90:2011 «Вапно будівельне. Технічні умови» вапно вважається слабкогідравлічним, якщо границя міцності при стиску на 28 добу тверднення становить 1,7; при згині – 0,4 МПа; сильногідравлічним, якщо границя міцності при стиску та згині на 28 добу тверднення становить 5,0 та 1,0 МПа відповідно.

Слабкогідравлічне вапно тужавіє швидше, а твердне повільніше, ніж сильногідравлічне. Початок тужавлення складає 0,5...2,0 год., а закінчення – 8...16 год. Штучний камінь на основі гідравлічного вапна не визначається високою міцністю. Після 28 діб комбінованого зберігання міцність при стиску зразків із вапняно-піщаного розчину (складу 1:3 за масою) становить 2...5 МПа.

Гідравлічне вапно застосовують для приготування будівельних розчинів підвищеної водостійкості, мурувальних та штукатурних розчинів, для виробництва вапняно-пуцоланових цементів, легких і важких бетонів низьких класів, для виготовлення стінового каменю, призначеного для експлуатації в умовах різної вологості, для стабілізації ґрунтів при будівництві шляхів із малою інтенсивністю руху. Ця речовина входить до складу сухих будівельних сумішей та широко використовується для виготовлення шпаклівок, замазок і фарб. Гідравлічне вапно можна застосовувати як основу під фресковий живопис, тобто при нанесенні малюнків розбавленими у воді мінеральними фарбами на свіжу штукатурку.

## 7.2. Романцемент

**Романцемент** найчастіше розглядають як один з етапів у розвитку технології отримання гідралічних в'язучих речовин, подібних до портландцементу.

Його виготовляють випалюванням до спікання та наступним помелом вапнякових або магнезіальних мергелів, які містять понад 25% глинистих домішок.

Для регулювання властивостей у романцемент можна вводити до 5% гіпсу і до 15% активних мінеральних добавок.

## 7.3. Портландцемент

**Портландцемент** – гідралічна в'язуча речовина, яку виготовляють спільним тонким подрібненням клінкеру з гіпсом або іншими добавками.

Перший патент на спосіб виробництва штучного каменю під назвою портландський цемент було отримано у 1824 році Джозефом Аспдіном. У практиці світового будівництва портландцемент є головним матеріалом для виробництва бетону, залізобетону та будівельних розчинів.

Портландцементний клінкер отримують випалюванням до спікання (при температурі приблизно 1450°C) сировинної суміші певного складу, що забезпечує синтез переважно високоосновних силікатів кальцію. Гіпс до складу портландцементу вводять для регулювання строків тужавлення та підвищення міцності.

Сировиною для виготовлення портландцементного клінкеру можуть бути карбонатні породи (приблизно 75%) в суміші з алюмосилікатними речовинами (25%). У якості карбонатних порід використовують вапняки, крейду, вапняки-черепашники, вапнякові туфи, а у якості алюмосилікатного компонента – глини, але при відповідному економічному обґрунтуванні можна застосовувати суглинки, леси, аргіліти та глинисті сланці. Також як сировину використовують природні суміші вапняків із глинами – мергелі.

До найпоширеніших побічних продуктів, придатних для виробництва портландцементного клінкеру, відносять доменні гранульовані шлаки, які завдяки

хімічному складу ( $\text{SiO}_2$  – 38...40%,  $\text{CaO}$  – 43...44%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5...14%) іноді використовують замість частини глинистого або карбонатного компонентів.

З метою коригування складу шихти також застосовують електротермофосфорні шлаки, паливні золи, відходи вуглезбагачення та різні шлами, в тому числі нефеліновий (пелітовий), монокальцієвий і червоний.

#### **7.4. Виробництво портландцементу**

Сировиною для виробництва портландцементу служать вапняки з високим вмістом карбонату кальцію (крейда, щільний вапняк, мергелі), і глинисті породи (глини, глинисті сланці), що містять  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

У середньому для виробництва 1 т цементу витрачається 1,5 т сировинних матеріалів зі зразковим співвідношенням між карбонатними і глинистими складовими в сировину 3:1.

Підготовка сировинних матеріалів до випалу полягає в тонкому подрібнюванні та змішанні компонентів з дотриманням установленого співвідношення. Залежно від виду підготовки сировинної суміші до випалу портландцемент одержують трьома способами: **мокрый** (помел і змішання сировини роблять у воді до одержання однорідного шламу, що містить до 40% води), **сухий** (матеріали подрібнюють і перемішують у сухому вигляді до отримання сировинного борошна) і **комбінований** (сировинну суміш готують мокрим способом, отриманий шлам зневоднюють і гранулюють).

Основним етапом виробництва портландцементу є випал, здійснюваний у обертальних печах. Піч являє собою зварений циліндр діаметром 4..5 м і довжиною 150...185 м. Конструкція печі і її розташування (легкий ухил до обрію) дозволяють гартованій масі переміщуватися з однієї температурної зони в іншу назустріч топковому газу. Випал підготовленої сировини супроводжується складними фізико-хімічними процесами. З цього погляду умовно його поділяють на 6 температурних зон:

**1-ша зона – зона випару.** При поступовому підвищенні температури з 70°C сировина підсушується.

**2-га зона – зона підігріву.** Сировина поступова нагрівається від 200°C до 700°C, вигорають органічні домішки, видаляється хімічно зв'язана вода, що містилася в глинистому мінералі.

**3-я зона – зона кальціювання.** Підвищення температури від 700°C до 1100°C приводить до розкладання глинистого мінералу і карбонату кальцію з утворенням вільних оксидів  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ . У цій же температурній зоні відбуваються твердофазові реакції взаємодії між зазначеними оксидами, в результаті яких утворюються мінерали  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , частково  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ .

**4-та зона – зона екзотермічних реакцій.** З подальшим підвищенням температури (1100...1250°C) завершується утворення мінералів  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**5-та зона – зона спікання.** Температура гартованого матеріалу досягає 1300...1450°C. Відбувається часткове плавлення матеріалу утворюється головний клінкерний мінерал  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , повністю зв'язується вільний оксид кальцію.

**6-та зона – зона охолодження.** Отриманий клінкер прохолоджується до 1000°C, завершується формування його мінералогічного складу.

Після випалу клінкер подрібнюється в тонкий порошок переважно в трубних млинах. Зі збільшенням тонкості помелу підвищується активність цементу, однак процес подрібнювання клінкера зв'язаний зі значними витратами електроенергії, тому оптимальний розмір цементних зерен від 5 до 40 мкм.

**Властивості й застосування портландцементу.** На властивості портландцементу значною мірою впливають наступні фактори: мінералогічний і хімічний склад цементного клінкера, наявність добавок, тонкість помелу. Ці параметри знаходяться в безпосередньому зв'язку з такими технічними характеристиками і показниками якості в'язучої речовини, як щільність, водопотреба, терміни тужавлення, рівномірність зміни об'єму, активність.

## **7.5. Хіміко-мінералогічний склад і властивості портландцементу**

Фізико-механічні властивості портландцементу залежать від багатьох

факторів, з яких головними є його хіміко-мінералогічний склад і тонкість помелу. Портландцемент – багатомінеральний продукт (рис. 7.1).

*Хімічний склад клінкера* виражається процентним вмістом оксидів, що у процесі випалу беруть участь у реакціях мінералоутворення цементного клінкера. Так, цементний клінкер містить:  $\text{CaO}$  – 63...66%,  $\text{SiO}_2$  – 21...24%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4...8%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2...4%.

Основним мінералом портландцементу є аліт – трикальцієвий силікат  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , який містить 2...4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  та ін. Зі збільшенням вмісту аліту, який складає 45...60% маси клінкеру, підвищується міцність, прискорюється тверднення, однак ускладнюється випал портландцементу. На відміну від аліту, беліт – двокальцієвий силікат  $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , з домішками  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та ін. Він складає 15...30% маси клінкеру, твердне повільно і отримує високу міцність лише у віддалені терміни – 1...2 роки.



Рис. 7.1. Мікроструктура цементного клінкеру (видно призматичні кристали трикальцієвого силікату  $\text{C}_3\text{S}$  та округлі – двокальцієвого  $\text{C}_2\text{S}$ )

Крім мінералів-силікатів, у портландцемент входять трикальцієвий алюмінат  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (5...15%) і твердий розчин алюмоферитів, близький за складом до  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  (10...20%). Трикальцієвий алюмінат сприяє швидшому твердненню портландцементу, однак знижує його морозостійкість і стійкість в

мінералізованих водах. Чотирикальцієвий алюмоферит, так само, як і беліт, отримує велику міцність лише протягом довгого проміжку часу. До складу портландцементу входять в невеликих кількостях лужні сполуки, вільні оксиди кальцію і магнію та ін. Основну масу портландцементу складають зерна 5...40 мкм. При просіюванні через сито № 008 повинно проходити не менше 85% маси просіюваної проби. Більш загальним показником тонкості помелу є питома поверхня цементного порошку (як правило, вона складає 2500...3000 см<sup>2</sup>/г), однак при тонкому помелі зростають витрати електроенергії. Для інтенсифікації помелу вводять спеціальні добавки, які не погіршують якості цементу. Щільність портландцементу – 3...3,2 г/см<sup>3</sup>, насипна щільність в розсипчастому стані складає 900...1100, а в ущільненому – 1400...1700 кг/м<sup>3</sup>. Основними фізико-механічними якостями портландцементу є водопотреба, строки тужавлення, рівномірність зміни об'єму і міцність.

Водопотребу цементу оцінюють кількістю води замішування у відсотках від маси цементу, необхідної для утворення тіста нормальної густоти. Нормальна густота цементного тіста – це така його консистенція, коли голка приладу Віка не доходить на 5...7 мм до пластини, на якій встановлено кільце, заповнене тістом. Нормальна густота портландцементу – 24...29%. Вона зростає із збільшенням вмісту С<sub>3</sub>А, при введенні добавок осадового походження – опоки, трепелу, діатоміту та ін., а зменшується за рахунок пластифікуючих поверхнево-активних добавок. Із збільшенням водопотреби цементу збільшується необхідна витрата води в бетонних сумішах заданої рухливості, і унаслідок зростає витрата цементу, погіршується якість бетону.

**Тужавіння** – це перша стадія тверднення цементного тіста. Воно характеризується початком – часом від моменту затворення до початку загустіння (голка приладу Віка не доходить до пластинки на 1...2 мм) – і кінцем – часом від моменту зачинення до повної втрати цементним тістом пластичності (голка приладу Віка занурюється в тісто не більше ніж на 1 мм). Строки тужавлення цементу нормуються у межах, зручних для виготовлення бетонів і розчинів, і регулюються добавками, які містять двоводний гіпс (не більше 3,5% за SO<sub>3</sub>).

Початок тужавлення портландцементу повинен наступати не раніше 45 хв. Для цементу марок М550 і М600 і 60 хв. – для марок 300, 400, 500, а кінець – не пізніше 10 год.

Процес тверднення портландцементу супроводжується зміною об'єму в результаті деформацій усадки на повітрі або набухання у воді. При цьому обов'язковою вимогою є рівномірність зміни об'єму у цементу, яка визначається оглядом зразків з тіста нормальної густоти, що тверднули добу у ванні з гідравлічним затвором, а потім витриманих 3 год. в киплячій воді. На зразках не повинно бути тріщин, викривлень та інших ознак пошкодження. Нерівномірність зміни об'єму цементу може бути викликана напруженнями розширення в затверділому цементному камені при надлишку оксидів кальцію і магнію, сульфатів та інших шкідливих компонентів. Важливою якістю цементу, яка визначає його придатність до виготовлення бетонів і розчинів, є міцність, яку визначають випробуванням зразків-балочок розміром 4×4×16 см спочатку на згин, а потім утворених половинок – на стиск. Зразки виготовлюють вібрацією з розчинної суміші яка містить по масі одну частину цементу і три частини нормального (Вольського) піску. Консистенція суміші при водоцементному відношенні, рівному або меншому 0,4, повинна характеризуватися розпливом конуса 106...115 мм. Границя міцності при стиску зразків, які тверднули протягом 28 діб, називається активністю цементу. В залежності від активності і границі міцності при згині для портландцементу та портландцементу з мінеральними добавками встановлені марки 300, 400, 500, 550 і 600 (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Вимоги до міцності цементу

Марка	Границя міцності через 28 діб, МПа, не менше		
	2 доби	7 діб	28 діб
300	–	15	30
400	–	20	40
400Р	15	–	40
500	15	–	50
550	20	–	55
600	25	–	60

**Тверднення портландцементу.** В результаті взаємодії мінералів, які містяться в цементі, з водою утворюються нові сполуки – гідрати. При гідратації мінералів-силікатів такими сполуками є гідросилікати. Так, процес гідратації  $C_3S$  можна представити рівнянням:



Склад утворюваних при реакції гідросилікатів залежить від температури і концентрації гідроксиду кальцію.

Трикальцієвий алюмінат  $C_3A$  в присутності гіпсу, який міститься у цементі, і води утворює гідросульфоалюмінат кальцію (етрингіт), який сповільнює процес тужавлення цементного тіста:



При гідратації  $C_4AF$  поряд з гідросульфоалюмінатом утворюється і гідросульфоферит кальцію або твердий розчин цих двох сполук. Хімічні реакції починають протікати одразу після змішування цементу з водою. Компоненти цементу розчиняються, і вже через кілька хвилин утворюється розчин, який заповнює простір між зернами і пересичений по відношенню до гідроксиду кальцію, що виділяється при гідролізі аліту. Першими гідратними новоутвореннями є етрингіт і гідроксид кальцію. Потім утворюються дуже дрібні гідросилікати кальцію.

Механізм тверднення цементу дуже складний. У відповідності з сучасними уявленнями, розвинених під керівництвом акад. П.О. Ребіндера, з пересиченого розчину новоутворення кристалізуються в два етапи. Протягом першого проходить формування каркасу з появою контактів зростання між кристалами новоутворень. При цьому можливе також зростання кристалів, які зростаються між собою. Протягом другого етапу нові контакти не виникають, а проходить лише обростання вже існуючого каркасу, тобто зростання складників його кристалів. В результаті підвищується міцність цементного каменю, однак можуть

виникнути і внутрішні розтягуючі зусилля. Вирішальну роль відіграє пересичення розчину. При малому пересиченні кількість кристалів невелика, вони не зростаються. Для найбільшої міцності штучного каменю необхідні оптимальні умови гідратації, які забезпечують виникнення новоутворень достатньої величини при мінімальних напруженнях.

Другий напрямок в теорії цементів заснований на роботах академіка О.О. Байкова, відповідно до яких можна виділити три періоди тверднення: 1) розчинення в'язучої речовини у воді до утворення насиченого розчину; 2) пряме (без розчинення) приєднання води до цементу і виникнення колоїдних гідратів; 3) перекристалізація колоїдних частинок в більш крупні, та зростання міцності.

Тверднення портландцементу залежить в значній мірі від температурно-вологісних умов. Так, пониження температури від 20°C до 5°C сповільнює тверднення в 2...3 рази, а підвищення до 80°C збільшує швидкість гідратації в 6 разів. При температурах нижчих -10°C гідратація цементу практично припиняється.

Нормальний перебіг процесів тверднення можливий лише при достатній вологості середовища, підвищення температури не повинно супроводжуватися висиханням. Прискорення фізико-хімічних процесів тверднення портландцементу при тепловій обробці (пропарювання, електропрогрів та ін.) дозволяє отримувати в короткий строк бетонні і залізобетонні вироби з необхідною відпускнуою міцністю.

**Технічні характеристики портландцементу.** Істинна щільність цементу без мінеральних добавок становить 3,0...3,2 г/см<sup>3</sup>, насипна щільність – приблизно 1300 кг/м<sup>3</sup>.

Тонкість помелу цементу повинна бути такою, щоб при просіюванні крізь сито № 008 проходило не менше 85% маси вихідної проби.

**Водопотреба цементу** – це мінімальна кількість води, необхідна для приготування тіста заданої консистенції, звичайно становить 24...28%.

**Строки тужавіння цементу** – це час, протягом якого цементне тісто втрачає свою пластичність, переходячи майже в твердий стан. Для портландцементу

марок М 400, М 500 початок тужавлення має бути не раніше 60 хв., марок М 550 і М 600 – не раніше 45 хв., а кінець – не пізніше ніж через 10 годин після замішування.

Рівномірність зміни об'єму пов'язана із запізнілою гідратацією деяких компонентів портландцементу. Основними причинами цього явища є гашення вільного вапна.

Міцність цементу встановлюють за показниками границі міцності при стиску половинок зразків – балочок розмірами 160×40×40 мм, які виготовляють із цементно-піщаної розчинної суміші складу 1:3 при В/Ц, що забезпечує нормальну консистенцію розчинної суміші. Протягом першої доби їх зберігають у камері з вологим повітрям, а після цього – у ванні з водою протягом 27 діб.

Значення границі міцності при стиску таких зразків називають *активністю*. Округлене в бік зменшення значення активності в кг/см<sup>2</sup> – це є марка цементу. Згідно зі стандартами України встановлено такі марки портландцементу: М 300, М 400, М 500, М 550, М 600.

При умовному позначенні цементу вказують його тип, марку і спеціальні ознаки (висока міцність в ранньому віці – Р; пластифікація і гідрофобізація – ПЛ, ГФ, використання клінкера нормованого складу – Н). Приклад: **ПЦ-Ш/А – Ш – 400Р – ПЛ ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови»** – це портландцемент марки М 400 з добавкою до 20% шлаку, пластифікований, швидкотверднучий.

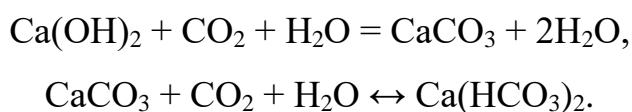
## **7.6. Корозія цементного каменю**

Цементний камінь, який є основою бетону, при впливі агресивного середовища кородує – руйнується. Для споруд з бетону і залізобетону найбільш небезпечна хімічна корозія в природних водах. За В.М. Москвіним хімічні корозійні процеси при впливі водного середовища можна розділити на три види.

Корозія першого виду пояснюється розчиненням деяких компонентів цементного каменю, і в першу чергу, гідроксиду кальцію – продукту гідролізу трикальцієвого силікату (корозія вилуговування). Вона іде інтенсивно в м'яких

водах, особливо при фільтрації води через бетон. При вилуговуванні  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  поряд із зменшенням щільності і порушенням структури цементного каменю починається розклад інших гідратів, стійких лише при певній концентрації  $\text{CaO}$ .

Корозія другого виду заснована на обмінних хімічних реакціях взаємодії між цементним каменем і агресивним водним розчином з утворенням легкорозчинних солей або аморфних продуктів, що вимиваються, які не мають в'язучі якості. До неї можна віднести кислотну, вуглекислу і магнезіальну корозію. Кислотність природних вод обумовлена переважно присутністю в них  $\text{CO}_2$  і гумінової кислоти. Гідроксид кальцію, що міститься в цементному камені, спочатку взаємодіє з  $\text{CO}_2$  з утворенням малорозчинного  $\text{CaCO}_3$ , а потім при його надлишку утворює розчинний гідрокарбонат, що вимивається з бетону:



При збільшенні жорсткості води кількість вільного  $\text{CO}_2$  зменшується і вуглекисла корозія менш небезпечна.

Корозія третього виду також викликана обмінними реакціями речовин, розчинених у воді з компонентами цементного каменю, однак продуктами їх є малорозчинні солі, кристалізація яких іде в порах і капілярах із збільшенням об'єму. Типовим прикладом корозії цього виду є сульфатна корозія. Вона викликається іонами  $\text{SO}_4^{2-}$ , джерелом яких є сульфати кальцію, магнію і натрію.

Різновиди сульфатної – сульфоалюмінатна і гіпсова корозія. При сульфоалюмінатній корозії йде реакція між сульфатом кальцію, який міститься у воді, та гідроалюмінатами в цементному камені з утворенням еtringіту  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot31\text{H}_2\text{O}$ , що супроводжується значним збільшенням об'єму і виникненням руйнівних напружень. При більшій концентрації сульфатів (більше 1000 мг/л  $\text{SO}_4^{2-}$ ) в капілярах цементного каменю кристалізується гіпс (гіпсова корозія).

Корозію цементного каменю викликає також взаємодія лугів цементу з

активним кремнеземом, який міститься в таких мінералах, як опал, халцедон та ін., що зустрічаються в заповнювачах бетону.

Небезпечні напруження при цьому є наслідком утворення драглеподібних лужних силікатів.

Хімічну корозію цементного каменю викликають не тільки природні води. Його руйнують різні хімічні продукти в конструкціях промислових і сільськогосподарських підприємств (органічні кислоти, масла, розчини гліцерину і цукру та ін.).

Вияснення причин і механізму корозії цементного каменю дозволяє вибрати спосіб підвищення його стійкості. В усіх випадках позитивно впливають підвищення щільності бетону за рахунок зменшення водовмісту і водоцементного відношення бетонної суміші, а також введення пластифікуючих, полімерних та ін. добавок. Більш стійкими до корозії вилуговування і сульфатної корозії є цементи, які містять активні мінеральні добавки (пуцолановий і шлакопортландцемент). Для антикорозійного захисту застосовують просочування конструкцій бітумом, петролатумом та іншими смолами, обробку поверхонь розчином силікату натрію, кремнійфтористих солей, а також гідроізольнують бетон мастичними або рулонними бітумними і полімерними матеріалами, облицьовують його природним каменем, пластмасами, керамічними та іншими матеріалами.

### **7.7. Спеціальні види портландцементу**

З метою надання портландцементу спеціальних властивостей, розширивши тим самим його застосування в будівництві, змінюють ступінь подрібнювання, коректують використовувану сировину, вводять спеціальні добавки. Так, регулюючи тонкість помелу, впливають на швидкість тверднення, активність, тепловиділення. Введення мінеральних і органічних добавок дозволяє спрямовано змінювати властивості в'язучої речовини, заощаджувати витрату клінкера та ін.

За речовинним складом і міцністю при стиску (на 28 добу) цементи загальнобудівельного призначення поділяють на такі типи і марки (ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і

стиск», ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови»):

Тип I – портландцемент (містить від 0 до 5% мінеральних добавок), марки М 300, М 400, М 500, М 600.

Тип II – портландцемент із мінеральними добавками (від 6 до 35%) марок М 300, М 400, М 500, М 550, М 600.

Тип III – шлакопортландцемент (від 36 до 80% доменного гранульованого шлаку), марки М 300, М 550, М 500.

Тип IV – пуцолановий цемент (від 21 до 55% мінеральних добавок, марки М 300, М 400, М 500.

Тип V – композиційний цемент (від 36 до 80% мінеральних добавок, причому доменного шлаку – від 18 до 60%, пуцолану – від 10 до 40%), марки М 300, М 400, М 500.

Різні умови служби бетонів та розчинів в різноманітних середовищах та конструкціях обумовили необхідність виробництва широкого асортименту різних видів цементу на основі портландцементного клінкеру. Більша частина всього обсягу випуску цементу в нашій країні припадає на портландцемент з мінеральними добавками (тип II). Використання різних мінеральних добавок призводить до економії найдорожчого та енергоємного напівфабрикату – портландцементного клінкеру та утилізації різних промислових відходів (вторинних ресурсів). Цей цемент більш водостійкий та корозійностійкий, ніж бездобавочний, має менше тепловиділення. Для виробництва надміцних, морозостійких бетонів і в ряді інших випадків використовують бездомішковий портландцемент або портландцемент, що містить до 5% мінеральних добавок (тип I).

Швидкотверднучі та надміцні цементы. Для виробництва збірного залізобетону раціональним є використання швидкотверднучих та надміцних цементів, що забезпечують прискорене зростання міцності виробів та зниження витрат в'язучої речовини на 1 м<sup>3</sup> бетону.

Для швидкотверднучого портландцементу додатковою вимогою є досягнення

за 2 доби тверднення міцності на стиск не менше 15...25 МПа залежно від марки. Клінкер швидкотверднучого цементу містить підвищену кількість (60...65%) найбільш активних мінералів – трикальційового силікату  $C_3S$  та трикальційового алюмінату  $C_3A$ . Тонкість помелу його вища, питома поверхня досягає 3500  $cm^2/g$ .

Збільшення в цементному клінкері вмісту  $C_3S$  до 60...65% та питомої поверхні до 4000  $cm^2/g$  і більше дозволяє отримати особливо швидкотверднучі надміцні цементи з міцністю на стиск 25...30 МПа через 1 добу і 80...90 МПа у віці 28 діб. Однак при цьому різко зростають енерговитрати, знижується продуктивність обладнання.

В останні роки розроблена низка нових способів прискорення тверднення та підвищення активності цементів. До них відносять модифікування структури клінкерних мінералів або їх легування шляхом введення до цементу кристалізаційних затравок, так званих крентів. Кренти отримують з каоліну та сірчаної кислоти або сірчаноокислого заліза, а також з випаленого алуніту. До крентів відносять також деякі відходи хімічної промисловості (сульфоалюмінати, гідроксид та сульфат алюмінію та ін.). При введенні до цементу 45...60 кг/т крентів міцність його зростає на одну марку.

Розроблено технологію надшвидкотверднучого портландцементу, що містить фтор. У якості сировинних матеріалів для нього використовуються вапняк, шлаки вторинної переплавки алюмінію, фториду кальцію та спеціальна добавка для утримання фтору у клінкері. Цемент, модифікований фтором, досягає через 6 год. нормального тверднення міцності на стиск 8 МПа. Використання фторовміщуючого цементу дозволяє забезпечити при виробництві залізобетонних виробів необхідну міцність вже за одну годину теплової обробки.

Перспективним напрямком отримання швидкотверднучих в'язучих речовин є виробництво сульфоалюмінатних клінкерів шляхом введення сульфатів до сировинних сумішей у кількості понад 5%. Сульфоалюмінати кальцію, що утворюються при цьому, надають клінкеру здатність до швидкого тверднення, високу гідравлічну активність. Джерелом сульфатів для виробництва сульфоалюмінатного клінкеру можуть бути фосфогіпс та інші гіпсові відходи.

Надшвидкотверднучий цемент-бесаліт – отримують помелом клінкеру спеціального складу (сульфоалюмінатнобелітового) та гіпсу. Через 6 год. після затворювання бесаліт при температурі 20°C набуває міцності 7...15 МПа і більше, що дає можливість використовувати його для виготовлення збірних виробів та конструкцій без тепловологісної обробки. Для бесаліту характерні короткі строки тужавлення: початок – не раніше 5 хв., кінець – не пізніше 1 год., що потребує використання бетонної суміші відразу після виготовлення.

Технологія в'яжучих речовин низької водопотреби (ВНВ) ґрунтується на тонкому подрібненні портландцементу з додатковим введенням мінеральних добавок або без них і підвищених дозах сухого суперпластифікатору. Ця в'яжуча речовина має низьку нормальну густоту цементного тіста (в середньому 18%) і в залежності від вмісту мінеральної добавки розподіляється на ВНВ-100, ВНВ-50, ВНВ-30.

Використання ВНВ-100 дозволяє отримати бетони міцністю до 100 МПа і вище, а ВНВ-50 – економити значну кількість цементу (до 45%). Водночас виробництво ВНВ пов'язане з певними труднощами, до яких, у першу чергу належить необхідність використання сухого суперпластифікатору, а також його рівномірного розподілу в процесі помелу. Як більш простий та дешевий варіант є спосіб, заснований на виготовленні тонкомелених багатокомпонентних цементів з різними мінеральними добавками (ТБЦ) і питомою поверхнею 4500...5000 см<sup>2</sup>/г та наступним введенням рідких суперпластифікаторів з водою при приготуванні бетонної суміші.

**Шлакопортландцемент** – це гідралічна в'яжуча речовина, яку отримують шляхом тонкого помелу клінкеру, необхідної кількості гіпсу та гранульованого шлаку. У шлакопортландцементі може міститися 36...80% гранульованого доменного шлаку.

Якість доменного шлаку характеризується переважно значенням коефіцієнту якості, що виражає відношення сумарного процентного вмісту оксидів CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до сумарного вмісту SiO<sub>2</sub> та Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Цей коефіцієнт повинен бути не менше

1,65; 1,45 та 1,2 для доменного шлаку відповідно першого, другого та третього сортів.

Шлакопортландцемент, порівняно з портландцементом, має вищу стійкість у м'яких та мінералізованих водах, підвищену жаростійкість, що пояснюється незначним вмістом у цементному камені вільного гідроксиду кальцію.

Він більш інтенсивно твердне при тепловологісній обробці та повільніше тужавіє та твердне при пониженій температурі, в нього нижча морозостійкість. Марки шлакопортландцементу М 300, М 400 та М 500.

Поряд із звичайним виготовляють також швидкотверднучий та сульфатостійкий шлакопортландцемент. Для останнього використовують клінкер, що містить не більше 8%  $C_3A$  та шлак, що містить не більше 8%  $Al_2O_3$ .

Шлакопортландцемент використовується переважно для бетонних і залізобетонних наземних, підземних та підводних конструкцій, які піддаються дії прісних вод, а також для виготовлення збірних конструкцій з використанням тепловологісної обробки, для приготування будівельних розчинів. Не допускається використовувати цей цемент для конструкцій, експлуатація яких потребує підвищеної морозостійкості, і для будівельних робіт при знижених температурах без штучного підігріву, а також у спекотну та суху погоду без ретельного дотримання вологісного режиму тверднення.

Шлакопортландцемент – економічно ефективний вид цементу. В середньому 1 т сухого гранульованого шлаку майже втричі дешевше клінкеру. Витрати умовного палива на виробництво 1 т шлакопортландцементу на 97...117 кг менші, ніж на виробництво бездомішкового портландцементу тієї ж марки. Енергоємність шлакопортландцементу в середньому на 25% нижче енергоємності портландцементу з мінеральними добавками.

**Сульфатостійкі цементи.** До цієї групи цементів входять сульфатостійкі портландцемент та портландцемент з мінеральними добавками, пуцолановий портландцемент та сульфатостійкий шлакопортландцемент.

Сульфатостійкий портландцемент відрізняється від звичайного підвищеною

стійкістю відносно до сульфатної агресії в умовах систематичного поперемінного заморожування та відтаювання або зволоження та висушування. Ця головна особливість сульфатостійкого портландцементу, що враховується при використанні його в бетонних та залізобетонних конструкціях, забезпечується застосуванням клінкеру нормованого мінералогічного складу з низьким вмістом трикальцієвого алюмінату  $C_3A$ . Розрахунковий мінералогічний склад такого клінкеру має відповідати трьом умовам:

- 1) вміст  $C_3A$  не більше 5%;
- 2) вміст  $C_3S$  не більше 50%;
- 3) сума  $C_3A + C_4AF$  не більше 22%.

Поряд з сульфатостійким портландцементом, до якого не дозволяється вводити мінеральні добавки, промисловість випускає сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками, якими можуть бути гранульовані доменні та електротермофосфорні шлаки (10...20% при вмісті  $Al_2O_3$  до 8% та осадові породи, крім глієжів – природно випалених глинистих порід (5...10%)).

Занижений вміст  $C_3S$  та  $C_3A$  викликає порівняно невисоку швидкість зростання міцності та тепловиділення сульфатостійкого портландцементу. Для нього характерна зазвичай марка М 400.

В клінкері сульфатостійкого портландцементу з мінеральними добавками вміст  $C_3S$  не нормується. Цей цемент випускається марок М 400 та М 500. Сульфатостійкість цементів, як і низка інших їх властивостей, покращується при введенні поверхнево-активних речовин.

**Пуцолановий портландцемент** – гідравлічна в'язуча речовина, яку отримують шляхом сумісного тонкого подрібнення клінкеру, кислої активної мінеральної (гідравлічної) добавки та гіпсу.

Значна кількість активних мінеральних добавок у пуцолановому цементі також, як і в шлакопортландцементі, підвищує водо- та сульфатостійкість. В пуцолановому портландцементі цьому сприяє також обмеження трикальцієвого алюмінату ( $C_3A \leq 8\%$ ). Понижена щільність пуцоланового портландцементу

(2,7...2,9 г/см<sup>3</sup>) призводить до підвищеного виходу з нього цементного тіста. Це, а також ущільнення цементного каменю внаслідок набухання добавок, забезпечує більш високу водонепроникність бетонів на пуцолановому портландцементі.

По мірі розбавлення цементів мінеральними добавками знижується їх тепловиділення при твердненні та тріщиноутворення в масивному гідротехнічному бетоні.

Пуцолановий портландцемент при звичайних і особливо при низьких температурах твердне повільно. Зростання міцності цього цементу особливо сповільнюється при твердненні його на повітрі. При введенні до цементу деяких мінеральних добавок (діатоміту, трепелу тощо) збільшуються витрати води і відповідно цементу у бетонних сумішах. Бетони та розчини на пуцолановому портландцементі неморозостійкі. Їх недоліками також є велика усадка, низька стійкість до поперемінного зволоження та висушування.

Найбільш раціональним є використання пуцоланового портландцементу для підземних та підводних конструкцій підвищеної водонепроникності та стійкості як у м'яких, так і у мінералізованих водах. Можна використовувати його і для наземних конструкцій, що знаходяться в умовах підвищеної вологості, але не зазнають заморожування та відтавання. Проміжне положення між шлакопортлапрцементами і пуцолановими цементами займають композиційні цементами, в які вводять композицію мінеральних добавок: доменний шлак і пуцолани.

**Цемент для будівельних розчинів** виготовляють сумісним помелом портландцементного клінкеру, активних мінеральних добавок та наповнювачів.

Вміст клінкеру повинен бути не менше, ніж 20% від маси всієї в'язучої речовини. У якості тонкомелених добавок-наповнювачів використовують золу-винос, кварцовий пісок, вапняк тощо. Випускають такий цемент марки М 200.

У зв'язку зі сповільненим твердненням цей цемент використовують, здебільшого при температурі повітря не нижче 10°C для виготовлення мурувальних та штукатурних розчинів, а також низькомарочних бетонів, до яких

не висувають вимог на морозостійкість.

**Цементи з добавками ПАР.** До портландцементів різних видів та марок при подрібненні дозволяється вводити поверхнево-активні речовини (ПАР) у кількості не більше 0,3% за масою. В процесі подрібнення цементу ПАР адсорбуються на його зернах та надають йому низку властивостей. Розрізняють гідрофілізуючі та гідрофобізуючі ПАР.

Гідрофілізуючі ПАР поглинаються на поверхні зерен цементу та утворюють гідрофільні плівки, які сприяють кращому змочуванню частинок водою, зменшенню їх зчеплення та підвищенню пластичності цементного тіста. З гідрофілізуючих ПАР найширше використовують технічні лігносульфати (ЛСТ).

При введенні цих, а також інших пластифікуючих добавок, як правило, у кількості 0,15...0,3% в процесі подрібнення отримують пластифікований портландцемент.

Пластичність цементів визначають за ступенем розпливу конусу з цементно-піщаного розчину на струшуючому столику. Розчин із суміші пластифікованого портландцементу з нормальним (вольським) піском складу 1:3 (за масою) при водоцементному відношенні (В/Ц), що дорівнює 0,4, після 30 струшувань на струшуючому столику має розплив конуса не менше 135 мм. Для непластифікованого портландцементу цей показник становить 106...115 мм.

Використання пластифікованого портландцементу дозволяє без збільшення витрат води отримати бетонну суміш більшої рухливості та полегшити її укладання або при незмінних рухомості та водоцементному відношенні знизити на 8...12% витрати цементу. При збереженні встановленої витрати цементу та необхідної рухливості зменшується водоцементне відношення бетонної суміші, що призводить до підвищення міцності, морозостійкості та водонепроникності бетону.

Гідрофобізований (гідрофобний) портландцемент запропонований М.І. Хігеровичем та Б.Г. Скрамтаєвим. На відміну від пластифікованого, його одержують при введенні до складу цементу в процесі подрібнення гідрофобізуючих добавок (милонафту, асидолу, синтетичних жирних кислот

тощо). Гідрофобізуючі добавки утворюють на зернах цементу найтонші адсорбційні шари – водонезмочувані оболонки. Крапля води на поверхні гідрофобних цементів не має всмоктуватися протягом 5 хвилин. Гідрофобність цементу обумовлює його головну перевагу – (рис. 7.2) здатність до тривалого зберігання. Гідрофобізовані цементи не знижують активність протягом 1...2 років навіть у несприятливих умовах, в той час як звичайні цементи вже за 3...6 місяців втрачають до 30% і більше початкової міцності. При перемішуванні з водою цих цементів гідрофобні оболонки руйнуються, що забезпечує нормальне протікання процесів гідратації та твердіння.

Гідрофобізація цементу сприяє підвищенню щільності та покращенню структури цементного каменю, що дозволяє досягти більшої морозостійкості та водонепроникності бетонів, їх стійкості в агресивних водах, зменшити висолоутворення в штукатурно-оздоблювальних розчинах та ін. Адсорбційнозмащувальна дія гідрофобізуючих ПАР сприяє більш високій рухомості бетонних сумішей та розчинів.

Гідрофобізовані та пластифіковані цементи випускають таких самих марок, що й звичайні; добавки ПАР можуть дещо сповільнити зростання міцності у перші строки тверднення.

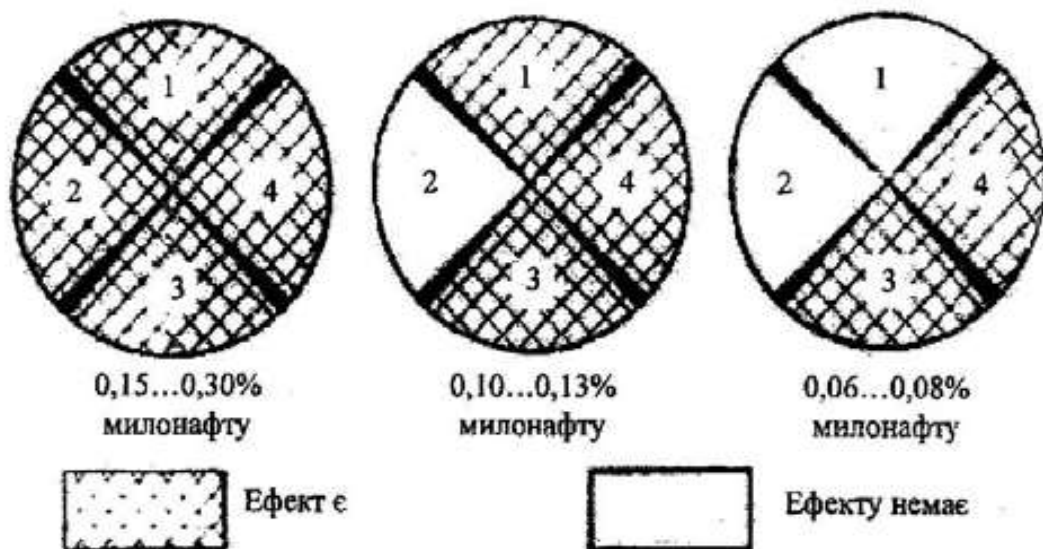


Рис. 7.2. Технологічний ефект при гідрофобізації цементів (за М. І. Хігеровичем): 1 – інтенсифікація помелу; 2 – збереження активності; 3 – пластифікація розчинів і бетонів; 4 – підвищення стійкості розчинів і бетонів

**Розширні та напружуючі цементи.** Для звичайних цементів при твердненні на повітрі характерна усадка, яка викликає розтягуючі напруження в бетоні, навіть до утворення тріщин. Спеціальні цементи, що дають при твердненні приріст об'єму, називають розширними. Розширення цементів, характерне при твердненні в ранньому віці, компенсує негативний вплив усадочних деформацій в майбутньому. Цементи, що розширюються, здебільшого є змішаними і складаються з основної в'язучої речовини та добавки, яка розширюється. Розширення цементного каменя відбувається, переважно за рахунок хімічної взаємодії компонентів добавки та утворення гідросульфоалюмінатів кальцію, а також  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Для отримання розчинів і бетонів, що розширюються, та безусадкових розчинів і бетонів, заробки швів та стиків використовують розширний портландцемент, який отримують сумісним тонким подрібненням 58...65% портландцементного клінкеру, 5...7% високоглиноземистого шлаку, 7...10% двоводного гіпсу та 23...28% активної мінеральної добавки. Його випускають марок М 400, М 500 та М 600. Початок тужавлення настає не раніше ніж за 30 хвилин, а кінець – не пізніше 12 год. після затворення. Лінійне розширення зразків цементного каменя з тіста нормальної густоти через одну добу має бути неменше 0,15%, а через 28 – неменше 0,2% і не більше 2%.

Напружуючі цементи є різновидом цементів, що розширюються. Вони мають енергію розширення, достатню для натягування арматури в залізобетонних конструкціях. Їх поділяють на цементи з малою НЦ-10 (до 1 МПа), НЦ 20 (до 2 МПа), середньою НЦ 40 (до 4 МПа) та високою НЦ 60 (до 6 МПа) енергією розширення. Цементи, що напружуються, випускають як для умов теплової обробки (НЦТ), так і для нормального тверднення (НЦН). Використання цих цементів дозволяє створювати ефективні дво- і навіть тривісно попередньо напружені конструкції. Їх використання дозволяє до 30...50% зменшити витрати арматури, у ряді випадків відмовитися від спеціальних гідроізоляційних покриттів.

Напружуючий портландцемент отримують шляхом тонкого подрібнення

65...70% портландцементного клінкеру, 16...20% високоглиноземистого шлаку та 14...16% гіпсу. У цементі НЦ-10 частина глиноземистих шлаків замінена гранульованими доменними шлаками. Відносне лінійне розширення становить 3...4%. Початок тужавлення спостерігається через 2...8 хвилин, кінець – через 6...15 хвилин після затворення. Міцність зразків, що тверднуть у воді, віком в одну добу досягає 20...30 МПа. Затверділі зразки мають повну водонепроникність під тиском води до 2,1 МПа.

Розроблено технологію напружуючого цементу на основі сульфоалюмінатного клінкеру, що містить як основний мінерал сульфоалюмінат кальцію.

Такий клінкер отримують випалюванням каоліну або золи ТЕС в суміші з вапняком та гіпсом.

**Білий портландцемент** отримують шляхом сумісного помелу білого малозалізного клінкеру, мінеральних добавок та гіпсу. За ступенем білизни його поділяють на три сорти. Кольорові портландцементи одержують додатковим введенням пігментів.

Крім розглянутих вище цементів на основі портландцементного клінкеру виготовляють ряд інших різновидів: тампонажні, для азбестоцементних виробів, дорожні цементи та ін.

**Глиноземистий цемент.** Глиноземистий цемент – швидкотверднуча гідравлічна в'язуча речовина, яка отримується тонким помелом клінкеру, в якому переважають низькоосновні алюмінати кальцію. Щоб отримати потрібний мінералогічний склад глиноземистого цементу, необхідно в сировинній суміші забезпечити переважання оксидів  $Al_2O_3$  (35...50%) і  $CaO$  (30...45%). З цією метою у якості вихідних матеріалів застосовують високоглиноземисту сировину – боксити і вапняки. Подрібнюють глиноземистий цемент до проходження через сито № 008 не менше 90% маси проби. Водопотреба глиноземистого цементу така сама, як і в портландцементу (23...28%), початок тужавлення настає не раніше ніж за 30 хв. За 5...6 год. тверднення міцність глиноземистого цементу досягає 30%, а в добовому віці – 80...90% марочної. На відміну від портландцементу і

його різновидів, марочна міцність глиноземистого цементу визначається не у віці 28 діб, а через 3 доби з моменту виготовлення зразків. Марки його М 400, М 500 і М 600.

Глиноземистий цемент твердне порівняно швидко не тільки при нормальних, але і при понижених позитивних температурах. Цьому сприяє його високе тепловиділення при гідратації. Бетони на глиноземистому цементі мають високу водо-, сульфато-, морозо- і жаростійкість. Глиноземистий цемент значно дорожчий від портландцементу, тому його застосовують тільки при аварійних роботах. На основі глиноземистого цементу випускають основні види розширних цементів: гіпсоглиноземистий і водонепроникний. Гіпсоглиноземистий отримують сумісним помелом клінкеру глиноземистого цементу і гіпсу в співвідношенні 70:30 (за масою), а водонепроникний – сумісним помелом або змішуванням 73...76% глиноземистого цементу, 20...22% гіпсу і 10...11% високоосновних гідроалюмінатів кальцію. Особливістю цього цементу є короткі строки тужавлення: початок – не раніше 4 хв., кінець – не пізніше 10 хв.

**Активні мінеральні добавки (АМД)** являють собою речовини, що містять від 70 до 90% кремнезему  $\text{SiO}_2$ . До них відносяться такі осадові породи, як опока, діатоміт, трепел, вулканічний туф, попіл, пемза. Ці добавки одержали назву *пуцоланові*, беруть участь у реакціях гідратації портландцементу з утворенням продукту взаємодії, що надає визначені властивості цементному каменю.

У якості штучних мінеральних добавок до складу цементу вводять паливні шлаки, що являють собою слабо закристалізоване скло. Шлаки володіють високою хімічною активністю, особливо при підвищених температурах. З використанням АМД одержують наступні види цементу:

**Пуцолановий портландцемент (ППЦ)** одержують у результаті часткової заміни клінкера активними мінеральними добавками (діатоміт, трепел, опока), вміст яких повинен бути не менше 20% і не більше 30%. Бетони на основі пуцоланового цементу внаслідок вмісту АМД, стійкі до вилуговування, сульфатостійкі й застосовуються для будівництва підводних і підземних частин споруд, що постійно знаходяться у вологих умовах. На повітрі бетон на ППЦ дає

більшу усадку, знижує свою міцність, має низьку морозостійкість, у нормальних умовах твердне повільно, тому не рекомендується для зимового бетонування.

**Щлакопортландцемент (ШПЦ)** (ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови») одержують введенням на стадії помелу клінкера гранульованого доменного шлаку в кількості понад 20%. Цей вид цементу, як і пуцолановий, володіє підвищеною водо- і сульфатостійкістю, зниженою інтенсивністю тверднення, але специфіка складу шлаку визначає і його властивості. Так, хімічна активність шлаку в ШПЦ при підвищенні температури широко використовується при виготовленні збірного залізобетону, що піддається термовологісній обробці з метою прискорення тверднення. Шлак термостійкий, тому ШПЦ застосовують для виробництва жаростійких бетонів, що працюють за температури до 700°C.

**Гіпсоцементнопуцоланова в'язуча речовина (ГЦПВ)** – одержують змішуванням напівводного гіпсу (50...75%), портландцементу (15...25%) і АМД (10...25%). Роль АМД у ГЦПВ полягає в забезпеченні стабільності затверділої в'язучої речовини. Портландцемент не рекомендується змішувати з гіпсом для запобігання нестійкості матеріалу, деформації та його руйнуванню. АМД немовби послабляє внутрішні напруження в камені ГЦПВ і забезпечує стійкість у часі. Застосовують у заводському виробництві санітарно-технічних кабін, стінових панелей та ін.

**Швидкотверднучий портландцемент (ШТЦ)** – портландцемент з АМД, що характеризується інтенсивним набором міцності в початкові терміни тверднення. Вже в тридобовому віці цементний камінь має більше половини своєї марочної міцності. Зазначена особливість ПЦ-Б забезпечується вмістом у клінкері  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 + 3\text{CaOSiO}_2$  звичайно не менше 60...65%, підвищеною тонкістю помелу до питомої поверхні 3500...4000  $\text{cm}^2/\text{m}$ . Різновидністю ШТЦ є особливо швидкотверднучий і надшвидкотверднучий цемент. Останній дає ранню міцність вже у віці 1...4 години, достатню для розпалубки виробу. Ці види цементів застосовують для зведення споруд з монолітного бетону, при авральних і зимових бетонних роботах, при ремонтних і відновлювальних роботах, де

потрібне швидке наростання міцності.

### ***Поверхнево-активні добавки (ПАД)***

Основний принцип дії добавок цього виду полягає в їх адсорбції на поверхні цементних зерен і продуктах гідратації цементу. ПАД можна розділити на:

- гідрофобізуючі (ЛСТ – лігносульфонати кальцію, СДБ), що поліпшують змочуваність водою цементних зерен;

- гідрофільні (милонфти, асидол, асидолмилонфти, синтетичні жирні кислоти та їх солі), що надають поверхні цементу властивість водовідштовхування.

До ПАД відносять також *суперпластифікатори* (С-3, СНПІ), введення яких при помелі клінкера дає можливість знизити водопотребу цементу.

З використанням ПАД одержують такі види портландцементу:

– *пластифікований портландцемент* (ПЛ), виготовляють шляхом введення при помелі клінкера 0,15...0,25% ЛСТ. Бетонні та розчинні суміші на основі ПЛ мають підвищену рухливість. Бетони на основі ПЛ володіють підвищеною морозостійкістю і водонепроникністю. Застосування ПЛ дає можливість знизити водопотребу й тим самим знизить витрати цементу на 10...15%. Застосовується в дорожньому, аеродромному і гідротехнічному будівництві;

– *гідрофобний портландцемент* (ПЦ-ГФ) одержують введенням при помелі клінкера гідрофобізуючих добавок 0,05...0,3%. Гідрофобний цемент підвищує рухливість бетонних сумішей, що, у свою чергу, призводить до збільшення водостійкості, водонепроникності і морозостійкості бетонів. Застосовують у гідротехнічному, дорожньому і аеродромному будівництві.

– *в'язучі речовини низької водопотреби* (ВНВ) одержують спільним помелом портландцементного клінкера із суперпластифікатором, що дозволяє отримати питому поверхню цементу 4500...5000 см<sup>2</sup>/м. Зазначена тонкість помелу забезпечує підвищену реакційну здатність ВНВ. Введення органічної добавки знижує водопотребу в'язучої речовини до 18...15%, сповільнює початок тужавлення до 6...7 годин, забезпечує швидкий ріст міцності в ранні строки тверднення. Рекомендується застосовувати для виготовлення високоміцних

бетонів, тому що морозна міцність ВНВ лежить у границях 700...1000 кг/см<sup>2</sup>.

До **спеціальних** видів портландцементу відносять:

– *сульфатостійкий портландцемент (ССПЦ)*, одержуваний на основі клінкера, утримуючого не більше 50%  $C_3S$ , 5%  $C_3A$  і 22%  $C_3A + C_4AF$ . Знижений вміст трикальцевого алюмінату забезпечує стійкість бетонів на основі ССПЦ до дії сульфатної корозії, і підвищує морозостійкість. На стадії помелу цементного клінкера крім гіпсу іноді вводяться пластифікуючі та гідрофобізуючі добавки з метою підвищення морозостійкості.

– *білий і кольоровий цемент* одержують шляхом випалу чистих вапняків і білих глин. У сировинних матеріалах не повинні міститися оксиди заліза і марганцю, оскільки їх навіть незначна присутність надає цементу зеленувато-сірий колір. Домішують до білого цементу лугостійкі мінеральні та органічні пігменти;

– *глиноземистий цемент* являє собою гідравлічну, швидкотверднучу в'язучу речовину, одержувану із сировинних матеріалів з високим вмістом глинозему  $Al_2O_3$ . Для мінералогічного складу глиноземистого цементу характерний переважний вміст низькоосновних алюмінатів кальцію, головним з яких є моноалюмінат  $CaO \cdot Al_2O_3$ . Саме ця група мінералів визначає надзвичайно швидке тверднення цементу. Вже в тридобовому віці цементний камінь має міцність від 400 до 600 кг/см<sup>2</sup>. Глиноземистий цемент не застосовують для бетонування масивних конструкцій, його тверднення можливе тільки при помірних температурах не вище 25°C. Бетони на глиноземистому цементі водонепроникні, морозостійкі, стійкі в умовах прісних і сульфатних вод. Застосовують при термінових ремонтних роботах, провадженні робіт у зимових умовах, для бетонних і залізобетонних споруд, що піддаються дії сильно мінералізованих вод, для одержання жароміцних бетонів, для виготовлення безусадкових цементів.

## **7.8. Транспортування і зберігання в'язучих матеріалів**

В'язучі матеріали відвантажують в клапанних паперових мішках або навалом в спеціальних транспортних засобах: авто- або залізничних

цементовозах, критих вагонах та ін. Цементи повинні зберігатися роздільно за видами і марками в стаціонарних або пересувних автоматизованих складах (силосах), або в спеціальних контейнерах або бункерах, які мають пристосування для прийому і видачі цементу. У паспорті на цемент, який видає завод-виробник, вказуються номер партії, повне найменування цементу і його гарантована марка, вид і кількість добавок, нормальна густина цементного тіста, середня активність цементу при пропарюванні та інші дані.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке гідравлічні в'язучі речовини?
2. Чим вони відрізняються від повітряних в'язучих?
3. Які речовини належать до гідравлічних в'язучих?
4. Як класифікують гідравлічні в'язучі за хімічним складом і способом отримання?
5. Які основні види гідравлічних в'язучих матеріалів ви знаєте (портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановий цемент тощо)?
6. Які існують спеціальні види цементів (глиноземний, сульфатостійкий, білий, кольоровий)?
7. Яка сировина використовується для виробництва портландцементу?
8. Що таке клінкер і як він утворюється?
9. Опишіть основні стадії виробництва цементу (приготування сировинної суміші, випал, помел, додавання гіпсу).
10. Для чого додають гіпс у цемент при помелі?
11. Які мінерали складають цементний клінкер?
12. Назвіть активні мінеральні добавки, які використовують у виробництві цементів?
13. У чому розходження гідравлічного і повітряного вапна?
14. Як визначають марку і активність портландцементу?
15. Розповісти про різновиди портландцементу.
16. Що таке час схоплювання та тверднення цементу?

17. Як відбувається гідратація цементу?
18. Як впливають температура та вологість на процес тверднення гідралічних в'язучих?
19. Що таке марка цементу та від чого вона залежить?
20. Які показники міцності визначають при випробуванні цементу?
21. У яких будівельних роботах застосовують портландцемент?
22. Для яких конструкцій використовують глиноземний цемент?
23. Де доцільно застосовувати сульфатостійкий цемент?
24. Чому для підводних та гідротехнічних споруд використовують саме гідралічні в'язучі?
25. Як визначають тонкість помелу цементу?
26. Які лабораторні випробування проводять для перевірки якості гідралічних в'язучих?
27. Які показники нормуються стандартами (міцність, час схоплювання, стабільність об'єму)?

### **Завдання до самостійної роботи**

1. Розглянути значення кожного мінералу клінкеру цементу для отримання цементів заданих властивостей.
2. Дати визначення твердінню та тужавінню.
3. Навести схему взаємодії клінкерних мінералів із водою.
4. Порівняти стійкість цементного каменю в різних агресивних середовищах.
5. Охарактеризувати спеціальні види портландцементу.

**Короткий словник спеціальних термінів, що використовуються для  
вивчення дисципліни « Будівельне матеріалознавство»**

1. **Адгезія** – (від лат. *athaesto* – приліплювання), зчеплення поверхонь різнорідних тіл.
2. **Адсорбція** – (від лат. *ad* – на, *sorbeo* – поглинаю), поглинання газів, пари або рідин поверхневим шаром твердого тіла (адсорбенту).
3. **Анізотропність** – (від грець. *anisos* – нерівний і *tropos* – напрямок), залежність властивостей середовища від напрямку.
4. **Аморфність** – (від грець. *amorhos* – безформний) – безформність, розпливчатість.
5. **Біостійкість** – здатність матеріалів чинити опір впливу біологічних процесів, які виникають при експлуатації матеріалів у спорудах.
6. **В'язкість** – властивість рідин і газів, що характеризує опір діючій зовнішній силі, що викликає течію.
7. **В'язучі речовини** – дрібнодисперсні порошки мінерального походження, при контакті з водою перетворюються в пластичну масу, потім у міцний кам'яний матеріал.
8. **Гідратація** – приєднання води до речовини.
9. **Дегідратація** – відщеплення води від хімічних сполук; реакція, зворотна гідратації.
10. **Декарбонізація** – хімічна реакція, що супроводжується виділенням вуглекислого газу.
11. **Деструкція** – (від лат. *destructio* – руйнування), порушення, руйнування нормальної структури речовини.
12. **Диспергування** (від лат. *dispergo* – розсіюю) – тонке подрібнювання твердого тіла, в результаті якого утворюються дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії.
13. **Дисперсність** – характеристика розміру часток у дисперсних системах.
14. **Довговічність** – властивість виробу зберігати працездатність до

граничного стану з необхідними перервами на ремонт. Вимірюється терміном служби без втрат експлуатаційних якостей.

15. **Затворення** – замішування в'язучих речовин із водою або розчинами солей.

16. **Ізотропність** – (від грець. tropos – поворот, напрямок) – незалежність властивостей фізичних об'єктів від напрямку.

17. **Карбонізація** – приєднання вуглекислого газу до речовини.

18. **Коагуляція** – (від лат. coagulatio – згортання) – зчеплення часток дисперсної фази при їх зіткненні в процесі броунівського руху.

19. **Корозія** – довільне руйнування матеріалів, викликане хімічними та електрохімічними процесами, що проходять у них при взаємодії з зовнішнім середовищем.

20. **Матриця** – компонент, безперервний по всьому об'єму композиційного матеріалу, який забезпечує визначену міцність зчеплення з наповнювачем, передає навантаження окремим частинкам наповнювача і сприймає напруження.

21. **Надійність** – загальна властивість, що включає: безвідмовність, ремонтпридатність, збереження.

22. **Структура** – визначене розташування у просторі окремих структурних елементів з урахуванням їх кількісного співвідношення та характеру зв'язку між ними.

23. **Тиксотропність** – (від грець. thixis – дотик, trope – поворот, зміна) – здатність дисперсних систем відновлювати початкову структуру, зруйновану механічним впливом.

24. **Хімічна активність** – реакційна здатність при взаємодії з іншими матеріалами.

25. **Шамот** – зернистий порошок із зернами 0,16...2,5 мм, що отримують подрібненням попередньо випаленої до спікання глини.

## Літературні джерела

1. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Будівельне матеріалознавство. – К: ТОВ УАВК «Екс Об», 2004. – 704 с.
2. Захарченко П.В., Долгий Е.М. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали. – К: КНУБА, 2005. – 512 с.
3. Будівельне матеріалознавство: навч. посіб. / С.В. Піддубний, М.В. Білошицький, В.М. Соколенко; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля. - Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2021. - 147 с. - ISBN 978-617-11-0212-5
4. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини / В.І. Гоц, В.В. Павлюк, П.С. Шилюк. – К.: Основа, 2016. – 568 с.
5. Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство: підручник / Л.Й. Дворкін, С.Д. Лаповська. – Рівне: НУВГП, 2016. – 448 с.
6. Будівельне матеріалознавство: підручник / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський та ін.; за ред. д.т.н., проф. П.В. Кривенко. – К.: Видавництво Ліра-К, 2012. – 624 с.
7. Кондращенко О.В. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. / О.В. Кондращенко, Т.Д. Рищенко. – Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 277 с.

## Нормативні джерела:

8. Будівельні матеріали. Вапно будівельне. Технічні умови. Поправка: ДСТУ Б В.2.7–90:2011 – [Чинний від 01.10.2012 р.]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 19 с.
9. Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови. Поправка: ДСТУ Б В.2.7 – 82:2010. – [Чинний від 23.04.2013.]. – К.: Держбуд України, 2013. – 27 с.
10. Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності (EN 196-1:2016, IDT). ДСТУ EN 196-1:2019 – [Чинний від 01.01.2020.]. – К.: Мінбуд України, 2019. – 24 с.
11. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7–114 – 2002. – [Чинний від 01.07.2002 р.]. – К.: Держбуд України, 2002. – 25 с.
12. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і

стиск: ДСТУ Б В.2.7–187:2009. – [Чинний від 01.08.2010 р.]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с.

13. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу: ДСТУ Б В.2.7–215:2009. – [Чинний від 01.09.2010 р.]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 14 с.

14. Бетони важкі. Технічні умови: ДСТУ 9208:2022. – [Чинний від 01.09.2023 р.]. – К.: Держкоммістобудування України, 2022. –16 с

Навчальне видання

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Частина 1

*(для здобувачів вищої освіти*

*спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)*

*(Електронне видання)*

Укладачі: БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович

ТАТАРЧЕНКО Галина Олегівна

БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна

Оригінал - макет Н.І. Білошицька

Підписано до друку \_\_\_\_\_

Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_ . Обл.-вид.арк. \_\_\_\_ .

Тираж \_\_\_\_ прим. Вид. № \_\_\_\_ . Замовл. № \_\_\_\_ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218  
04 78, факс (064 52) 4 03 42

E-mail: [vidavnictvosnu.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)

E-MAIL: UNI@SNU.EDU.UA