

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
АКАДЕМІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ**

---

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ПОВЕДІНКА В  
УМОВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**Харків 2000**

УДК 614.841.22:691

Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур;  
Навч. посібник для пожежно-техн. навч. закладів./ Укладачі: Пушкаренко  
А.С., Васильченко О.В.– Харків: АПБУ, 2000.– 146 с.

Рецензенти:

В.Г.Палюх - професор академії пожежної безпеки України

О.Л.Шагін - завідуючий кафедрою залізобетонних конструкцій  
харківського державного технічного університету будівництва і  
архітектури, доктор технічних наук професор

Наведено дані про класифікацію будівельних матеріалів, їх  
отримання, використання, основні властивості у нормальних умовах та  
при високих температурах, а також про способи зниження пожежної  
небезпеки. У посібнику подано елементарні поняття про горіння  
матеріалів, їх пожежно-технічні характеристики та способи контролю.

Для курсантів, студентів та слухачів пожежно-технічних  
навчальних закладів.

Рекомендовано до видання  
методичною радою  
Академії пожежної безпеки України,  
протокол № 1 від 21.09.2000

Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур;  
Харків: АПБУ, 2001.– 146 с.

Укладачі: Васильченко Олексій Володимирович,  
Пушкаренко Алла Сергіївна.

Редактор Т.О.Філіна

Підп. до друку 03.12.2001р.  
Друк ризограф.  
Тираж 500 прим.

Формат 60 x 84 1/16  
Умовн. - друк. арк 9,1  
Вид. № 25/00 Зам. №

---

Дільниця оперативної поліграфії АПБ України  
61023 м. Харків, вул. Чернишевського, 94

## ВСТУП

БУДІВНИЦТВО – ЦЕ ОДНА З НАЙБІЛЬШ МАТЕРІАЛОСМНИХ ГАЛУЗЕЙ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА, ЩО ПОТРЕБУЄ ВЕЛИКОЇ КІЛЬКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ. ВИТРАТИ НА МАТЕРІАЛИ СКЛАДАЮТЬ БІЛЯ ШІСТДЕСЯТИ ВІДСОТКІВ НОМІНАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ І БІЛЯ ОДНІЄЇ ТРЕТИНИ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ У НАРОДНЕ ГОСПОДАРСТВО. У будівництві використовують різноманітні природні та штучні матеріали. Природні будівельні матеріали добувають у місцях їх утворення – у верхніх шарах земної кулі. У більшості випадків вони можуть бути використані без суттєвої переробки. Прикладом є глина, пісок, гравій, деревина та інші. Порівняно нескладне добування і механічна обробка мають на меті надати матеріалу тільки певних розмірів, форми та стану поверхні.

Штучні будівельні матеріали виготовляють за спеціальною технологією з природної сировини або відходів промисловості, з суміші різних матеріалів. При цьому вихідні складові зазнають фізико-хімічних змін, внаслідок чого утворюється новий матеріал з новими властивостями, відмінними від вихідних.

Ефективність використання будівельних матеріалів залежить, головним чином, від того, наскільки їхня якість відповідає умовам роботи будівель і споруд під час експлуатації. Раціональне використання сировинних, матеріально-технічних і інших видів ресурсів потребує відповідного відношення до матеріальних цінностей, у тому числі і до захисту їх від пожеж.

Високі темпи розвитку народного господарства пов'язані з концентрацією виробництва, будівництвом великих і складних будов, концентрацією у спорудах значної кількості пожежо- та вибухонебезпечної сировини і готової продукції, запровадженням нових технологічних процесів із вибухо- і пожежонебезпечними виробництвами, а також використанням легких конструкцій з металу та полімерних матеріалів, що мають низьку вогнестійкість.

Використання усіх видів будівельних матеріалів повинно базуватися на знанні їхніх фізико-механічних і хімічних властивостей при нормальних і високих температурах, а також токсичних властивостей. При цьому необхідно знати не тільки міцність і деформативність матеріалів при нагріванні, але і пожежонебезпечні властивості, такі як займистість, теплота займання, температура спалахування, швидкість вигорання і розповсюдження полум'я по поверхні, здатність до димоутворення та інші.

Необхідно мати на увазі, що деякі матеріали, особливо полімерні матеріали, в умовах дії високих температур і термоокислення виділяють токсичні гази, що шкідливо впливають на стан організму людини.

Інженер пожежної безпеки на основі глибоких знань властивостей матеріалів, опираючись на закони фізики, хімії, механіки повинен у кожному конкретному випадку передбачати засоби протипожежного захисту матеріалів і конструкцій.

У посібнику у лаконічній формі наведені: основні види та властивості будівельних матеріалів, що частіше застосовуються у будівництві, з викладанням головних показників якості; основні процеси, що мають місце при дії високих температур і вогню на будівельні матеріали та вплив різних факторів на поведінку матеріалів у цих умовах; методи оцінки пожежонебезпечних властивостей матеріалів; способи підвищення пожежної безпеки будівельних матеріалів; основи протипожежного нормування застосування матеріалів у будовах і спорудах.

## **ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **1.1 Загальні відомості**

*Матеріал* – це хімічна речовина (або сукупність речовин), з якої складається або може бути виготовлений виріб чи конструкція, що мають певне функціональне призначення.

Склад, будову та властивості матеріалів вивчає наука, яка зветься *матеріалознавство*. Складовою частиною матеріалознавства є *будівельне матеріалознавство*. Воно вивчає закономірності протікання процесів, що лежать в основі отримання і використання будівельних матеріалів та виробів, встановлює взаємозв'язок між їх складом, будовою і властивостями.

Будівельні матеріали виконують різноманітні функції:

- забезпечують ізоляцію та добрі умови експлуатації збудованих споруд;
- сприймають механічні навантаження від ваги будов та різного транспортного обладнання;
- забезпечують естетичні показники та інше.

За використанням матеріалів та виробів у будівництві їх можливо розбити на наступні групи:

- *в'язучі* будівельні матеріали (повітряні та гідравлічні в'язучі) – до цієї групи відносять різні види цементів, вапно, гіпс;

- конструкційні матеріали – бетон, залізобетон, цегла, сталь, деревина, що застосовуються для виготовлення несучих конструкцій (фундаментів, колон, балок, ферм);
- стінові матеріали – до цієї групи відносять матеріали, з яких виробляють огорожуючі конструкції: природні кам'яні матеріали, глиняну та силікатну цеглу, бетонні, гіпсові та азбестоцементні плити та блоки, вироби з деревини, скла, силікатного ніздрюватого та щільного бетону, панелі і дрібні блоки з залізобетону;
- оздоблювальні матеріали – вироби з кераміки, природного лицевального каміння, архітектурно-будівельного скла, гіпсу, цементу, азбесту, а також вироби на основі полімерів, деревини, паперу;
- тепло-звукоізоляційні матеріали та вироби – матеріали та вироби на основі мінеральних волокон, скла, гіпсу, азбесту, полімерів;
- покрівельні матеріали – м'яка покрівля на основі бітуму, картону і склотканини, азбестоцементу (шифер), мастичне покриття плоских покрівель, черепиця;
- заповнювачі для бетону – природні з осадових та вивержених порід (щебінь, пісок), штучні пористі;
- санітарно-технічні вироби – опалювальні прилади, котли, ванни, мийки, обладнання для кухонь та сантехнічних вузлів з металу, кераміки, фарфору, полімерів;
- труби – чавунні, залізобетонні, азбестоцементні, керамічні, полімерні.

Номенклатура матеріалів, що використовується у будівництві, достатньо велика і поступово розширюється. Класифікують будівельні матеріали за різними ознаками, головні з яких:

#### 1. Походження:

- *природні* (використовуються без суттєвої переробки природної сировини) - кам'яні плити, блоки, щебінь;
- *штучні* (одержують внаслідок достатньої складної технологічної переробки природної сировини) – гіпс, вапно, цемент, бетони.

#### 2. Призначення:

- *конструкційні* (для споруди стін, перекриттів, каркасів) – метал, цегла, деревина, бетон, залізобетон;
- *в'язучі* (для кам'яної кладки, бетонів, штукатурки) – цемент, гіпс, вапно, бітуми;
- *теплоізоляційні* (пінобетон, повсть, мінеральна вата, пінопласт);
- *покрівельні та гідроізоляційні* (черепиця, шифер, толь, руберойд, покрівельне залізо);
- *оздоблювальні та лицевальні* (камінь, кераміка, пластики, лінолеум).

#### 3. Агрегатний стан – тверді, рідкі, гази.

4. Структура – кристалічні, аморфні, коагуляційні, щільні, пористі, пілоподібні.
5. Речовий склад – мінерали, деревина, метал, органіка ...
6. Кількість компонентів – одно-, двох- та багатокомпонентні.
7. Спосіб отримання – плавлені, полімеризовані, спечені, обпалені...
8. Техніко-економічні показники – надійність, довговічність, вартість...
9. Пожежно-технічні показники – горючість, димоутворююча здатність, токсичність...

Усі види матеріалів, виробів і конструкцій, які застосовуються у будівництві, мають чітке функціональне призначення. Вони можуть сприймати як силові навантаження самого різного діапазону величин, так і комплекс інших впливів, що визначаються умовами експлуатації та навколишнього середовища. При цьому вони повинні мати певний запас міцності і бути здатними довгий час опиратися фізичним, хімічним і біологічним впливам у різних умовах. Тому в будинках і спорудах повинні бути закладені матеріали з такими властивостями, які б забезпечили їм не тільки міцність, але й необхідну жорсткість, стійкість і довговічність, щоб вони у повній мірі задовольняли санітарно-гігієнічним, архітектурним, протипожежним, економічним та екологічним вимогам.

Якість матеріалів оцінюють кількісно, тобто числовими показниками, які визначають шляхом лабораторних, польових, виробничих випробувань. Випробування виконують за спеціальними методиками, які передбачені відповідними нормативними документами.

## 1.2 Механічні властивості будівельних матеріалів

Механічні властивості характеризують здатність матеріалу опиратися силовим, тепловим, усадочним і іншим внутрішнім напруженням без руйнування. Найважливішими механічними властивостями, що характеризують якість матеріалів, є *міцність*, *пружність*, *крихкість*, *пластичність*, твердість, *стирання*, довговічність.

**Міцність** – здатність матеріалів чинити опір руйнуванню від дії напруг, що виникають у ньому під впливом прикладеного навантаження. Міцність матеріалів зумовлена зчепленням між собою часток (атомів, іонів і молекул), з яких вони складаються. До прикладення силових навантажень частки, з яких складаються тверді матеріали, утримуються силами взаємного зчеплення. Після прикладення до тіла зовнішнього навантаження їхня дія рівномірно розподіляється на всі частки матеріалу, і він виявляється в напруженому стані, що, в свою чергу, призводить до

зміни відстаней між частками матеріалу, тобто до його деформації і руйнування.

Величину, що дорівнює відношенню сили (навантаження) до площі перерізу тіла, називають **напругою** і вимірюють у *Паскалях* ( $Pa = H/m^2$ ):

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

де  $\sigma$  – напруга, Па;

P – сила (навантаження), Н;

F – площа перерізу, м<sup>2</sup>.

Будівельні матеріали у конструкціях під дією різних навантажень сприймають напругу стиску, розтягнення, згину і інше. Тому міцність матеріалів характеризують границею міцності при стиску, розтягненні, згині та інших навантаженнях.

**Границею міцності** називають умовну напругу, що відповідає найменшій силі, яка викликає руйнування зразка матеріалу. При цьому завжди обговорюють характер прикладення руйнівної сили (на стиск, розтягнення, згин, скручення, сколювання, зминання, зріз, удар). Іншими словами границя міцності це умовна напруга, яка відповідає найбільшому навантаженню, що витримує зразок матеріалу при випробуванні.

Практично границю міцності визначають шляхом руйнування (навантаження) стандартних зразків (рис.1.1) на спеціальних пресах або розривних машинах.

Границя міцності матеріалу (частіше при стиску) характеризує його *марку*. Границя міцності будівельних матеріалів при стиску вагається у широких межах 0.5...100 МПа та більше. У більшості матеріалів (крім деревини, сталі, полімерних матеріалів) границя міцності при розтягненні і згині значно нижче, ніж при стиску. Так, кам'яні матеріали при розтягненні витримують навантаження у 10-15 разів нижче, ніж при стиску (див. табл.1.1), тому їх використовують, головним чином, у конструкціях, що працюють на стиск.

Для будівельних матеріалів, що працюють у спорудах, діюча напруга повинна бути нижче границі їх міцності. Внаслідок цього і забезпечується необхідний запас міцності. Втрата матеріалом експлуатаційних якостей і, навіть, руйнування викликаються рядом причин: неоднорідністю матеріалу, можливістю значної деформації до досягнення границі міцності і виникненням тріщин, втомленістю матеріалу при значних змінних



навантаженнях, старінням матеріалу під впливом навколишнього середовища тощо. Запас міцності встановлюється нормативними вимогами в залежності від виду і якості матеріалу, класу довговічності будови.

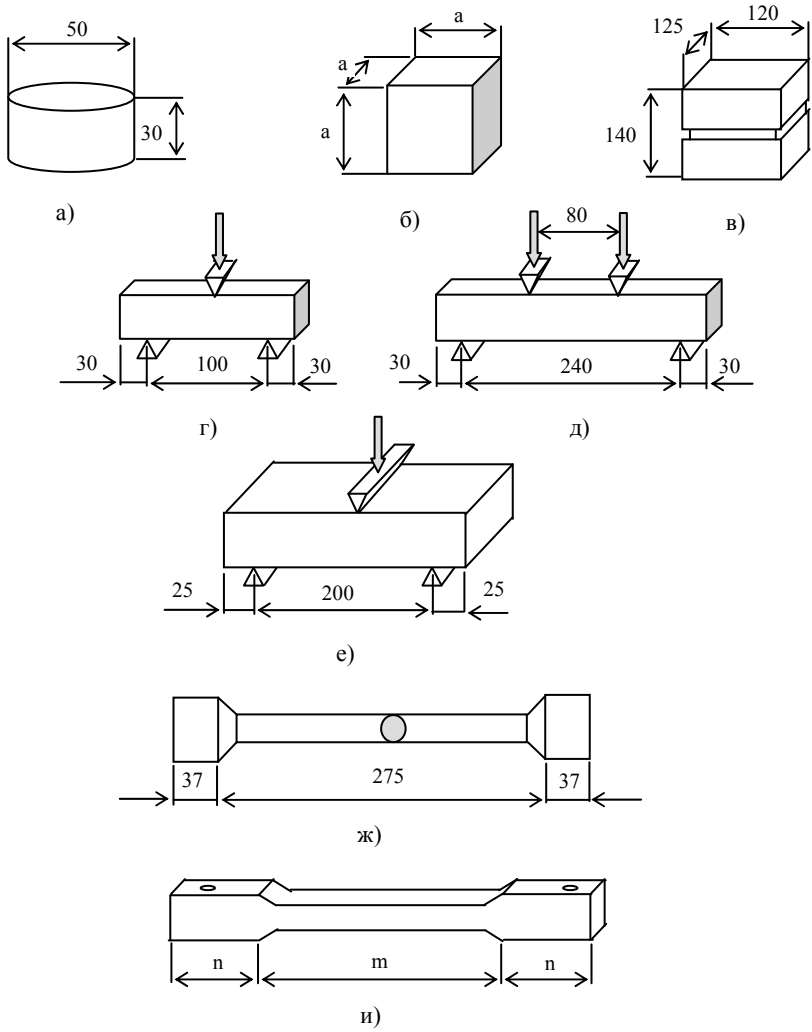


Рисунок 1.1 – Приклади стандартних зразків для випробування матеріалів:  
 – на стиск: а) щільне природне каміння; б) щільне і пористе природне каміння та бетон  $a = 50; 100; 150$ ; в) цегла – дві склесні половини;  
 – на вигин: г) цементний розчин; д) деревина; е) цегла;  
 – на розтягнення: ж) сталь; и) деревина вздовж волокон:  $n=100; m=150$ ; 9  
 поперек волокон  $n = 45; m = 90$ .

**Таблиця 1.1 – Границі міцності при стиску і розтягненні деяких будівельних матеріалів**

Найменування матеріалу	Границя міцності, МПа	
	при стиску	при згині
Граніт	140...180	–
Базальт	300...500	–
Вапняк щільний	10...150	–
Бетон цементний	25...60	–
Цегла керамічна	15...29	–
Цегла силкатна	10...29	–
Скло	60...120	–
Сталь	380...450	–
Дюралюміній	210...450	–
Ялина	37...42	77...107
Сосна	43...44	80...108
Дуб	50...52	94...127
Бук	40...46	94...120
Текстоліт	150...250	40...100
СВАМ	20.0	80
Органічне скло	50...120	65...78

При нагріванні деталі будівельної конструкції може відбуватися прогрівання матеріалу, з якого вона складається, до **критичної температури**, при якій границя міцності матеріалу знижується до величини допустимих робочих напружень, що виникають від експлуатаційних навантажень. Математично це визначається відношенням:

$$K_3 = \frac{R_a^H}{\sigma_a}$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запаса міцності (завжди більше 1);

$R_a^H$  – нормативна границя міцності матеріалу;

$\sigma_a$  – напруга в матеріалі від нормативних навантажень.

Моменту  $K_3=1$  відповідає стан, коли виникають надмірні деформації, вичерпується несуча здатність деталі і настає її руйнування. Тому при розрахунках коефіцієнт  $K_3$  приймають з запасом, що нормується (наприклад, може прийматися для сталі  $K_3=1.6$ , для алюмінієвого сплаву  $K_3=2$ , для бетону  $K_3=1.4$ ).

Порівняння поведінки різних матеріалів при нагріванні зручно проводити за їх відносною міцністю. **Відносна міцність** ( $\gamma_t$ ) визначається співвідношенням границі міцності матеріалу при досягнутій температурі ( $R_t$ ) до границі міцності цього матеріалу при 20 °C ( $R_{20}$ ):

$$\gamma_t = \frac{R_t}{R_{20}}$$

**Пружність** – здатність матеріалу змінювати під дією навантаження свою форму та об'єм без ознаки руйнування та відновлювати їх після припинення дії деформуючих сил. Зовнішні сили, прикладені до зразка матеріалу, викликають зміну його розмірів на величину  $\Delta l$  у напрямку дії сили (при стиску – скорочення, при розтягуванні – подовження). Показником деформації є **відносна деформація ( $\varepsilon$ )**, яку визначають відношенням зміни лінійних розмірів тіла, що деформується, ( $\Delta l$ ) в напрямку дії сили (при стиску - скорочення, при розтягуванні - подовження) до первісного значення лінійного розміру зразка ( $l$ ):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Відносна деформація може бути зворотною і незворотною. *Зворотна (пружна) деформація* повністю зникає після зняття навантаження. *Незворотна (пластична, залишкова)* – не зникає після його зняття. Пружні деформації спостерігаються у гуми, скла, сталі, штучних і природних кам'яних матеріалів, а пластичні – у глини, бітуму, деяких видів пластмас, незатверділих бетонних сумішей. Для твердих і пружних матеріалів зі збільшенням напруги пропорційно зростають і їх відносні деформації:

$$\sigma = \varepsilon E$$

де  $\sigma$  – напруга, МПа;

$\varepsilon$  – відносна деформація;

$E$  – модуль пружності, МПа.

**Модуль пружності ( $E$ )** характеризує здатність матеріалу опиратися пружній зміні форми і розміру при прикладенні зовнішніх сил. Він має ту ж саму розмірність, що й напруга, і для даного матеріалу є його константою. Порівняння модулів пружності сталі ( $2 \cdot 10^5$  МПа) і кремнеземистого скла ( $0.73 \cdot 10^5$  МПа) говорить про те, що під дією однієї і тієї ж сили деформація сталі буде в 2.7 разу нижче, ніж у скла. А якщо деформованість сталі порівнювати з каучуком ( $E=20$ МПа), то вона буде в 10000 раз нижче такого ж показника каучуку.

**Крихкість** – здатність матеріалу під впливом механічних напруг, які в ньому виникають, руйнуватися без помітної пластичної деформації. Крихкі матеріали практично не деформуються перед руйнуванням. До них відносяться природні та штучні кам'яні матеріали, цементобетон, скло.

**Пластичність** – здатність матеріалу змінювати без розриву суцільності форму та розміри під впливом навантаження або внутрішніх напруг, стійко зберігаючи утворену форму і розміри після припинення цього впливу. Пластичні матеріали під дією навантаження значно деформуються, помітно змінюючи свою форму та об'єм, і тільки потім руйнуються.

Крихкість і пластичність дуже сильно залежать від температури, вологості, режиму навантаження та ін. Так, вироби з глини крихкі у сухому стані і пластичні у вологому.

**Твердість** – властивість матеріалу чинити опір деформуванню або руйнуванню при місцевому силовому впливі. Вона характеризується проникненням у нього іншого, більш твердого матеріалу.

**Стирання** – здатність матеріалу опиратися дії стиральних зусиль. Як правило, чим вище твердість матеріалу, тим більше у нього і опір стиранню. Одночасний вплив на матеріал стирання і удару викликає його спрацювання. А стійкість до спрацювання обумовлюється спроможністю протидіяти абразивній дії.

**Довговічність** – здатність матеріалів зберігати потрібні якості до граничного стану, який задається умовами експлуатації або випробувань. Оцінюють її часом або числом циклів від початку експлуатації (випробування) до моменту досягнення граничного стану, при якому подальша експлуатація повинна припинитися через порушення фізико-технічних властивостей, які неможливо усунути, визначених нормативними документами.

### 1.3 Фізичні властивості будівельних матеріалів

Фізичні властивості характеризують фізичний стан матеріалу і визначають його відношення до фізичних процесів навколишнього середовища. До найважливіших фізичних властивостей будівельних матеріалів відносяться: істинна та середня густина, пористість та пустотність, водопоглинення і водонасичення, морозостійкість.

**Істинна густина ( $\rho$ )** - маса одиниці об'єму сухого матеріалу в абсолютно щільному стані

$$\rho = \frac{m}{V_a} \quad [ \text{кг/м}^3 ],$$

де  $m$  - маса сухого матеріалу, кг;

$V_a$  - об'єм матеріалу в абсолютно щільному стані,  $\text{м}^3$ .

Будівельні матеріали, за небагатьма виключеннями (скло, метали), мають пори, тому визначення істинної щільності передбачає здрібнення матеріалу у порошок. Мета здрібнення полягає в руйнуванні пор і досягненні сумарного об'єму порошинок матеріалу, який дорівнює його об'єму в абсолютно щільному стані. Істинна густина для будівельних матеріалів - величина відносно постійна і визначається насамперед їх хімічним складом.

**Середня густина ( $\rho_c$ )** - маса одиниці об'єму сухого матеріалу у природному стані з порами та щілинами.

$$\rho_c = \frac{m}{V} \quad [ \text{кг/м}^3 ],$$

де  $m$  - маса сухого зразка, кг;

$V$  - об'єм зразка у природному стані,  $\text{м}^3$ .

**Пористість ( $\Pi$ )** - це ступінь насиченості матеріалу повітряними включеннями у вигляді пор. Пористість виражають у частках або у відсотках від об'єму матеріалу. Знаючи істинну та середню густину матеріалу, можна розрахувати його пористість.

$$\Pi = (1 - \rho_c/\rho) 100 \quad [ \% ].$$

Пористість будівельних матеріалів коливається у широких межах (від 0 до 98 %). Від величини пористості, розміру і форми пор, їхнього характеру (замкнуті або відкриті) залежить багато важливих властивостей матеріалів: густина, міцність, морозостійкість, корозійна стійкість, водонепроникність, теплопровідність тощо.

Для будівельних матеріалів, які часто використовуються у виді пухких зернистих, порошковидних або волокнуватих матеріалів

(наприклад, для цементу, вапна, піску, гравію, щебеню, шлако- і скловати), практичне значення має так звана насипна густина.

**Насипна густина ( $\rho_n$ )** – маса одиниці об'єму пухконасипних матеріалів. Якщо середня густина матеріалу відноситься до його окремих зразків, то насипна густина враховує ще порожнини, що утворюються в об'ємі насипаних в кучу часток, шматків або волокон матеріалу.

Для визначення насипної щільності використовують стандартну мірну посудину

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V_n} 100 \quad [\%] ,$$

де  $m_1$  - маса пустої мірної посудини, кг;

$m_2$  - маса мірної посудини з рихлим матеріалом, кг;

$V_n$  - об'єм посудини,  $m^3$ .

**Гідрофізичні властивості** матеріалів, характеризують їх ставлення до води. Ці властивості визначають такими параметрами як вологість, водопоглинання, водопроникність, капілярне всмоктування, гігроскопічність, набрякання та усадка. Важливими властивостями з цієї точки зору також є **гідрофільність** – здатність змочуватися водою, та **гідрофобність** – здатність не змочуватися водою.

**Вологість** – це вміст у матеріалі вільної води.

**Водопоглинання (В)** – це здатність матеріалу вбирати та затримувати в собі воду. Воно оцінюється як відношення кількості увібраної вологи, що міститься в матеріалі, до маси матеріалу в абсолютно сухому стані:

$$B = \frac{m_{\text{вол}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100 \quad [\%] ,$$

де:  $m_{\text{сух}}$  - маса сухого зразка, г;

$m_{\text{вол}}$  - маса вологого зразка, г.

Водопоглинання можна розраховувати і по відношенню до об'єму

матеріалу, виражаючи завдяки цьому ступінь заповнення цього матеріалу

водою.

Слід мати на увазі, що зі збільшенням вологості знижується міцність та морозостійкість матеріалів і виробів та підвищується середня густина і

теплопровідність, що необхідно враховувати при оцінці їх здатності до використання. Для зменшення водопоглинання штучних матеріалів необхідно прагнути отримувати замкнуті дрібні пори, рівномірно розподілені по об'єму матеріалу.

З поняттям водопоглинання тісно зв'язане поняття водопроникності. **Водопроникність** – здатність матеріалу фільтрувати через себе воду під дією одностороннього тиску. Чисельним показником водопроникності є коефіцієнт фільтрації ( $K_{\phi}$ ), рівний кількості води, що профільтрувалася через тіло матеріалу площею  $1 \text{ м}^2$  за 1 секунду при заданому тиску води, або марка водопроникності ( $v$ ), що позначає величину одностороннього гідростатичного тиску, при якому зразок - циліндр не пропускає воду в умовах стандартного іспиту. Між  $K_{\phi}$  і  $v$  існує тісний зв'язок. Так, для бетону марки за водопроникністю відповідають  $K_{\phi} = 0.1 \text{ м/с}$ , і -  $0.04 \text{ м/с}$ , -  $0.015 \text{ м/с}$  і -  $0.005 \text{ м/с}$ .

Одним з показників фізичної взаємодії води з капілярно-пористими матеріалами є капілярне всмоктування. Воно має місце, наприклад, в тому випадку, якщо частина конструкції знаходиться в контакт з вологим ґрунтом, і призводить до підйому води по капілярам у вищерозташовані шари матеріалу, зволожуючі їх.

Здатність поглинати водяні пари з повітря характеризує *гігроскопічність* матеріалів і їх сорбційні властивості.

До гідрофізичних явищ відносяться також вологісні деформації матеріалів, зв'язані з їх набряканням і усадкою. При насичуванні матеріалів водою відбувається їх *набрякання* (збільшення об'єму), а при висушуванні – *усадка* (зменшення лінійних розмірів та об'єму). Багаторазове поперемінне зволоження і висушування матеріалів є небезпечним, оскільки призводить до накопичування в них залишкових деформацій, появи тріщин і зниження міцності.

**Водостійкість** – Здатність матеріалів зберігати фізико-механічні властивості в насиченому водою стані. Ця властивість зв'язана з розчиненням у воді складників матеріалів. *Розчинення* – це фізико-хімічний процес переходу іонів або молекул даної речовини в воду і їх гідратації. Кількісним показником водостійкості є коефіцієнт *розм'якшення* ( $K_{розм}$ ), що визначається як відношення границі міцності при стиску зразка матеріалу в насиченому водою стані до границі міцності зразків у сухому стані. Якщо значення  $K_{розм}$  менше 0,8, то такі матеріали не водостійкі.

$$K_{розм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}} ,$$

де  $R_{\text{сух}}$  - міцність матеріалу у сухому стані, МПа;  
 $R_{\text{нас}}$  - міцність матеріалу у насиченому водою стані, МПа.

Для деяких матеріалів важливою якістю є **повітропроникність**. Так, матеріал стінових конструкцій житлових будинків, наприклад, повинен забезпечувати природну вентиляцію через зовнішні стіни. Матеріал газонепроникливих конструкцій забезпечує зберігання газів в ємностях та у спорудах, в яких не повинно бути проникнення шкідливих газів або забрудненого повітря.

**Морозостійкість** – це здатність матеріалу у водонасиченому стані витримувати певну кількість циклів заморожування та відтавання. Кількісною характеристикою морозостійкості є число циклів заморожування насичених водою зразків матеріалу при температурі мінус 20 °С впродовж 4 годин і розтавання також впродовж 4 годин при температурі плюс 10 °С. При цьому допускається зниження міцності матеріалу не більш, як на 15 %, а втрата маси - не більш ніж на 5 %.

**Теплофізичними властивостями** (теплоємністю, термічною стійкістю, теплопровідністю, вогнетривкістю, вогнестійкістю) характеризується відношення матеріалів до теплових впливів.

**Теплоємність** - здатність матеріалу вбирати тепло, що до нього підводиться, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно підвести до матеріалу, щоб підвищити його температуру на 1 °С. Віднесена до одиниці маси речовини (кг), вона носить назву *питомої теплоємності* та вимірюється у кДж/(кг·град). *Коефіцієнт теплоємності* – важливий показник властивостей матеріалів, що дозволяє розраховувати кількість тепла, яке акумулюють матеріали при висушуванні і випалі та віддають при охолодженні. Його використовують при теплових розрахунках печей, сушилок, пропарочних камер і проведенні розрахунків теплостійкості огорожувальних конструкцій.

**Теплопровідність ( $\lambda$ )** - здатність матеріалу передавати тепловий струм крізь товщу від однієї поверхні до іншої. Теплопровідність чисельно дорівнює кількості теплоти (Дж), що проходить крізь матеріал товщиною 1 м, площею 1 м<sup>2</sup> за 1 с при різниці температур по обидві сторони матеріалу 1 °С.

$$\lambda = \frac{Q \delta}{F \tau (t_r - t_x)},$$

де:  $\lambda$  - теплопровідність, Дж/м·с·град;  
 $Q$  - кількість тепла, Дж;



$\delta$  - товщина стінки, м;  
 $t_r$  - температура гарячої поверхні, °С;  
 $t_x$  - температура холодної поверхні, °С;  
 $F$  - площа, м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  - час, с.

*Теплопровідність* – важлива характеристика матеріалу, що залежить від його мінералогічного і фазового складу, пористості і вологості. Чим вище пористість і нижче вологість матеріалу, тим менше його теплопровідність, що пов'язано з низькою теплопровідністю повітря (0.023Вт/м·град) і достатньо високою – у води (0.59 Вт/м·град). Урахування теплопровідності матеріалів використовується при теплотехнічних розрахунках для визначення товщини стін і перекриттів будинків та визначення товщини теплової ізоляції.

В табл. 1.2 наведені істинна, середня густина та теплопровідність найбільш поширених будівельних матеріалів.

**Таблиця 1.2 – Основні властивості будівельних матеріалів**

Найменування матеріалу	Густина, $\rho$ , кг·м <sup>-3</sup>	Середня густина, $\rho_0$ , кг·м <sup>-3</sup>	Теплопровідність, $\lambda$ , Вт·м <sup>-1</sup> ·град <sup>-1</sup>
Асфальтобетон	2600	2100 – 2200	0,80 – 0,90
Базальт	3300	2700 – 3200	1,8 – 3, 0
Бетон цементний	2600	2000 – 2200	0,95 – 1,6
Вапняки щільні	2600	1600 – 2100	0,5 – 0,98
Гіпсові вироби	2700	700 – 1300	0,2 – 0,45
Граніт	3000	2500 – 2900	3,2 – 3,5
Дуб	1650	700 – 900	0,22
Залізобетон	–	2400 – 2500	0,95 – 1,6
Керамзитобетон	2600	800 – 1400	0,2 – 0,4
Цегла керамічна	2700	1600 – 1900	0,30 – 0,52
Цегла силікатна	2600	1800 – 2000	0,46 – 0,85
Мрамур	2900	2600 – 2800	3,5
Мінеральна повсть	2800	300 – 500	0,08 – 0,14
Мінеральні плити жорсткі	2400	150 – 250	0,065 – 0,092
Міпора	–	15 – 20	0,03 – 0,04
Пінобетон	2800	300 – 900	0,16 – 0,35
Пінопласти	–	30 – 200	0,031 – 0,058
Розчин вапняково–піщаний	2800	1600 – 1800	0,17 – 0,60
Скло	2600	2500	0,75
Скляна вата	2700	150 – 200	0,05

Сосна	1600	500 – 600	0,16 – 0,20
Сталь	7850	7850	58,0
Торфоплити	1600	150 – 250	0,06 – 0,07
Шлакобетон	2500	900 – 1700	0,40 – 0,60

Важливим теплофізичним показником матеріалів є *термічний опір (R)*, що визначається як відношення товщини шару даного матеріалу (d) конструкції до його теплопровідності ( $\lambda$ ).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}].$$

Термічний опір нормується, і тим для даного виду матеріалу з конкретним значенням  $\lambda$  встановлюється мінімальна товщина зовнішніх стін, яка забезпечує допустимі втрати тепла до навколишнього середовища та виключає перевитрати палива на обігрів будинків. Термічний опір нормується в межах від 1.5 до 2.5  $\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}$ , залежно від кліматичного району.

**Термостійкість** – спроможність матеріалу витримувати перемінне нагрівання та охолодження без зниження міцності і цілісності. Кількісною характеристикою термостійкості є число циклів перемінного нагрівання матеріалу (до 1300 °C) і його охолодження (у воді до 5...25 °C) до втрати ним 20 % початкової маси. Термостійкість матеріалів збільшується при підвищенні їхньої теплопровідності і міцності, зниженні модуля пружності і збільшенні їхньої однорідності. Великий вплив на термостійкість виявляє *коефіцієнт термічного розширення (КТР)*. Матеріали, у яких КТР перевищує  $80 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$ , як правило, мають низьку термостійкість. Якщо матеріал має КТР менше  $40 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$ , то вони характеризуються високою термостійкістю, як наприклад, вироби з кварцового скла, які мають КТР менш  $7 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$ .

#### 1.4 Хімічні і спеціальні властивості будівельних матеріалів

**Хімічні властивості** матеріалів характеризують їхню здатність до різноманітних хімічних, електрохімічних і біохімічних взаємодій з компонентами навколишнього середовища і контактуючими з ними речовинами як на стадії їхнього виготовлення, так і в процесі експлуатації. Важливими хімічними властивостями вважають: *хімічну активність, хімічну стійкість, корозійну стійкість, атмосферостійкість, розчинність, твердіння, липкість, цементуючу здатність.*

**Хімічна активність** матеріалу віддзеркалює його здатність створювати різні сполуки з іншими речовинами при допустимих умовах експлуатації. Чим більше кількість таких сполук, тим активнішим вважається матеріал. До цієї властивості слід підходити диференційовано. Наприклад, хімічну активність цементу по відношенню до води при отриманні бетону оцінюють як позитивну властивість. А хімічну активність вже прогідратованого цементу, що затвердів, яка обумовлює його стійкість в експлуатаційних умовах, оцінюють вже як негативну властивість.

Другою, не менш важливою стороною хімічних властивостей матеріалів є їх хімічний опір впливу агресивних середовищ або так звана **хімічна стійкість**. Вона характеризується втратою маси матеріалу під впливом агресивного середовища протягом визначеного часу. Досвід використання матеріалів дає змогу часто оцінювати цей параметр заздалегідь, лише за складом їх інгредієнтів. Так, для приблизної оцінки хімічної стійкості кам'яних матеріалів в кислих та лужних середовищах, у залежності від складових сполук, застосовують *модуль основності* ( $M_o$ ):

$$M_o = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3} \quad ;$$

при  $M_o < 1$  очікується висока стійкість до кислот;

при  $M_o > 1$  очікується висока стійкість до луг.

**Корозійна стійкість** – здатність матеріалу не руйнуватися в агресивних середовищах (кислі і лужні розчини, морська і проточна вода), з якими він стикається у процесі експлуатації. Карбонатні матеріали не стійкі до дії кислого середовища. Високою стійкістю до агресивних середовищ відрізняються щільні керамічні матеріали.

**Атмосферостійкість** - це здатність матеріалу не руйнуватися під впливом кліматичних умов (температури повітря, опадів, сонячної радіації, різних газів, мікроорганізмів), не змінюючи при цьому свого складу і властивостей. До атмосферостійкості відносять здатність деревини опиратися гноїнню.

**Розчинність** – здатність утворювати розчини при взаємодії з водою. Наприклад, бувають гіпсові, вапнякові, цементні розчини.

**Твердіння** – здатність матеріалу переходити з пластичного стану у твердий. Наприклад, цемент при замішуванні з водою перетворюється з часом у цементне каміння. В залежності від умов твердіння і складу вихідних матеріалів може утворюватися каміння різної міцності.

**Липкість (адгезія)** – здатність одного матеріалу липнути до поверхні іншого, що забезпечує їх зчеплення. Наприклад, зчеплення цементного каміння з зернами щебеню, гравію, піску та металевою арматурою обумовлює міцність бетону та залізобетону. Чим більше адгезія, тим більше міцність конструкції у цілому.

**Цементуюча здатність** – здатність кам'яного матеріалу у розрихленому і зволоженому стані твердіти і утворювати при висиханні деяку зв'язність.

До **спеціальних властивостей** відносять *електропровідність і радіаційну стійкість*. У відповідності до функціонального призначення слід ще *враховувати акустичні, декоративні і технологічні властивості*, які також можна віднести до спеціальних.

**Електропровідність матеріалів** – здатність проводити електричний струм під впливом електричного поля. Вона залежить від складу і структури та виражається відношенням щільності струму до напруги ( $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ ). В залежності від цього показника матеріали класифікуються на три види: провідники ( $10^4$ - $10^6 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ ), напівпровідники ( $10^4$  -  $10^{-10} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ ) та ізолятори (менше  $10^{-10} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ ). До провідників відноситься більшість металів, а особливо мідь та її сплави, алюміній і його сплави. В якості ізоляторів використовуються: фарфор, окремі види скла, азбест, гума, склопластики. Напівпровідники займають проміжне положення. До них відносяться кремній, германій та ін. речовини.

**Радіаційна стійкість** - здатність матеріалів зберігати міцність після впливу іонізуючого випромінювання.

**Акустичні властивості** характеризують взаємодію матеріалу і звуку. При визначенні акустичних властивостей матеріалів фахівців, в першу чергу, цікавить *звукопровідність, звукопоглинення і віддзеркалення*, тобто здатність матеріалу проводити, поглинати і віддзеркалювати звук. Ці характеристики тісно пов'язані зі структурою матеріалу, його масою і характером поверхні.

**Технологічні властивості**, що є суто спеціальними, характеризують поведінку матеріалів при їх обробці, переробці і технологічних процесах. Ці властивості є узагальненими і відбивають водночас комплекс фізичних, хімічних і механічних явищ в будь-якому їхньому поєднанні. До технологічних властивостей відносяться: дробіння, пластичність, легкоукладання, розшаровуваність, формівність, гвоздимість, злежуваність, відбілюваність і т. п.

**Декоративні властивості** враховують при використанні матеріалів відповідно до їх функціонального призначення і для лицювальних робіт. Декоративно-естетичні якості часто бувають вирішальними при виборі будівельних матеріалів.

## 1.5 Пожежно–технічні характеристики будівельних матеріалів

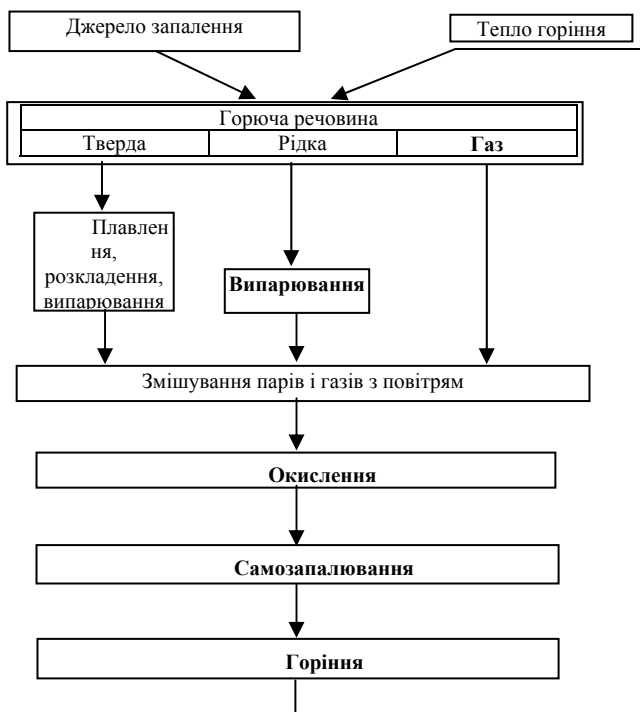
### 1.5.1 Горіння матеріалів, умови займання і розповсюдження вогню

**Пожежа** – це неконтрольоване горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей та (або) створює загрозу життю і здоров'ю людей. **Горіння** – екзотермічна реакція окислення речовин, що супроводжується інтенсивним виділенням тепла, світла, звуку, диму і полум'я. Для виникнення процесу горіння необхідні три основні умови:

- наявність горючої речовини;
- наявність окислювача;
- наявність джерела запалювання.

**Причому пальна речовина та окислювач повинні бути нагріті до певної температури і знаходитися у відповідному кількісному співвідношенні. Протікання процесу горіння умовно ілюструє схема на рис.1.2.**

**Джерело запалювання** - теплова енергія, що призводить до займання, тобто нагрітого тіла або локалізованого у відомих межах фізичного або хімічного процесу, що має запас енергії і температуру, достатньо для виникнення горіння.



**Рисунок 1.2 – Умовна схема протікання процесу горіння**

- хімічний склад матеріалів і/або властивості їх окремих компонентів (реагування з окислювачем);
- густина та агрегатний стан пальної речовини;
- кількість окислювача (кисню): при його бракуванні реакція йде не інтенсивно, згоряння неповне, утворюється багато диму;
- вид джерела запалювання: полум'я, іскри, тління, перегріта поверхня...

Температура горючої речовини, при якій виникає її стійке горіння після впливу джерела запалювання, і є *температурою запалення* матеріалу. Кількість тепла, що виділяється при згорянні 1 кг горючої речовини є *теплотою згоряння*. Кількість горючої речовини, що згоряє за одиницю часу на площі 1 м<sup>2</sup>, характеризує *швидкість вигорання* матеріалу.

Пальні системи бувають:

- 1) хімічно неоднорідні, у яких горючі речовини та окислювач не перемішані і мають поверхню поділу (горючі тверді матеріали та рідини, струми горючих газів та випарів);
- 2) хімічно однорідні, в яких горючі речовини рівномірно перемішані з окислювачем (суміші горючих газів, випарів або пилу з повітрям).

Повний час згоряння будь-якої системи ( $\tau_r$ ) складається з часу, необхідного для виникнення фізичного контакту між горючою речовиною і киснем повітря  $\tau_{\phi}$ , та часу, що витрачається на проходження самої хімічної реакції  $\tau_x$

$$\tau_r = \tau_{\phi} + \tau_x \quad ,$$

де  $\tau_{\phi}$  – фізична взаємодія – час виникнення контакту між горючою речовиною та окислювачем; час сумішеутворення (гомогенне горіння); час транспорту окислювача до твердої поверхні горіння (гетерогенне горіння);

$\tau_x$  – хімічна взаємодія – час протікання хімічної реакції.

**В неоднорідній системі  $\tau_{\phi} > \tau_x$  і, практично,  $\tau_r \approx \tau_{\phi}$ . Тобто швидкість горіння визначається тільки дифузійною кислотою і/або горючої речовини до зони горіння. Серед неоднорідних систем розрізняють гетерогенне та гомогенне горіння, у залежності від властивостей горючої системи.**

**Гетерогенне горіння** характеризується наявністю нагрітої поверхні або конденсованої фази, що горить безпосередньо. Реакція окислення тут відбувається на межі розподілу різних за агрегатним станом фаз (як правило, твердого тіла та газу). Це спостерігається для кам'яного вугілля, антрациту, коксу, деревинного вугілля та деяких металів (калію, натрію, танталу, ніобію), які горять без полум'я. У цьому випадку кисень дифундує до зони горіння ще перетинаючи шар твердих продуктів згоряння. Концентрація кисню в об'ємі повітря  $C_1$  значно більше, ніж поблизу зони горіння  $C_0$ . Поблизу зони горіння вона поступово зменшується, але не дорівнює нулю (див. рис.1.3.б). За відсутності достатньої кількості кисню у межах зони горіння, хімічна реакція горіння гальмується.

**Гомогенне горіння** відбувається при взаємодії однорідних за агрегатним станом фаз, як правило, газів. У залежності від взаємного розташування горючої речовини та окислювача розрізняють горіння *дифузійне* та *ламінарне*.

При *дифузійному горінні* горюча речовина та окислювач не перемішані і окислення відбувається на їх межі, в досить добре окресленій зоні горіння. Концентрація окислювача у зоні горіння різко зменшується до нуля. Дифузійне горіння лімітується або дифузійною окислювача у зону

полум'я, або дифузією горючих випарів, або обома процесами. Воно *буває стаціонарним і турбулентним*. Прикладом дифузійного горіння є горіння випарів, що підіймаються з вільної поверхні рідини (рис.1.3.а). Кисень повітря дифундує крізь шар газоподібних продуктів згорання до зони горіння. Швидкість реакції горіння залежить від швидкості дифузії кисню.

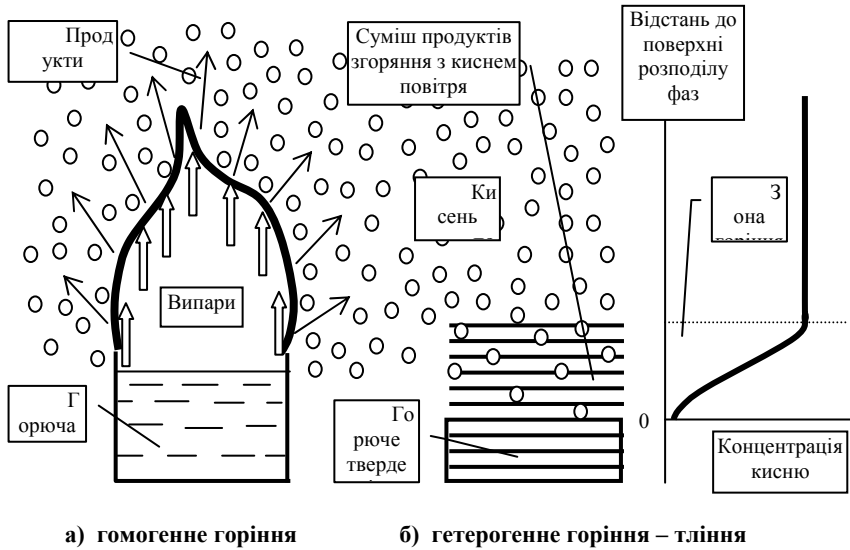


Рис. 1.3 – Схеми гомогенного та гетерогенного горіння

Ознакою *стаціонарного горіння* є стійке полум'я або факел. Наприклад, горіння газової запальнички, свічки. При *турбулентному горінні* горючі компоненти окислюються не повністю, утворюються крупні моли з надлишком горючих випарів, які лише частково згоряють, а значна частина випарів, що не повністю окислилися, виноситься за вогнище. Наприклад, горіння деревини або резервуарів з рідким паливом. Усі пожежі характеризуються дифузійним турбулентним горінням.

Особливий вид горіння – *тління*, для якого характерні ознаки як гетерогенного (накалення конденсованої фази), так і гомогенного (близьке до поверхні дифузійне полум'я) горіння. До тління прихильні високопористі горючі матеріали, що не плавляться, які мають у порах деяку кількість окислювача, достатню для окислювання частини газоподібних продуктів піролізу, або ще певну невелику частину кисню у



складі молекул. Найбільш часто з тлінням зустрічаються при горінні целюлозних матеріалів (деревини, бавовни).

**У хімічно однорідній системі, де молекули кисню добре перемішані з молекулами горючої речовини і не витрачається час на сумішоутворення,  $\tau_f < \tau_x$ , а  $\tau_f \approx \tau_x$ . Завдяки тому, що швидкість хімічної реакції при високій температурі велика, горіння однорідних сумішей проходить майже миттєво і має характер вибуху.**

Прикладом однорідної системи є *ламінарне горіння*, яке можливо у випадку попереднього перемішування газоподібних сумішей пального з окислювачем. Фронт полум'я у цьому випадку розповсюджується по холодній свіжій суміші.

### 1.5.2 Пожежна безпека і визначення груп горючості будівельних матеріалів

Під пожежною небезпекою речовин і матеріалів розуміють сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і розповсюдження пожежі. Важливіші з цих властивостей встановлюються стандартом "ДСТУ 2272-93. ССБТ. Пожежна безпека. Терміни та визначення". До головних пожежонебезпечних характеристик матеріалів, згідно з цим документом, можна віднести:

- горючість;
- димоутворюючу здатність;
- токсичність продуктів згоряння;
- індекс розповсюдження полум'я;
- кисневий індекс.

**Горючість** (займистість) – здатність матеріалів до самостійного горіння, або, іншими словами, здатність спалахувати, полум'яно чи безполум'яно горіти (тліти), розповсюджувати горіння. За ДСТУ 2272-93 за групами горючості матеріали поділяються на:

- 1) **горючі** - що під впливом вогню або високої температури запалюються або тліють, або обвуглюються і продовжують горіти або тліти, або обвуглюватися після усунення джерела запалювання (деревина, більшість полімерних матеріалів, руберойд);
- 2) **важкогорючі** - що під впливом вогню або високої температури запалюються або тліють, або обвуглюються і продовжують горіти або тліти, або обвуглюватися за наявності джерела запалювання, а після його усунення горіння або тління припиняється (фіброліт, асфальтові бетони та розчини і т. п.);

3) **негорючі** - що під впливом вогню або високої температури не запалюються, не тліють і не обвуглюються (бетон, цегла, природні кам'яні матеріали, сталь і т. д.).

**Показник горючості** - відношення енергії, що виділяється зразком при згорянні, до енергії, витраченої на його запалення.

Внаслідок горіння утворюються **продукти згорання**. Це газоподібні, рідкі і тверді речовини, що утворюються в процесі горіння при взаємодії горючої речовини та окислювача. Звичайно, при горінні органічних речовин утворюються:

- а) за достатньої кількості окислювача - продукти повного згорання: вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), азот ( $\text{N}_2$ );
- б) за недостатньої кількості окислювача або низької температури - чадний газ ( $\text{CO}$ ), сажа ( $\text{C}$ ), оксиди азоту.

При горінні неорганічних речовин ( $\text{S}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ti}$ ...) утворюються їхні дисперсні оксиди ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ...).

Дисперсна система з продуктів згорання у вигляді дрібних твердих часток розміром 0.01...1.0 мкм зветься **димом**.

Під час пожежі матеріали і конструкції, які беруть участь у цьому процесі, можуть завдати шкоди людям, які знаходяться у межах досягнення. Згідно з ГОСТ 12.1.004-91 визначаються **небезпечні фактори пожежі**, які впливають на людей, це:

- 1) відкритий вогонь та іскри;
- 2) підвищена температура навколишнього середовища, предметів і т.п.;
- 3) токсичні продукти горіння і термічного розкладу;
- 4) дим;
- 5) понижена концентрація кисню;
- 6) частини будівельних конструкцій, що падають, агрегатів, установок і т.п.;
- 7) небезпечні фактори вибуху за ГОСТ 12.1. 010-76;
- 8) враження електричним струмом;
- 9) токсичні речовини, що застосовуються для гасіння пожежі.

**Слід підкреслити, що пункти 1-5 являють собою первинні фактори, тобто фактори виникнення пожежі. Пункти 6-9 - це вторинні фактори, чи проява небезпечних факторів самої пожежі.**

Для експериментального визначення належності будівельного матеріалу до певної групи горючості використовують методи, що базуються на реєстрації параметрів, що характеризують процеси, які мають місце при горінні. До них відносять:

- втрату маси зразками матеріалу, що випробовується, у ході вогневих випробувань;

- час вільного горіння зразка матеріалу після усунення джерела запалювання;
- розмір ділянки зразка, на яку розповсюджувалось горіння;
- кількість тепла, витраченого на запалення зразка, або кількість тепла, що утворилося при його горінні;
- зміна температури у випробувальній камері або температура відходячих газів, що відходять;
- швидкість розповсюдження горіння по зразку.

### 1.5.3 Методи визначення пожежно-технічних характеристик будівельних матеріалів

**Горючість** будівельних матеріалів визначається згідно з міждержавним стандартом "ГОСТ 30244-94. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість". За цим стандартом матеріали поділяються на *негорючі та горючі*. До **негорючих** відносять матеріали, в яких:

- приріст температури у печі не перевищує 50°C;
- втрата маси зразка не перевищує 50 %;
- тривалість стійкого полум'яного горіння не перевищує 10 с.

**Горючим** вважають матеріал, коли при випробуванні хоча б одна з перелічених умов не виконується.

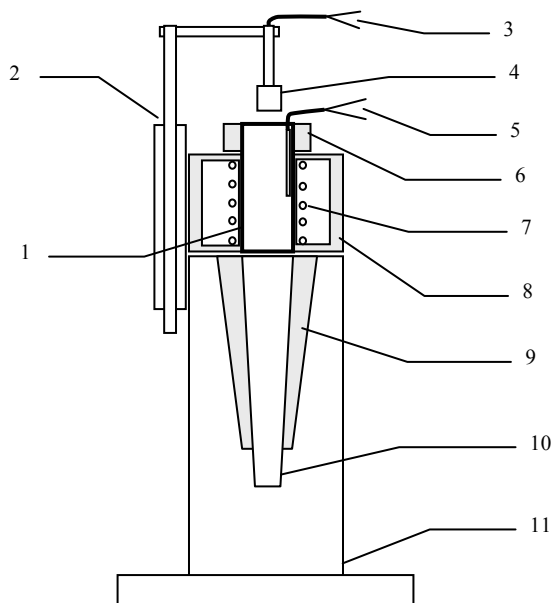
Випробування зразків здійснюють в приладі "*Вогнева труба*" (див. рис. 1.4) при температурі зразка 750 °C та середній температурі стінок 835 °C впродовж 30 хв. Температурний режим контролюється терморезисторами. Для кожного випробування готують п'ять циліндричних зразків розмірами  $d = 45$  мм,  $h = 50$  мм.

Горючі матеріали у залежності від параметрів, що визначені при випробуванні, поділяють на чотири групи горючості: Г1, Г2, Г3, Г4, згідно з табл. 1.3.

**Групу горючості** за ГОСТ 30244-94 визначають для усіх однорідних та шаруватих будівельних матеріалів і, у тому числі, тих, що використовуються для оздоблювальних, облицювальних робіт та лакофарбових покриттів. До кожного випробування готують 12 зразків 1000×190 мм товщиною не більше 70 мм. Для тестування оздоблювальних, облицювальних та лакофарбових матеріалів зразки виготовляють разом з основою. Випробування зразків проводять на приладі "Шахтна піч", який забезпечує подачу до газового пальника рівномірного струму повітря у кількості  $10 \pm 1$  м<sup>3</sup>/хв при температурі 20 °C (див. рис. 1.5). За результатами

обробки даних трьох випробувань за таблицею 1.3 визначають групу горючості матеріалу.

Крім горючості, для оцінки ступеня пожежної безпеки використання будівельних матеріалів (особливо оздоблювальних та лицювальних) треба знати про їх здатність до займання під впливом променевої теплоти.

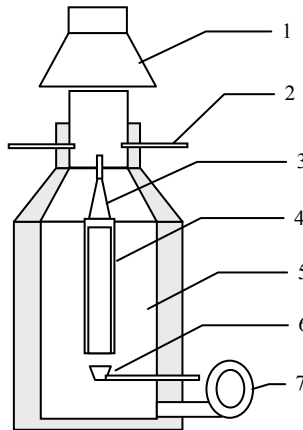


**Рисунок 1.4 – Схема приладу для випробувань будівельних матеріалів на горючість:**

1 – вогнетривка труба, 2 – штатив, 3 – термopapa, 4 – тримач зразка, 5 – пічна термopapa, 6 – термоізоляція, 7 – обмотка електронагрівача, 8 – термоізоляційний кожух, 9 – термоізоляція, 10 – стабілізатор потоку повітря, 11 – станина

**Таблиця 1.3 – Ознаки груп горючості будівельних матеріалів згідно з ГОСТ 30244-94**

Група горючості матеріалів	Параметри горючості			
	Температура димових газів $t_d$ , °C	Ступінь пошкодження за довжиною $S_L$ , %	Ступінь пошкодження по масі $S_m$ , %	Тривалість самостійного горіння $\tau_{сг}$ , с
Г1	$\leq 135$	$\leq 65$	$\leq 20$	0
Г2	$\leq 235$	$\leq 85$	$\leq 50$	$\leq 30$
Г3	$\leq 450$	$> 85$	$\leq 50$	$\leq 300$
Г4	$> 450$	$> 85$	$> 50$	$> 300$



**Рисунок 1.5 – Схема вертикальної шахтної печі:**

1 – вентиляція, 2 – термопари, 3 – тримач зразків, 4 – зразки, 5 – камера згоряння, 6 – газовий пальник, 7 – вентилятор подачі повітря

**Займистість** матеріалів встановлюється згідно з ГОСТ 30402-96. За цією характеристикою горючі матеріали класифікують на три групи, в залежності від мінімального значення критичної поверхневої щільності теплового потоку (КПЩТП), при якому виникає їх стійке полум'яне горіння:

– В1 – величина КПЩТП дорівнює або більше  $35 \text{ кВт/м}^2$ ;

- В2 – величина КППЦТП у межах від 35 до 20 кВт/м<sup>2</sup>;
- В3 – величина КППЦТП менше 20 кВт/м<sup>2</sup>.

Випробування здійснюють на 15 зразках квадратної форми зі стороною 165 мм і товщиною не більше 70 мм. Дозволяється використання зразків оздоблювальних, лицевальних та лакофарбових матеріалів разом з негорючою основою. Основною частиною приладу, на якому встановлюють зразки є радіаційна панель, яка складається з кожуха з теплоізолюючим шаром та нагрівального елемента потужністю 3 кВт. Випробування тривають 15 хв або до займання зразка.

В нормативній літературі з пожежної справи все ще використовуються стандарти, розроблені до дев'яностих років. Тому, для ознайомлення з ними нижче подаються їх основні положення.

**Групу негорючих** будівельних матеріалів як однорідних, так і шаруватих визначають відповідно до СТ СЭВ 382-76 на приборі "Вогнева труба" (див. рис. 1.4).

В трубчату електропіч, розігріту до 800...850 °С, становлять на 20 хв циліндричний зразок діаметром (d) 45 мм і висотою (h) 50 мм (серія 5 штук). До і після випробувань вимірюють температуру печі (t<sub>п</sub>) і поверхні зразків (t), масу зразків (m) та тривалість їхнього горіння (τ<sub>гор</sub>). Матеріал вважають негорючим, якщо виміряні показники відповідають нормативним значенням, згідно з таблицею ознак негорючого матеріалу (табл. 1.4):

Табл. 1.4 – Ознаки негорючого матеріалу згідно з СТ СЭВ 382-76

Сер. зміна температури печі, °С	$t_{п} - t_{п0} \leq 50$
Сер. зміна температури поверхні зразка, °С	$t_t - t_0 \leq 50$
Сер. норма дефекту маси, %	$(m_t - m_0) 100 / m_0 \leq 50$
Сер. тривалість горіння, с	$\tau_{гор} < 10$

Близьким до СТ СЭВ 382-76 є стандарт ГОСТ 12.1.044-89 п.4.1, який призначений для визначення групи негорючих будівельних матеріалів, але не шаруватих та без покриттів. Температура випробувань за цим нормативом складає t = 750 °С, а тривалість - τ = 15 хв.

**Групу важкогорючих** однорідних і шаруватих будівельних матеріалів визначають за СТ СЭВ 2437-80 на приборі "Шахтна піч" (див. рис. 1.5). Цей метод розповсюджується на:

- плити з деревини і деревних матеріалів, в тому числі з наповнювачами та обробкою поверхні органічними і неорганічними речовинами;
- плити з полімерних матеріалів з наповнювачами та без них;
- плити з неорганічних матеріалів з органічними наповнювачами і покриттями;
- матеріали на основі паперу, плівок і тканин завтовшки 0.25 мм;
- усі перелічені матеріали з вогнезахисною обробкою.

Цей метод не розповсюджується на матеріали з зовнішніми негорючими шарами і товщиною менше 0.25 мм.

Зразок, який складається з 4 плит матеріалу розміром 1000×190×50 мм, становлять в шахтну піч висотою 2700 мм з газовим пальником і повітряною вентиляцією. Тривалість вогневого впливу 10 хв. В ході випробувань термопарою визначають температуру димових газів, час самостійного горіння, розміри та масу зразка. Важкогорючими звичайно вважають матеріали, у яких усереднені за 3 випробування результати не перевищують значень, наведених у табл.1.5.

**Визначення групи важкогорючих і горючих** твердих речовин та матеріалів проводять за ГОСТ 12.1.044-89, п.4.3. Цей метод використовується для неметалевих матеріалів, які вміщують більше 3 % органічних речовин і не мають одностороннього вогнезахисного або негорючого покриття.

**Таблиця 1.5 – Ознаки важкогорючого матеріалу згідно СТЄВ 2437-80**

№	Показник	Середнє значення за 3 випрбув.	Максимальне значення у серії
1	Температура димових газів, °С	235	250
2	Час самостійного горіння, с	30	60
3	Ступінь ушкодження за довжиною, %	85	90
4	Ступінь ушкодження по масі, %	80	85

Використовується прилад "Керамічна труба" (або ОТМ): керамічна камера висотою 300 мм з регулюванням повітропідводу, газовим пальником і термопарою. У прилад, прогрітий до  $T_0 = 200$  °С, швидко вводять зразок з розмірами 150×60×10 мм і витримують до досягнення максимальної температури ( $T_{max}$ ). Якщо  $T_{max} < 260$  °С, то тривалість нагріву складає  $t = 300$  с. Після повного охолодження зразка в камері його зважують і повторюють випробування. Середні значення серії випробувань порівнюють з нормативними величинами.

Ознаки важкогорючого матеріалу:

$$T = T_{max} - T_0 < 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_0 - m_{кон}$$

$$M = \frac{m_0 - m_{кон}}{m_0} \cdot 100\% < 60 \%$$

$$m_0$$

де  $T$  – різниця температур при випробуванні, °С;

$M$  – пиведена маса зразка, г;

$m_0$  – початкова маса зразка, г;

$m_{кон}$  – маса зразка після випробування, г.

Ознаки пального (горючого) матеріалу:

$$T > 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$M > 60\%$

Якщо запалення зразка відбувається не раніше, ніж через 4 хв, то матеріал важкоспалахуючий; якщо - не раніше, ніж через 0.5 хв, то матеріал середньої займистості; якщо - раніше 0.5 хв, то матеріал легкоспалахуючий.

**Спроможність матеріалів до розповсюдження полум'я** по поверхні під впливом зовнішнього теплового струму відбиває безрозмірний показник – **індекс розповсюдження полум'я (I)**. За ГОСТ 12.1.044-89, п.4.19 він визначається на приладі "Електрична радіаційна панель". За цим показником матеріали поділяються на ті, що:

- не розповсюджують полум'я  $I=0$ ;
- поволі розповсюджують полум'я  $0 < I < 20$ ;
- швидко розповсюджують полум'я  $I > 20$ .

**Димоутворюючу здатність** матеріалів визначають за ГОСТ 12.1.044-89, п.4.18.

Метод ґрунтується на визначенні оптичної щільності середовища, що утворюється при згорянні відомої кількості речовини у режимах тління і горіння. За величиною максимального **коефіцієнта димоутворення ( $D_m$ )** розрізняють 3 групи матеріалів:

- з малою димоутворюючою спроможністю ( $D_m < 50 \text{ м}^2/\text{кг}$ );
- з помірною димоутворюючою спроможністю ( $50 \text{ м}^2/\text{кг} < D_m < 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ );
- з високою димоутворюючою спроможністю ( $D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).

**Токсичність продуктів горіння** матеріалів визначають за ГОСТ 12.1.044-89, п.4.20. Метод ґрунтується на спалюванні зразка речовини, який досліджується у камері згорання при заданій щільності теплового струму і визначенні на тваринах летального ефекту. **Показник токсичності ( $H_{Cl50}$ )** - це кількість речовини, при спалюванні якої в об'ємі  $1 \text{ м}^3$  утворюється концентрація продуктів горіння, що викликає протягом 30 хв загибель 50% тварин. По цьому показнику розрізняють матеріали:

- надзвичайно небезпечні ( $H_{Cl50} < 13 \text{ г/м}^3$ );
- високонебезпечні ( $13 \text{ г/м}^3 < H_{Cl50} < 40 \text{ г/м}^3$ );
- помірно небезпечні ( $40 \text{ г/м}^3 < H_{Cl50} < 120 \text{ г/м}^3$ );
- малонебезпечні ( $120 \text{ г/м}^3 < H_{Cl50}$ ).

**Визначення кисневого індексу** провадять відповідно до ГОСТ 12.1.044-89, п.4.14. Кількість окислювача, необхідна для горіння матеріалу, характеризується **кисневим індексом (KI)**. Метод визначення кисневого індексу полягає у знаходженні мінімальної концентрації кисню (у %) у



струмі киснево-азотної суміші, при якій спостерігається самостійне горіння вертикально розташованого зразка. За цим показнику матеріали не класифікують.

Фізико-механічні, теплофізичні, хімічні, пожежно-технічні та інші властивості будівельних матеріалів оцінюють кількісно, тобто конкретними числовими показниками, які встановлюють шляхом випробувань в лабораторіях, на виробництві або в умовах експлуатації. Вимірювання проводять на спеціальних приладах за певними методиками, що передбачені та визначаються нормативними документами.

## **1.6 Стандартизація будівельних матеріалів**

Якість будівельних матеріалів і технічні вимоги до них регламентуються стандартами, технічними умовами та іншими нормативними документами.

В Україні, в залежності від сфери дії, стандарти розподіляються на категорії – державні (ДСТУ), галузеві (ГСТ) та стандарти підприємств (СПТ).

Більшість будівельних матеріалів і виробів є об'єктом державної стандартизації, тобто їхня якість регламентується ДСТУ або ще діючими російськими ГОСТами. Вони є обов'язковими документами для усіх підприємств і закладів України. Це пояснюється широким виробництвом і застосуванням будівельних матеріалів у різних галузях народного господарства.

В залежності від змісту стандарти розподіляють на види. В галузі будівельних матеріалів найбільш розповсюджені стандарти: технічних умов, методів випробувань, пакування, транспортування та зберігання.

Головні положення будівельного проектування, виконання будівельних робіт і вимоги до будівельних матеріалів і виробів регламентуються "Строительными нормами и правилами" (СНиП), обов'язковими для усіх організацій і підприємств. СНиП є основою уніфікованих норм і правил у галузі будівництва для багатьох країн.

СНиП складається з чотирьох частин: I – загальні положення; II – норми проектування; III – правила виконання і приймання робіт; IV – кошторисні норми і правила.

СНиПи і ДСТУ взаємно доповнюють один одного. ДСТУ і ГОСТи розраховані, головним чином на будівельні матеріали і вироби масового виготовлення, СНиПи встановлюють вимоги до всієї будівельної продукції. У СНиПах відсутні методи випробування матеріалів і виробів, але, з другого боку, вони містять норми будівельного проектування і кошториси.

З урахуванням цих нормативних документів розробляються інструкції (І), вказівки (В), будівельні норми (ДБН), технічні умови (ТУ) та інша нормативна документація, в якій доповнюється зміст діючих ГОСТів, ДСТУ, ГСТ, СНИПів і інш.

Таким чином, починаючи визначення якості, випробування матеріалів, необхідно ретельно вивчити нормативну літературу, і, в першу чергу, – стандарти.

В галузі будівельних матеріалів розроблені стандарти на методи та засоби вимірювань, які регламентують визначення параметрів стану і характеристики структури матеріалів (хімічний і мінералогічний склад, істинну і середню густину, пористість та інш.), визначення фізичних, механічних і хімічних властивостей. Поряд з цим існують стандарти на усі види в'язучих (цементи, вапно, гіпс і інш.), на пісок, щебінь для будівництва, цеглу, бетон, а також вироби з них.

ДСТУ, ГОСТи, СНИПи та інші різноманітності нормативних документів – найважливіше керівництво в інженерній діяльності; невиконання їхніх вимог призводить завжди до зниження якості продукції.

У стандартах і СНИПах вимоги до властивостей матеріалів визначені у вигляді марок і класів на ці матеріали. Ознакою розподілу на марки, як правило, є показник головної властивості матеріалу, зумовлений умовами експлуатації матеріалу у конструкціях і спорудах.

Розподіл на марки за міцністю є головним для матеріалів і виробів, з яких готують несучі конструкції. Для теплоізоляційних матеріалів провідною ознакою розподілу на марки взято густину.

Для деяких матеріалів передбачається маркування за показником морозостійкості. Деякі матеріали і вироби (лицювальні матеріали, лісні і інш.) за наявністю зовнішніх дефектів розподіляють на сорти.

Визначення показників технічних властивостей пов'язано з вимірюванням, тобто з порівнянням з іншою контрольною величиною. Сукупність одиниць, утворена за певним принципом, називається системою. Одиниці виміру у системі СІ та інші одиниці виміру, що використовуються нарівні з одиницями виміру СІ, наведені у табл. 1.6.

В Україні роботу зі створення національної нормативної бази в галузі будівництва проводить Держбуд. До державних стандартів України (ДСТУ) в галузі будівництва прирівнюються державні будівельні норми України (ДБН). Крім цього, в будівництві розробляються міждержавні стандарти (ГОСТ) та міждержавні будівельні норми (МСН).

Станом на кінець 1998 р. в Україні розроблено, затверджено та введено в дію для будівельної галузі всього близько 300 нормативних документів. Інформацію про чинні нормативні документи містить в собі

"Перелік нормативних документів в галузі будівництва", що діє на території України. Він видається періодично (щороку).

**Таблиця 1.6 – Основні одиниці виміру у системі СІ**

/п	Величина	Одиниця виміру		Співвідношення між іншими системами одиниць
		Найменш ування	Позначення	
1.	Довжина	Метр	м	$1 \text{ м} = 10^2 \text{ см}$
2.	Маса	Кілограм	кг	$1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г}$
3.	Час	Секунда	с	$3600 \text{ с} = 60 \text{ хв} = 1 \text{ год}$
4.	Термодинамічна температура	Кельвін	К	
5.	Сила електричного струму	Ампер	А	
6.	Площа	Квадратний метр	$\text{м}^2$	$1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2$
7.	Об'єм	Куб. метр	$\text{м}^3$	$1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ см}^3$
8.	Густина		$\text{кг/м}^3$	$1 \text{ кг/м}^3 = 10^{-3} \text{ г/см}^3$
9.	Сила (вага)	Ньютон	Н	$1 \text{ Н} = 0.102 \text{ кГ}$
10.	Тиск	Паскаль	Па (Н/ $\text{м}^2$ )	$1 \text{ Па} = 1.0210^{-5} \text{ кГ/см}^2$
11.	Робота; енергія; кількість тепла	Джоуль	Дж (Н·м)	$1 \text{ Дж} = 0.102 \text{ кГ·м}$
12.	Потужність	Ватт	Вт (Дж/с)	$1 \text{ Дж} = 0.0239 \text{ кал}$ $1 \text{ Вт} = 0.102 \text{ кГ·м/с}$
13.	Теплоємність		Дж/К	$1 \text{ лс} = 736 \text{ Вт}$
14.	Теплопровідність		Вт/(м·К)	$1 \text{ Дж/К} = 238 \cdot 10^{-6} \text{ ккал/град}$
15.	Теплопередача		Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}) = 1.163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
16.	Температуропровідність		$\text{м}^2/\text{с}$	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч град}) = 1.163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
17.	Електрична напруга	Вольт	В (Вт/А)	$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$
18.	Електричний опір	Ом	Ом (В/А)	
19.	Масова концентрація		$\text{кг/м}^3$	

Одиниці, придатні до застосування нарівні з одиницями СІ, наведені в табл. 1.7.

**Таблиця 1.7 – Деякі несистемні одиниці**

Лп	Величина	Одиниця виміру		Співвідношення між іншими системами одиниць
		Найменування	Позначення	
1.	Маса	Тонна	т	$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^6 \text{ г}$
2.	Час	Хвилина, година	хв год	$1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$ $1 \text{ год} = 60 \text{ хв} = 3600 \text{ с}$
3.	Термодинамічна температура	Градус за Цельсієм	$^{\circ}\text{C}$	
4.	Площа	ар	а	$1 \text{ а} = 100 \text{ м}^2$
5.	Об'єм	літр	л	$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$

## ГЛАВА 2. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

### 2.1 Визначення і класифікація

**Природними кам'яними матеріалами (ПКМ)** називають матеріали, які одержують з гірських порід шляхом механічної обробки (дробінням, розсіюванням, розколюванням, розпилюванням, тесанням і ін.), внаслідок чого вони приймають певний розмір, форму і характер поверхні, або використовують без обробки.

Природні кам'яні матеріали застосовують в будівництві:

А) безпосередньо в природному виді:

- бутове та валунове каміння – для кладки фундаментів, стін та ін.
- *гравій* – у вигляді крупного заповнювача у бетонах.

Б) після механічної обробки:

- плити – для будівлі підземних колекторів і лицювання стін;
- бортовий камінь і брущатка – для улаштування доріг;
- *цебін* – у вигляді заповнювача в бетонах;

В) як сировину для виготовлення штучних кам'яних матеріалів – кераміки, скла, теплоізоляційних матеріалів;

Г) як сировину для виробництва в'язучих – гіпсу, вапна, цементу.

Природні кам'яні матеріали класифікують за такими показниками:

а) за середньою щільністю:

- легкі, до  $1800 \text{ кг/м}^3$  (застосовують для стін);

- важкі, понад 1800 кг/м<sup>3</sup> (застосовують для фундаментів, цоколів, облицювання та ін.).
- б) за межею міцності при стиску (кГс/см<sup>2</sup>):
  - легкі, 12 марок від 4 до 200;
  - важкі, 10 марок від 100 до 1000;
- в) за морозостійкістю, 8 марок від Мрз 10 до Мрз 200;
- г) за коефіцієнтом розм'якшення;
- д) за ударною міцністю;
- е) за здатністю до стертя.

## 2.2 Гірські породи і породоутворюючі мінерали

**Гірські породи** - це речовини, які складають земну кору. Вони розрізняються за умовами утворення, структурними, фізичними і хімічними властивостями. Найбільш розповсюджена класифікація за умовами утворення гірських порід, згідно з якою існують 3 основні групи: *вивержені (магматичні), осадові і метаморфічні* (рис. 2.1 ).

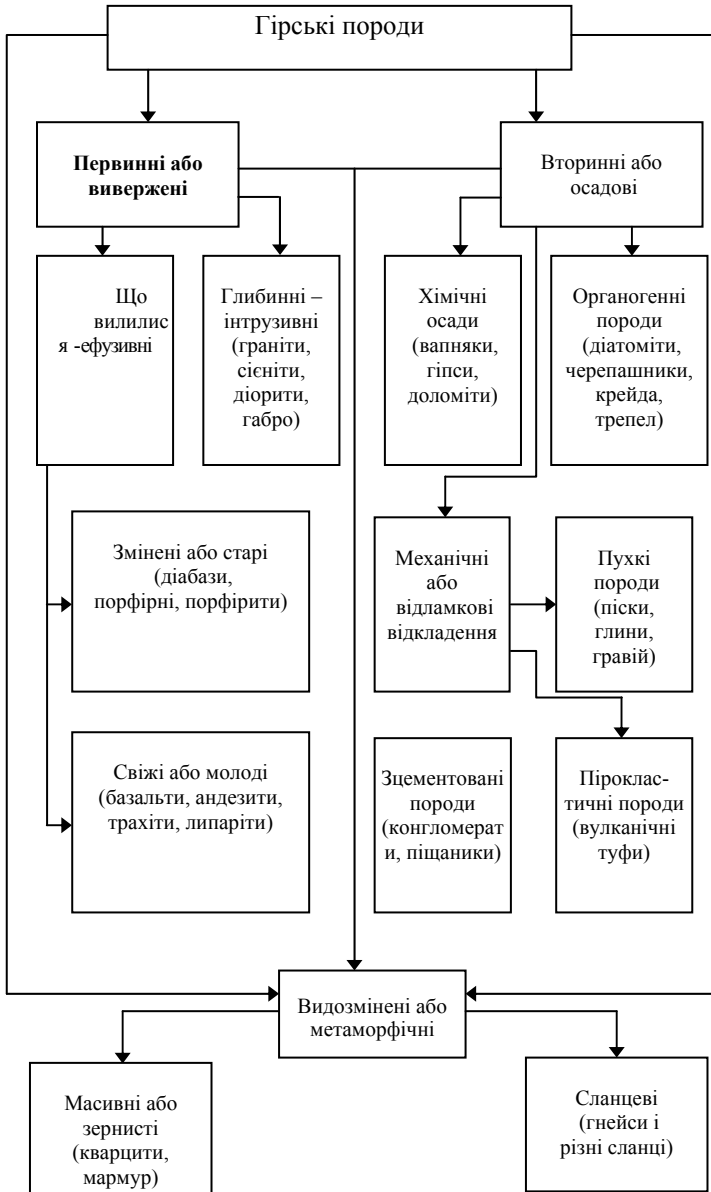


Рисунок 2.1 – Класифікація гірських порід за походженням 38

**Вивержені або магматичні (первинні) породи** з'явилися внаслідок охолодження і твердіння магми в надрах земної кори або на поверхні землі. Вони існують у масивному (скельному) або обламковому (пухкому, сипкому) вигляді.

*Масивні глибинні (інтрузивні) породи* утворилися внаслідок повільного охолодження магми на великій глибині при значному тиску верхніх шарів. Ці умови сприятливі для зростання кристалів, тому такі породи характеризуються великою середньою щільністю, високою міцністю ( $R_{ст} = 1000\text{--}3500 \text{ кг/см}^2$ ) і морозостійкістю, теплопровідністю і малим водопоглинанням. Приклади таких порід: граніт, сієніт, діорит, габро, лабрадорит.

*Масивні породи, що вилилися (ефузивні)*, формувалися на невеликій глибині або навіть на поверхні землі за відсутності тиску і швидкого охолодження магми. В таких умовах розплав застигав у вигляді аморфної скловидної або дрібнокристалічної структури. Породи, що вилилися, за властивостями близькі до глибинних, хоча їхня міцність, звичайно, дещо нижче ( $R_{ст} = 400\text{...}3300 \text{ кг/см}^2$ ). До цієї групи відносять базальти, діабазы, порфіри, андезит.

*Обламкові породи*, що вилилися, пухкі і зцементовані, утворилися при виверженнях вулканів. Деякі з них пористі, що є результатом взаємодії часток магми з газами і парами. Якщо вони відклалися у вигляді уламків, виникали пухкі відкладення – пемзи, вулканічні піски і попіли. Якщо вони злежувалися з часом або потрапляли до розплавленої магми, то формувалися зцементовані породи – вулканічні туфи, траси.

**Осадкові породи** утворилися внаслідок хімічних, фізико-механічних і біохімічних процесів в поверхневій зоні земної кори. Звичайно вони складаються з кремнезему в кристалічній і аморфній формі і водних алюмосилікатів, сульфатів, карбонатів. Їх класифікують за способом осадження на *хімічні осади, механічні та органогенні відкладення*.

*Хімічні осади* сформувалися за рахунок кристалізації солей з водних розчинів в замкнутих водосховищах. Це гіпс, доломіт, магнезит.

*Механічні відкладення* утворилися внаслідок накопичування продуктів руйнування або вивітрювання гірських порід (глина, пісок, гравій). А в деяких випадках за рахунок взаємодії з природними в'язкими виникли зцементовані осадкові породи – піщаники, конгломерати, брекчії.

*Органогенні відкладення* – вапняки, крейда, діатоміт, трепел – з'явилися внаслідок накопичування з наступним ущільненням, цементацією залишків флори і фауни (водоростей, коралів, губок, раковин, скелетів).

**Метаморфічні породи** сформувалися з вивержених осадових порід внаслідок їхнього вторинного перетворення під дією високих температур і великого тиску. В цих умовах змінювалися: структура, мінералогічний і хімічний склад порід. В будівництві частіше застосовуються такі метаморфічні породи як мармури, кварцити, гнейси, глинясті сланці.

Гірські породи являють собою механічне поєднання одного або декількох мінералів.

*Мінерали* – це речовини (хімічні елементи або хімічні сполуки), однорідні за хімічним складом, будовою і фізичними властивостями, з яких сформовані гірські породи. Мінерали в більшості своїй – тверді тіла кристалічні або аморфні. Прикладами твердих мінералів є:  $\beta$ -кварц ( $\text{SiO}_2$ ), каолінит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), кальцит ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) тощо. До рідких мінералів відносяться вода і ртуть. На сьогоднішній день зареєстровано більш 7000 найменувань мінералів.

Кожний мінерал має тільки йому притаманні ознаки, за якими його надійно відрізняють від інших. До цих ознак відносяться форма, хімічний склад, будова, щільність, механічні властивості (твердість, міцність, спайність), оптичні властивості (колір, блиск, прозорість, світлоуламлення та ін.), теплові, електричні і магнітні властивості (табл. 2.1).

В природі практично немає хімічно чистих сполук. У більшості своїй тверді та рідкі мінерали містять різноманітні домішки. Але на зміну складу мінералів з однаковою структурою впливають не стільки механічні домішки, скільки *ізоморфізм* – здатність елементів замінювати один одного в хімічних сполуках з рівноформним (спорідненим) складом. Прикладом ізоморфізму є мінерал олівін, в якому атоми магнію і заліза взаємно заміщують один одного.

Існує і зворотне до ізоморфізму явище, коли речовини однакового хімічного складу утворюють мінерали з різними структурами. Це явище носить назву *поліморфізму* (багатоформності). Так, наприклад, кварц має дві модифікації альфа і бета, карбонат кальцію - теж дві: кальцит і арагоніт, хоча їх хімічні формули однакові: у випадку альфа - і бета - кварцу –  $\text{SiO}_2$ , а в разі кальциту і арагоніту –  $\text{CaCO}_3$ .

Показником поведінки мінералів при нагріванні є не тільки температура їх розм'якшення або плавлення, але й суттєва зміна об'єму при нагріванні. Мінерали, що мають невеликі коефіцієнти теплового поширення, поступово поширюються при нагріванні. І навпаки, мінерали, що мають нерівномірні температурні деформації, обумовлюють виникнення внутрішніх напруг. Це, в свою чергу, викликає зменшення щільності, розтріскування і значне зниження міцності гірської породи, яку вони складають. Тому знання хімічного складу, властивостей і поведінки



мінералів при нагріванні має велике практичне значення для прогнозування поведінки різних гірських порід в умовах пожежі.

**ТАБЛИЦЯ 2.1 – ПОРОДОУТВОРЮЮЧІ МІНЕРАЛИ**

№ з/п	Мінерали	Хімічний склад	Колір	Істинна щільність	Твердість за шкалою Мооса	Індивідуальні ознаки	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Кварц	SiO <sub>2</sub>	Білий, безкольоровий	2850	7	Велика твердість, скляний блиск, рівний злом з гладкою поверхнею	
2	Польові шпати	Ортоклази	K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub>	Жовтий, рожевий, червоний, білий	2600	6	Гладка, рівна блискуча поверхня, спайності
		Плагіоклази	Кальцієві, натрієві алюмосилікати	Темносрий, зеленосрий, восковий	2600–2760	6	
3	Слюди	Мусковіт	Калієвий алюмосилікат	Прозорий, безкольоровий	2760 – 3100	2 – 3	Спайність у одному напрямку з розшаруванням на листові та лускоподібні частки
		Біотит	Магnezійно–залізо–алюмосилікат	Чорний	3100	2 – 3	
4	Глауконіт	Водний алюмосилікат заліза і калію	Зелений, оливковий	2200 – 2800	2 – 3	Дрібні круглі зерна зеленого кольору	
5	Темно-кольорові	Рогова обманка	Залізо–магnezіальний алюмосилікат	Чорний	3100 – 3200	5,5–6	Кристали голчасті, призматичні
		Авгіт	Вапняно–магnezійний силікат	Чорний	3200 – 3600	5 – 6	Кристали у вигляді коротких стовпців або зерен

	Олівін	$(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$	Оливково-зелений	3000 – 3500	6,5–7	Зернисті маси, схожі на зерна кварцу
6	Кальцит	$\text{CaCO}_3$	Білий, сірий, безкольоровий	2770	3	"Кипить" від дії соляної кислоти (10%)
7	Доломіт	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	Сірувато-білий	2800 – 2900	3,5–4	"Кипить" від дії соляної кислоти (10%)
8	Гіпс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Безкольоровий, білий	2700	2	М'який
9	Ангідрит	$\text{CaSO}_4$	Білий з відтінком	2800 – 3000	3–3,5	Нагадує мармур, але більш м'який і не реагує з соляною кислотою
10	Каолініт	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Білий	2800	1	М'який, землистий (глинястий) жирний
11	Пірит	$\text{FeS}_2$	Золотистий	5000	6	Вкраплення у вигляді кутів або плям

## 2.3 Особливості хімічного складу і поведінки окремих мінералів при дії високих температур

В залежності від хімічного складу, мінерали розподіляють на 10 класів: силікати, карбонати, оксиди і гідроксиди, сульфідні, сульфати і ін. Нижче розглянуті основні породоутворюючі мінерали гірських порід.

### 2.3.1 Класи оксидів і гідроксидів

До них відноситься один з найбільш розповсюджених мінералів – кварц, а також опал, оксиди заліза та інші.

**Кварц** (кристалічна форма кремнезему (SiO<sub>2</sub>)) входить до багатьох магматичних осадових і метаморфічних порід. Це кристал молочно-білого або сірого кольору. Його щільність 1650 кг/м<sup>3</sup>, твердість 7, міцність на стиск 1000-2000 Па, спайність відсутня. Хімічно він дуже тривкий: взаємодіє тільки з плавиковою кислотою і гарячими лугами. Вміст кварцу у полімінеральних породах, наприклад, у граніті може доходити до 25% й більше, а в осадових (кварцові піски) і метаморфічних (кварцит) доходить до 100 %. Температура плавлення кварцу 1713 °С. Після швидкого охолодження утворюється кварцове скло.

Поліморфізм кварцу виявляється при нагріванні:

$\beta$ -кварц	<=>	$\alpha$ -кварц	<=>	$\alpha$ -тридиміт	<=>	$\alpha$ -кристобаліт
Температура, °С:		575		870		1470
Зміна об'єму, %:		+2.4		+12.7		+4.7

Перетворення при 575 °С  $\beta$ -кварцу в  $\alpha$ -кварц (зі збільшенням об'єму на 2.4%) відбувається стрибком, і спостерігається розтріскування зразків.

### 2.3.2 Клас силікатів

Цей клас найбільший і складається більше ніж до 500 мінералів. Вони входять до складу вивержених і метаморфічних гірських порід. Мінерали цього класу, близькі за складом і будовою, об'єднують у такі групи: *польові шпати*, залізомагnezійні силікати, слюди, глинисті мінерали.

**Польові шпати** мають найбільше розповсюдження. Це – алюмосилікати калію (ортоклази), алюмосилікати натрію, кальцію (плагіоклази). Польові шпати мають різний колір: білий, рожевий, червоний, жовтий, чорний з синім відтінком (лабрадор). Вони входять до складу гранітів, сієнітів, гнейсів і багатьох інших; є цінною сировиною у скляній і керамічній промисловості. Щільність їх 2500–2900 кг/м<sup>3</sup>, твердість 6-6,5, міцність при стиску 170 МПа. При дії високих температур польові шпати досить стійкі.

**Залізомагnezійні силікати** – темнокольорові мінерали (від темно-зеленого до чорного кольору), містяться у вивержених породах: базальтах, габро, діабазях. Щільність їх 3200–3600 кг/м<sup>3</sup>, твердість 5.5–7, відзначна риса – висока ударна в'язкість. Тому мінерали цієї групи – *олівін*, *піроксен*, *азбест* - менш крихкі.

***Азбест*** – водний силікат магнію і заліза волокнуватої структури, продукт змінювання олівіну, представник метаморфічних вивержених

порід. Міцність його на розтягнення, у залежності від ступеня порушення структури, становить від 200 до 3000 МПа. При нагріванні азбесту до 400-450 °С починається вилучення зв'язаної води, а при 600-700 °С, після її повного вилучення, настає руйнування структури матеріалу.

**Слюди** – алюмосилікати шаруватої структури з досконалою спайністю в одній площині, які здатні розщеплюватися на тонкі пружні пластинки. Містяться у вивержених і осадових породах. Твердість 2.5-3. Найбільш розповсюджені *мусковіт* - і *біотит*.

**Мусковіт** – прозора калієва слюда щільністю 2770-3100 кг/м<sup>3</sup>. Застосовується як електроізоляційний матеріал, бронююча присипка для руберойду або компонент для виготовлення вогнетривких фарб.

**Біотит** – темна залізомагnezійна слюда темного кольору щільністю 3000-3300 кг/м<sup>3</sup>. Продукт вивітрювання біотиту – *вермикуліт*, містить молекулярну міжшарову воду. Через це при 750-900 °С, коли вода виганяється, вермикуліт спучується, збільшуючись в об'ємі у 15-20 разів, утворюючи велику кількість пор. Застосовується як тепло- і звукоізолятор.

**Глинисті мінерали** – водні силікати алюмінію і деяких інших металів. Це продукт вивітрювання польових шпатів у вигляді дрібних часток, складаючих осадові породи (*глини, суглинки, суніски*). До них відносяться *коюміт, гідрослюда, монтморилоніт, каолініт* і інш.

**Каолініт** – водний алюмосилікат  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  білого кольору, дуже м'який (твердість 1). Використовується при виробництві тонкої кераміки, мелованого паперу, у вигляді наповнювача для резин і пластмас.

При 500-600 °С з каолініту виводиться вода і утворюється аморфна пориста суміш глинозему і кремнезему.

При 950 °С утворюються щільні і тривкі силіманіт ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ) і муліт ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ).  $t_{\text{плав}} = 1780$  °С.

**Монтморилоніт**. Водний алюмосилікат змінного хімічного складу (на відміну від каолініту), що містить Ca, Na, Mg, Fe.

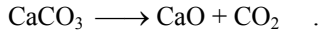
### 2.3.3 Клас карбонатів

До класу карбонатів надходять, головним чином, карбонати кальцію і магнію, які є породоутворюючими мінералами осадових і метаморфічних гірських порід.

**Кальцит (вапняковий шпат)**  $CaCO_3$  – дуже розповсюджений мінерал; зустрічається у вигляді кристалів різноманітної форми. Входить до складу осадових порід (крейди, вапна, вапнякового туфу, мармуру). Крихкий, оскільки має досконалу спайність по 3 площинам. Його щільність 2700-2800 кг/м<sup>3</sup>, твердість 3. Кальцит погано розчиняється у

воді, але легко – у кислотах з виділенням  $\text{CO}_2$ . Наприклад, у 10 % соляній кислоті він розчиняється з бурхливим кипінням.

В діапазоні температур до  $800\text{ }^\circ\text{C}$  кальцит характеризується рівномірним і незначним температурним розширенням та зберігає міцність. При подальшому підвищенні температури виникає термічний розклад мінералу за реакцією:



**Магнезит** ( $\text{MgCO}_3$ ) утворює гірську породу з тією ж назвою. Мінерал зустрічається у природі значно менше, ніж кальцит. Істинна щільність магнезиту  $3000\text{ кг/м}^3$ , твердість до 4...4,5.

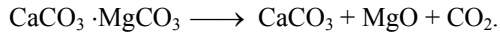
При  $750\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$  магнезит розкладається з утворенням каустичного магнезиту, який має в'язучі властивості, і вуглекислого газу:



При  $1500\text{--}1600\text{ }^\circ\text{C}$  магнезит спікається в матеріал з вогнетривкістю до  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Доломіт** ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Розповсюджений мінерал, що за властивостями займає місце між кальцитом і магнезитом та утворює породу з назвою "доломіт", яка входить до складу інших осадових порід: мармуру, вапняків...

При  $650\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$  розкладається з утворенням каустичного доломіту (який має в'язучі властивості) і вуглекислого газу.



При  $1600\text{ }^\circ\text{C}$  відбувається спікання доломіту.

### 2.3.4 Клас сульфатів

**Гіпс** ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). М'який мінерал (твердість 2), що утворює випадну гірську породу тієї ж назви. Кристалізується у вигляді зернистих (алебастр) або волокнуватих (селеніт) мас. Частково розчиняється у воді. Щільність  $2300\text{ кг/м}^3$ .

При  $200\text{ }^\circ\text{C}$  виводиться частина зв'язаної води і утворюється будівельний гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ , який має в'язучі властивості.

Понад  $400\text{ }^\circ\text{C}$ : зв'язана вода виводиться повністю і утворюється ангідрит ( $\text{CaSO}_4$ ) - безводний гіпс щільністю  $2800\text{--}3000\text{ кг/м}^3$ , твердістю 3 - 3.5.

Гіпс широко використовується як сировина для в'язучих (будівельний гіпс і інш.), як додаток при помелі цементного клінкеру, для регулювання термінів схоплення цементу, а також в паперовій, хімічній промисловості, для виготовлення фарб, емалей, глазури і інш.

## 2.4 Особливості поведінки природних кам'яних матеріалів при нагріванні

Всі природні кам'яні матеріали, що застосовуються в будівництві, негорючі, однак під дією високих температур зниження їх міцності і руйнування відбувається по-різному.

### 2.4.1 Вивержені породи

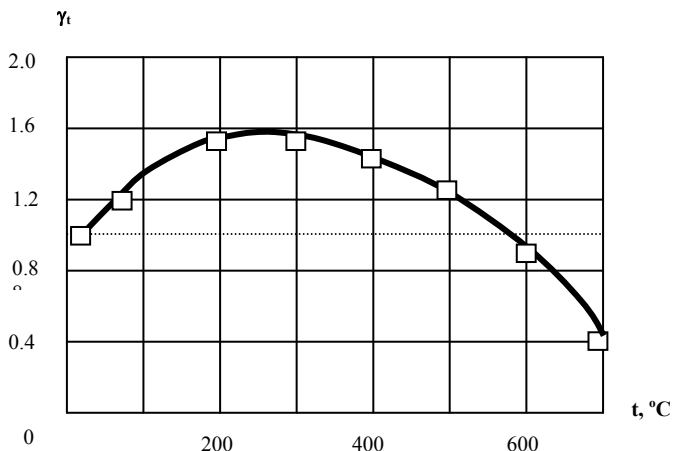
Властивості вивержених порід в основному обумовлюються їх хімічним складом. Залежно від вмісту кремнезему їх поділяють на *кислі, середні і основні*. Причому, оскільки магма з однаковим хімічним складом могла твердіти як на глибині, так і на поверхні, то кожній глибинній породі відповідає свій тип породи, що вилилась.

**Кислі породи** містять  $\text{SiO}_2 > 65\%$  і складаються з кварцу, польового шпату і слюди. До них відносяться *граніти, кварцові порфіри*.

**Граніти** - породи зернисто-кристалічної будови. Вони складаються з *кварцу* (20...40 %), *польових шпатів* (40...70 %) і слюди (5...15 %). Колір їх змінюється від сірого до темно-червоного і залежить від кольору польового шпату.

Завдяки високій міцності, малій пористості і високій морозостійкості, граніти застосовуються для виготовлення східців, лицювальних плит, бортових каменів, щебеню тощо.

Міцність граніту в нормальних умовах визначають *польові шпати* і слюда, але при значному нагріванні вона залежить від структурних перетворень у *кварці*. При нагріванні до 300 °С спостерігається зростання міцності до 1.6 разів, завдяки зняттю внутрішніх напружень (див. рис.2.2). Надалі міцність неухильно падає. При 600 °С з'являються тріщини, зумовлені фазовим переходом *кварцу* від  $\beta$ - до  $\alpha$ -модифікації. При 800 °С граніт руйнується.



**Рисунок 2.2 – відносна міцність на стиск граніту при нагріванні**

**Кварцові порфіри** - породи, що вилилися, скритнокристалічної або скловатої будови, близькі за складом та властивостями до гранітів. Тому їх поведінка при дії високих температур аналогічна поведінці гранітів. Застосовуються кварцові порфіри в міському і дорожньому будівництві у вигляді щебеню і декоративних плит.

**Середні породи** містять  $\text{SiO}_2 = 50\text{...}65\%$  і складаються з польового шпату, слюди, темнофарбованих мінералів. До них відносяться *сієніти*, *діорити*, *трахіти*, *андезити*.

**Сієніти** - глибинні породи, які складаються з польового шпату, слюди і темнофарбованих мінералів. За структурою, властивостями і областями застосування вони близькі до гранітів, але менш стійкі проти вивітрювання.

**Діорити** - глибинні породи, які складаються з польового шпату, і темнофарбованих мінералів. За структурою дрібно- і середньозернисті, від сірого до темно-зеленого кольору. За міцністю і ударною в'язкістю вони переважають граніти. Застосовуються в дорожньому будівництві.

**Трахіти** - породи, що вилилися, подібні за складом до сієнітів, але менш тривкі. Застосовуються як стіновий матеріал або заповнювач для бетону.

**Андезити** - породи, що вилилися, жовто-сірого кольору, за складом і властивостями схожі на діорити. Застосовуються як кислотостійкий матеріал (плити, щєбінь).

**Основні породи** містять  $\text{SiO}_2 < 50\%$  і складаються з темнофарбованих мінералів та польового шпату. До них відносяться *габро*, *діабази*, *базальти*, *перліт*.

**Габро** - глибинна порода, кристалічна, крупнозерниста, кольори від сіро-зеленого до чорного; стійка проти вивітрювання, добре полірується, використовується для облицювання будинків і покриття доріг.

**Діабази** - породи, що вилилися, аналоги габро, мають велику ударну в'язкість і малу здатність до стерття. Застосовуються у шляховому будівництві.

**Базальти** - породи, що вилилися, аналоги габро, скритокристалічної або аморфної будови. При температурі понад  $900\text{ }^\circ\text{C}$  сильно збільшуються в об'ємі. Застосовуються в дорожньому будівництві і для облицювальних робіт.

**Перліт** - складається в основному з вулканічного скла. При високих температурах спучується завдяки вивільненню хімічно зв'язаної води. Коефіцієнт спучування:

$$K_{\text{всп}} = \frac{\rho_{\text{пер}}}{\rho_{\text{всп}}},$$

де  $\rho_{\text{пер}}$  – середня щільність перліту при нормальній температурі;

$\rho_{\text{всп}}$  – середня щільність перліту при нагріванні.

Для перліту при  $1000\text{...}1200\text{ }^\circ\text{C}$   $K_{\text{всп}} = 5\text{...}20$ .

## 2.4.2 Осадові породи

Властивості осадових порід обумовлюються властивостями породоутворюючих мінералів і цементуючих речовин.

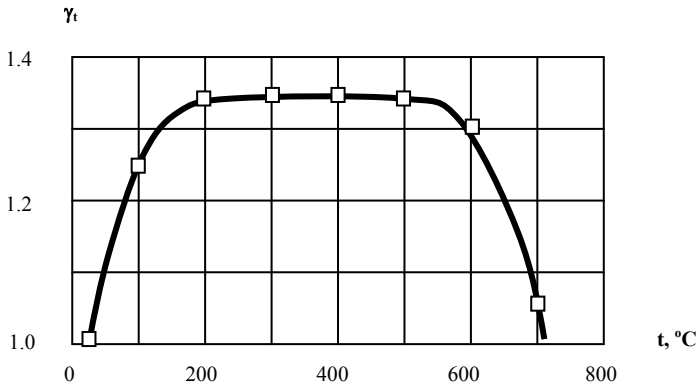
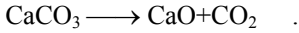
**Піщаники** - механічні відкладення, складаються з зерен кварцового піску, зцементованого природними цементами. Застосовуються для виготовлення фундаментів, бортових каменів, східців, тротуарів. При  $500\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$  руйнуються завдяки розтріскуванню кварцу.

**Мергель** - вапново-глиняста порода з хімічних осадів. Застосовується як сировина для виробництва портландцементу. При  $1450\text{ }^\circ\text{C}$  глинясті речовини розпадаються на вільні окисли; вапно дисоціює і утворює клінкерні мінерали.

**Вапняки** - органогенні відкладення, складаються з кальциту з домішками магнезиту, кварцу і ін. Застосовуються для виготовлення



стінових каменів, лицевальних плит, щебеню для бетону, а також для виробництва вапна і портландцементу. Мало поширюються при нагріванні. При  $t > 800$  °С розкладаються на оксид кальцію (повітряне вапно) і вуглекислий газ:



**Рисунок 2.3 – Відносна міцність на стиск вапняку при нагріванні**

**Крейда** – німецька вапняна порода білого кольору. Використовується для виготовлення вапна та портландцементу, а також для побілок та замазок.

**Повітряне вапно (CaO)** – теплоізолятор, воно сприяє уповільненню реакції розкладення  $\text{CaCO}_3$ , перешкоджаючи прогріву матеріалу. При нагріванні аж до 600 °С спостерігається зростання міцності в 1.4 раз, що пояснюється ущільненням структури (див. рис.2.3). Подальший нагрів понад 900 °С за наявності води викликає повторне гасіння вапна і повну втрату міцності.

**Діатоміт** - легка пухка або слабко зцементована гірська порода, складена з окаменілих діатомітових водоростей. Теплоізолятор до 1000 °С. Використовується як активний кремнеземистий додаток до цементів.

### 2.4.3 Метаморфічні породи

**Мармури** – утворилися з вапняків або доломітів під дією високої температури і багатостороннього тиску. Кристалічні зерна кальциту (з домішками доломіту) зв'язані без цементуючої речовини. Міцність мармуру при стиску 120-300 МПа (1200-3000 кг/см<sup>2</sup>). Застосовується він як оздоблювальний матеріал. Оскільки головним породоутворюючим мінералом мармуру є кальцит, то при дії високих температур його поведінка аналогічна поведінці вапняку.

**Гнейси** – утворилися внаслідок перекристалізації гранітів, порфірів, сієнітів і мають шарувату будову. Зміна їх міцності при нагріванні нагадує зміну міцності граніту. Застосовуються гнейси у вигляді лицевальних плит.

**Серпентит** – порода, що утворилася як продукт зміни олівіну. Це, в основному, водний силікат мангану, що вміщає до 13-17 % мас зв'язаної води. Він використовується як заповнювач у бетонах. При 700-800°C, внаслідок видалення зв'язаної води, об'єм серпентиту різко зменшується, що викликає порушення його структури і зниження міцності.

Таким чином, при використанні в будівельних конструкціях природних кам'яних матеріалів слід враховувати, що найбільші температурні деформації мають гірські породи, що містять кварц – граніт, кварцит, піщаники, гнейси, а найменшими – вапняки, базальти, туфи, пемзи.

Також слід враховувати межі температурної міцності гірських порід:

- 500 °С – піщаники, серпентит;
- 550-600 °С – граніт і кварцуміщуючі породи;
- 700 °С – вапняки.

## ГЛАВА 3. НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

### 3.1 Визначення і класифікація

Для отримання багатьох будівельних матеріалів або склеювання окремих матеріалів у виробі і конструкції широко використовуються *в'язучі речовини*, які бувають *неорганічні* (вапно, гіпс, рідке скло, цементи) і *органічні* (бітуми, дьогті, смоли, клеї).

**Неорганічні (мінеральні) в'язучі речовини** являють собою тонковимелені порошки, які здатні при змішуванні з водою (а в окремих

випадках, - з розчинами деяких солей) утворювати пластичну в'язку масу, що легко формується (в'язуче тісто) і здатна внаслідок фізико-хімічних процесів поступово твердіти і переходити в каменеподібне тіло.

Мінеральні в'язучі класифікують за:

- а) видом сировини:
  - з природних матеріалів;
  - з відходів виробництв;
  - зі змішаної сировини;
- б) призначенням – для виготовлення:
  - будівельних розчинів і бетонів;
  - штучних неопалених кам'яних матеріалів та виробів;
- в) умовами твердіння:
  - повітряні;
  - гідравлічні;
  - кислототривкі.

Похідною сировиною для виробництва мінеральних в'язучих є природні кам'яні матеріали (вапняк, гіпс, доломіт, магнезит, мергель, крейда, глини), а також побічні продукти промислового виробництва (шлаки, золи...). Для регулювання схоплювання і твердіння, надання спеціальних властивостей, до в'язучих вводять спеціальні добавки.

Основу виробництва мінеральних в'язучих складають такі технологічні операції:

- 1) добування сировини;
- 2) доставка сировини;
- 3) підготовка сировинної суміші - помел, змішання з водою;
- 4) опалення в спеціальних печах;
- 5) помел з введенням додатків;
- 6) складування.

Принципової різниці при виготовленні в'язучих нема: розрізняється тільки сировина, а тому і технологічні умови її обробки.

Мінеральні в'язучі, які твердіють і довгий час зберігають міцність тільки у повітряному середовищі, звать повітряними. Це повітряне вапно, гіпсові і магнезіальні в'язучі, рідке скло.

Мінеральні в'язучі, що здатні твердіти, підвищувати і довгий час зберігати міцність не тільки на повітрі, а ще й у воді, звать гідравлічними, або в'язучими водного твердіння. До них відносяться: гідравлічне вапно, романцемент, портландцемент і його різновидності, глиноземистий цемент.

Якість в'язучих оцінюють за швидкістю твердіння, часом схоплювання і твердіння, міцністю.

**Швидкість твердіння** для в'язучих розрізняється в широких межах:

гіпс зміцнюється за кілька годин, а повітряне вапно – за кілька тижнів або місяців. Умовно прийнято розрізняти два періоди в процесі твердіння в'язучих - схоплювання і твердіння.

**Схоплювання** - період з моменту, коли в'язуче тісто, густіючи, починає втрачати пластичність, до повної втрати пластичності. До початку схоплювання в'язуче тісто має яскраво виражені тиксотропні властивості, тобто спроможне розріджуватися при струшуванні, а в стані спокою знов ставати густов'язким.

**Твердіння** в'язучого - його перехід у каменеподібний стан, залежить від активності фізико-хімічних процесів утворення і розростання кристалічних зростків.

Міцність в'язучих змінюється у часі, тому їх оцінюють за міцністю, яку вони набирають за певний час твердіння. Цей показник, що, як правило, відповідає межі міцності при стиску зразків, виготовлених і випробуваних за стандартними умовами, називають **маркою** в'язучого.

## 3.2 Мінеральні повітряні в'язучі матеріали та їхня поведінка при впливі високих температур

### 3.2.1 Будівельний гіпс

**Будівельний гіпс** є повітряною в'язучою речовиною, яку одержують за допомогою термообробки природного гіпсового каменю у відкритих котлах при 110-180 °С:



При змішуванні будівельного гіпсу з достатньою кількістю води (60-70%) утворюється пластичне тісто, яке потім починає швидко густіти і твердіє. Твердіння гіпсових в'язучих відбувається за такою схемою:

- 1 етап* - при з'єднанні з водою частки гіпсу починають розкладатися на поверхні до **утворення насиченого розчину**. Цьому етапу відповідає пластичний стан тіста;
- 2 етап* - **колоїдизація** - пряме приєднання води до твердого гіпсу і утворення гелю (студню). Це етап схоплення (густіння тіста);
- 3 етап* - **кристалізація**. Гель перекристалізується у більші кристали голчастої форми, що зростаються між собою, складаючи остов. Цей етап характеризується твердінням системи і підвищенням її міцності.

Якість гіпсових в'язучих нормується за ГОСТ 125-79, відповідно до якого встановлюються такі показники:

- тонкість помелу;
- стандартна консистенція (нормальна густина) гіпсового тіста;

– межа міцності при стиску і вигині зразків – балочок розмірами 4×4×16 см після 2 годин їх твердіння.

Відповідно до цього ГОСТу встановлено 12 марок гіпсу (за міцністю на стиск у 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.

В залежності від часу схоплювання, гіпсові в'язучі розподіляють на швидко-, нормально- та повільнотвердіючі (див. табл. 3.1), а від ступеня помелу – на грубого, середнього і тонкого помелу (див. табл. 3.2).

ТАБЛИЦЯ 3.1 – КЛАСИФІКАЦІЯ ГІПСОВИХ В'ЯЗУЧИХ ЗА ЧАСОМ СХОПЛЮВАННЯ

Вид в'язучого	Індекс часу твердіння	Строки схоплювання, хвил.	
		початок, не раніше	кінець, не пізніше
Швидкотвердіюче	А	2	12
Нормальнотвердіюче	Б	6	20
Повільнотвердіюче	В	20	не нормується

ТАБЛИЦЯ 3.2 – КЛАСИФІКАЦІЯ ГІПСОВИХ В'ЯЗУЧИХ ЗА СТУПЕНЕМ ПОМЕЛУ

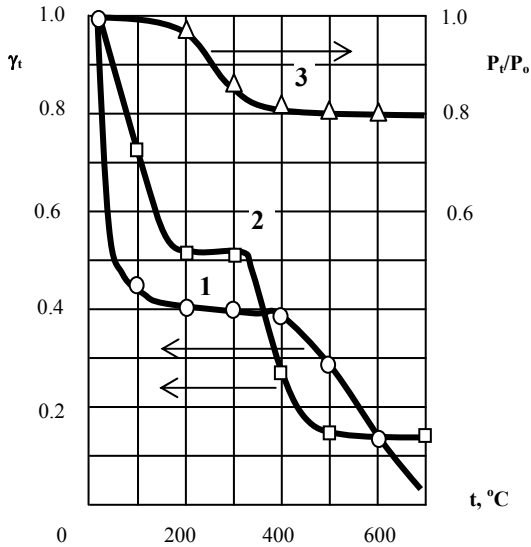
Вид в'язучого	Індекс ступеня помелу	Максимальний залишок на ситі № 2, не більше, %
Грубого помелу	І	23
Середнього помелу	ІІ	14
Тонкого помелу	ІІІ	2

Будівельний гіпс є швидкоохоплюючимся в'язучим. Терміни його схоплювання можливо регулювати, застосовуючи уповільнювачі схоплювання (буру, кістковий клей та інш.). При твердінні гіпс збільшується в об'ємі, що враховується при виготовленні архітектурних виробів.

Будівельний гіпс широко використовується у штукатурних розчинах для внутрішніх робіт. Дуже розповсюджено використання гіпсу для випуску різних будівельних виробів заводського виготовлення – панелей і блоків для перегородок, стін, вентиляційних коробів, перекриттів, обшивних листів та інш. Гіпс використовується для виробництва гіпсоцементно-пуццоланових в'язучих, що застосовуються для стін і перегородок.

Велика пористість гіпсового каміння визначає його низьку механічну міцність і малу теплопровідність. Тому гіпс застосовується також для виготовлення теплоізоляційних матеріалів – гіпсоволокняних виробів, які добре захищають від нагрівання металеві та інші конструкції.

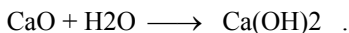
Гіпсовий камінь, що затвердів, складається з поєднаних між собою кристалів  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  голчастої форми. При його нагріванні від  $70^\circ\text{C}$  і вище починається процес дегідратації, поступові структурні і хімічні перетворення, що викликає руйнування кристалічної структури і зниження міцності гіпсу (рис. 3.1).



**Рисунок 3.1 – Зміна міцності і ваги будівельного гіпсу при нагріванні:**  
 1 – у гарячому стані; 2 – після охолодження; 3 – зміна ваги.

- За етапами цей процес можна показати у наступній формі:
- понад  $70^\circ\text{C}$  – починається дегідратація  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , яка викликає порушення кристалічної структури гіпсу;
  - $100^\circ\text{C}$  – міцність різко знижується до 45% від попередньої;
  - $200\text{--}350^\circ\text{C}$  – міцність знижується до 40% і стабілізується, лише на поверхні з'являються волосні тріщини;
  - $400^\circ\text{C}$  – дегідратація завершується, міцність гіпсу спадає до 30%, структура повністю руйнується  
 $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O})$ .
  - $700^\circ\text{C}$  – міцність лінійно знижується до 0;
  - $900^\circ\text{C}$  – повний розпад сульфату кальцію  
 $2\text{CaSO}_4 \longrightarrow 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$ .

А окис кальцію (CaO) за мірою охолодження і зволоження здатний до *повторної гідратації* зі збільшенням об'єму і повним руйнуванням каменю:



Таким чином, виявляється, що гіпс дуже чуйний до нагрівання: при 100 °С його міцність знижується удвічі. В той же час гіпсовий камінь, що затвердів, має досить високі теплоізоляційні властивості і прогрівається дуже повільно.

### 3.2.2 Повітряне будівельне вапно

**Повітряне вапно** – продукт помірною опалення кальцієво-магnezійних карбонатних гірських порід (вапняку, крейди, черепашнику, доломітизованих і мергелистих вапняків), що містять не більше 6 % глини.

Дроблену сировину опалюють в шахтних печах, де за мірою підвищення температури відбувається термічна дисоціація, дегідратація і декарбонізація вапняку:



Продукт опалення складається, головним чином, з оксидів кальцію і магнеїю, що обумовлює активність вапна. Відповідно до ГОСТ 9179-77 сорт вапна визначає сумарна кількість вільних оксидів кальцію і магнеїю. Якість вапна підвищується з її збільшенням (див. табл. 3.3).

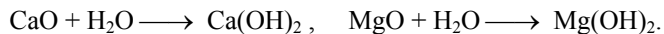
ТАБЛИЦЯ 3.3 – СОРТАМЕНТ НЕГАШЕНОГО ВАПНА

Показники	Вапно негашене сорту:		
	1	2	3
Кількість активних CaO і MgO, %	90	80	70
Кількість зерен, що не погасилися, %	7	10	12
Тонкість помелу - залишок часток на ситі:			
№ 02, не більше, %	1	1	1
№ 08, не більше, %	10	10	10
Швидкість гасіння, не більше, хвилин:			
швидкого гасіння	8	8	8
середнього гасіння	25	25	25
повільного гасіння	25	25	25

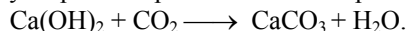
Вапно з печі одержують у вигляді грудок (комову). Це *негашене вапно (кипілка)* - напівпродукт, який для перетворення у в'язуче роздрібноють в

млині, одержуючи молоте вапно або гасять водою. При затворенні комового вапна водою відбувається гасіння (гідратація) з виділенням тепла, яке переводить частину води до паровидного стану. Пар викликає у вапні внутрішні розтягуючі напруги, під дією яких воно роздрібнюється до тонкого порошку.

Швидкість гасіння складає 8...25 хв.



*Гашене вапно (пушонка)* звичайно біле, порошковидне, при затворенні водою буває у вигляді тіста або молока. При висиханні вапнових розчинів кристали  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , спочатку поділені водною плівкою, зближуються і утворюють зросток. А на поверхні зростка може йти процес *карбонізації*:



Карбонатний шар зрощується з кристалами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і це зміцнює зросток.

Твердіння вапнового розчину відбувається поволі. Чисте вапняне тісто при висиханні дає більшу усадку і розтріскується. Тому до нього додають 2-4 об'ємних частини заповнювача – звичайно, піску.

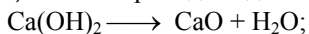
Зразки з вапняно-піщаного розчину через 28 діб твердіння мають межу міцності при стиску 0.5-1.0 МПа; такі ж зразки, де використовується розмелене негашене вапно, мають більш високу міцність – до 5 МПа.

Повітряне вапно застосовують при виготовленні автоклавних силікатних матеріалів (силікатної цегли), воно входить до складу будівельних розчинів для кам'яної кладки і штукатурки.

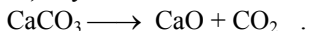
Вапно - це луг, і тому застосовувати його слід з необхідною обережністю. Зберігають вапно не більше місяця, а молоте - не більше 15 діб.

Дія високої температури на вапновий розчин, що затвердів, викликає відщеплення хімічно зв'язаної води від  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (*дегідратацію*) і дисоціацію  $\text{CaCO}_3$ :

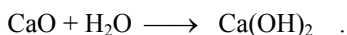
520-580 °С – *дегідратація* вапна приводить до зниження міцності:



900 °С – повна втрата міцності вапном за рахунок руйнування його структури і *дисоціації* вуглекислого кальцію:



Оскільки  $\text{CaO}$  і  $\text{CaCO}_3$  мають різні коефіцієнти теплового розширення, то при нагріванні вапновий розчин, що затвердів, розтріскується. А крім того, окис кальцію, що утворюється за обома реакціями, за мірою охолодження і зволоження здатний до *повторної гідратації*, що призводить до збільшення об'єму і повного руйнування вапняного каменю:



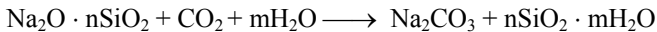


### 3.2.3 Рідке скло

**Рідке скло** являє собою в'язку рідину темно-жовтого або коричневого кольору. Це розчинені у воді солі кремнієвої кислоти  $K_2O \cdot nSiO_2$  та  $Na_2O \cdot nSiO_2$ . Величина  $n$  зветься силікатним модулем і коливається у межах  $n=2.5...3.5$ .

Одержують рідке скло сплавленням кварцового піску з содою або сульфатом натрію при 1300-1400 °С. Після охолодження отримані шматки обробляють в автоклаві водяним паром під тиском 6-8 атм. Внаслідок утворюється рідина, що використовується у будівництві.

Твердіє рідке скло тільки на повітрі. Під дією вуглекислого газу силікат натрію розз'єднується за реакцією:



Утворений при цьому у вигляді колоїдного розчину аморфний кремнезем має клеючу здатність. На повітрі він втрачає вологу, коагулює і ущільнюється. Прискорити твердіння можна, додаючи кремнефтористий натрій.

Особливістю поведінки при нагріванні рідкого скла, яке затверділо, є його плавлення і спучення. Спучення твердої плівки з розчиненого скла виникає через *дегідратацію* гелю кремнієвої кислоти. Внаслідок цього утворюється достатньо стійкий спінений шар, який має малу теплопровідність. На цьому базується застосування силікатних вогнезахисних фарб. Вогнезахисний ефект від використання речовин на основі рідкого скла визначається якістю шару фарби, щільністю, однорідністю, товщиною плівки, зчепленням з основою та інш.

Застосовують рідке скло також для ущільнення ґрунтів (силікатизації), виготовлення кислототривкого цементу, жаростійкого бетону.

## 3.3 Гідравлічні мінеральні в'язучі та їх поведінка при впливі високих температур

### 3.3.1 Портландцемент

**Портландцемент (ПЦ)** – це гідравлічна в'язуча речовина, яку одержують спільним тонким помелом цементного *клінкеру* і необхідної кількості двоховдного гіпсу.

*Клінкер* одержують у результаті випалу шихти до її спікання. Шихта складається з *мергелю* або штучної суміші з *вапняків*, глини і інших речовин, що забезпечують склад:

Ca - 62...68 %  
SiO<sub>2</sub> - 20...24 %  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 4...7 %

(припускається наявність шкідливих домішок: Mg < 5%; SO<sub>3</sub> < 3.5%).

Технологія виробництва ПЦ складається з таких типових операцій:

- 1) видобуток і доставка сировини;
- 2) підготовка сировинної суміші до випалу;
- 3) випал сировинної суміші;
- 4) охолодження і розмел клінкера;
- 5) магазинування.

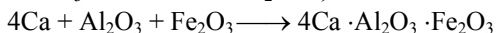
У залежності від виду підготовки сировинної суміші, є два способи виробництва ПЦ:

- а) сухий - здрібнювання, перемішування і подача в піч компонентів сировинної суміші у сухому вигляді. Хоча при цьому способі значно скорочується використання палива на обпалення, одержують цемент невисокої якості через неоднорідність суміші;
- б) мокрий - обпалення підготовленої вологої сировинної суміші у печі, що обертається (див. рис.3.2). Цей спосіб має велике розповсюдження.

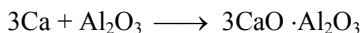
Обертюва піч являє собою сталевий футерований вогнетривом циліндр діаметром до 5 м і довжиною до 200 м, розташований під кутом 3-5 °. Піч обертається зі швидкістю 1-2 об/хв і має 6 умовних зон, які відрізняються температурою. Суспензія сировинної суміші у воді (шлам) подається у піч з верхнього краю. Назустріч опалюваному матеріалу поступають пальні гази, що утворюються при згорянні палива у нижньому кінці печі. Шлам підсушується і прогрівається, пересуваючись у зону більшої температури, де проходять процеси утворення клінкеру.

В залежності від температури, виділяють кілька зон у печі:

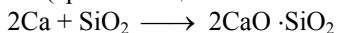
- 1) 100-150 °С - **зона сушки** - випарювання з суміші вільної і гігроскопічної води;
- 2) 200-700 °С - **зона підігріву** - видалення хімічно зв'язаної води з глинистих мінералів (*каоолініту*), вигорання органічних домішок, розпад глин з утворенням аморфного залишку, що складається з оксидів Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>... Наприклад – розпад каоолініту:  
$$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \quad ;$$
- 3) 700-1100 °С - **зона кальцинування** - *дисоціація вапняку* і хімічна взаємодія окису кальцію, що утворився, із продуктами розпаду глин і інших компонентів сировинної суміші. У цій зоні йдуть ендотермічні твердофазні реакції з великим поглиненням тепла:



(чотирьохкальцієвий алюмоферрит - *браунміллерит* – C<sub>4</sub>AF) ;



(трьохкальцієвий алюмінат - *целіт* -  $\text{C}_3\text{A}$ );

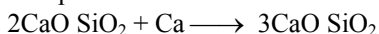


(двокальцієвий силікат - *беліт* -  $\text{C}_2\text{S}$ );

4) 1100-1250 °С – **зона екзотермічних реакцій** – продовжуються твердофазні реакції утворення *целіту*, *беліту* і *браунміллериту*, але вони супроводжуються виділенням тепла;

5) 1300-1450 °С - **зона спікання** - закінчення утворення беліту.

1300-1400 °С - розплавлення *браунміллериту* і *целіту*, часткове розчинення в цьому розплаві беліту і збиткового окису кальцію, утворення трьохкальцієвого силікату - *аліту* - у виді дрібних кристалів:



(трьохкальцієвий силікат - *аліт* -  $\text{C}_3\text{S}$ )

6) 1300-1000 °С – **зона охолодження** – *кристалізація* з розплаву та остаточне формування структури і складу клінкеру:

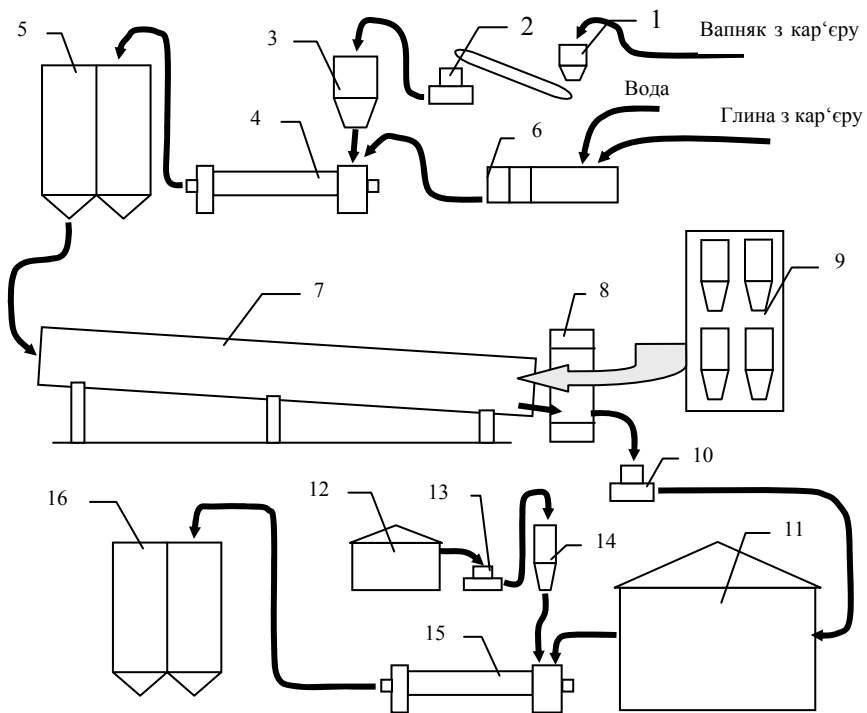
45-65 % аліту ( $\text{C}_3\text{S}$ ) - швидко твердіюче *в'яжуче* великої міцності з високою гідралічною активністю;

15-45 % беліту ( $\text{C}_2\text{S}$ ) - повільно твердіюче *в'яжуче* середньої тривкості;

10-25 % браунміллериту ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) - *в'яжуче* малої міцності, яке швидко схоплюється, але повільно твердіє;

3-15 % целіту ( $\text{C}_3\text{A}$ ) - *в'яжуче* малої міцності, яке дуже швидко схоплюється і твердіє тільки на повітрі.

Цементний *клінкер* виходить з печі у вигляді шматочків розміром 4...30 мм. Далі він потрапляє у холодильник, де швидко охолоджується до 200-100 °С. Мета швидкого охолодження *клінкера* - зафіксувати структуру  $\beta$ -модифікації *беліту*, що має гідралічні властивості. Після охолодження клінкер витримується на складі до 2 тижнів.

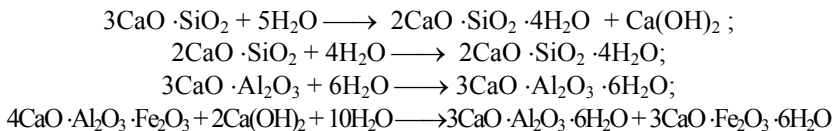


**Рисунок 3.2 – Схема виробництва портландцементу за мокрим способом:**  
 1 – бункер; 2 – здрібнювач; 3 – дозатор; 4 – сировинний млин; 5 – шламбасейни; 6 – глиноболтушки; 7 – обертова піч; 8 – холодильник; 9 – подача палива; 10 – здрібнювач клінкеру; 11 – склад клінкеру; 12 – склад гіпсу; 13 – здрібнювач; 14 – дозатор; 15 – млин помелу клінкеру з гіпсом; 16 – склад цементу (силоси)

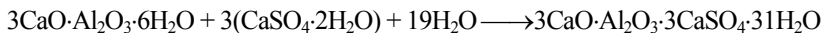
Виготовлення портландцементу завершується сумісним тонким помелом клінкеру та гіпсу у трубних (кульових) млинах та складанням його у силосах. Гіпс додають не більше 3.5 % для уповільнення схоплювання портландцементу.

Цемент, змішаний з водою, спочатку утворює пластичну масу - *цементне тісто*, яке поступово густіє, твердіє і далі перетворюється в камінь. Процес твердіння портландцементу поділяють на три періоди:

**1. Період розчинення.** Після замішування водою клінкерні мінерали починають розчинятися, створюючи насичений розчин, із якого випадають гідрати, відбуваються реакції *гідратації* і гідролізу:



У цілому цемент такого складу має короткі терміни *схоплювання* через шестиводний гідроалюмінат кальцію. Додача *ginsu* при помелі *клінкера* уповільнює протікання цих реакцій, тому що *ginc* реагує з гідроалюмінатом, створюючи важкорозчинювану сіль - гідросульфоалюмінат кальцію (еттрингіт), що екранує поверхню зерен.



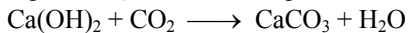
**2. Період колоїдації.** Подальша гідратація викликає пересичення розчину, з нього починають випадати у виді дрібних (колоїдних) часток клінкерні мінерали. Колоїдні частинки мають клеючу здатність і передають цю здатність *цементному тісту*, забезпечуючи його прилипання до кам'яних матеріалів і їх склеювання. Внаслідок подальшого поглинання води мінералами, її зміст у вільному виді зменшується, цементне тісто втрачає пластичність, і це відповідає початку *схоплювання*.

**3. Період кристалізації.** Гідроокис кальцію і целіт найменш стійкі в колоїдному стані і першими починають кристалізуватися, виконуючи роль зародків. Одночасно відбувається ущільнення студневидного гелю, утвореного гідросилікатами кальцію. Вони кристалізуються повільно. У результаті кристали, що утворюються, формують зросток (каркас), що пронизує цементний камінь у різних напрямках, забезпечуючи високу міцність. Швидкість твердіння цементу залежить від швидкості взаємодії клінкерних мінералів із водою (тобто від складу, тонкості помелу, температури та ін.).

Розподіл процесу твердіння на періоди умовний, тому що вони можуть протікати майже одночасно.

Таким чином, *цементний камінь*, що твердіє, являє собою складний конгломерат з кристалічних і колоїдних гідратних утворень, залишків цементних зерен, що не прореагували з водою, а також - тонкорозповсюдженої води і повітря.

Подальше зростання міцності *цементного каменю* обумовлюється *карбонізацією* його поверхневих шарів під дією вуглекислоти повітря:



Технічні вимоги до портландцементу викладені в ГОСТ 10178-85, за яким нормуються такі його показники:

- тонкість помелу;
- терміни схоплювання;
- рівномірність зміни об'єму при твердінні;
- міцність (*марка*).

Тонкість помелу визначають за масою порошку, яка пройшла через сито із сіткою 0.08 мм (не менше 85 %).

Терміни схоплювання і рівномірність зміни об'єму визначають на цементному тісті нормальної густоти.

Міцність цементу і його марки визначають іспитом зразків (балочок 4x4x16 см), виготовлених із цементного розчину (1:3) нормальної густоти при водоцементному відношенні 0.4 через 28 діб.

В залежності від механічної міцності портландцемент розподіляється на *марки* (див. табл.3.4).

ТАБЛИЦЯ 3.4 – МАРКИ ЦЕМЕНТУ

Марка цементу	Межа міцності через 28 діб, МПа	
	при стиску	при вигині
300	30	4.5
400	40	4.0
500	50	5.0
600	60	6.0

*Цементний камінь* – це капілярно-пористе тіло, в якому здійснюються різні форми зв'язку з каркасом каменю. Крім хімічно зв'язаної води у цементному камені може бути адсорбційно зв'язана вода, яка міститься у гелі, а також вода, що знаходиться у капілярах.

Під дією високих температур твердий цементний камінь поступово втрачає усі види вологи, що викликає руйнування структури цементного каменю і втрату міцності. Фізико-хімічні процеси, які мають місце при нагріванні портландцементу, базуються на впливі високих температур на окремі клінкерні мінерали.

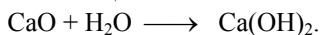
**1. Нагрівання *аліту* ( $C_3S$ ),** наприклад, викликає наступні перетворення:

до 200 °C - проходить дегідратація гелю  $C_3S$ ; прискорення кристалізації  $Ca(OH)_2$ ; міцність підвищується;

300-500 °С - продовження дегідратації і зменшення об'єму аліту, зерна цементу, що не розклалися, розширюються. З'являються внутрішні напруження, міцність падає;

550-580 °С - завершення дегідратації аліту, розпад  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і всієї структури, поява тріщин. Міцність падає;

800-900 °С - утворення у великій кількості  $\text{CaO}$ , здатної до повторного гасіння з підвищенням об'єму і руйнуванням структури цементного каменю:



## 2. Нагрівання *беліту* ( $\text{C}_2\text{S}$ )

Гідратована  $\beta$ -модифікація беліту, що має гідралічні властивості, не містить вільного окису кальцію, тому по-іншому реагує на вплив температури:

200-300 °С - йде процес зневоднювання, ущільнення структури гелю і його часткова кристалізація. Міцність зростає на 100 %.

300-760 °С - гель, зневоджуючись, піддається усадці, негідратовані зерна  $\text{C}_2\text{S}$  розширюються, з'являються внутрішні напруги і міцність падає.

820 °С – підвищення міцності на 67 % від первинної.

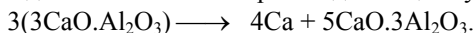
1200 °С – міцність підвищується у 5 разів від первинної.

## 3. Для нагрівання *целіту* ( $\text{C}_3\text{A}$ ) є характерними такі стадії:

до 190 °С - розширення гідратованого целіту;

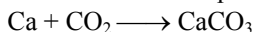
до 230 °С - йде дегідратація, яка спричиняє ущільнення структури і початок усадки. Міцність підвищується на 40 %;

до 330 °С – початок розкладання целіту



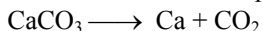
Усадка продовжується, міцність падає.

550-590 °С - завершення розкладання целіту, часткова карбонізація:



Розпушення структури і руйнація кристалічної решітки. Міцність падає.

940 °С - дисоціація карбонату кальцію



4. Нагрівання *браунмілериту* ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) викликає зниження його міцності тільки на 10-20 %, у порівнянні з міцністю до нагрівання.

## 5. Нагрівання цементного каменю

Поведінка *цементного каменю* відображає усю сукупність процесів, що мають місце при нагріванні кожного зі складаючих його клінкерних

мінералів. Криві залежності зміни міцності і деформації портландцементу, що затвердів, від температури показані на рис.3.3.

Зміна міцності *цементного каменю* при нагріванні обумовлюється процесами, що проходять в ньому при різних температурах:

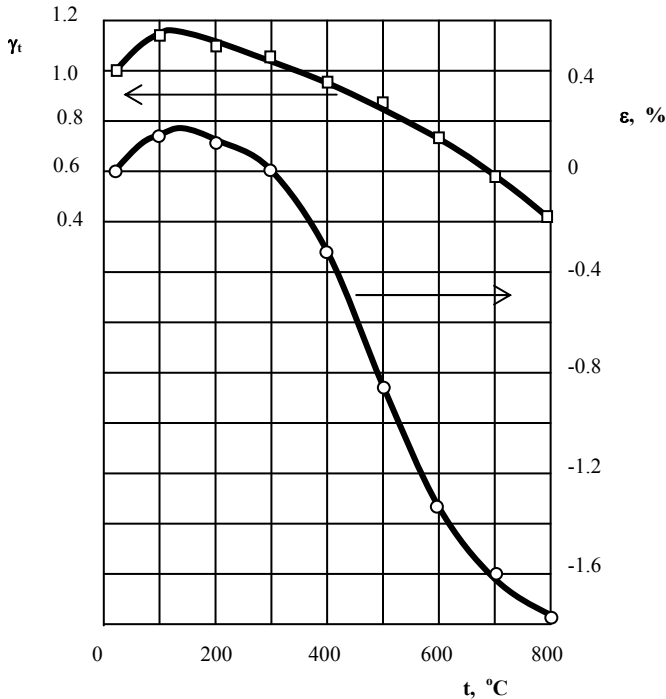
150-160 °С – йде дегідратація гелевидної частини цементного каменю; прискорюється кристалізація  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; міцність підвищується.

260-300 °С - має місце усадка гелевидної частини цементного каменю; ущільнення структури. Міцність вище початкової, але з'являється тенденція до її зниження.

300-550°С - з'являються порушення структури через виникнення значних внутрішніх напружень, що викликає значне зниження міцності.

550-600°С - завершення дегідратації, розпад  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і всієї структури. Поява тріщин, міцність падає.

900°С - утворення у великій кількості  $\text{CaO}$ , здатного до *повторного гасіння*, що веде до повного руйнування структури каменю і втрати міцності.



**Рисунок 3.3 – Відносна міцність і температурна деформація цементного каменю при нагріванні**



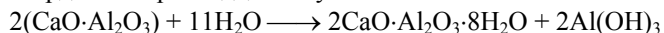
Таким чином, цементний камінь після нагрівання до 600-900 °С і охолодження в присутності вологого повітря втрачає міцність і руйнується через *повторну гідратацію* окису кальцію. Жаротривкість виробів з портландцементу в умовах дії високих температур мала. Для підвищення жаротривкості у портландцемент додають дрібномелені мінеральні домішки шамоту, керамзиту, хроміту, що містять кремнезем, глинозем, окис хрому.

### 3.3.2 Глиноземистий цемент

**Глиноземистий цемент** – швидкотвердіюче гідравлічне в'язуче з переважанням у клінкері низькоосновних алюмінатів кальцію. Сировина для одержання глиноземистого цементу - вапняк і породи з високим вмістом глинозему (боксити, доменний шлак...), що забезпечують після спікання при 1150-1250 °С, охолодження і розмелу склад:

- однокальцієвий алюмінат,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (CA)
- однокальцієвий двоалюмінат,  $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  (CA<sub>2</sub>) 80-85 %
- п'ятикальцієвий трьохалюмінат,  $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  (C<sub>5</sub>A<sub>3</sub>) 70
- двокальцієві силікати і алюмосилікати.

Схоплювання, твердіння, утворення кристалічної структури для глиноземистого цементу аналогічні до процесів, що протікають при твердінні портландцементу



При гідратації глиноземистий цемент не утворює гідроксиду кальцію, і тому він краще протистоїть дії мінералізованих вод. Його твердіння відбувається за 3 доби (100 % міцності), а за міцністю розрізняють 3 марки глиноземистого цементу: 400, 500, 600.

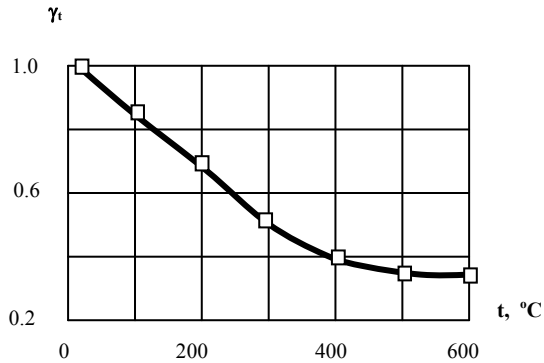
Бетони на основі глиноземистого цементу характеризуються високою щільністю, повітре-, морозо- і жаростійкістю. Вони стійкі до дії прісних і сульфатних вод, але руйнуються лужними водами. Застосовують глиноземисті цементи для термінових ремонтних робіт.

При нагріванні глиноземистого цементу йдуть такі процеси (рис.3.4):

до 300 °С - відбувається дегідратація, міцність знижується на 50%;

400-800 °С - міцність стабілізується при 30 % від початкової;

1200 °С - має місце часткове спікання глиноземистого цементу міцність підвищується.



**Рисунок 3.4 – Відносна міцність розчину на глиноземистому цементі при нагріванні**

При повторному нагріванні *усадка* глиноземистого цементу не спостерігається.

При нагріванні зниження міцності глиноземистого цементу, що затвердів, відбувається спочатку більш інтенсивно, ніж портландцементу. Але при нагріванні до 1200 °C і вище його міцність значно підвищується. На цьому засновано застосування глиноземистого цементу, як в'язучого для жаростійких бетонів.

## ГЛАВА 4. МЕТАЛИ І СПЛАВИ

### 4.1 Властивості металів і сплавів

**Метали** - хімічні речовини, в яких перенос електричного заряду здійснюється тільки електронами. За іншими властивостями метали можуть бути дуже різноманітними:

- хімічно активними (Na, K, Li) і пасивними (Au, Pt);
- за механічними властивостями - твердими (U, Fe, Ni, Cr), м'якими (K, Na, Hf) і рідкими (Hg);
- негорючими (Ni, Ti, W) і горючими (Na, K, Al, Mg);
- радіоактивними (Sr, U, Ra);
- виділяти токсичні пари (Hg).

**Сплави** - сполучення металів з металами і неметалами, які зберігають електронну провідність. Сплави звичайно одержують сплавлянням, і їхні властивості, як правило, відрізняються від властивостей компонентів.

Метали і металеві сплави поділяють на 2 групи:

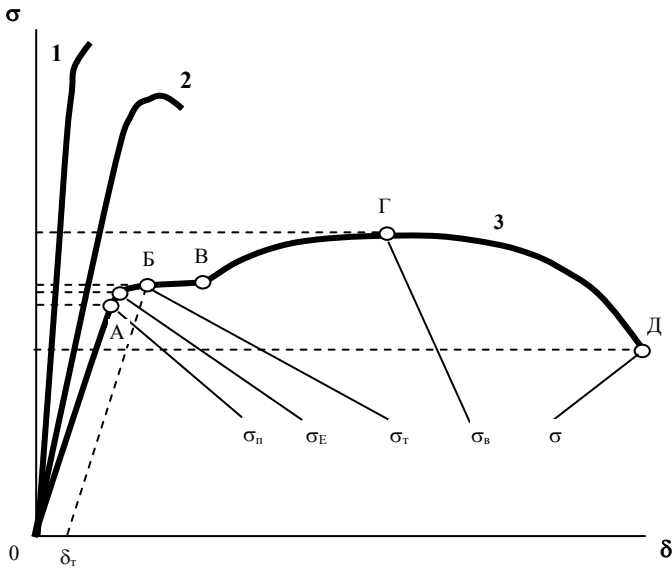
- 1) **чорні** - метали і сплави, у яких основним компонентом є залізо (наприклад, сплав заліза з вуглецем);
- 2) **кольорові** - всі інші метали і сплави, де основним компонентом є не залізо, а якийсь інший елемент (мідні, алюмінієві, цинкові, олов'яні і т.д.).

Структурно метали і сплави являють собою кристалічні решітки з дальнім чи ближнім порядком атомів. Тип решітки залежить від виду елементів та температури, тобто при нагріванні чи охолодженні можливі алотропічні зміни – перебудова елементарних чарунок решітки, що обумовлює появу нових механічних та фізичних властивостей.

Макроструктура металів і сплавів залежить від способу отримання. В основному, на вигляд зразки металів і сплавів щільні та безпористі.

У будівництві значення того чи іншого сплаву визначається, перш за все, його механічними властивостями, такими як міцність, пружність, пластичність, твердість, крихкість, в'язкість. Ці характеристики оцінюються за даними статичних і динамічних випробувань. Із статичних важливішими є випробування на розтягнення та твердість.

Випробування на розтягнення здійснюють, руйнуючи спеціальні зразки (див. рис. 1.1.и) на розривних машинах. Діаметр зразків для знаходження площі перерізу вимірюють з точністю до 0.5 %. Результати випробувань подають у вигляді діаграми залежності напруги від подовження, приклад якої наведений на рис.4.1. На діаграмі розтягнення розрізняють характерні точки, яким відповідає стан матеріалу:



**Рисунок 4.1 – Діаграма розтягнення сталі:**

1 – крихка сталь, 2 – пружна сталь, 3 – пластична сталь

$\sigma_{п}$  – межа пропорційності;  $\sigma_{Е}$  – межа пружності;  $\sigma_{т}$  – межа текучості;  
 $\sigma_{в}$  – межа міцності;  $\sigma_{р}$  – напруга розриву;  $\delta_r$  – залишкове подовження  
 межі текучості

$\sigma_{п}$  – *межа пропорційності* – напруга, менше якої зберігається її лінійна залежність від деформації (ділянка ОА). На цій ділянці діаграма розтягнення характеризується прямою. Це означає, що після зняття деформуючої сили розміри зразка відновлюються;

$\sigma_{Е}$  – *межа пружності* – напруга, при якій після зняття деформуючої сили у зразку виникають залишкові деформації, що не перевищують допусків, встановлених технічними умовами. Наприклад, коли встановлюється допуск 0.001 %, межа пружності визначається  $\sigma_{0.001}$ . Вище межі пружності виявляється пластичність зразка, і ділянка діаграми вже не є прямолінійною (ділянка АБ);

$\sigma_{т}$  – *межа текучості* – напруга, яка відповідає нижній границі площадки текучості (ділянка БВ) на діаграмі розтягнення. Коли при випробуванні цю площадку неможливо винайти, визначають умовну межу

тежучості, яка звичайно відповідає залишковій деформації 0.2 %. Її позначають  $\sigma_{0.2}$ ;

$\sigma_B$  – *межа міцності* – напруга, що відповідає найбільшому навантаженню, яке викликало руйнування зразка (точка Г);

$\sigma_p$  – напруга розриву – фактична напруга, при якій зруйнувався зразок (точка Д).

За діаграмою розтягнення можна судити про властивості матеріалу. Чим більше нахил прямої ділянки (ОА), тим м'якший матеріал. Пластичні матеріали мають велику нелінійну ділянку. В них може не бути площадки тежучості БВ, і тоді ділянки АВ та ВГ поєднуються. У крихких матеріалів не тільки відсутня площадка тежучості БВ, але й графік залежності напруги від деформації являє майже пряму лінію, і межа міцності тотожна до напруги розриву (див. рис. 4.1.1).

*Твердість* визначається для м'яких металів *методом Бринеля*, коли в зразок втискують сталеву кульку і вимірюють площу відбитку, а для твердих металів – *методом Роквела* – за втисненням у зразок алмазного конусу з кутом  $120^\circ$  і вимірюванням залишкової глибини його занурювання.

### 4.1.1 Склад та маркування чорних металів

Чорні метали бувають 2 видів (схему їх виробництва див. на рис. 4.2):

1. **Чавуни** - сплави, в яких вміст вуглецю більше 1.7 % (середня щільність  $\rho_c = 7200 \text{ кг/м}^3$ ). Їх одержують плавленням залізних руд у доменних печах при температурі порядку  $1500^\circ\text{C}$ . Чавуни виробляють ливарні сірі, з яких роблять відливки труб, решіток, радіаторів, та переробні білі, що йдуть на виготовлення сталей.

2. **Сталі** - сплави, в яких вміст вуглецю менше 1.7 % (середня щільність  $\rho_c = 7850 \text{ кг/м}^3$ ). Для будівництва їх виробляють конверторним способом з чавуну та мартенівським способом з чавуну або сталєвого лому.

У чорних металів механічні властивості в основному визначаються вмістом вуглецю. Чим його більше, тим більше твердість, зносостійкість та міцність, але при цьому зростає крихкість, зменшується в'язкість, гнучкість, пластичність. Тому чавунні деталі, тверді та зносостійкі, використовують у будівництві для виготовлення елементів конструкцій, які працюють на стиск без ударних навантажень (колонни, опорні подушки, башмаки, труби, деякі елементи арок, що стискаються).

Сталі за властивостями значно більше різноманітні, ніж чавуни, що підтверджується виглядом діаграми залізо–вуглець. Крім того, вони

можуть піддаватися термічній, термо-механічній та термо-хімічній обробці, що дуже сильно впливає на їх властивості.



Рисунок 4.2 – Схема виробництва чорних металів та будівельних матеріалів з них

### Сталі класифікують за такими ознаками:

#### **1 За хімічним складом:**

- а) **вуглецеві**, в склад яких, окрім заліза і вуглецю, входять тільки нормальні домішки (Si, Mn, P, S та ін.). Їх розрізняють за якістю вироблення (*звичайної якості* та *якісні*);
- б) **леговані**, в склад яких, крім вказаних вище домішок, також вводяться в значних кількостях Cr, Ni, Ti, W, V, Al, Cu та інші компоненти. Легування, навіть у невеличких кількостях, сильно впливає на властивості сталей. Наприклад:

- хром (Cr) підвищує твердість, міцність, корозійну стійкість (при вмісті хрому більше 13 % сталі звать нержавіючими), але незначною мірою знижує в'язкість;
- нікель (Ni) підвищує міцність та в'язкість, загартованість, ударотривкість при низьких температурах;
- вольфрам (W) значно підвищує твердість, але й крихкість;
- манган (Mn) підвищує прокалюваність, міцність та в'язкість;
- кремній (Si) підвищує прокалюваність, міцність при збереженні достатньої в'язкості, але погіршує зварюваність;
- мідь (Cu) підвищує межу текучості та міцності, зменшує атмосферну корозію.

Однчасне використання декількох легуючих елементів дозволяє гнучко дотримуватися необхідних властивостей сталей.

За кількістю домішок розрізняють:

- *низьколеговані* сталі (до 5 % додатків);
- *високолеговані* сталі (більше 5 % додатків).

## **2 За твердістю (і вмістом вуглецю):**

- м'які (низьковуглецеві) - які вміщують до 0.3 % C;
- середньої твердості (середньовуглецеві) - які містять 0.3...0.6 % C;
- тверді (високовуглецеві) - які містять 0.6...1.7 % C.

## **3 За застосуванням:**

- *конструкційні* (м'які та середньої твердості) - для виготовлення конструктивних елементів в будівництві та машинобудуванні, де окрім міцності, вимагається висока пластичність і неприпустима крихкість;
- *інструментальні* (тверді) - для виготовлення ріжучого інструменту.

**Маркування сталей** літерно-цифрове і залежить від класифікації.

**1 Вуглецеві сталі звичайної якості**, до яких відносяться і будівельні сталі, маркуються літерами "**Ст.**" і цифрами від 0 до 7, які позначають номер марки (наприклад: Ст. 3, Ст. 5). Для цих сталей найбільш важливо додержання механічних властивостей, і тому відповідно до них проводиться маркування. Зі зростанням номера зростає твердість, міцність, але зменшується пластичність.

Сталь звичайної якості, у залежності від постачання, поділяється на три групи: «А», «Б» і «В». Сталі групи «А» постачаються (та приймаються) за механічними властивостями: межами текучості, міцності та відносним подовженням. Сталі групи «Б» постачаються за хімічним складом: із зростанням номеру в них підвищується зміст вуглецю (С) з 0.07 до 0.63 % та мангану (Mn) з 0.35 до 0.85 %. Дотримання хімічного

складу забезпечує відповідність механічних властивостей. Сталі групи «В» постачають за хімічним складом і механічними властивостями. До особливостей маркування сталей групи «Б» і «В» належить вказівка щодо способу отримання сталі. Мартенівська сталь позначається літерою «М», а конверторна бесемерівська – літерою «Б»; марка спокійної сталі має у кінці позначку «сп», полукиплячої – «пк», киплячої – «к» (наприклад: *МСт.3, БСт.5сп, МСт.4к*).

**2 Вуглецеві якісні і леговані сталі** здобувають механічні та інші властивості завдяки точному дотриманню хімічного складу і технології виготовлення. Вони маркуються словом "**сталь**" і цифро-літерним кодом. Цифри на початку маркування позначають вміст вуглецю у відсотках:

- одна цифра - середній вміст в десятих частках;
- дві цифри - вміст в сотих частках;
- без цифри - середній вміст вуглецю приблизно 1 %.

Великі літери позначають легуючі добавки, а наступні за ними цифри – їхній вміст у відсотках. Наприклад, деякі найбільш уживані добавки позначаються таким чином: С - Si; Г - Mn; Х - Cr; Н - Ni; М - Mo; В - W; Ю - Al; Д - Cu; К - Co; А - N<sub>2</sub>; П - P. Літера "А" в кінці марки позначає високоякісну сталь, наприклад: *сталь 40; сталь 40ХН; сталь 18Х2Н4ВА*.

#### 4.1.2 Склад та маркування сплавів кольорових металів

Кольорові метали у чистому виді застосовуються рідко, тому що їх властивості, як правило, не відповідають механічним, спеціальним і технологічним вимогам до об'єкту прикладення. Мабуть тільки мідь використовується в чистому виді у будівництві (з неї виробляють дріт та водопровідні труби).

Задовольнити вимоги виробництва до характеристик деталей вдається тільки за допомогою використання сплавів кольорових металів. Найбільш розповсюджені сплави кольорових металів на основі міді, алюмінію, магнію, цинку, нікелю.

**1 Мідні сплави** представлені такими, як:

- *латуні* - сплави міді з цинком (маркуються за вмістом міді у відсотках, наприклад: *Л80; Л62; Л59*);
- *бронзи* - сплави міді з іншими елементами, окрім цинку (маркуються за вмістом додатків у відсотках, наприклад: *БрОЦ 4-3; БрОС 5-25; БрОНС 11-4-3*);
- мідно-нікелеві сплави - маркуються за вмістом нікелю та інших додатків і власними назвами, наприклад: *мельхіор МН19, нейзильбер МНЦ15-20*;

**2 Алюмінієві сплави.**



**Алюміній (Al)** - метал легкий, пластичний, м'який і маломіцний ( $\sigma = 8 \dots 10 \text{ кГ/мм}^2$ ,  $E = 7000 \text{ кГ/мм}^2$ ). Механічні властивості алюмінію значно покращуються при введенні легуючих додатків (Si, Mg, Mn, Cu, Ti...), тому широко застосовуються алюмінієві сплави. Їх поділяють на ливарні, такі, що деформуються, і такі, що зварюються.

**Ливарні алюмінієві сплави** містять підвищену кількість легуючих додатків. До них відносяться *силуміни* - сплави алюмінію з кремнієм - до 14% Si. Такий склад зумовлює понижену температуру плавлення, рідкотекучість, малу усадку при затвердінні і гарну здатність до обробки ріжучим інструментом.

Маркуються алюмінієві сплави звичайно літерами «AL» і цифрою, що позначає номер. Для усіх видів алюмінієвих сплавів в кінці маркування може додаватися умовне позначення термо-механічної обробки:

- М - відпалені (м'які);
- Т - загартовані (тверді);
- ТП - загартовані і штучно зістарені;
- П - полунагартовані;
- Н - нагартовані;
- г/к - гарячекатані.

Приклад: маркування силумінів: *АЛ1, АЛ3М, АЛ5П*.

**Алюмінієві сплави, що деформуються**, мають високу міцність, піддаються пластичній деформації і термообробці. Вони обробляються прокаткою, пресуванням, штампуванням, волочінням. Представники таких сплавів – *дюралюміні* - сплави алюмінію з міддю (до 5.5%), магнієм, марганцем і кремнієм (до 0.8%); позначаються *Д1, Д16*. Після термообробки вони набувають високої міцності (до позначки додається літера "Т": *Д1Т, Д16Т*).

**Сплави, що зварюються**, системи Al-Zn-Mg (позначаються: *B92, B95* та інш.) мають підвищену здатність до зварювання і зміцнення термообробкою.

**Сплави з підвищеною корозійною стійкістю** систем Al-Mn та Al-Mg позначаються літерами «АМц» «АМг» (наприклад: *АМц, АМг, АМг-6*). Вони мають середню міцність і здатність до зварювання.

**3 Сплави магнію** – такі, що деформуються (*МА1, МА5*), і ливарні (*МЛ1, МЛ5*) – міцні і легкі.

**4 Цинкові сплави** – наприклад: *ЦА15, ЦМ1, ЦАМ5-10*;

**5 Нікелеві сплави** – наприклад: *константан (НММЦ48-5), ніхром (Х20Н80)*.

## 4.2 Метали і сплави, що застосовуються в будівництві

### 4.2.1 Будівельні сталі

Сталеві конструкції зазнають великих місцевих перенапруг у місцях кріплення, де можуть створюватися умови для крихкого руйнування металу. Тому для будівельних металевих конструкцій треба застосовувати метал пластичний, з високою ударною в'язкістю, з високою межею текучості та досить малою вартістю. Крім того, важливою умовою є можливість сталі зварюватися без тріщин та крихкості у зоні зварювання. Таким характеристикам відповідають низьковуглецеві конструкційні сталі звичайної якості та низьколеговані сталі, з яких виробляють прокатні профілі, покрівельні листи, арматуру, балки та ін.

У будівельній справі в основному використовуються такі види прокату: круг, квадрат, кут, швелер, тавр, двотавр, смуга, лист (рис.4.3).

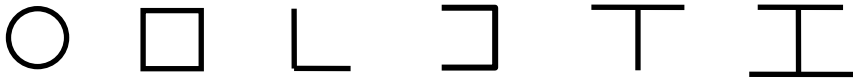


Рисунок 4.3 – Види перетинів прокатних профілів

#### **Низьковуглецеві конструкційні сталі звичайної якості.**

Найбільш розповсюджена у будівництві сталь марки Ст.3, завдяки своїй універсальності: вона повніше інших задовольняє до усіх вимог та є основним матеріалом для виконання несучих металевих і залізобетонних конструкцій (балки, рами, ферми, арматура, листові конструкції резервуарів).

Сталь Ст.0 має знижену межу текучості та здовження і тому використовується зараз дуже рідко - тільки для невідповідальних нерозрахункових конструкцій.

Сталі Ст.1 і Ст.2 - високопластичні. З них виробляють заклепки, трубопроводи, резервуари...

Сталі Ст.4 і Ст.5 - досить розповсюджені. З них виробляють металеві несучі конструкції, болти, ресори і арматуру. Зі сталі Ст.4 також виробляють прокатні труби, а сталь Ст.5 використовується для виготовлення відповідальних поковок та кранових реск прямокутного профілю.

Сталі Ст.6 і Ст.7 застосовуються для виготовлення валів, осей.

Для маловідповідальних елементів конструкцій (сходів, огорожень та ін.), ребристих покрівельних настилів, віконних рам і т.п. можуть використовуватися сталі групи «Б». Перевагу віддають сталям, що виготовлені мартенівським способом. Бесемерівські сталі застосовують тільки для конструкцій, які не піддаються дії динамічних навантажень (резервуари, газгольдери, трубопроводи і т.п.).

**Низьколеговані сталі** мають більшу міцність (див. табл. 4.1) та корозійну стійкість порівняно з Ст.3 і Ст.5, зберігаючи високу пластичність і зварюваність, але вони й більш коштовні. Їх застосовують для зменшення ваги конструкцій. Найбільш розповсюджені з них: сталі 10Г2С, 10ХСНД, 15ГС, 16Г2АФ, 17ГС, 17ГСБ, 20ГС, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т, 25Г2С, 30ЧГ2С, 35ГС, 45С, 80С. За досвідом будівельних робіт використання низьколегованої сталі стає економічно доцільним, коли це дозволяє зменшити вагу конструкцій, порівняно з застосуванням сталі Ст.3, на 15-20 %. Крім того, низьколеговані сталі призначаються для дуже відповідальних конструкцій, де за технічними умовами інші матеріали не припустимі (великопрольотні форми мостів, громадських та промислових будівель або інші важкі металеві вироби).

Таблиця 4.1 – Механічні характеристики при розтягненні будівельних сталей

Марка сталі	Межа текучості, кг/см <sup>2</sup>	Межа міцності, кг/см <sup>2</sup>
Ст.3	2100	2600
Ст.4	2100	2700
Ст.5	2300	3200
15ГС	2800	3100
10Г2С	2900	3200
10ХСНД	3400	3500

**Арматурні сталі.** У будівництві понад 60 % сталі йде на армування залізобетону, тому виділяється велика група так званих *арматурних сталей*, які поставляються за вимогами зовнішнього вигляду готового продукту та способу його зміцнення. Стержні і дріт, які використовують для армування, отримують способами гарячого прокату та холодного витягнення. Зміцнення гарячекатаних сталевих виробів здійснюється термічною обробкою. У холоднотягнутих виробах зміцнення досягається за рахунок наклепу. Наклеп – це, як правило, поверхнева пластична деформація мікроструктури металу, яка виникає при механічних впливах і виявляється в здрібненні кристалічних зерен. Він підвищує твердість, міцність (зменшуючи пластичність) та довгочасно може існувати при температурах до 300 °С. При більших температурах починається

рекристалізація, коли зерна сталі починають збільшуватися, а міцність - зменшуватися.

Існує класифікація *арматурних сталей* (СНіП II-В. 1-62\*):

- а) стержнева гарячекатана гладка
  - А-I (Ст.3)  $d = 6...40$ ;
- б) стержнева гарячекатана періодичного профілю
  - А-II (Ст.5)  $d = 10...90$ ,
  - А-III (25Г2С, 35ГС)  $d = 6...40$ ,
  - А-IV (30ЧГ2С, 20ХГ2Ц, 80С)  $d = 10...32$ ,
  - А-V (23Х2Г2Т)  $d = 10...18$ ;
- в) стержнева, термічно зміцнена, періодичного профілю
  - Ат-IV (35ГС)  $d = 10...25$ ,
  - Ат-V (20ГС, 35ГС)  $d = 10...20$ ,
  - Ат-VI, Ат-VII (20ГС, 45С)  $d = 10...25$ ;
- г) стержнева, зміцнена витяжкою, періодичного профілю
  - А-IIIв (25Г2С, 35ГС)  $d = 6$ ;
- д) високоміцний дріт гладкий
  - В-I  $d = 3...8$ ,
  - В-II  $d = 3...8$ ;
- е) дріт періодичного профілю
  - Вр-II  $d = 3...8$ .

#### 4.2.2 Алюмінієві будівельні сплави

Алюмінієві сплави широко застосовуються в будівництві завдяки відносній дешевизні, багатим можливостям регулювання властивостей і технологічності.

**1 Силуміни** використовують для фасонного лиття. Вони мають понижену температуру плавлення, рідкотекучість, малу усадку при затвердінні і гарну здатність до обробки ріжучим інструментом.

**2 Дюралюміні** мають високу міцність, піддаються пластичній деформації і термообробці. Вони обробляються прокаткою, пресуванням, штамповкою, волочінням і можуть застосовуватися для клепанних несучих конструкцій (найчастіше застосовуються Д1Т і Д16Т). З них виробляють профілі, листи, стрічки, прутки, дріт.

**3 Сплави, що зварюються**, АМг-6, В92Т застосовуються для зварних несучих конструкцій - ферм, рам, арок, колон.

Для суміщених конструкцій, таких як покрівельні панелі, використовують сплав АМг-6, а для ненавантажених або малонавантажених елементів будівель (обшивка стінових і покрівельних панелей, арматура) – сплави АМг та АМц.

До поширення використання алюмінієвих сплавів у будівництві спонукають такі їх **достоїнства**:

- мала щільність;
- висока питома міцність;
- відносно висока корозійна стійкість;
- висока технологічність;
- відсутність іскроутворення при ударі;
- морозостійкість.

**Завдяки цьому трудомісткість виготовлення з них виробів значно менша в порівнянні зі сталлю.**

Але ці сплави мають і серйозні **недоліки**, які обмежують їх застосування:

- невеликий модуль пружності (в 3 рази менше ніж у сталі);
- великий коефіцієнт температурного розширення (в 2-3 рази більше ніж у сталі), що викликає необхідність збільшувати кількість температурних швів;
- понижена вогнестійкість через зниження міцності при нагріванні.

### 4.3 Поведінка металів і сплавів при нагріванні

На поверхні металів при їхній взаємодії з киснем повітря утворюються оксиди, що перешкоджають прямому контакту реагентів.

У летучих металів (K, Na, Li, Mg...) поверхневі окисли пористі і мають температуру плавлення вище температури кипіння металів. Тому, при контакті з джерелом запалення метал розплавляється, його пари дифундують крізь пористу оксидну плівку назовні і по досягненні достатньої концентрації можуть запалюватися.

Горіння розігріває метал до температури кипіння, плівка оксиду розривається, і горіння посилюється. Оксиди також розігріваються до температури кипіння, їхні пари дифундують в повітря, там конденсуються і перетворюються в білий дим - ознака горіння летучих металів.

У нелетучих металів (Al, Ni, Ti...), як правило, температура плавлення оксиду менше температури кипіння металу. Тому оксиди, знаходячись на поверхні металу в рідкому стані, уповільнюють його окислення (горіння). Такі метали енергійно горять у вигляді порошку, стружки і без утворення диму.

Властивості виробів з чорних металів залежать від марки сплаву та умов термообробки, бо за цими параметрами згідно з діаграмою залізо-вуглець формується структура матеріалу. Завдяки багатству алотропічних перетворень у залізі та його сплавах, за допомогою різних режимів

термообробки вдається встановлювати необхідні механічні та фізичні властивості конкретної деталі.

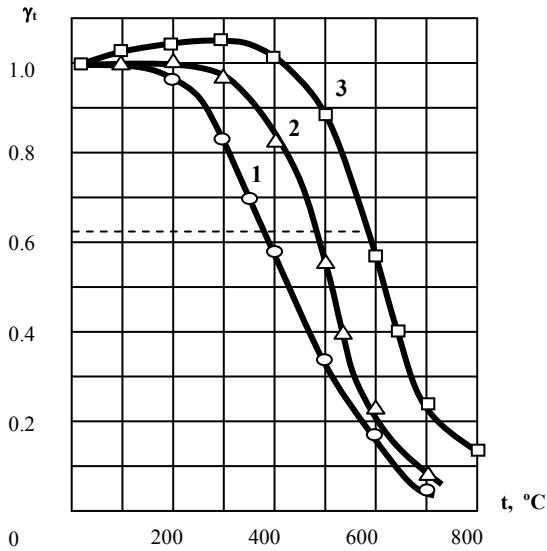
Вплив високих температур на будівельні сталеві деталі обумовлюється дією двох факторів: термічного розширення та змін у структурі. При температурі більше 780...900 °С (в залежності від марки сталі) ліквідуються усі позитивні наслідки термічної обробки, і властивості деталей перестають відповідати умовам їх навантаження. А зміна розмірів деталей при нагріванні викликає їх деформацію за рахунок виникнення внутрішніх напружень.

Таким чином, ще задовго до плавлення металу в конструкції може відбуватися його прогрівання до *критичної температури*, за якої межа міцності (тимчасовий опір розтягненню) і умовна межа текучості знижуються до величин робочих напружень, що виникають від експлуатаційних навантажень та власної ваги конструкції. Цьому моменту відповідає стан, коли виникають надмірні деформації, вичерпується несуча здатність конструкції і настає її руйнування.

Порівняння поведінки різних сталей при нагріванні зручно проводити за їх *відносною міцністю* ( $\gamma_t$ ), тобто за співвідношенням межі міцності сталей за досягнутої температури ( $R_t$ ) до межі їх міцності при 20 °С ( $R_{20}$ ):

$$\gamma_t = \frac{R_t}{R_{20}} .$$

На графіку з рис.4.4 за залежністю відносної міцності сталі від температури продемонстрована різниця між легованими та нелегованими будівельними сталями. При нагріванні міцність нелегованих сталей починає неухильно зменшуватися до критичної позначки. Міцність легованих сталей спочатку зростає за рахунок зняття внутрішніх напружень і тільки потім починає зменшуватися.



**Рисунок 4.4 – Зміна відносної міцності сталей при нагріванні**

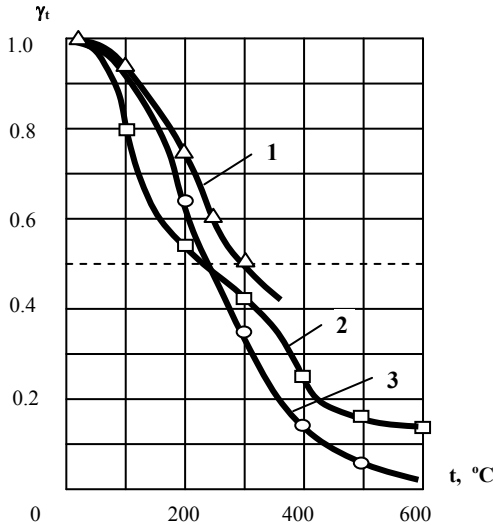
1 – високоміцний холоднотягнутий дріт; 2 – звичайний холоднотягнутий дріт; 3 – сталь 30ХГ2С.

Для нелегованих сталей граничною температурною областю використання фактично є 300-350 °С, бо при ній починаються рекристалізаційні явища і сукупно зі зменшенням міцності виникають деформації повзучості.

Величина вичерпування несучої здатності для сталевих конструкцій з гарячекатаних сталей умовно дорівнює 1.6. Їй відповідають такі критичні температури (°С):

Ст.3	470;	35ГС	550;		
Ст.5	470;	23Х2Г2Т	490;		
25Г2С	550-570;	30ХГ2С	500;	80С	500;

Алюмінієві сплави менш стійкі до нагрівання, ніж сталі. Їх відносна міцність при підвищенні температури майже зразу ж починає зменшуватися (рис. 4.5).



**Рисунок 4.5 – Зміна відносної міцності алюмінієвих сплавів при нагріванні:**

1 – сплав АЛ-8; 2 – сплав АМц-М; 3 – сплав АМг6-М

## ГЛАВА 5. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ, БЕТОНИ, ЗАЛІЗОБЕТОН

### 5.1 Будівельні розчини

*Будівельними розчинами* називають штучні кам'яні матеріали, які одержують в результаті твердіння раціонально складеної суміші з в'язучого, води і дрібного заповнювача (піску). Будівельні розчини застосовуються для заповнення швів при зв'язуванні кускового або штучного матеріалу в кам'яній кладці, для виготовлення декоративних і захисних штукатурок, елементів збірного домобудівництва.



За видом в'язучих будівельні розчини розподіляють на цементні, вапняні, гіпсові і змішані (цементно-вапняні, вапняно-гіпсові та інш.).

До затвердіння суміш вказаних матеріалів звать *розчиною сумішшю*. Розчинові суміші укладають у вигляді тонких шарів на пористу основу, здатну відсмоктувати воду. Тому розчинові суміші повинні мати такі властивості:

1. **Зручноукладальність** - здатність розчинної суміші укладатися на основу тонким шаром без розривів з заповненням всіх нерівностей. Вона залежить від рухомості і водоутримуючої здатності.
2. **Рухомість** - здатність часток розчину переміщатися одна відносно одної без порушення суцільності. Вона характеризується опором встромлянню в розчин стандартного конусу і залежить від вмісту в'язучого і води, виду і крупності піску. Для підвищення рухомості суміші в неї вводять пластифікуючі добавки (вапно, глину).
3. **Водоутримуюча здатність** - це здатність розчину чинити опір розшаруванню. Залежить від вмісту в'язучого і пластифікуючого додатку.

Якість будівельних розчинів, відповідно до вимог ГОСТ 7473-79, характеризують фізико-механічними властивостями: міцністю при стиску (на зразках у вигляді кубів з ребром 70.7 мм), середньою щільністю, водопоглиненням і морозостійкістю. За цими показниками для розчинів встановлені такі марки:

- за міцністю при стиску (МПа) – 0.4, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30.
- за морозостійкістю (в циклах) – 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300.
- за середньою щільністю – звичайні (важкі) з середньою щільністю більше 1500 кг/м<sup>3</sup> і легкі з середньою щільністю менше 1500 кг/м<sup>3</sup>.

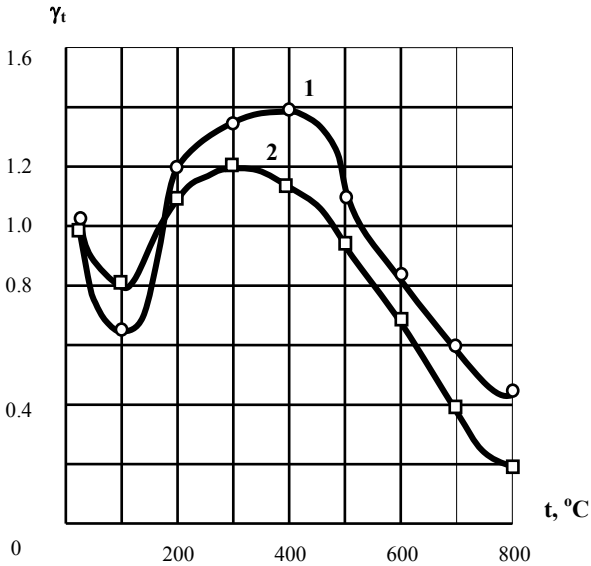
Для мурувальних розчинів, що затверділи, головне значення має їх міцність, а також зчеплення зі стіновим матеріалом, який забезпечує монолітність кладки. Штукатурні розчини повинні мати кращу зручноукладальність і міцне зчеплення з основою.

Міцність розчинів, що затверділи, залежить від активності в'язучого, водов'язучого відношення, умов твердіння і віку.

Процеси, що мають місце у цементно-піщаному розчині при нагріванні, можна прослідкувати за зміною відносної міцності (рис. 5.1).

При нагріванні до 300-400 °С міцність цементно-піщаного розчину дещо знижується, а потім значно збільшується. При подальшому збільшенні температури міцність поступово знижується. А при температурах більше 300 °С спостерігається усадка цементного каменю. Зерна кварцу в цей час поширюються в об'ємі, що викликає утворення тріщин і щілин. Цей процес інтенсифікується при 600 °С і вище, бо за цих температур у цементному камені, внаслідок дегідратації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,

утворюється СаО, здатний до вторинного гасіння, а у кварці, який входить до складу піску, здійснюється модифікаційне перетворення  $\beta$ -кварцу у  $\alpha$ -кварц, що супроводжується раптовим збільшенням об'єму.



**Рисунок 5.1 – Відносна міцність цементно-піщаного розчину:**  
1 – у гарячому стані; 2 – після нагрівання і охолодження

Таким чином, при нагріванні до високих температур розширення заповнювачів разом з усадкою цементного каменю веде до виникнення внутрішніх напружень і, як наслідок, до зниження міцності будівельних розчинів.

## 5.2 Бетон і його властивості

**Бетони** - штучні кам'яні матеріали, які одержують в результаті твердіння раціонально складеної суміші з в'язучого, води, крупного і дрібного заповнювача та необхідних додатків. Заповнювачем може служити щебінь, гравій, пісок з природних матеріалів (граніт, вапняк, туф, опока) і штучних (керамзит, шлак, перлит, зола).

Найбільш широке розповсюдження бетону у будівництві пояснюється можливістю порівняно легко виготовити з нього різноманітні за формою і розміром будівельні конструкції.

Бетонна суміш займає проміжне положення між рідинами і твердими тілами. До певної напруги вона має пружність і міцність структури як тверде тіло, а коли міцність структури переборена, система уподібнюється до в'язкої рідини.

Так само, як і будівельні розчини, бетонні суміші характеризуються **зручноукладальністю** – здатністю заповнювати задану форму і утворювати щільну однорідну масу. Для оцінки зручноукладальності бетонної суміші використовують три показники: *рухливість*, *жорсткість* і *зв'язність*.

**Рухливість** визначається за осіданням стандартного конусу. Різниця висот (в сантиметрах) конусної металеві форми і бетонної суміші, що була сформована у цьому конусі та осіла, характеризує рухливість суміші і зветься осадкою конусу (ОК). За цим показником зручноукладальність маркується літерою "П" і умовною цифрою.

**Жорсткість** визначається часом віброущільнення бетонної суміші (в секундах) у спеціальному приборі і зветься показником жорсткості бетонної суміші (маркується літерою "Ж"). В залежності від зручноукладальності бетонні суміші поділяють на марки (див. табл. 5.1).

**Таблиця 5.1 – Класифікація бетонних сумішей**

Марка зручноукладальності за жорсткістю	Норма зручноукладальності за показником		Марка зручноукладальності за рухливістю	Норма зручноукладальності за показником	
	жорсткості, с	рухливості, см		жорсткості, с	рухливості, см
Ж4	31 і більше	-	П1	1...4	4 і менше
Ж3	21...30	-	П2	-	5...9
Ж2	11...20	-	П3	-	10...15
Ж1	5...10	-	П4	-	16 і більше

**Зв'язність** визначають за водоокремленням бетонної суміші після відстоювання. У процесі транспортування, укладки і ущільнення бетонної суміші не повинно мати місце її розшарування.

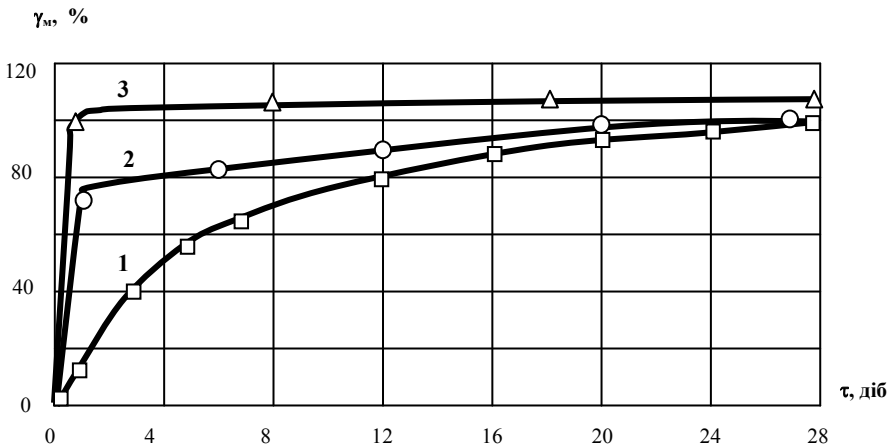
Бетонна суміш, покладена у форму, завдяки взаємодії цементу з водою, твердіє, створюючи каменевидне тіло - бетон. Основною характеристикою бетону як конструкційного матеріалу є його міцність. На цей показник впливає багато факторів, головними з яких є якість

застосованих мінеральних матеріалів і пористість бетону. Основний закон міцності відображається формулою Болемея-Скрамтаєва:

$$R_6 = AR_{ц}(\frac{Ц}{В} 6 C),$$

- де  $A$  – коефіцієнт, який враховує якість заповнювачів бетону,  $A = 0,55 \dots 0,65$ ;  
 $R$  – марка (активність) бетону або цементу;  
 $Ц$  – кількість цементу;  
 $В$  – кількість води;  
 $C$  – коефіцієнт, що враховує зручноукладальність бетонної суміші,  $C = 60,5$ .

Прискорити процес твердіння бетону можна за допомогою теплової обробки, яка полягає у підвищенні температури бетону при обов'язковому його зволоженні. Теплоносієм вибирають водяну пару або пароповітряну суміш з температурою  $60 \dots 90$  °С. На рис. 5.2 показана кінетика зростання міцності бетону, який твердіє у різних умовах.



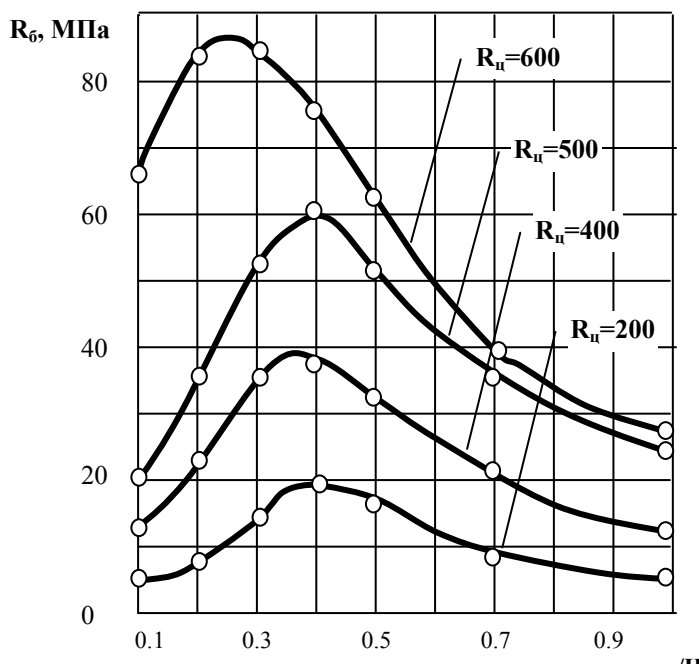
**Рисунок 5.2 – Кінетика зростання відносної міцності (від марки) бетону при твердінні:**

- 1 – у нормальних умовах; 2 – пропареного при 85 °С і нормальному тиску; 3 – пропареного при 175 °С у автоклаві під тиском 0,8 МПа

В залежності від призначення, розрізняють *звичайні бетони* – для несучих елементів конструкцій (колонни, балки, плити), *гідротехнічні бетони* - для гідротехнічних споруд (греблі, шлюзи), *бетони для водопровідно-каналізаційних споруд* (труби, резервуари), *бетони для стін і легких перекриттів*, *дорожні бетони* (для підлог, дорожніх і аеродромних покриттів); *теплоізоляційні бетони* (ячеїсті), *бетони спеціального призначення* (жаростійкі, кислототривкі).

За видом в'язучої речовини бетони поділяють на цементні, гіпсові, асфальтові, полімерні.

На рис. 5.3 показано, що за однакової якості мінеральних матеріалів міцність бетону прямо пропорційна до активності цементу.



**Рисунок 5.3** – Залежність міцності бетону ( $R_6$ ) від активності цементу ( $R_u$ ) і водоцементного відношення

Вид і марку цементу вибирають у відповідності до призначення та умов експлуатації, прийнятої технології виготовлення. Марка цементу повинна бути вище заданої марки бетону.

В якості крупного заповнювача для важких бетонів використовують *щебінь* з природного каменю та відходів гірничозбагачувальних підприємств і *шлаків* ТЕЦ. Крупний заповнювач, у залежності від вимог до бетону, вибирають за такими показниками: зерновим складом та найбільшою крупністю, вмістом пилевидних та глинистих часток, шкідливих домішок, формою зерен, міцністю, петрографічним складом. При підборі складу бетону враховують також середню густина, пористість, водопоглинення, пустотність.

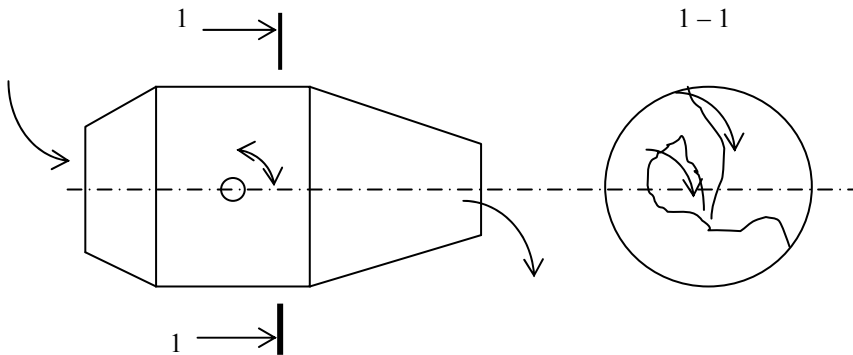
У залежності від величини *середньої густини* ( $\rho_0$ ) бетони розподіляють на:

- особливо важкі,  $\rho_0 > 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
- важкі,  $\rho_0 = 1800 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
- легкі,  $\rho_0 = 500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
- особливо легкі,  $\rho_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ ;

В якості дрібного заповнювача для бетонів застосовують природний пісок, пісок з відсівів подрібнення вивержених гірських порід, порід, що видобуваються одночасно, та їх сумішей з модулем пружності 1.5...3.25.

*Склад бетону* – це раціональне співвідношення його компонентів, яке забезпечує одержання суміші з необхідними показниками якості при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах. Склад бетону встановлюється за розрахунком.

Приготування бетонної суміші включає операції дозування і змішування складових матеріалів. Для змішування компонентів використовують змішувачі безперервної або періодичної дії (рис. 5.4).



**Рисунок 5.4 – Принцип змішування компонентів у гравітаційному змішувачі** 16

Час змішування сумішей об'ємом 500 л у гравітаційних змішувачах складає від 60 до 90 сек, у залежності від рухомості сумішей.

Бетонні суміші, укладені у форми, ущільнюються вібраванням, термін якого залежить від інтенсивності застосованого ущільнення і зручності укладальності суміші.

Укладена в опалубку бетонна суміш, завдяки гідратації цементу, самовільно твердіє. Найважливішими факторами, що впливають на міцність бетону, є тривалість твердіння і температурно-вологісні умови. Нормативну міцність бетон набирає через 28 діб твердіння у нормальних умовах.

Основними показниками фізичних властивостей бетонів є *середня густина, пористість, водонепроникність, морозостійкість*. Механічні властивості бетону характеризуються показниками *міцності на стиск і розтягнення*. Найбільш простим і надійним способом оцінки міцності бетону в конструкціях є руйнування на пресі зразків, виготовлених у тих же умовах, що й самі конструкції.

При оцінці міцності на стиск за стандартні лабораторні зразки приймають куби розміром 150×150×150 мм (а також куби з ребром 70, 100 або 200 мм), міцність яких випробовують при температурі 20 °С через 28 діб твердіння в нормальних умовах. Межа міцності при стиску таких стандартних кубів визначає **марку бетону**. У визначенні марки використовують літеру "М" та число, що дорівнює межі міцності у кг/см<sup>2</sup>.

Для важкого бетону, який найбільш розповсюджений у виробництві збірного і монолітного залізобетону, встановлені такі марки: М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500, М550, М600, М700, М800.

При оцінці міцності на осьове розтягнення та вигин за стандартні лабораторні зразки приймають призми розміром 150×150×600 мм, міцність яких випробовують при температурі 20°С через 28 діб твердіння в нормальних умовах. У визначенні марки за міцністю на розтягнення використовують літери "R". Наприклад, для важкого бетону встановлені марки за міцністю на розтягнення: R<sub>5</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>15</sub>, R<sub>20</sub>, R<sub>25</sub>, R<sub>30</sub>, R<sub>35</sub>, R<sub>40</sub>, R<sub>45</sub>, R<sub>50</sub>.

Технологія виробництва бетонів у значній мірі випадковий процес, тому показники міцності бетону мають статистичний розкид або статистичну неоднорідність. Тому було введено поняття "**клас міцності бетону**", який пов'язаний з маркою (середньою міцністю бетону) таким співвідношенням:

$$B = R_{cp}(1 + t\gamma) \quad ,$$

де B – клас міцності бетону, МПа;

$R_{cp}$  – середня міцність бетону, МПа;  
 $t$  – коефіцієнт прийнятої забезпеченості класу бетону;  
 $\gamma$  – коефіцієнт варіації міцності бетону,  $\gamma = 13.5\%$ .

На практиці користуються менш складною формулою:  $B = 0.778R_{cp}$ .

Відповідно до ДСТУ БВ.2.7-43-96 встановлені класи бетону, де цифрами визначені величини міцності у мегаПаскалях або в інших одиницях:

- за міцністю на стиск: В 3.5, В5, В7.5, В10, В12.5, В15, В20, В25...В80.
- за міцністю на розтяг: В<sub>т</sub>0.4, В<sub>т</sub>0.8, В<sub>т</sub>1.2, В<sub>т</sub>1.6, В<sub>т</sub>2, В<sub>т</sub>2.4, В<sub>т</sub>2.8, В<sub>т</sub>3.2, В<sub>т</sub>4.
- за міцністю на вигин: В<sub>в</sub>0.4... В<sub>в</sub>8.
- за вологонепроникністю: W2, ... W20.
- за морозостійкістю: F50, F75, F100, F150, F200, F1000.

Межа міцності на осьове розтягнення для важких бетонів у 8...20 разів менше за міцність при стиску. Співвідношення цих величин  $R_{ст}/R_p$  може служити показником якості (або дефектності) структури бетону.

### 5.3 Залізобетон і його властивості

Для сприймання розтягуючих напруг в розтягнуту зону конструкцій з бетону вводять сталеві стержні (арматуру), в результаті чого утворюється новий матеріал - **залізобетон**. В ньому при сумісній роботі вигідно сполучаються достоїнства бетону і сталі, які дуже відрізняються одне від одного за своїми механічними властивостями. Бетон має високий опір до стискальних навантажень, але низьку міцність при розтягу (у 10-20 разів менше межі міцності на стиск). Сталь має високу міцність при навантаженнях, що розтягують. Якщо сталеву арматуру розташувати в бетоні так, щоб вона сприймала зусилля, що розтягують, а бетон – що стискають, то достоїнства обох матеріалів будуть доповнювати одне одного.

Сумісна робота бетону і сталеві арматури в залізобетоні забезпечується тим, що:

- а) між бетоном і сталлю виникають значні сили зчеплення, які перешкоджають ковзанню арматури в бетоні. Цей ефект підсилюється профілюванням поверхні арматури;
- б) коефіцієнти температурного розширення сталі і бетону незначною мірою відрізняються між собою, тому зусилля, що виникають при зміні температури, які намагаються зсунути арматуру відносно бетону, значно менші, ніж сили зчеплення, завдяки чому монолітність залізобетону не порушується;



в) бетон надійно захищає сталеву арматуру від корозії та високої температури. Захисний шар бетону, що покриває арматуру, складає 10...30 см і дає можливість зберігати її довгий час у доброму стані.

Відрізняють монолітні і збірні бетонні та залізобетонні вироби і конструкції. Монолітні конструкції виготовляють безпосередньо на місці будівництва. Збірні конструкції і вироби виготовляють на заводах і полігонах з подальшим їх монтажем на місці будівництва.

За видом армування відрізняють збірні залізобетонні вироби зі звичайним армуванням і попередньо напруженим. Необхідність *попереднього напруження арматури* обумовлюється тим, що розтяжність бетону значно менша, ніж сталі. Тому у виробках з ненапруженою арматурою не повністю використовується потенційна міцність металу, а в розтягнутій зоні виробів з'являються щілини у бетоні.

В попередньо розтягнутих залізобетонних виробках арматуру спочатку розтягують, а після виготовлення конструкції і затвердіння бетону визволяють від натягнення. При цьому арматура пружно скорочується і викликає стиснення бетону. При розтягуючих зусиллях деформації від попереднього обтиснення підсумовуються з деформаціями бетону на розтягнення, що підвищує граничну розтяжність бетону у конструкціях під експлуатаційним навантаженням.

## 5.4 Вплив високих температур на бетон і залізобетон

Властивості бетону і залізобетону при нагріванні обумовлюються поведінкою їх складових: цементного каменю, заповнювачів і сталеві арматури, різницею їх деформацій, величиною зчеплення бетону з арматурою, ступенем напруженого стану бетону та ін.

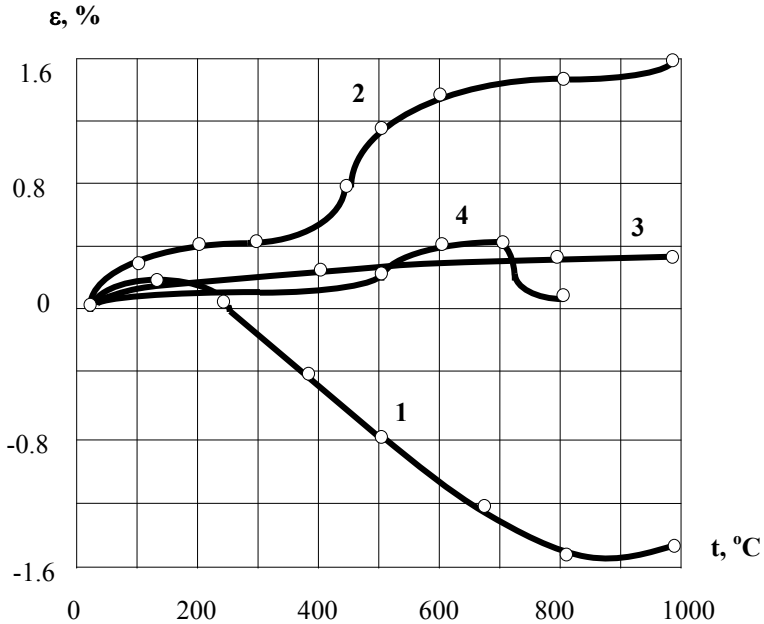
Розглядаючи зміну фізико-механічних властивостей заповнювачів та цементного каменю, наведену у розділах 2 і 3.3, можна очікувати, що при нагріванні до 200-300 °С міцність звичайного важкого бетону буде навіть підвищуватися через зняття внутрішніх напруг. Подальше зростання температури викличе зниження міцності бетону, внаслідок глибинних змін фізико-механічних властивостей в'язучої речовини – порландцементу.

При температурах вище 500 °С, коли має місце дегідратація кристалового зростку  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементного каменю і порушення суцільності за рахунок вторинного гасіння  $\text{CaO}$ , що утворюється, слід очікувати різкого зниження міцності бетону.

Про характер поведінки при нагріванні заповнювачів у бетоні можна судити за поведінкою тих кам'яних матеріалів, з яких одержані ці заповнювачі. Як відомо, заповнювачі бувають природні і штучні. Природні одержують з різних гірських порід (*граніту, базальту, вапняку, піщанику*).

Штучними заповнювачами є керамічні матеріали (*шамот, керамзит*) та пальні *шлаки* - відходи при згорянні вугілля.

Температурні деформації різних заповнювачів в інтервалі температур до 1000 °С значно відрізняються одна від одної (рис. 5.5).



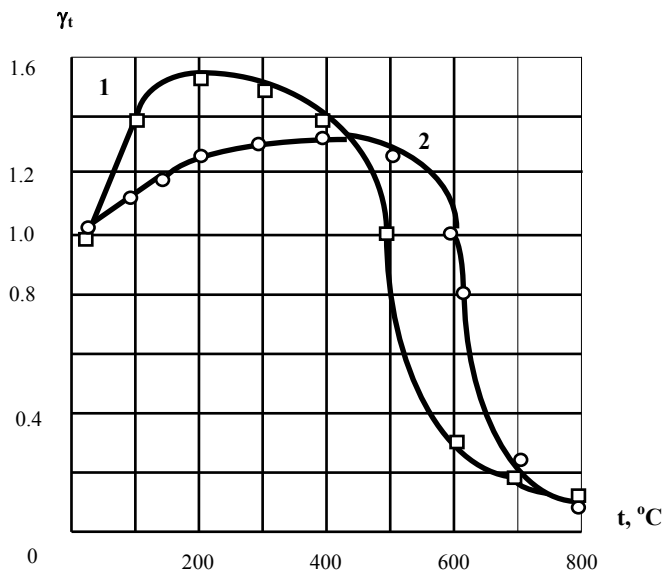
**Рисунок 5.5 – Лінійні температурні деформації складових бетону:**

1 – цементне каміння; 2 – піщаник; 3 – шамот; 4 – серпентит

Порівнюючи поведінку при нагріванні різних заповнювачів, можна сказати, що найбільші температурні деформації має *щебінь* з піщанику, граніту або кварциту, а найменші (при нагріванні до 900 °С) – вапняковий і базальтовий. Найстійкішими при нагріванні є штучні заповнювачі: *шамот, шлак, керамзит, перліт* та інш.

Температурні деформації у матеріалах, що містять кварц викликані його модифікаційними перетвореннями при 500-600 °С, які й обумовлюють зниження міцності і термостійкості. Вапняк зберігає свою міцність до більших температур, ніж серпентит та породи, що містять

кварц. Більшу відносну стійкість при високих температурах показують бетони на вапняковому заповнювачі у порівнянні з бетонами на гранітному заповнювачі. Зміна міцності бетонів з гранітним та вапняковим заповнювачем при нагріванні показана на рис. 5.6.



**Рисунок 5.6 – Відносна міцність бетонів на гранітному (1) та вапняковому (2) заповнювачах при нагріванні**

Зниження міцності бетону відбувається за рахунок фізико-хімічних процесів, що мають місце не тільки у заповнювачах і цементному камені під впливом високих температур, але й від температурних напруг.

Узагальнену схему поведінки бетонів при нагріванні можна уявити так:

- при 200-300 °C - відносна міцність підвищується через зняття внутрішніх напруг;
- при подальшому нагріванні до 500-600 °C пластичні деформації бетону розвиваються досить повільно; міцність бетону вже не зростає, і з'являється тенденція до її падіння завдяки поступовому руйнуванню

його структури внаслідок дегідратації і різниці температурних деформацій цементного каменю і заповнювачів;

- при нагріванні до 800 °С деформації повзучості різко зростають; внаслідок значного руйнування структури бетону (і модифікаційних перетворень у кварц-містких заповнювачах) сильно знижується міцність;
- при 800 °С і вище визначну роль у різкому підвищенні пластичних деформацій відіграє помітне пом'якшення складових бетону.

У залізобетоні при високотемпературному нагріванні зміна деформаційних властивостей сталі обумовлює особливості її взаємодії з бетоном. Розвиток пластичних деформацій веде до зменшення поперечного перерізу розтягнутої арматури і, як наслідок, до послаблення її контакту з бетоном. З підвищенням температури залізобетонних конструкцій зростає різниця коефіцієнтів температурної деформації бетону і сталі викликає додаткові напруги зсуву між ними. В бетоні коефіцієнт температурної деформації при нагріванні зменшується, а в сталевій арматурі – збільшується. Тому бетон, що оточує арматуру, розтягується у поперечному напрямку, і у захисному шарі з'являються щілини. При охолодженні властивості сталі у значній мірі відбудовуються, а бетону, навпаки, – продовжують погіршуватися через вторинне гасіння, що визначає додаткову втрату контакту між ними.

При розрахунку вогнестійкості конструкцій повинні задовольнятися вимоги до їх несучої здатності. У відповідності до норм розрахунок за несучою здатністю повинен забезпечувати збереження конструкції від руйнування під сумісною дією силових факторів і небезпечних впливів зовнішнього середовища. Граничний стан конструкції за вогнестійкістю характеризується трьома показниками (ознаками) за втратою:

- несучої здатності;
- теплоізолюючої здатності;
- густини.

Коли кути виробів відколюються і оголюється поздовжня арматура, вогнестійкість стислих елементів підвищує поперечна арматура, забезпечуючи стійкість поздовжніх стержнів і їх сумісну роботу з бетоном.

## **ГЛАВА 6. ШТУЧНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ**

### **6.1. Штучні кам'яні неопалені матеріали**

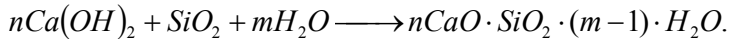
Штучні кам'яні неопалені матеріали і вироби одержують на основі неорганічних в'язучих речовин і різноманітних мінеральних

заповнювачів. До цієї групи, крім бетонних і залізобетонних виробів належать силікатні, азбоцементні та гіпсові і гіпсобетонні.

### 6.1.1. Силікатні матеріали

Силікатними називають штучні кам'яні матеріали і вироби, що одержують в наслідок формування і послідуєчій тепловологої обробки в автоклавах сумішей, які складаються з вапняно–кремнеземістих в'язучих, заповнювачів (кварцового піску, шлаку та ін.) і води.

При температурі 170–200 °С і дії тиску в 0,8–2 МПа  $\text{SiO}_2$  піску стає хімічно активним, і між ним і вапном  $\text{Ca(OH)}_2$  відбувається хімічна взаємодія з утворенням гідросилікатів кальцію, які цементують зерна піску у міцний моноліт (камінь):



Тривалість обробки (запарювання) складає 10 – 14 годин. Шляхом автоклавної обробки з вапняно–піщаних сумішей одержують дві основні групи матеріалів:

- *цільні* з  $\rho_c = 1800 \dots 2000 \text{ кг/см}^3$  та  $R_{ct} = 1,0 \dots 4,0 \text{ МПа}$ ;
- *ніздрюваті (пористі)* з  $\rho_c = 300 \dots 1200 \text{ кг/см}^3$  та  $R_{ct} = 0,25 \dots 2,0 \text{ МПа}$ .

Багато років найбільш розповсюдженим видом силікатних виробів була силікатна цегла. **Силікатну цеглу** одержують шляхом пресування сумішей, які вміщують: 8–10 % вапна, 90–92 % кварцового піску та біля 7 % (від сухої суміші) води з наступним запарюванням у автоклавах. Вапно у суміші з піском гасять у спеціальних силосах або гасильних барабанах.

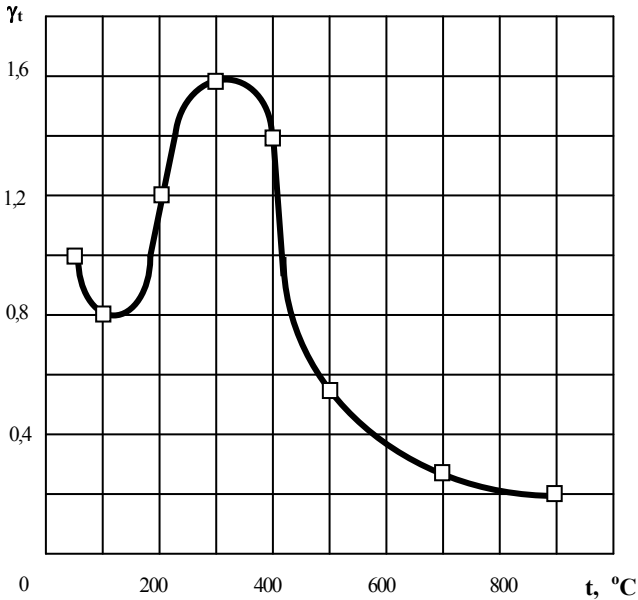
Пресування цегли проходить під тиском 1,5–2,0 МПа, після чого спресована цегла на вагонетках подається в автоклав, де температура досягає 175–190 °С, а тиск насиченої пари – 0,8–1,6 МПа. Зростання міцності силікатної цегли продовжується і після вивантаження з автоклаву на відкрите повітря, коли вона підсихає протягом 10–15 діб.

Силікатна цегла повинна мати розміри 250×120×65 мм, модульна – 250×120×88 мм і силікатне пустотіле каміння – 250×120×138 мм.

В залежності від межі міцності при стиску, силікатні камені і цеглу (для цегли нормується також межа міцності за вигином) поділяють на марки 300, 250, 200, 150, 125, 100 і 75. Водопоглинення силікатної цегли і каменів повинно бути не менше 6 %. За морозостійкістю силікатна цегла і камінь поділяються на марки МрЗ 50, МрЗ 35, МрЗ 25 і МрЗ 15.

Силікатну цеглу і каміння використовують для кладки кам'яних зовнішніх та внутрішніх конструкцій в надземних частинах будівель. Не припустимо застосовувати силікатну цеглу з "мокрим" режимом роботи (бані, пральні та ін.), а також використовувати для кладки печей і труб,

тому що вона не витримує довготривалу дію температури вище 500 °С (рис. 6.1)



**Рисунок 6.1 – Зміна відносної міцності силікатної цегли при дії високих температур**

При нагріванні силікатної цегли до температури 100 °С міцність її знижується, потім починає зростати і при температурі 300 °С досягає в 1,6 разів більшого значення від первинної. Подальше підвищення температури дає досить різке зниження міцності. Довготривала дія температур вище 500 °С викликає втрату міцності за рахунок дегідратації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і модифікаційного перетворення кварцу (переходу  $\beta$ -кварцу в  $\alpha$ -кварц при  $t = 600$  °С), що супроводжується стрибкоподібним збільшенням об'єму. При температурі 700 °С міцність силікатної цегли знижується удвічі, що приводить до утворення щілин; при температурі 900 °С міцність зменшується у 5 разів. Охолодження водою, що має місце при гасінні пожеж, викликає ще більше зниження міцності за рахунок вторинного гасіння  $\text{CaO}$ .

Широке застосування у будівництві для виготовлення крупногабаритних блоків знаходить силікатобетон.

**Силікатні бетони** – штучні кам'яні матеріали автоклавного твердіння, які одержують на основі вапняно–кремнеземистого в'язучого і мінеральних заповнювачів.

Вапняно–кремнеземисте в'язуче – продукт сумісного тонкого помелу і гомогенізації однорідної суміші вапна і кремнеземистого компоненту. В залежності від виду кремнеземистого компоненту розрізняють такі види в'язучих речовин: вапняно–кремнеземисті, вапняно–шлакові, вапняно–зольні і вапняно–аглопоритові. Співвідношення вапна і кремнеземистого компоненту в них складає від 30 : 70 до 50 : 50.

Найбільше розповсюдження мають дрібнозернисті силікатні бетони, в яких заповнювачем є звичайний кварцовий пісок.

З щільного силікатного бетону виготовляють плити, панелі, балки перекриття, елементи збірних сходин і ін.

Крім щільних силікатних бетонів, використовуються **ніздрюваті бетони**, які виготовляють шляхом введення у вапняно–кремнеземисте в'язуче газоутворюючих добавок (газобетон) або піни (пінобетон). Як газоутворювач використовують водну суспензію алюмінієвої пудри, як піноутворювачі – клеєканіфольні, смолосапонинові та інші речовини. Вироби з ніздрюватих бетонів формують *наливним* або *вібраційним* методом. Відформовані вироби через 6–8 годин направляють у автоклави для твердіння.

В залежності від призначення, ніздрюваті бетони розподіляють на конструкційні – з  $\rho_c = 900 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$  і  $R_{ct} = 7,5 \dots 15 \text{ МПа}$ , теплоізоляційно–конструкційні – з  $\rho_c = 500 \dots 900 \text{ кг/м}^3$  і  $R_{ct} = 2,5 \dots 7,5 \text{ МПа}$  і теплоізоляційні з  $\rho_c \leq 500 \text{ кг/м}^3$  і  $R_{ct} \leq 2,5 \text{ МПа}$ . Ніздрюваті бетони використовують для панелей, зовнішніх стін огорожувальних конструкцій споруд, панелей внутрішніх несучих стін, перегородок.

Основою для оцінки вогнестійкості конструкцій, виготовлених з силікатобетонів, може бути зміна міцності силікатної цегли при дії високих температур (що розглянута вище і наведена на рис. 6.1), тому що їх фізико–хімічна природа однакова. Вогневі випробування силікатобетонів з вологістю бетону більше 2 % показують можливість вибухоподібного руйнування їх.

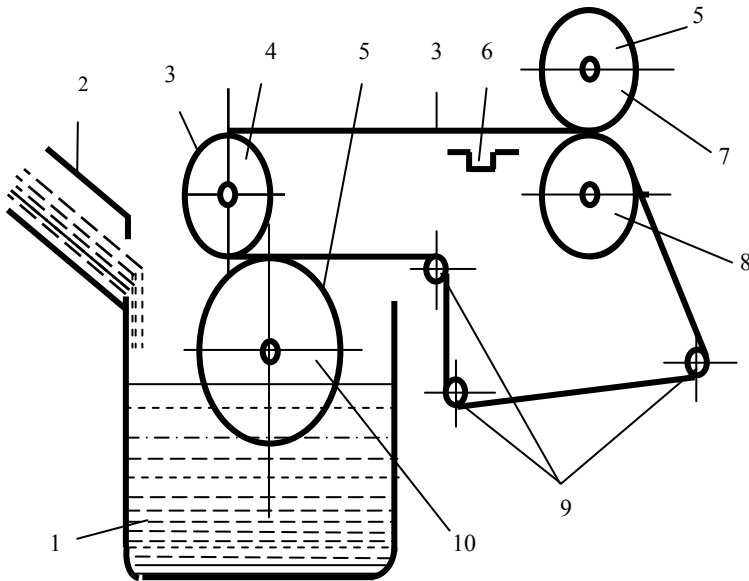
## 6.1.2 Азбоцементні матеріали

*Азбоцемент* – тонкоармований волокнами азбесту цементний камінь, який одержують внаслідок формування і твердіння суміші азбесту (10–20 %), цементу (80–90 %) і води.

Азбоцемент має високу міцність на розтягнення, вогнестійкість, малу водонепроникність, високу морозостійкість, низьку теплопровідність і електропровідність.

З азбоцементу виготовляють покрівельні і стінові вироби, труби, вентиляційні короби і ін., всього біля 40 найменувань.

Найбільш широке розповсюдження має "мокрый" спосіб одержання азбоцементних виробів (рис. 6.2).



**Рисунок 6.2 – Схема формувальної машини для виробництва азбоцементних виробів:**

1 – металевая ванна; 2 – жолоб для подавання азбоцементної маси; 3 – стрічка конвеєру; 4 – притисний вал; 5 – шар азбоцементної маси; 6 – вакуум-коробка; 7 – формувальний барабан; 8 – спрямовуючий вал; 9 – вал натягування; 10 – барабан, обтягнутий металевою сіткою.



Технологічний процес виробництва азбоцементних виробів за "мокрим" способом включає такі основні операції: складання суміші з декількох сортів і марок азбесту; розпушування суміші на тонкі нитки; змішування з цементом та водою; виготовлення азбоцементного полотна на листоформуючій машині і формування з нього листів і труб; надання виробам необхідної щільності і форми шляхом пресування, вигинання, різання; твердіння виробів у пропарочній камері при температурі 50–60 °С протягом 12–16 годин; утримання у теплих складах протягом 7 діб до набрання необхідної міцності.

Тонкі волокна азбесту, що рівномірно розподілені у *цементному камені*, утворюють армуючу сітку, яка підвищує його міцність при розтягненні.

Механічні властивості азбоцементу залежать від вмісту азбестового волокна і його якості (довжини і діаметру волокон), активності цементу, середньої щільності азбоцементу, умов твердіння та ін.

Міцність при розтягненні азбоцементу знаходиться у межах 8,8–11,2 МПа, при вигині – 17,2–24,5 МПа, що у 2–2,5 рази перевищує міцність цементного каменю. Гранична розтяжність азбоцементу складає  $(8...16) \cdot 10^{-4}$ , що перевищує розтяжність цементного каменю у 5 разів. Середня щільність азбоцементу знаходиться у межах 1600–1800 кг/м<sup>3</sup>.

Азбоцементні вироби поділяють на листи, панелі, труби, фасонні частини до них.

За формою відрізняють листи плоскі (пресовані і непресовані) і профільовані (хвилясті, фігурні).

Хвилясті листи використовують для покрівлі і стінових огорожень споруд.

Панелі і плити за призначенням поділяють на покрівельні, стінові і панелі перегородок. За конструкцією вони можуть бути утепленими, неутепленими і акустичними.

Азбоцементні труби за призначенням розподіляють на водопровідні, газопровідні, каналізаційні, вентиляційні та ін. Труби мають круглий або квадратний переріз.

Поведінка азбоцементу при нагріванні обумовлюється поведінкою цементного каменю і азбесту. При цьому на специфічний характер властивостей азбоцементу впливає анізотропність його структури, а саме - його шаруватість. Межа міцності азбоцементу при розтягненні перпендикулярно шарам виявляється в 10 разів менше, ніж при розриві вздовж цих шарів. Цим пояснюється характер руйнування азбоцементу при дії високих температур – матеріал розшаровується. Руйнування азбоцементу в умовах дії високих температур має вибуховий характер, що пояснюється його високою вологістю (8–11%).

На рис. 6.3 показана зміна міцності азбоцементу при вигині в залежності від температури нагрівання.

Міцність азбоцементу при нагріванні до 100–150 °С зростає на 15–20% у зв'язку з випарюванням адсорбційної вологи. При нагріванні до 400°С міцність азбоцементу незворотно знижується, у зв'язку з втратою частки кристалізаційної (гідратної) води. При нагріванні до 500 °С знижується межа міцності при вигині на 50 %, до 600 °С – на 65 % і до 800°С – на 85 %. При нагріванні і швидкому охолодженні азбоцементні вироби розшаровуються і розтріскуються з вибухом, внаслідок великого тиску водяної пари, що утворюється у порах матеріалу.

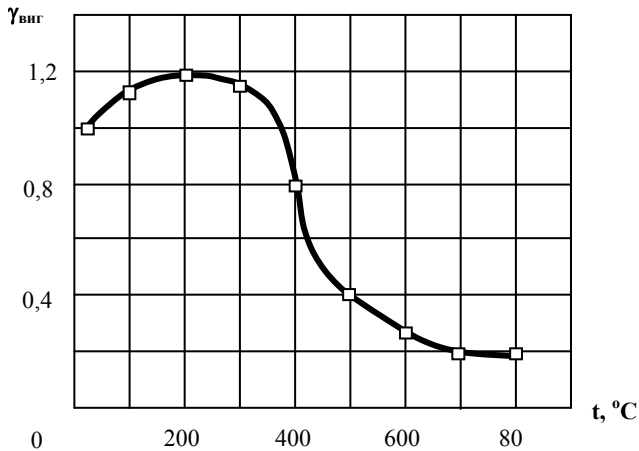


Рисунок 6.3 – Зміна відносної міцності азбоцементу при вигині в залежності від температури нагрівання з наступним охолодженням

## 6.2 Штучні кам'яні опалені матеріали

**Керамічні матеріали** одержують з глинистих мас шляхом формувань і подальшого опалення. При цьому часто має місце проміжна технологічна операція – сушіння свіжосформованих виробів, які зветься "сирцем".

Універсальність властивостей, великий асортимент, висока міцність і довготривкість керамічних виробів дозволяють широко використовувати

їх в якості лицевального матеріалу для підлог і стін, у стіновій кладці теплових агрегатів, у вигляді каналізаційних труб, а також як легкий заповнювач у бетонах.

Сировиною для виготовлення керамічних матеріалів є глинисті породи – землісті мінеральні маси або уламкові гірські породи, здатні з водою утворювати пластичне тісто, яке після висихання зберігає надану йому форму, а після опалення набуває твердості каменю. Найбільш чисті глини складаються переважно з каолініту. Чим більше міститься глинистих часток, тим вище пластичність сировини. Пластичність можна збільшити додатком високопластичних глин, а також спеціальних поверхнево–активних речовин. Зменшити пластичність можна за допомогою спіснювальних додатків – піску, *шамоту*, *шлаку*, тирси, деревини і ін. В залежності від складу глинистої сировини змінюється в'язуча здатність глини, а потім і міцність виробу, що одержується.

При висиханні зразків і їх опаленні має місце усадка виробів (зменшення лінійних розмірів і об'єму): при сушці повітряна усадка складає від 2–3% до 10–12%, при опаленні вогнева усадка – 2–8%. Повну усадку необхідно мати на увазі при виготовленні виробів необхідних розмірів.

Перехід глин при опаленні у каменеподібний стан проходить поступово: при підвищенні температури від 0 до 150 °С випарюється механічно примішана вода; при температурі 550–800 С має місце дегідратація глинистих мінералів і втрата глиною пластичності; при температурі 900–1100 °С проходить опалення глини і перехід її у каменеподібний стан (спікання глини).

Загальна технологічна схема виробництва керамічних виробів складається з технологічних етапів, що наведені на рис 6.4. Їх сушіння у вагонетках камерних або тунельних сушил здійснюється протягом від 24 годин до 3 діб, а опалення – у печах за технологічним регламентом.

Напівсухий метод має перевагу над пластичним тому, що він не потребує сушки виробів. Цим методом можливо формувати не тільки повнотілу цеглу, але й пустотілу, а також керамічні плитки.

Вогнетривкі матеріали і вироби готують з вогнетривких глин. В залежності від вогнетривкості ці матеріали розподіляються на вогнетривкі (з вогнетривкістю 1580–1770 °С); високовогнетривкі (з вогнетривкістю 1770–2000 °С); вищої вогнетривкості (з вогнетривкістю вище 2000 °С). Ці матеріали і вироби використовують для кладки стін і склепінь промислових печей, обмурування топок, димоходів і ін.

Завдяки тому, що керамічні матеріали і вироби в процесі їх виробництва опалюються при високих температурах, то зрозуміло, що повторна дія високих температур в умовах пожежі суттєво не впливає на

фізико–механічні властивості цих матеріалів у тому разі, коли ці температури не досягають температури початку деформації матеріалів (високотемпературна повзучість). При дальшому підвищенні температури виникає розм'якшення вогнетривів, що пов'язане з виникненням рідкої фази (початок плавлення), яке й викликає необоротну деформацію вогнетривів з втратою форми та геометричних розмірів.

Таким чином, керамічні матеріали і вироби в умовах пожежі поведуть себе краще, ніж неопалені матеріали та вироби, які одержують на основі гіпсу, вапна, цементу.

Дія високих температур при пожежі на щільні керамічні вироби, опалення яких проходить при температурах до 1300 °С, практично шкідливо не впливає на них тому, що температура пожежі не перевищує температур опалення.

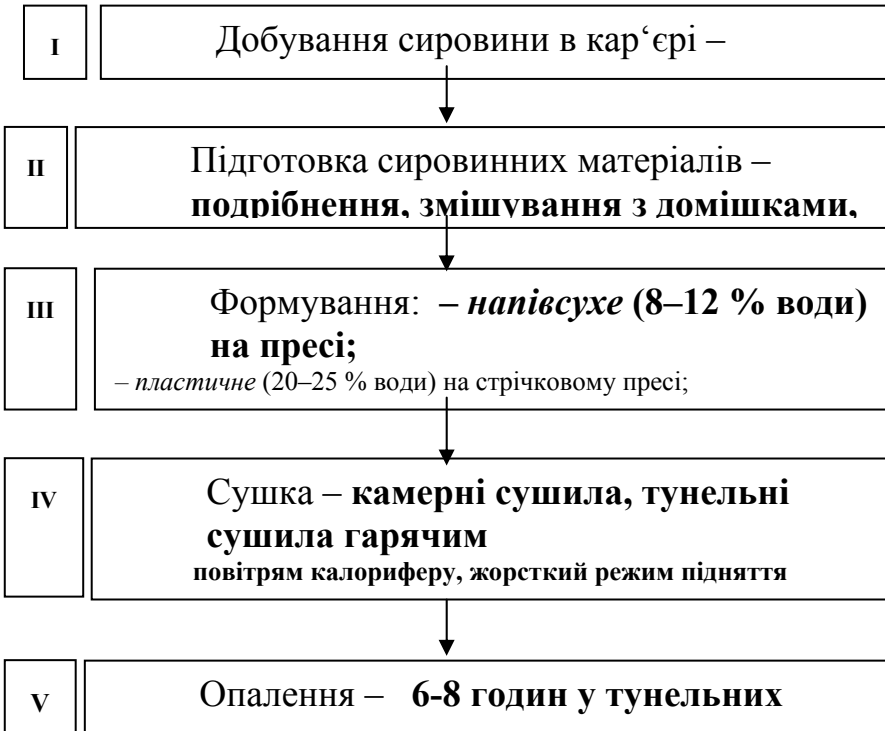


Рисунок 6.4 – Технологічна схема виробництва керамічних виробів

Внаслідок опалення виріб набуває каменеподібного стану, має високу водостійкість, морозостійкість, міцність та ін. властивості. Температура опалення керамічних виробів, в залежності від виду глини і необхідної щільності виробу, складає 950 – 1300 °С.

Усі керамічні матеріали і вироби. в залежності від щільності, поділяють на дві великі групи: ніздрюваті (з водопоглинанням більше 5 %) і щільні (з водопоглинанням менше 5%).

За призначенням керамічні матеріали і вироби поділяють на стінові, вогнетривкі, теплоізоляційні, санітарно–технічні, лицевальні матеріали, матеріали для підлоги, покрівельні матеріали і матеріали для перекриттів, заповнювачі для легкого бетону і ін.

До стінових матеріалів відноситься цегла звичайна й ефективні керамічні матеріали (цегла і каміння пустотіле і легковажне).

**Цеглу** випускають ординарною (250×120×65 мм) або модульною (250×120×88 мм). В залежності від межі міцності при стиску і вигині, цегла глиняна звичайна поділяється на сім марок: 75, 100, 125, 150, 200, 250 і 300.

Виробництво цегли при пластичному засобі формування складається з таких операцій: подрібнення сировини на вальцах; подача у глинозмішувач для зволоження до 18–25 % і змішування до однорідної, пластичної суміші, подача на стрічковий вакуумний прес, з якого виходить брус, і автоматом розрізується на цеглини. Для лицювання фасадів будівель використовують лицевальну цеглу і керамічні камені, килимову кераміку, малогабаритні плитки та плити.

Для внутрішнього лицювання використовують *плитки для стін і підлог*.

Як покрівельний матеріал у будівництві застосовують *черепицю*, яку виготовляють з легкоплавких пластичних глин пластичним формуванням або напівсухим пресуванням.

**Вогнетривкі матеріали** і вироби готують з вогнетривких глин. Ці матеріали в залежності від вогнетривкості поділяють на *вогнетривкі* (з вогнетривкістю 1580–1770 °С); *високовогнетривкі* (з вогнетривкістю 1770–2000 °С); *вищої вогнетривкості* (з вогнетривкістю вище 2000 °С). Ці матеріали і вироби використовують для кладки стін і склепінь промислових печей, обмурування топок, димоходів і ін.

Повторний вплив дії високих температур в умовах пожежі не має суттєвого впливу на фізико–механічні властивості керамічних матеріалів, тому що в процесі їх отримання, вони вже підлягали опаленню за високих температур. Втрата геометричних розмірів та форми досягається тільки в тому разі, коли температура пожежі досягає температури, яка перевищує експлуатаційну.

Таким чином, керамічні матеріали і вироби в умовах пожежі поводять себе краще, ніж неопалені матеріали, які одержують на основі різноманітних в'язучих (гіпсу, цементу та ін.).

### 6.3 Матеріали і вироби на основі мінеральних розплавів

Вироби, що виготовляють в результаті плавлення мінеральної сировини, широко використовують у будівництві. У залежності від виду сировини та хімічного складу розплав, отримують скляні і шлакові матеріали, сітали і кам'яне литво.

**Скло і вироби з нього.** Скляні матеріали виробляють із розплаву кварцового піску, соди або сульфату натрію, вапняку, крейди при температурі 1000...1500 °С. У будівництві застосовуються такі види скла: листове віконне й вітринне, узорчасте, армоване, поліроване, сонце- і теплозахисне. Також використовують склопрофіліт (прокатні елементи швелерного або коробчатого перерізу), склопакети (два чи декілька листів, які герметично з'єднані по периметру), склоблоки, скловату тощо.

Скло як будівельний матеріал має такі властивості: щільність  $\rho = 2.2...6.8 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ , межа міцності при розтягу  $R_{\text{роз}} = 0.3...0.9 \text{ Мпа}$ , а при стиску  $R_{\text{стис}} = 3...12 \text{ Мпа}$ , модуль пружності  $E = 5000...10000 \text{ Мпа}$ , твердість  $M = 5...7$ .

Вироби зі скла не горять, не розповсюджують полум'я, але, як правило, не витримують при пожежі тривалих теплових навантажень. Їх термічна стійкість не перевищує 100°С. Руйнування віконного скла у світлових прорізах відбувається майже одночасно після того, як полум'я починає торкатися його поверхні. Армоване скло теж руйнується невдовзі після початку пожежі, але після розтріскування його частини утримуються металеві сіткою і продовжують перешкоджати переносу тепла. Вогнестійкість конструкцій зі склопрофіліту 15 хв. Добре опираються дії вогню склоблоки: вогнестійкість вертикальних огорожень з них досягає 2.4 год.

## ГЛАВА 7. ДЕРЕВИНА І ВИРОБИ НА ЇЇ ОСНОВІ

Деревина як будівельний матеріал застосовується з давніх часів, але не втратила свого значення й досі, оскільки має безсумнівні достоїнства. Її притаманні:

- висока міцність при малій об'ємній щільності;
- мала теплопровідність;
- висока морозостійкість;

- легкість обробки;
- довговічність.

Але разом з позитивними властивостями деревина має і недоліки, що слід враховувати при її використанні, це:

- неоднорідність будівлі (анізотропність) і наявність пороків;
- гігроскопічність, що призводить до зміни розмірів виробів, короблення, розтрощення;
- здатність до загнивання;
- здатність до займання.

## 7.1 Будова деревини

Властивості деревини, достоїнства і недоліки обумовлені її структурою. На зрізі стовбура дерева неозброєним оком або через лупу розрізняються такі його частини: кора, камбій, деревина (рис. 7.1).

**Кора** - захисний одяг дерева, що складається з корки та лубу. **Корка** - зовнішній шар – захищає деревину від зовнішніх впливів. **Луб** - внутрішній шар - служить для переміщення поживних речовин вздовж стовбуру та гілок і їхнього запасання. Під луб'яним шаром у дерева, що росте, розташовується тонкий шар живих клітин - **камбій**, який виробляє клітки лубу і клітки деревини.

**Деревина** - це звільнена від кори тканина волокон, яка міститься у стовбурі дерева. В товстому шарі деревини, розташованому між камбієм і центром, зовнішній шар з молодих клітин, що ростуть, називається **заболонь**, а внутрішня частина, що складається з омертвілих клітин, – **ядро**.

Деревні породи, у яких шари заболоні та ядра добре розрізняються, називаються **ядровими**. До них відносяться дуб, сосна, кедр (у них ядро темніше заболоні).

Породи, у яких шари ядра і заболоні не розрізняються за кольором, звуть **спілодеревними**. Такими є бук, ялина, смерека.

Існують породи, що не мають ядра, - береза, клен, вільха. Їх звуть **заболонними**.

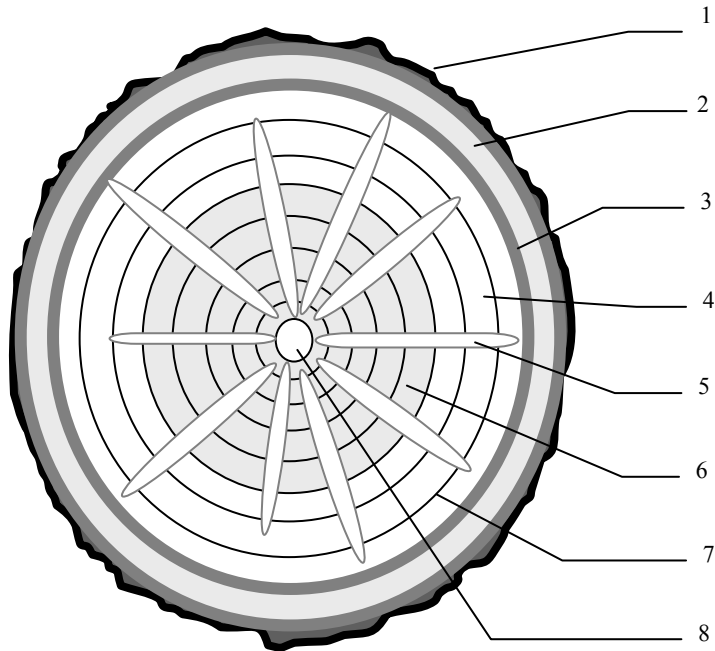


Рисунок 7.1 – Будова деревини (торцевий зріз):

1 – кора; 2 – луб; 3 – камбій; 4 – заболонь; 5 – серцевинні промені; 6 – ядро; 7 – річні шари (кільця); 8 – серцевина

**Річні кільця**, що розрізняються у більшості деревних порід, утворюються при поділі клітин камбіального шару: весняні – світлі кільця ранньої деревини і річні (літні) - темні кільця пізньої деревини. Міцність стовбура тим вище, чим більшу частину займає пізня деревина.

**Серцевина** - частина дерева, яка складається з клітин з тонкими стінками, слабко зв'язаними одна з одною. Вони утворюють **серцевинну трубку**, що не є міцною та легко загниває.

**Серцевинні промені** забезпечують переміщення вологи і поживних речовин в радіальному напрямі.

Вивчення деревини під мікроскопом показує, що вона складається з живих і відмерлих клітин. Живі клітини мають оболонку, а в середині її – цитоплазму, клітковий сік і ядро.



За формою та функціям розрізняють клітки механічні, провідні і запасаючі. **Механічні** клітини, що утворюють опорну тканину деревини, щільно з'єднані між собою, мають щільні стінки і забезпечують міцність. Вони найбільш стійкі до загнивання. У хвойних порід опорну тканину складають *трахеїди*, які займають до 90-95 % об'єму деревини. У листяних порід опорні функції виконують товстостінні клітини веретеноподібної форми. **Провідні** клітини служать для пересування живильних розчинів. У листяних порід цю роль виконують судини – тонкостінні трубки. У хвойних порід пересування вологи і розчинів відбувається по трахеїдам. **Запасаючі** клітини знаходяться, в основному, у серцевинних променях і служать для зберігання живильних речовин. Вони неміцні – слабо зв'язані між собою.

## 7.2 Властивості деревини та її застосування

### 7.2.1 Фізичні і механічні властивості деревини

**Гігроскопічність і вологість.** Завдяки великій пористості (до 80%), деревина має велику внутрішню поверхню і легко сорбує вологу. Вода в ній може знаходитися у вільному та зв'язаному стані.

*Вільна (капілярна) волога* заповнює порожнини клітин, судин і міжклітковий простір. *Зв'язана (гігроскопічна) волога* знаходиться в стінках клітин і судин.

Насичення стінок клітин гігроскопічною водою, коли порожнини і міжкліткові простори вільні від неї, називають *межею гігроскопічності* (в середньому 30%).

**Усушення і набухання.** Зміна вологості деревини від нуля до межі гігроскопічності викликає збільшення її лінійних розмірів, набухання і зниження міцності, оскільки вода розсуває стінки судин і клітин. Подальше накопичування вільної вологи у порожнинах, що вже існують у деревині, не змінює її розмірів та міцності. Рівноважна вологість, яка досягається після довгої витримки деревини в постійних температурно-кліматичних умовах, складає для відкритого повітря 15...18 %, а для приміщення – 8...12 %.

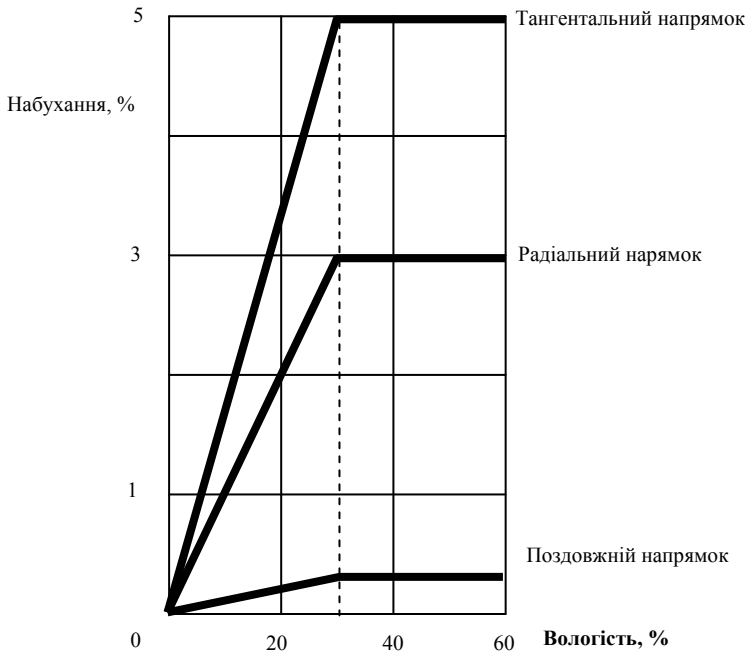
Нерівномірність форми і розташування клітин зумовлює особливості деформації виробів при висушуванні у радіальному (3%), тангентальному (5%) і поздовжньому (0.25%) напрямках (рис. 7.2). Найбільшого *жолоблення* зазнають дошки, відпиляні ближче до поверхні колоди, а їхні краї вигинаються в бік опуклості річних кілець.

**Густина і об'ємна маса.** У складі усіх порід деревини переважає одна речовина – целюлоза. Тому істинна густина для них приблизно однакова і дорівнює  $\rho = 1.54 \text{ г/см}^3$ .

Середня густина (інша назва – об'ємна маса) різних видів деревини залежить від їх структури, умов зростання, зберігання. Прийнято визначати об'ємну масу при 12% вологості. Для різних порід дерев вона може змінюватись у діапазоні  $\rho_{об} = 0.54...0.9 \text{ г/см}^3$ .

**Теплопровідність.** Високопориста і волокниста будова деревини обумовлює її відносно низьку теплопровідність. Але, внаслідок анізотропності, ця величина вздовж та поперек волокон різниться приблизно у 2 рази. Наприклад, для сосни:

$$\lambda_{\text{вздовж}} = 0.35 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}; \quad \lambda_{\text{поперек}} = 0.17 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1} .$$



**Рисунок 7.2 – Вплив вологості деревини на її набухання**

**Стійкість до агресивних середовищ.** Деревина стійка до дії слабокислого і слаболужного середовища. Вона починає повільно руйнуватися у кислому середовищі тільки починаючи з рН=2. У морській воді деревина зберігається гірше, ніж у прісній.

**Міцність.** Анізотропність деревини виявляється у її механічних властивостях. *Міцність на стиск* вздовж ( $R_{cl}$ ) і поперек ( $R_{cd}$ ) волокон, яка визначається на зразках  $20 \times 20 \times 30$  см, має співвідношення  $R_{cl} : R_{cd} = 8 : 1$ . А саме: міцність на стиск вздовж волокон становить  $R_{cl} = 40 \dots 60$  МПа.

*Міцність на розтяг* вздовж ( $R_{pl}$ ) і поперек ( $R_{pd}$ ) волокон визначають на зразках  $30 \times 30 \times 180$  см. Міцність досягає  $R_{pl} = 70 \dots 123$  МПа, а співвідношення  $R_{pl} : R_{pd} = 25 : 1$ .

Деревина має дуже велику *міцність на вигин* ( $R_b = 70 \dots 110$  МПа), тому її використовують для виготовлення горизонтальних несучих виробів: балок, настилів, лаг тощо. *Міцність на відколювання* у деревини теж має велике значення, коли треба робити вруби, клеєві з'єднання. У більшості деревних порід вона вздовж волокон досягає  $R_{sl} = 6 \dots 10$  МПа, поперек – у 3-4 рази більше.

На механічні властивості деревини можуть впливати різні фактори. Для деревини характерно, що чим вона щільніше, тим і міцніше. При підвищенні вологості до межі гігроскопічності механічні властивості деревини знижуються.

## 7.2.2 Застосування деревини в будівництві

У народному господарстві знаходять застосування хвойні та листяні породи дерев.

### **Хвойні породи:**

- **сосна** – ядрова порода, застосовується для виготовлення несучих конструкцій, шпал, стовбурів, палів, фанери;
- **ялина** – спілодеревна порода, менше сосни опирається загниванню, застосовується для таких самих цілей;
- **модрина (лиственниця)** – ядрова порода, приблизно на 30% більш тривка, тверда і щільна, ніж сосна, і більш гниlostійка, але схильна до розтрощення. Її використовують в гідротехнічних спорудах, для виготовлення палів, стовбурів, шпал.

### **Листяні породи:**

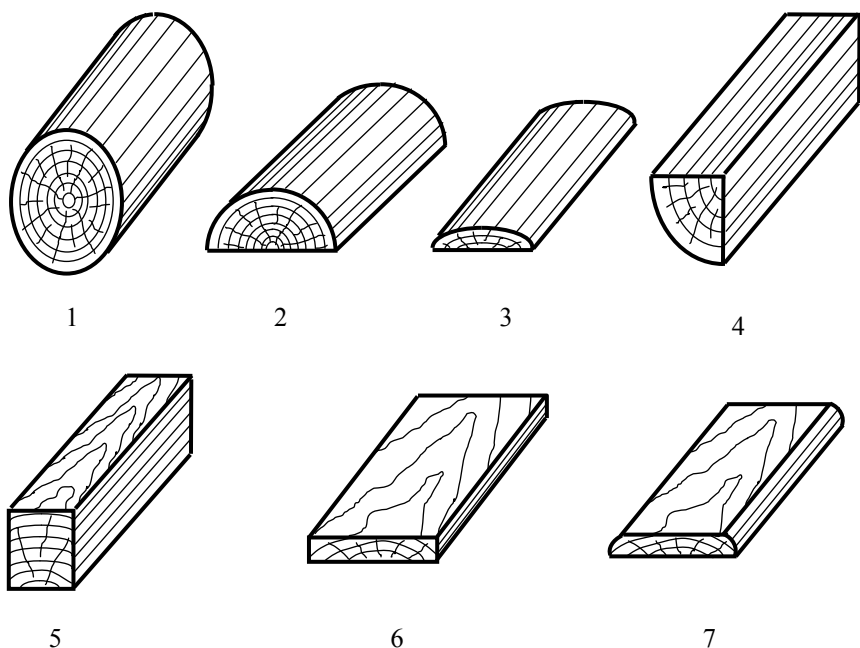
- **дуб** – ядрова порода, тривка, гниlostійка, але схильна до розтрощення. Використовується для відповідальних конструкцій, в гідротехнічних спорудах, у мостобудуванні;

- **ясень** - ядрова порода, тривка, в'язка. Застосовують нарівні з дубом, але в умовах, де немає небезпеки загнивання;
- **береза** – заболонна порода, має важку тверду і міцну деревину, але досить легко загниває. Використовується для виготовлення фанери та столярних виробів;
- **осина** – заболонна порода з легкою м'якою деревиною, яка при висиханні не коробиться, мало тріскається, але у вологому стані легко загниває. З неї зводять тимчасові споруди та виробляють фанеру;
- **вільха** – заболонна порода, легка, м'яка, однорідної будови, схильна до загнивання, але під водою зберігається добре. З вільхи будують підводні споруди, виготовляють фанеру.

Залежно від ступеня переробки матеріалів з деревини, які застосовуються у будівництві, розрізняють:

- лісні матеріали, які одержують тільки шляхом механічної обробки: колоди, жердини, пиломатеріали (бруси, дошки, пластини, обаполі);
- готові вироби, що виробляються в заводських умовах: збірні конструкції, клеєні конструкції;
- вироби, які одержують глибокою переробкою деревини: дозволяють повніше використовувати деревину і відходи її переробки. В тому числі вироби на основі спільної переробки деревини з синтетичними матеріалами і пластмасами: фанера, ДВП, ДСП, фіброліт, арболіт.

За способом механічної обробки лісні матеріали поділяють на: круглі лісоматеріали, пиляні, лущені, стругані, колоті та здрібнені. У будівництві розповсюджені з круглих лісоматеріалів *колоди*, а з пиляних – *пластини, обаполі, бруси, четвертини, дошки* (рис. 7.3). Матеріали товщиною менше 32 мм звать тонкими, а більшої товщини – товстими. Тонкі дошки звать *тесом*.



**Рисунок 7.3 – Види лісоматеріалів:**

1 – колода; 2 – пластина; 3 – обапіл; 4 – четвeртина; 5 – брус; 6 – дошка обрізна; 7 – дошка необрізна

**Фанера** – дуже розповсюджений матеріал, який одержують глибокою переробкою деревини. Її виробляють, склеюючи під великим тиском декілька шарів шпона (тонкі листи, які лущать з деревини різних порід) таким чином, щоб волокна двох суміжних листів були взаємно перпендикулярні. Фанеру використовують для виробництва оздоблювальних матеріалів, дверей, перегородок, опалубки.

Серед виробів і конструкцій з деревини, які застосовують в будівництві, можна назвати:

- ферми, балки, крокви, стійки, каркаси;
- огорожувальні елементи і конструкції (стінові панелі і перегородки);
- вікна, двері;
- підлоги, паркетні вироби, плінтуси;

– фанера, ДВП, ДСП.

### 7.3 Поведінка деревини при дії високих температур

Деревина складається на 99 % з органічних речовин. Біля 50 % її маси складає *целюлоза*, а іншу частину – *лігнін* та геміцелюлоза, які вміщують речовини ароматичної природи, поліцукри, моноцукри, органічні кислоти.

Під дією струму тепла в деревині відбувається *піроліз*.

Піроліз целюлози протікає за двома різноманітними механізмами:

1) при 200-280 °С целюлоза в результаті дегідратації перетворюється на *вугілля* з виділенням негорючих газів та водяної пари CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. Вугілля здатне підтримувати горіння лише через тління.

2) при 280-340 °С целюлоза перетворюється на смолу, яка легко виділяє у великій кількості пальні гази.

При піролізі лігніну, який інтенсивно іде при температурі 350-500 °С, утворюється більш за все вугілля та *дьогтю*.

Характер будови деревини визначає її низьку теплопровідність і, одночасно, швидку займистість.

При впливі джерела запалювання відбувається швидке нагрівання тонкого шару, випаровування вологи і розклад деревини. Продукти, розкладу, що утворюються при температурах нижче 250 °С, містять, в основному, водяну пару, вуглекислий газ і малу кількість пальних газів (вони не загоряються).

При  $t = 250...260$  °С починає виділятися велика кількість окису вуглецю і метану, і виникає можливість запалення і самостійного горіння.

Мінімальна температура, при якій продукти розкладення здатні запалюватися від джерела запалення, – *температура запалення деревини*.

Після запалення верхній шар деревини нагрівається до  $t = 290...300$  °С, забезпечуючи максимальний вихід газоподібних продуктів і висоту полум'я. Верхній шар продовжує нагріватися до  $t = 500...700$  °С, і в результаті процесів розкладення перетворюється на *деревне вугілля*. Це деревне вугілля екранує поверхню від виходу пальних газів, але само не займається від надоліку кисню (який повністю витрачається в зоні полум'я). Приріст шару деревного вугілля відбувається за мірою прогрівання до 300 °С нижчезташованих шарів деревини, а його запалення і горіння настає, коли факел зменшується, і до поверхні починає надходити кисень.

Полум'я залишається тільки біля тріщин вугілля, де полегшений вихід пальних газів – продуктів розкладення деревини. Рівновага між швидкістю розкладення деревини, її прогріванням і вигоранням вугілля звичайно відповідає товщині шару вугілля 2-2,5 см. Коли вся деревина

перетвориться на деревне вугілля, спільне горіння продуктів розкладення і вугілля припиняється, і далі горить тільки вугілля (фаза *тління*).

Таким чином, при нагріванні деревини можна виділити дві основні фази:

**I фаза** (поглинання тепла, переважання CO та CO<sub>2</sub>):

110 °C – висихання і виділення летючих запашних речовин;

110–150 °C – пожовтіння деревини та підсилення виділення летючих речовин;

150–250 °C – поява коричневого забарвлення – початок обвуглювання та димоутворення.

**II фаза** (горіння, виділення тепла, витрата CH<sub>4</sub>):

а) горіння газів

250–280 °C – займання горючих газів від джерела запалення;

260–300 °C – горіння великим факелом;

б) горіння вуглецю

300–500 °C – інтенсивне утворення деревного вугілля. Екранування ним поверхні. Горіння малим факелом;

350–450 °C – самозаймання (при довгому прогріванні температура самозаймання знижується).

Завдяки позитивним властивостям, деревина, як будівельний матеріал, зберігає і зберігатиме свою важливість ще дуже довго. Але для підвищення її функціональних характеристик треба вжити заходів, які б сприяли зменшенню пожежної безпеки. Аналіз особливостей горіння деревини дає змогу намітити шляхи щодо зменшення горючості деревини та виробів з неї. Докладніше про це – в одинадцятій главі.

## ГЛАВА 8. ПОЛІМЕРНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

### 8.1 Склад і властивості пластмас

Полімерні матеріали розповсюджуються дуже швидко у різні сфери людської діяльності, у тому числі і в будівництво. Вони застосовуються у вигляді фарб, лаків, клеїв, мастик та ін. Дуже широко використовуються полімери для отримання пластичних мас (або пластмас), з яких виготовляються деякі будівельні конструкції, деталі та оздоблювальні матеріали.

**Пластмаси** - матеріали на основі органічних високомолекулярних речовин - полімерів, які мають у гарячому стані високу пластичність і твердіють, коли охолонуть.

Мікроструктура пластмас являє собою переплетіння довгих ланцюгів молекул різного ступеня розгалуженості. Подібність структури пластмас пояснює відносну близькість їх основних властивостей. Більшість пластмас має густину - в межах 1...2 г/см<sup>3</sup>. Вони виказують міцність на розрив до 80...140 МПа при високій деформативності. Їх пористість, як правило, можна регулювати в широких межах від 0 у лінолеуму до 98% у пінопласту.

Водопоглинення пластмас у масивному вигляді звичайно не більше 1%. Вони мають велику стійкість до дії води, кислот, лугів, солей.

Пластмаси мають низьку теплопровідність 0.23...0.7 Вт·м<sup>-1</sup>·град<sup>-1</sup> і великий коефіцієнт теплового розширення. Стійкість до дії тепла у них мала - до 100...200 °С (хоча фторопласти і кремнійорганічні пластмаси витримують до 300...500 °С).

Майже більшість пластмас схильна до такого недоліку як *старіння*, яке викликає зміни в структурі і складі полімеру під дією експлуатаційних чинників (сонячне світло, нагрівання, кисень та ін.). Це призводить до погіршення властивостей (деградації) пластмаси. Відбувається втрата еластичності, розтріскування, розкладання, "випотівання" пластифікатора, що викликає додаткове підвищення токсичності.

Більшість пластмас горючі. Їх пожежонебезпечні властивості характеризуються займистістю, інтенсивністю горіння, температурою запалення, теплотою згорання, димоутворенням і токсичністю при горінні.

### 8.1.1 Основні компоненти пластмас

Основною складовою частиною пластмаси (а для деяких видів і єдиною), її основою є полімерний матеріал або композиція полімерів. Але для надання пластмасі нових та спеціальних властивостей часто використовують органічні та неорганічні добавки: *наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники*.

Схема складу будь-якої пластмаси має такий вигляд:

**Пластмаса = полімер[и] + [наповнювачі + пластифікатори + стабілізатори + барвники]**



### 8.1.1.1 Полімери

**Полімери** – речовини, які складаються з мономерів, регулярно з'єднаних у ланцюг, розгалужену структуру або просторову решітку. **Мономери** – молекули, з яких утворюються полімери.

Серед ознак, за якими класифікують полімери, найчастіше зустрічається розрізнення за походженням, способом отримання та поведінкою при нагріванні.

За походженням розрізняють полімери **природні** (крохмаль, целюлоза, білки), які вже існують у полімеризованому стані, та **синтетичні** – ті, що одержують штучно з мономерів при реалізації хіміко-технологічних процесів.

Отримання синтетичних полімерів можливо двома способами: за реакціями полімеризації та поліконденсації.

**Полімеризація** – процес утворення полімеру послідовним приєднанням мономерів з ненасиченими зв'язками в результаті їхньої активації каталізатором або ініціатором.

**Поліконденсація** – процес послідовної взаємодії поліфункціональних (що мають дві або більше функціональних груп) низькомолекулярних речовин, при якому, окрім полімеру, утворюються низькомолекулярні побічні продукти ( $H_2O$ ,  $CO_2$  та ін.).

За поведінкою при нагріванні виявляються два види полімерів: *термопластичні і термореактивні*.

**Термопластичні полімери** здатні багаторазово розм'якати при нагріванні і твердіти при охолодженні. Звичайно, вони добре розчиняються в органічних розчинниках. Найчастіше до цієї групи відносяться полімери, що отримані при реакції полімеризації. Ці властивості зумовлені лінійною слабкогіллястою будовою молекул полімеру. Прикладом термопластичних полімерів є *поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, поліізобутилен, поліметилметакрилат, полістирол*.

**Поліетилен**,  $[-CH_2-CH_2-]_n$  – одержують із газу етилену, що утворюється при високотемпературній перегонці нафти. Являє собою роговидну прозору або слабкопрозору речовину щільністю  $0.94-0.97 \text{ г/см}^3$ . Розм'якшується при  $80-90 \text{ }^\circ\text{C}$ , плавиться при  $100...120 \text{ }^\circ\text{C}$ , зберігає еластичність при  $-70...+80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Стійкий до дії кислот, лугів, розчинників. З нього виробляють плівки, труби для холодного водопостачання і агресивних рідин, сантехнічні вироби, трубки для електропроводки. Температура займання поліетилену  $t_{\text{займ}} = 325...345 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура самозаймання  $t_{\text{с/з}} = 345...390 \text{ }^\circ\text{C}$ , але вже при  $150...250 \text{ }^\circ\text{C}$  з нього

починають виділятися *чадний (CO) та вуглекислий (CO<sub>2</sub>) гази*, ефіри, *формальдегід, ацетальдегід*, кислоти. Основні пожежонебезпечні властивості поліетилену та інших полімерів див. у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Пожежонебезпечні характеристики полімерів

Найменування матеріалу	Температура займання, $t_{з}$ , °C	Температура самозаймання $t_{з,з}$ , °C	Кисневий індекс, KI, %	Теплота згоряння, $Q_z$ , кДж·кг <sup>-1</sup>	Показник токсичності, $H_{Cl_{50}}$ , г·м <sup>-3</sup>
Полівінілхлорид	270-290	550-580	42-49	18000	40-120
Поліетилен	325-345	345-390	18	44000	-
Полікарбонат	522	550	40-48	-	-
Поліуретан	350-440	480-540	24-25	23000	24-29
Фенолформальдегід	450-460	510-545	30-35	21000	7-14

**Поліпропілен**,  $[-CH_2-CHCH_3-]_n$  – схожий на поліетилен, але більш тривкий. Температура розм'якшення 160-170 °C. Виробляють: оздоблювальні листи, плівки, труби, деталі хімічної апаратури. З точки зору пожежної небезпеки властивості поліпропілену майже такі самі, як і у поліетилену.

**Полівінілхлорид (ПВХ)**,  $[-CH_2-CHCl-]_n$  – прозорий, жорсткий матеріал, який має міцність  $R = 50$  МПа. Температура його розм'якшення  $t_{м'як} = 60 \dots 100$  °C, а плавлення -  $t_{плав} = 180 \dots 200$  °C. Він застосовується для виготовлення матеріалів для облицювання, покрівлі та електроізоляції, труб, лінолеуму, штучної шкіри, пінопластів. Температура займання ПВХ  $t_{займ} = 270 \dots 290$  °C, а самозаймання  $t_{c/3} = 550 \dots 580$  °C (див. табл. 8.1). У діапазоні температур 230...600 °C з нього випаровуються *хлористий водень (HCl), чадний (CO) та вуглекислий (CO<sub>2</sub>) гази* і навіть вільний *хлор*.

**Полізобутилен**,  $[-CH_2-C(CH_3)_2-]_n$  – нагадує каучук. Морозостійкий, має гарну адгезію до силікатних матеріалів. Застосовується для виготовлення плівок, герметизуючих прокладок, мастик для герметизації стиків крупнопанельних будинків.

**Полістирол**,  $[-CH_2-CHV-]_n$  (де V – бензолне кільце) – прозорий, крихкий, тривкий, легко забарвлюється і переробляється у виробі. Застосовується для виготовлення теплоізолюючих пінопластів, облицювальних плиток, гідроізоляційних плівок. Полістирол має особливо пожежонебезпечні властивості, бо він при горінні плавиться і розтріскується з великим виділенням диму і токсичних продуктів. Для нього температура самозаймання  $t_{c/3} = 750$  °C, а при температурах 260...400 °C з полістиролу виділяються *чадний газ (CO), цианістий водень (HCN), стирол*.

**Полівінілацетат**,  $[-CH_2-CHCOOCH_3-]_n$  – полімер з добрими клеючими властивостями. Він використовується для отримання клеїв, водоемульсійних фарб, шпаклівок і мастик, а також як додаток до бетонів і розчинів. Температура самозаймання цієї речовини  $t_{c/3} = 800$  °С.

**Поліметилметакрилат** ("*органічне скло*", "*акрил*" або "*Plexiglas*") – пропускає видиме і ультрафіолетове випромінювання. Міцність на стиск у цього матеріалу 103-110 МПа, світлопровідність 92 %, теплопровідність  $0.19 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ . Поставляється у вигляді листів та блоків. Застосовується для виготовлення прозорих огорож, труб. Температура займання цього матеріалу  $t_z = 180\dots 200$  °С, а самозаймання  $t_{c/3} = 425\dots 430$  °С. Він має велику теплоту згоряння і димоутворюючу здатність, вибухонебезпечність у пилоподібному стані. При спалюванні полімеру, крім *чадного газу*, не виділяються інші токсичні або отруйні речовини.

Спільна полімеризація декількох мономерів дозволяє одержувати сополімери – речовини, які поєднують властивості вхідних мономерів. Наприклад, ударотривкий полістирол одержують при сополімеризації стиролу і синтетичних каучуків.

**Термореактивні полімери** – ті, що необоротно твердіють при охолодженні в результаті утворення просторових розгалужених структур, з'єднаних короткими поперечними зв'язками. Вони не розчиняються в органічних розчинниках і не розм'якшуються при повторному нагріванні. Як правило, такі властивості мають речовини, отримані при реакції поліконденсації (наприклад: фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні полімери).

**Фенолформальдегідні** полімери – продукти, отримані з фенолу і формальдегіду у вигляді в'язкої рідини або легкоплавкої смоли, здатні необоротно твердіти при нагріванні. Матеріали на основі фенолформальдегідних олігомерів (ФФО) застосовують для виготовлення шаруватих пластиків (текстоліт), мінераловатних і електротехнічних виробів, пінопластів, водостійких лаків і клеїв для дерев'яних конструкцій. Температура займання фенолформальдегідів  $t_{займ} = 450\dots 460$  °С, а самозаймання  $t_{c/3} = 510\dots 545$  °С (табл. 8.1). При нагріванні до 250 °С і вище вони починають розкладатися на *фенол і формальдегід*.

**Карбамідні** полімери – одержують з *мочевини (карбаміду) і формальдегіду*. Вони застосовуються для виготовлення ДСП, клеєних дерев'яних конструкцій, шаруватих пластиків, лаків, клеїв і особливо легкої газонаповненої пластмаси (міпори). Температура їх самозаймання  $t_{c/3} = 530\dots 550$  °С (табл. 8.1). При температурах 200...250 °С з них випаровуються *чадний газ (CO), цианістий водень (HCN), аміак (NH<sub>3</sub>), альдегіди*.

**Епоксидні полімери** – високоміцні, хімічно стійкі, з гарною адгезією речовини. Застосовуються для виготовлення, склеювання і ремонту залізобетонних конструкцій, отримання полімербетонів та ін. Небезпечні випаровування *толуолу* з епоксидних полімерів виникають, починаючи вже з 100 °С.

**Поліефіри** – речовини на основі ненасичених олігоефірів – олігоефіракрілатів (ОЕА) і олігоефірмалеїнатів (ОЕМ). З них виробляють продукцію дуже великого спектра за механічними властивостями, теплостійкістю, пожежонебезпечними характеристиками. У будівництві поліефіри використовують для армування склопластиків і виготовлення будівельних блоків, перекриттів, лицевальних плит, монолітних покриттів підлог. З властивостей поліефірів типовими є температура займання  $t_{займ} = 350 \dots 440$  °С, самозаймання  $t_{c/3} = 410 \dots 440$  °С, кисневий індекс  $KI = 17 \dots 19$ , димостворююча здатність при горінні  $D_m = 850 \dots 930$ , теплота згоряння  $Q = 7190 \dots 9200$  кДж·моль<sup>-1</sup>. Склад і кількість небезпечних випаровувань при нагріванні поліефірів дуже сильно залежить від способу їх виробництва, складу застосованих полімерів, наповнювачів, антипіренів.

**Кремнійорганічні полімери** – речовини, що містять в основних і/або побічних ланцюгах кремній. Вони мають підвищену термостійкість (до 500 °С) і хімічну стійкість, добру сполучуваність із силікатними матеріалами. Застосовується в якості гідрофобизуючих додатків до бетонів і розчинів, для отримання атмосферостійких фасадних фарб.

**Поліуретани** – речовини, що містять в основному ланцюгу уретанові групи (-NH-CO-O-)<sub>n</sub>. Їх властивості залежать від присутності у ланцюгу різних типів зв'язку та функціональних груп. Поліуретани у будівництві застосовують для виготовлення сендвич-панелей, теплоізолюючих *пінопластів*, *поролону*, герметизації стиків, віконних блоків. Температура займання поліуретанів  $t_{займ} = 350 \dots 440$  °С, а самозаймання  $t_{c/3} = 480 \dots 540$  °С (табл. 8.1). При нагріванні вище 170 °С вони починають розкладатися на *чадний газ*, *ціаністий водень*, *метан*, етан, бутан та ін. з концентрацією випаровувань небезпечною для життя людини. Горіння поліуретанів супроводжується виділенням диму. Їх димостворююча здатність при тлінні становить  $D_m = 700 \dots 1000$ , а при горінні  $D_m = 300 \dots 500$ . У діапазоні температур 200...300 °С вони розкладаються з появою жовтого диму, у якому переважають ароматичні продукти. При підвищенні температури і, особливо, вище 800 °С виділяються азотовміщуючі речовини: *ціаністий водень*, *ацетонітрил*, *піридин*, *нітробензол* тощо.

### 8.1.1.2 Наповнювачі та інші компоненти пластмас

**Наповнювачі** – це речовини і матеріали, які додають у пластмасу для надання їй додаткових властивостей та зниження вартості. Вони можуть займати до 90 % об'єму. Спектр їх дії буває дуже широкий: зниження усадки, деформативності, горючості; підвищення термостійкості, міцності, атмосферостійкості, електропровідності, теплоізоляційних властивостей і т.д.

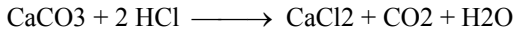
Класифікують наповнювачі за структурою:

- порошкові (деревне борошно, крейда, тальк, сажа);
- волокнаві (скловолокно, азбест, оргволокно);
- листові (папір, тканина, деревний шпон);
- з повітряними порами (до 90% об'єму газонаповнених пластмас).

Регулювання пожежонебезпечних властивостей пластмас за допомогою наповнювачів може бути проілюстроване на таких прикладах.

Додавання дрібнодисперсного порошку алюмосилікатів (цеоліту), гідроксидів алюмінію та магнію до композицій на основі поліетилену або епоксидних смол підвищує температуру самозаймання на 50-70 °С, знижує час самозатухання та втрати маси при горінні.

Вапняковий наповнювач в ПВХ може нейтралізувати випаровування хлористого водню за реакцією



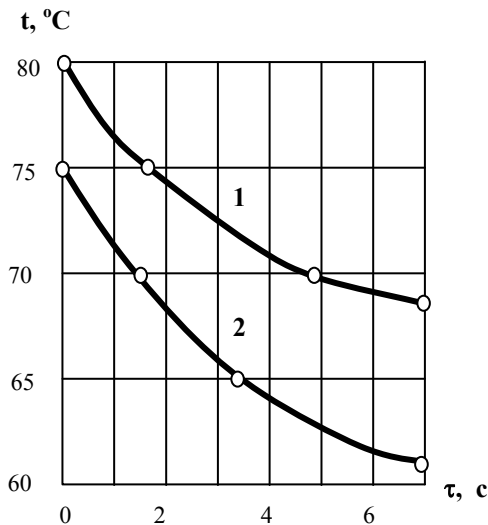
**Пластифікатори** – це речовини, що надають пластмасі більшу пластичність при нормальній температурі. Для цього звичайно використовують нелетучі органічні рідини, які добре сполучаються з полімером, наприклад, дібутилфталатом (ДБФ). Кількість пластифікатора може складати до 30-50% маси полімеру. Значення пластифікатора може бути дуже великим. Наприклад, із полівінілхлориду без пластифікатора виготовляють тривкі жорсткі труби, а при його додаванні - м'який еластичний лінолеум.

**Стабілізатори** – сприяють збереженню властивостей пластмас у часі (уповільнюють старіння).

**Отверджувачі** – скорочують час твердіння пластмаси, прискорюючи технологічний цикл.

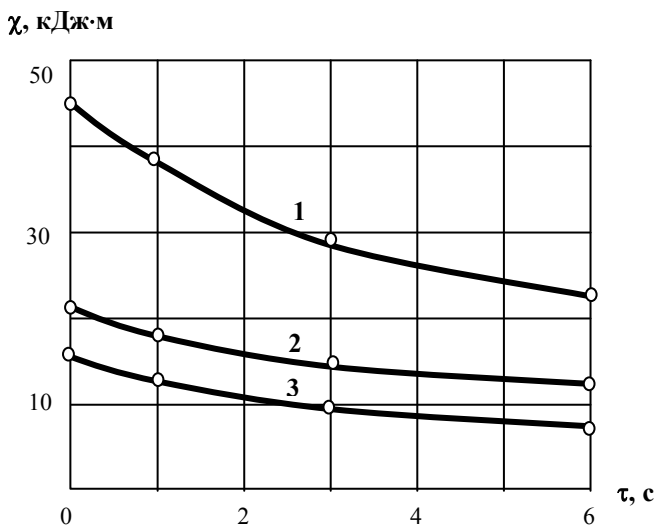
## 8.2 Види будівельних матеріалів і виробів з пластмас

Використанню пластмас у будівництві сприяють такі їх достоїнства, як: міцність за малої об'ємної маси, корозійна стійкість, гарна електро- і теплоізоляційна здатність, технологічність і дешевизна. Але вони мають і серйозні недоліки, які треба урахувати при їх використанні та експлуатації: горючість (для більшості), невисока теплостійкість (до 100-150 °С), повзучість навіть при кімнатній температурі, старіння при дії тепла та сонячних променів у поєднанні з киснем. Приклади теплостійкості та ударної в'язкості деяких полімерних матеріалів наведені на рис. 8.1 та 8.2.



**Рисунок 8.1** – Залежність теплостійкості виробів з ПВХ від часу дії полум'я:

Негативною стороною пластмас також є їх термічна деструкція, що починається вже при досить невеликому нагріванні. При цьому можуть виділятися дуже токсичні речовини: *оксид вуглецю* (ПДК 20 мг/м<sup>3</sup>), *хлорид вуглецю* (ПДК 5 мг/м<sup>3</sup>), *фенол* (ПДК 5 мг/м<sup>3</sup>), *формальдегід* (ПДК 1 мг/м<sup>3</sup>) та інші. Більшість пластмас у складах стабілізаторів, пігментів, наповнювачів вміщує сполуки різних небезпечних металів: свинцю, олова, цинку, кадмію. При 700 °С більшість цих металів переходить у газоподібний стан. У багатьох випадках речовини, що випаровуються, не взаємодіють між собою або утворюють такі сполуки, що дуже швидко розкладаються на менш небезпечні і не підвищують загальну токсичність. Але зустрічаються матеріали, продукти розкладу яких реагують між собою, утворюючи такі речовини, що їх загальна токсичність набагато більша, ніж сума токсичностей окремих реагентів. Наприклад, вільний *хлор*, що виділяється при деструкції ПВХ, за деяких умов може поєднуватися з оксидом вуглецю (продуктом піролізу поліетилену, полікарбонату або фенолформальдегіду) і в результаті утворювати дуже токсичну речовину – фосген СОСl<sub>2</sub> (ПДК 0.03 мг/м<sup>3</sup>).



**Рисунок 8.2 – Залежність ударної в'язкості полімерних будівельних матеріалів від часу дії полум'я:**

1 – покрівля ПВХ "Ondex"; 2 – фенолформальдегідний шарувато-паперовий лицювальний пластик; 3 – полікарбонатні панелі "Polygal"

Особливості поведінки пластмас при механічному навантаженні обумовлюють їх використання у будівництві тільки в несилкових конструкціях, які не мають несучих функцій. Пластмаси, в основному, застосовуються у таких виробках як:

- оздоблювальні матеріали (лінолеум, декоративні плівки і плитки, лицевальні панелі, паперово-шаруватий пластик);
- теплоізоляційні матеріали (піно-, поро-, сотопласти);
- гідроізоляційні матеріали (плівки, прокладки);
- погонажні вироби (поручні, плінтуси);
- труби;
- санітарно-технічні вироби;
- легкі огороджувальні конструкції;
- полімерні бетони.

У порівнянні з іншими будівельними матеріалами, пластмаси відносно коштовні. Тому їх використовують в максимально готових до застосування оздоблювальних матеріалах для стін і стель (шпалери, декоративні плівки, лицевальні панелі); погонажних виробів; підлог (лінолеум, плитки); в теплоізоляційних і гідроізоляційних матеріалах (спучені пластмаси, плівки, мастики); в санітарно-технічних виробках (труби для холодного і гарячого водопроводів, для каналізації); клеях, лаках, фарбах, додатках до будівельних розчинів і бетонів.

## 8.2.1 Конструкційно-оздоблювальні матеріали

Конструкційно-оздоблювальні матеріали випускають у виді плит, листів, рулонних плівкових матеріалів, плиток, плінтусів, поручнів, накладок, структурних панелей. У залежності від типу основної складової речовини, конструкційно-оздоблювальні матеріали поділяють на *склопластики, деревні пластики, полістирольні плитки, плівки та панелі з ПВХ*.

**Склопластики** – листовий матеріал, який одержують просочуванням скловолокна або склоткані термореактивними олігомерами (поліефірними, фенолформальдегідними, епоксидними полімерами) з наступним їх ствердженням. Їх об'ємна маса 1500-1700 кг/м<sup>3</sup>. Міцність при вигині таких матеріалів 200-500 МПа

Розрізняють 3 групи склопластиків, у залежності від виду і розташування скловолокон:

- *листовий склопластик* - плоский і хвилястий - на основі рубленого скловолокна;
- *склотекстоліт* - на основі склотканини;



– *склопластик СВМ* (скловолокнистий анізотропний матеріал). В ньому наповнювач - орієнтоване скловолокно з ниток, склеєних епоксидно-фенольним полімером.

Склопластики використовують для декоративного зовнішнього лицювання стін, улаштування покрівель, композиційних панелей, для виготовлення санітарно-технічних виробів (ванн, раковин, труб). СВМ через дорожнечу застосовують рідко, тільки для сильно навантажених деталей, які експлуатуються в агресивних середовищах.

Більшість склопластиків - горючі матеріали, що виділяють велику кількість тепла, з високою димоутворюючою здатністю і токсичністю продуктів згоряння. Існує 2 шляхи зниження горючості склопластиків: хімічна модифікація полімерів та введення антипіренів.

**Деревні пластики** – листові матеріали, одержувані гарячим пресуванням шпона, паперу, стружки, які просочувалися термореактивними полімерними сполучниками. Їхня міцність при вигині складає від 20 до 100 МПа. Серед деревних пластиків розрізняють деревно-шаруваті, паперово-шаруваті пластики, *деревноволокнисті (ДВП)* і *деревностружечні (ДСП)* плити. Вони використовуються для каркасних перегородок, лицювання стін, стель.

Деревні пластики витримують нагрівання тільки до 120 °С, легко запалюються, виділяють велику кількість тепла і сприяють розповсюдженню полум'я (ДСП і ДВП через 9-12 хв. після виникнення пожежі в приміщенні здатні миттєво запалюватися). Для зниження горючості деревних пластиків використовують просочування антипіренами і покриття виробів вогнезахисними складами, що случуються. Такі заходи дають змогу перевести лицювальні вироби (наприклад, шарувато-паперові плитки на основі ФФО) у групу важкогорючих матеріалів.

**Полістирольні плитки** – виготовляють із полістиролу за допомогою лиття під тиском або пресування. Їх використовують для лицювання стель, стін та підлог. Вони водо- і паронепроникні, хімічно стійкі, але легкозаймисті: плавляться і горять із сильним димоутворенням і виділенням токсичних продуктів.

**Декоративні плівкові матеріали** – плівки на основі і без основи – звичайно на основі ПВХ. Це водо- і хімічно стійкі матеріали, пофарбовані і декоративно оформлені, що використовують для опоряджувальних робіт, виготовлення з'єднувальних деталей. ПВХ - важкозаймистий матеріал і, тому широко розповсюджений.

**Лицювальні панелі** – вироби з ПВХ у вигляді профілів для склопакетів, лицювання стель, внутрішніх та зовнішніх стін. З відомих

постачальників цієї продукції можна назвати фірми "Decseuninck", "Rolvaplast", "Termoplast".

## 8.2.2 Покрівельні і гідроізоляційні матеріали

Матеріали для покрівель (дахів) виготовляють на основі органічних в'язучих (див. п.9.2.2) або полімерних речовин.

**1. Полімерні покрівельні матеріали** – використовують у вигляді профілю, черепиці, плиток.

**Профіль** для покрівель виробляють з *ПВХ, полікарбонату та акрилу*.

*ПВХ-профілі* поставляє відома фірма "Ondex". Покрівельні листи її виробництва зберігають високу стійкість до ударних навантажень при низьких і високих температурах, довговічні, хімічно стійкі. Вони відносяться до важкогорючих матеріалів, не утворюють крапель. Після короткочасної дії полум'я їх теплостійкість зменшується на 20 %, а ударна в'язкість на 60 % (рис. 8.1, 8.2 ).

*Акрилові плити* – інакше цей матеріал називають "органічне скло" або "Plexiglas". З цього матеріалу монтують покриття дахів і ліхтарів, перегородки, двері, елементи реклами. Його випускають двох видів: литий та екструдований. Плити з литого плексигласу мають кращі механічні характеристики, ніж з екструдованого, але і коштують більше.

*Полікарбонатні структурні панелі* за технологією "Polygal" і "Makolon", завдяки прозорості та легкості, використовують для покриття та заскління атріумних будівель, виробничих приміщень, теплиць, спортивних споруд, встановлення огорож і перегородок. Світлопровідність полікарбонату 88 %. Міцність його на стиск  $R_c = 80$  МПа, на розтягнення  $R_p = 60$  МПа, а на вигин  $R_{виг} = 90$  МПа. Але полікарбонатні панелі мають внутрішні ребра жорсткості і тому є значно міцнішими за скло та акрил. При високих температурах панелі плавляться, але не допускають розповсюдження полум'я. Температура самозаймання  $t_{c/3} = 570$  °С. Після короткочасної дії полум'я їх ударна в'язкість зменшується на 50 % (рис. 8.2).

**2. Полімерні гідроізоляційні матеріали** – застосовують у вигляді гідроізоляційних плівок або пастовидних герметиків для гідроізоляції дахів, підлог, фундаментів та забивання швів.

*Гідроізоляційні плівки*, у залежності від типу матеріалу, бувають *поліетиленові, ПВХ* та ін. Їх можна клеювати, зварювати для влаштування не тільки покриттів будівель, але й для басейнів, резервуарів. Вони довговічні, надійні і прості в застосуванні.

**Пастовидні герметики** застосовують для герметизації стиків у стінових панелях, улаштування швів між деталями з бетону, металу, кераміки, скла. Ці герметики виробляють на основі:

- *поліізобутилена* - мастики УМС-50, УМ-20, УМ-40 (цифра – межа температури);
- *тіоколових каучуків* - мастики ГС-1, У-30М. Вони водостійкі, добре прилипають до бетону, зберігають еластичність в діапазоні -50...+100 °С.

### 8.2.3 Матеріали для підлог

Серед матеріалів для підлог розрізняють рулонні, плиточні та монолітні (суцільні) покриття.

**Рулонні матеріали** – різноманітні види лінолеуму, що розрізняються за типом матеріалу (ПВХ, алкідний, коллоксиліновий).

**ПВХ-лінолеум** випускають безосновний (одно- і багатошаровий), на тканевій основі і теплозвукоізоляційний (повстяний або пористий полімерний). Найбільш відомі ПВХ-лінолеуми фірм "Tarkett", "Skundy", "Solido", "Forbo". Ці вироби рекламуються як важкогорючі матеріали.

**Алкідний лінолеум** одержують нанесенням на джутову тканину алкідного полімеру з наповнювачами. За якістю він вище ПВХ лінолеуму, але дорожче.

**Плиткові матеріали** – плитки (ПВХ, полістирольні, полівінілацетатні). З них тільки полівінілацетатні плитки важкогорючі. За умовами експлуатації матеріали для підлоги, за рахунок наклейки або укладки на горизонтальній поверхні, важче запалюються, ніж стінові.

**Монолітні (суцільні) покриття** – мастичні склади на основі полімерів, покриття на основі бітумів і полімерцементного бетону. Такі підлоги хімічно стійкі та зносостійкі, добре опираються ударним навантаженням, негорючі або важкогорючі.

### 8.2.4 Теплоізоляційні матеріали

Серед полімерних матеріалів дуже широко представлені речовини з пористою структурою, які використовуються для тепло- та звукоізоляції.

Пористі пластмаси класифікують за механічними характеристиками: жорсткі і пружні (**поролон**). В будівництві, в основному, застосовують жорсткі пористі пластмаси, які за характером пор поділяють на **пінопласти** (пори закриті) та **поропласти** (пори сполучаються). Перші використовуються для виготовлення теплоізоляційних матеріалів, а другі - для звукоізоляції.

Пінопласти отримують на основі як термопластичних, так і термореактивних полімерів. Основою для пінопластів частіше стають: *пінополістирол, ПВХ, пінополіуретан, фенолоформальдегідні та епоксидні полімери.*

**Пінополістирол** – виробляють марок ПС-1, ПС-4, ПСБ і ПСБ-С у вигляді плит. В нього густина  $\rho = 30...200 \text{ кг/м}^3$ ; а теплопровідність  $\lambda = 0.031...0.054 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ . Він використовується при температурах від  $-100$  до  $+60^\circ\text{C}$  для теплоізоляції стін, перекриттів, підвісних стель, улаштування бетонних підлог. Пінополістирол горить зі швидкістю до  $5 \text{ м/хв}$  з виділенням диму, сажі і токсичних продуктів (вони можуть зберігатися у порах матеріалу, що не згорів). З токсичних продуктів горіння більш за все випаровується діоксиду та оксиду вуглецю, *цианістого водню, бензолу, оксидів азоту.* Пожежонебезпечні характеристики пінополістиролу (табл. 8.2).

Обробка поверхні пінополістиролу вогнезахисною сумішшю ФАМ-2 переводить його в групу важкогорючих матеріалів. Додавання інших *антипіренів* (хлорпарафінів, триоксиду сурми, тетрабромпарахлорсилолу), незначною мірою знижуючи горючість, підвищує димоутворення і токсичність продуктів горіння.

Таблиця 8.2 – Пожежонебезпечні характеристики пінопластів

Найменування, марка	Температура займання, $t_3, ^\circ\text{C}$	Температура самозаймання $t_{сз}, ^\circ\text{C}$	Теплота згорання, $Q, \text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$	Коефіцієнт димоутворення (горіння)
ПС-1	210...310	440	31000...42000	1048
Вініпор	400...426	500	20000	920
ППУ-3С	325...345	600...650	20000...30000	532
Віларес-400	490	580	25000	5
Міпора	397	540	18000	400

**Пінопласти на основі ПВХ** (наприклад, ПВХ-1 або "Вініпор") відносяться до групи горючих, але важкозаймистих матеріалів. Температура їх займання  $T_3 = 400...426^\circ\text{C}$ , а самозаймання  $T_{с/3} = 500^\circ\text{C}$  при теплоті згорання  $20000 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ . При згорянні цих пінопластів утворюється велика кількість диму. Продукти горіння токсичні (особливо НСІ).

**Пінополіуретан (ППУ)** – виробляють у вигляді жорстких плит або м'яких еластичних рулонів. В нього густина  $\rho = 30...200 \text{ кг/м}^3$ , а теплопровідність  $\lambda = 0.032...0.058 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ . Межі міцності плитних

виробів на стиск  $R_{ст}=3.5$  МПа, а на вигин  $R_{виг}=5$  МПа. Застосовується пінополіуретан у діапазоні температур  $-160...+150^{\circ}\text{C}$  для теплоізоляції стінових панелей та полегшених стін, перекриттів, труб, а також для герметизації стиків. Пожежонебезпечні характеристики пінополіуретану подібні до таких самих характеристик у пінополістиролу (табл. 8.2). При горінні виділяються токсичні речовини: діоксид та *оксид вуглецю, цианістий водень, оксиди азоту, фенол*. Застосування антипіренів у таких матеріалів як ППУ-3С, ППУ-13, ППУ-304Н, ППУ-328Н знижує горючість і займистість, але при горінні розвиваються більш високі температури і утворюється більше токсичних речовин.

**Пінопласти на основі фенолоформальдегідних полімерів** мають густину порядку  $\rho = 80$  кг/м<sup>3</sup>. Вони характеризуються підвищеною теплостійкістю, малою горючістю і димоутворюючою здатністю (табл. 8.2). Пінопласти марок ФРП-1, ФЛ-1, "Віларес-400", "Резопен" відносяться до важкозаймистих і важкогорючих матеріалів. При термодеструкції з них виділяються *чадний газ, фенол, формальдегід, аміак*.

**Сотопласти** – теплоізоляційні матеріали з чарунками у вигляді щільників. Стінки чарунок виробляють з паперу, склотканини, бавовняної тканини, ДВП, які просочують синтетичними полімерами. Теплопровідність сотопластів  $\lambda = 0.046...0.058$  Вт·м<sup>-1</sup>·град<sup>-1</sup>.

## 8.2.5 Полімерні бетони

Використання цементних бетонів у деяких випадках може бути обмежено притаманними їм недоліками:

- пористість робить цементні бетони проникними для рідин, тобто зменшує морозостійкість;
- свіжий бетон погано зчеплюється з тим, що укладався раніше;
- недостатня міцність при розтягненні та вигині;
- руйнування під дією кислот і деяких солей.

Уникнути цих недоліків вдасться за допомогою використання у складі бетонів полімерних речовин. За способом їх застосування розрізняють *полімерцементні матеріали, бетонополімери та полімербетони*.

**Полімерцементний матеріал (розчин або бетон)** утворюють додаванням у відповідну суміш в невеликих кількостях (5...10%мас) полімерної речовини (наприклад, водорозчинного фенолформальдегіду або диспергованого полівінілацетату). Отримано таким чином суміш має гарну адгезію до інших матеріалів, зносостійкість і ударну міцність. Вона використовується для покриттів підлог, улаштування резервуарів.

**Бетонополімер** – бетон, який після твердіння просочується мономерами, що полімеризуються після спеціальної обробки. Така

операція підвищує міцність бетону на стиск до 100 МПа, а також морозота зносостійкість. В якості мономерів використовують *стирол* та метілметакрилат.

**Полімербетон** – бетон, у якому в якості в'язучого застосовують термореактивні полімери (епоксидні, поліефірні або фенолформальдегідні) разом з отверджувачем і тонкомолотим мінеральним наповнювачем. Твердіння такої суміші в нормальних умовах завершується за 12...24 години. Такі матеріали мають велику міцність на стиск ( $R_{ст} = 60...100$  МПа) і вигин ( $R_{виг} = 20...40$  МПа), високу адгезію, зносо- та морозостійкість, хімічну стійкість. Але в них є й недоліки: недостатня термостійкість, підвищена деформативність, вони дуже коштовні. Полімербетони використовують для проведення ремонтних робіт та улаштування захисних покриттів.

## ГЛАВА 9. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ

### 9.1 Основні властивості бітумних та дьогтьових в'язучих

Групу органічних в'язучих речовин поряд з полімерами й органічними клеями утворюють бітумні і дьогтьові в'язучі речовини, до складу яких входять бітуми або дьогті. Цінними властивостями бітумних і дьогтьових матеріалів є:

- водостійкість;
- водонепроникність;
- стійкість до дії кислот, лугів, агресивних середовищ рідин і газів;
- здатність міцно зчеплюватись з деревиною, камінням, металами.

**Бітумні в'язучі** мають найбільш широке застосування у будівництві і виробництві будівельних матеріалів. Вони можуть бути як природними, що зустрічаються у вигляді окремих скопищ або просочують гірські породи, так і штучними, які одержують при переробці нафти. В основному у промисловості використовуються штучні нафтові *бітуми*. Їх одержують з нафти шляхом обробки залишків, що утворилися при її фракційній перегонці на нафтопереробних заводах.

**Бітуми** складаються з масел, смол, асфальтенів, карбенів та карбоїдів, або, іншими словами, з суміші високомолекулярних вуглеводнів, головним чином, метанового ( $C_nH_{2n+2}$ ) і нафтенового ( $C_nH_{2n}$ ) рядів та їх кисневих, сіркових і азотистих похідних. Їх щільність близька до  $1 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ .

Елементарний хімічний склад усіх бітумів достатньо схожий. В них 70...87 % вуглецю, до 15 % водню, до 10 % кисню, до 1.5 % сірки і невелика кількість азоту. За консистенцією при нормальних умовах бітуми можуть бути твердими, напівтвердими і рідкими. Температура розм'якшення твердих бітумів у залежності від складу вагається у межах 30...130 °С. Бітуми не втрачають властивостей при нагріванні до 165 °С. Їх температура спалаху у закритому тиглі 212...270 °С, температура займання  $t_3 = 300...351$  °С, а самозаймання –  $t_{c/3} = 380...397$  °С.

Найважливішими властивостями бітумів для їх використання у будівництві є здатність:

- 1) при нагріванні до 8...170 °С або додаванні розріджувачів переходити у в'язкорідкий стан і об'єднуватися з камінням, деревиною, металами;
- 2) при зниженні температури до 20...25 °С і нижче або випаровуванні розріджувача знову густіти, твердіти до каменеподібного стану і утворювати з введеними в них твердими компонентами єдиний матеріал;
- 3) додавати гідрофобні (водовідштовхуючі) властивості матеріалам, які були оброблені бітумами.

За призначенням нафтові бітуми розподіляють на будівельні, покрівельні і дорожні. 60 % бітумів використовують у дорожньому будівництві, 40 % – для виготовлення покрівельних і гідроізоляційних матеріалів. Якість твердих і напівтвердих бітумів (та розподіл їх на марки) визначають за такими показниками:

- в'язкість;
- температура розм'якшення;
- розтяжність (пластичність);
- температура спалаху;
- температура крихкості;
- ступінь зчеплення.

*В'язкість* бітумів визначають на стандартному приладі – *пенетрометрі* за проникненням голки у зразок під навантаженням 100 г за 5 с при 25 °С або під навантаженням 200 г за 30с при 0 °С. *Температура розм'якшення* фіксується на стандартному приладі "кільце і куля" за станом, коли шар бітуму у кільці при поступовому нагріванні в'язко деформується під вагою вільно лежачої сталевий кульки. *Пластичність* бітуму характеризується за розтяжністю зразків спеціальної форми (у вигляді вісімки) у стандартному приладі *дуктилометрі* при температурах 25 °С та 0 °С.

При маркуванні бітумів позначається: їх походження ("Н" – нафтовий бітум); призначення ("К" – покрівельні, "Д" – шляхові); для будівельних та

покрівельних – температура розм'якшення і в'язкість, а для дорожніх – тільки в'язкість (табл. 9.1).

**Дьогтьові в'язучі** – штучні матеріали, що одержують при переробці твердих видів палива – коксу, вугілля, деревини. *Дьоготь* – це чорна масляниста рідина, вельми багатоскладова, щільністю 1.12–1.28 г·см<sup>-3</sup>. У неї температура спалаху  $t_{сп} = 76...81$  °С, займання  $t_3 = 99$  °С, самозаймання  $t_{с/з} = 357...399$  °С.

У будівництві використовують не сирий дьоготь, а матеріали, виділені з нього при фракційній розгонці: дистильований дьоготь, *антраценове масло* і твердий залишок – *пек*. Сплавленням антраценового масла та пеку отримують так званий складений дьоготь, який найчастіше застосовують для виробництва дьогтьових будівельних матеріалів.

Властивості дьогтьових в'язучих, в основному, ті ж, що й у бітумів, але вони відрізняються меншою теплостійкістю і стабільністю властивостей у часі, крихкістю за низьких температур, значною токсичністю, більшою пожежною небезпекою. Тому дьогтьові матеріали зараз застосовують значно рідше бітумних і, в основному, в дорожньому будівництві для нижніх шарів двошарових покриттів.

Таблиця 9.1 – Основні властивості нафтових бітумів

Марка бітуму	Глибина проникнення голки при 25°С, h·10 мм	Розтяжність при 25°С, см, не менше	Температура, °С, не нижче	
			розм'якшення	спалаху
<b>Бітуми нафтові будівельні</b>				
БН-50/50	41-60	40	50	220
БН-70/30	21-10	3	70	230
БН-90/10	5-20	1	90	240
<b>Бітуми нафтові покрівельні</b>				
БНК-45/180	140-220	не нормують	40-50	240
БНК-90/40	35-45	"	85-95	240
БНК-90/30	25-35	"	85-95	240
<b>Бітуми нафтові дорожні</b>				
БНД 40/60	40-60	40	13	220



БНД 60/90	61-91	50	47	220
БНД 90/30	91-130	60	43	220
БНД 130/200	131-200	65	39	220
БНД 200/300	201-300	–	35	200

## 9.2 Види будівельних матеріалів на основі органічних в'язучих

На основі органічних в'язучих виробляють велику кількість матеріалів і виробів для будівництва:

- емульсії;
- пасти;
- асфальтові бетони і розчини;
- мастики;
- рулонні покрівельні і гідроізоляційні матеріали;
- деякі лаки і інш.

### 9.2.1 Емульсії, пасти, асфальтові бетони

Для більш раціонального використання позитивних властивостей бітумів і дьогтьових в'язучих на їх основі готують змішані в'язучі, до яких відносяться бітумно-дьогтьові, бітумо-дьогтьополімерні матеріали, а також емульсії і пасти.

**Бітумні і дьогтьові емульсії** являють собою в'язучі матеріали рідкої консистенції, які готують з двох компонентів, що не змішуються між собою: бітуму (або дьогтю) і води. Для об'єднання цих речовин застосовують третій компонент – *емульгатор* – рідку поверхнево-активну речовину, яка надає емульсіям і пастам стійкість. Бітумні і дьогтьові емульсії застосовують у дорожньому будівництві, для улаштування захисних паро- і гідроізоляційних покриттів, ґрунтування основи під гідроізоляцію, приклеювання рулонних матеріалів.

**Бітумні пасти** є різновидністю емульсій сметаноподібної консистенції, де у якості емульгатора використовують тонкодисперсні мінеральні порошки (вапнякові, глиняні, трепельні). Найбільш широко бітумні пасти застосовують у гідроізоляційних роботах.

**Асфальтовим бетоном** називають штучний будівельний матеріал, який отримують у результаті охолодження раціонально підібраної,

ретьельно перемішаної і ущільненої маси, що складається з бітуму, мінерального порошку, піску та щебеню. Температура його самозаймання  $t_{c/3} = 485$  °С. Асфальтові бетони класифікують за такими ознаками:

- а) за призначенням (дорожні, тротуарні, аеродромні, гідротехнічні, промислові, для підлог);
- б) за зернистістю (крупнозернисті з щебенем до 40 мм, дрібнозернисті з щебенем до 15 мм, піщані з зернами до 5 мм);
- в) за маркою використаного бітуму;
- в) за способом застосування (гарячі, теплі та холодні).

Гарячі асфальтобетони виготовляють при температурі 140-180 °С і укладають при 130-160 °С; теплі (на бітумах пониженої в'язкості) – відповідно при 90-160 °С і 30-100 °С. Холодні асфальтобетони готують на рідких бітумах при 80-120 °С або на бітумних емульсіях і укладають навіть при нормальній температурі.

### 9.2.2 Покрівельні, гідроізоляційні і герметизуючі матеріали

Покрівельні, гідроізоляційні і герметизуючі матеріали дозволяють надійно довгий час експлуатувати споруди при різноманітних атмосферних впливах. Їх випускають у вигляді *рулонних матеріалів, мастик, герметиків* і застосовують для улаштування покрівель, захисту фундаментів і підлог від вологи, герметизації стиків в огорожуючих конструкціях. Покрівлю, яку виготовляють з рулонних матеріалів, називають м'якою. В залежності від кліматичних і експлуатаційних умов рулонні матеріали укладають в один або декілька шарів, які утворюють суцільне покриття, що називають покрівельною ковдрою.

Покрівельні матеріали повинні бути не тільки міцними, але й тепло-, водо- і атмосферостійкими, водонепроникними. Гідроізоляційні матеріали, крім властивостей, притаманних покрівельним, повинні мати підвищену міцність і водонепроникність, хімічну стійкість та еластичність. Якість рулонних покрівельних матеріалів визначається за такими показниками:

- розмір і маса рулонів;
- вид просочувальної і покрівельної маси;
- якість просочення і розшаровуваність картону;
- межа міцності при розтягненні;
- гнучкість;
- кількість покрівельної маси;
- водонепроникнення.

Переліченим вимогам у значній мірі відповідають матеріали, вироблені з бітумів і дьогтів, які поділяють за зовнішнім виглядом на рулонні, листові і обмазувальні (*мастики, пасти, емульсії*) матеріали, а за видом в'язучих – на бітумні, дьогтьові, гудрокамові, гумобітумні, бітумо- і дьогтьополімерні.

**1. Рулонні покрівельні і гідроізоляційні матеріали** виробляють основними і безосновними.

**Рулонні основні матеріали** мають основу (*покрівельний картон, склотканину, склопovсть, металеву фольгу, азбестовий картон* чи інш.), яку обробляють органічним в'язучим.

Рулонні матеріали, що мають основу, розподіляють на два види: покривні і безпокривні. Покривні основні матеріали одержують просоченням основи органічним в'язучим і нанесенням на поверхню з обох сторін покривного шару з більш тугоплавких органічних в'язучих речовин з додатками мінеральних наповнювачів, антисептиків тощо. Безпокривні матеріали покривного шару не мають. Наприклад, до першого виду відносять *руберойд, склоруберойд, склоізол, гідроізол, толь*; до другого – *пергамін*.

***Руберойд*** – рулонний матеріал, який виробляють шляхом просочування покрівельного картону м'якими нафтовими бітумами і наступного покриття з обох сторін тугоплавкими бітумами. Відповідно до призначення його поділяють на покрівельний (для верхнього шару покрівельної ковдри) та підкладний (для нижніх шарів ковдри). У підкладного руберойду з обох сторін роблять пилоподібну посипку (щоб уникнути злипання рулону). У покрівельному руберойді для зовнішньої площини посипку роблять крупнозернистою або лускоподібною, а для нижньої – пилоподібною. Такий матеріал краще сприймає атмосферні та механічні впливи. Покрівельний картон виробляють з суміші бавовняних і шерстяних ганчірок, паперової макулатури та целюлози. Він має високу всмоктувальну здатність і міцність на розрив. Випускають картон за всмоктувальною здатністю марок А, Б і В та за масою (у грамах) 1 м<sup>2</sup> картону: 420, 350, 250 (наприклад, А-420; Б-250, В-350). В залежності від марки картону, призначення, виду посипки лицьової поверхні, руберойд поділяють на 14 марок: наприклад, РКК-420А; РКК-350Б; РКМ-250Б; РПМ-350А; РПП-250В; РКЧ-350Б. У визначенні марки перша літера "Р" означає – руберойд; друга літера - "К" чи "П" – покрівельний або підкладний; третя літера - "К", "М", "П", "Ч" – вид посипки (крупнозерниста, дрібнозерниста, пилоподібна, лускоподібна); числа показують марку картону. Руберойд – горючий матеріал: температура його

займання  $t_3 = 300...310$  °С, а самозаймання –  $t_{c/3} = 400$  °С; при горінні він виділяє тепло  $Q = 29000...30000$  кДж/кг.

**Склоруберойд і склоізол** – виготовляють двостороннім нанесенням бітумного, резино-бітумного або бітумно-полімерного в'язучого на скловолокнисту основу. Ці матеріали, що укладаються на гарячих і холодних бітумних мастиках, більш довговічні і застосовуються для покриття багатошарових плоских водоналивних покрівель, для гідро- і пароізоляції.

**Гідроізол** – азбестовий картон, просочений нафтовим окисленням бітумом, витримує робочу температуру до 40 °С.

**Толь** – матеріал, аналогічний до руберойду, але для його вироблення картон просочують дьогтем. Цей матеріал випускають як покривним, так і безпокривним (маркують ТКК і ТКП). Як і руберойд, він горить: температура його займання  $t_3 = 260...270$  °С, а самозаймання –  $t_{c/3} = 460$  °С; при горінні він виділяє тепло  $Q = 15900...16000$  кДж/кг. Толь не може конкурувати з руберойдом за міцністю і довговічністю. Він виділяє токсичні випаровування. Але це дуже дешевий покрівельний матеріал, і тому він використовується на невідповідальних та тимчасових об'єктах.

**Пергамін** – рулонний матеріал, виготовлений просоченням бітумом покрівельного картону без покривного шару. Його використовують для настилання нижніх та внутрішніх шарів покрівельної ковдри.

З рулонних безосновних матеріалів у будівництві застосовують *ізол* та *брізол*.

**Ізол** – рулонний безосновний матеріал, що виготовляється вальцюванням суміші резинобітумного в'язучого, азбестових волокон і пластифікатора. Застосовується для оклеєчної гідроізоляції (гарячим бітумом або мастикою) фундаментів, підвалів, басейнів, резервуарів, антикорозійного захисту трубопроводів.

**Брізол** – рулонний безосновний матеріал, що виготовляється методом вальцювання суміші нафтового бітуму, гумової кришки, азбестових волокон і пластифікатора. Температура його займання  $t_3 = 345$  °С, а самозаймання –  $t_{c/3} = 410$  °С. Застосовується брізол для гідроізоляції підземних споруд, антикорозійного захисту трубопроводів.

**2. Мастики** – пластичні речовини, що одержують змішуванням органічних в'язучих з мінеральними наповнювачами та деякими додатками (наприклад, пластифікаторами). Мастики повинні зберігати твердість при  $t = 18...20$  °С, а при нагріванні до 130°С легко розподілятися по поверхні шаром товщиною до 2 см. До властивостей, що характеризують їх якість, відносяться:

- теплостійкість (відсутність оплавлення, сповзання склеєних мастикою зразків);
- гнучкість зразків з шаром мастики;
- клеюча здатність;
- температура розм'якшення;
- вміст наповнювача після нагрівання.

В залежності від виду застосованого в'язучого мастики поділяють на: бітумні, бітумно-гумові, дьогтьові, бітумнодьогтьові, бітумно- і дьогтеполімерні. А за способом виготовлення і застосування розрізняють гарячі і холодні мастики.

**Гарячі мастики** використовують для:

- склеювання рулонних матеріалів при улаштуванні багат шарових покрівель;
- улаштування мастичних безрулонних покрівель, у тому числі й армованих волокнистими скломатеріалами;
- улаштування пароізоляції при захисті готових рулонних покрівель зовні.

До складу гарячої бітумної мастики входять 70-80 % бітуму БНК 45/80, 15-25 % наповнювачів, 5 % антисептика. При маркуванні гарячої покрівельної мастики перші літери означають її призначення, матеріал (бітум чи дьоготь) та умови використання, а цифри – теплостійкість у °С (наприклад, МБК-Г-100, МДК-Г-60, МБК-Г-55).

**Холодні мастики** використовують при улаштуванні покрівель з рулонних матеріалів. Вони добре склеюють бітумні рулонні матеріали між собою і приклеюють їх до основи. Холодні мастики складаються з розведеного органічного в'язучого та бітумних паст (наприклад, з важкоплавкого бітуму БНК 90/40, вапна і солярового мастила). Їх маркування подібне до гарячих мастик (наприклад, МБК-Х-70).

**Бітумно-гумові ізоляційні мастики** (МБР-65, МБР-100 та ін.) складаються з бітуму, наповнювача (гумової кришки), пластифікатора-антисептика.

**3. Герметики** – матеріали, що використовують для ущільнення стиків зовнішніх стінових панелей, які забезпечують тепло-, гідро-, звукоізоляцію, повітронепроникність споруд. До них відносяться *ізол*, *прокладний пороізол*, різні мастики.

Бітуми і дьогті являють собою органічні речовини, тому усі матеріали, до складу яких вони входять, є горючими.

Рубероїдні і толеві покрівлі можуть спалахувати навіть від маломіцних джерел запалювання, таких як іскра, і продовжують горіти самостійно, виділяючи велику кількість густого чорного диму. При горінні

бітуми і дьогті пом'якшуються і розтікаються, що значно ускладнює локалізацію пожежі. Особливо велика небезпека виникнення пожежі у період монтажу покрівель, бо для укладання на гарячих мастиках, гарячого приклеювання, зварювання швів часто запроваджуються вогневі роботи.

Найбільш розповсюдженим ефективним засобом зниження займистості покрівель, що улаштовані з бітумних і дьогтьових матеріалів, є посипка їх піском, засипка суцільним шаром гравію або шлаку. Деякий ефект дає покриття рулонних матеріалів фольгою. Таке покриття не спалахе від іскор.

Треба мати на увазі, що рулонні матеріали на основі бітумів і дьогтів у згорнутому виді здатні до самозапалення. Це треба враховувати при складуванні таких матеріалів.

## ГЛАВА 10. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ

### 10.1 Визначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів і виробів

**Теплоізоляційними** називають матеріали і вироби, що застосовують у житлових, виробничих і інших спорудах, а також у теплових установках, трубопроводах і камерах холодильників з метою зменшення теплообміну з навколишнім середовищем. Теплоізоляційні матеріали мають високоніздрювату будову і, в наслідок цього, невелику щільність (не більше  $600 \text{ кг/м}^3$ ) і низьку теплопровідність (не більше  $0,17 \text{ Вт м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ).

За видом вихідної сировини теплоізоляційні матеріали поділяють на дві групи:

- 1) органічні, що складаються з різноманітних рослинних волокон або з пористої пластмаси: деревоволокнисті і деревостружкові плити, комишит-торф'яні плити, вироби з пластмас і ін.;
- 2) неорганічні, які одержують на основі мінеральної сировини – гірських порід, шлаків, азбесту, скла та ін.: мінеральна вата і вироби з неї, скляне волокно і вироби з нього, матеріали на основі азбесту, ніздрюваті бетони і ін.

Деякі теплоізоляційні матеріали складаються з органічних і неорганічних композицій: фіброліт, гіпсоволокнисті і мінераловатні плити.

За зовнішнім виглядом і формою теплоізоляційні матеріали розподіляють на сипучі і штучні.

Сипучі матеріали являють собою рихлі маси порошкоподібної,

зернистої або волокнистої будови. Їх застосовують у сухому стані для засипки порожнини стін, міжповерхових перекриттів (мінеральна вата, керамзитовий гравій). Деякі порошкоподібні матеріали змішують з водою і у вигляді мастик наносять на поверхню трубопроводів і гарячого устаткування, яке необхідно ізолювати.

Окремі штучні матеріали мають певну форму і носять назву “теплоізоляційні вироби”. Їх випускають у вигляді плит, листів, блоків, цегли, повсті, матів, рулонів, шнурів, фасонних виробів (сегменти, шкаралупи) і ін.

Застосування теплоізолюючих матеріалів дозволяє зменшити товщину захисних конструкцій, вагу будівлі, знизити витрати, скоротити витрати палива на опалення будівель і технологічні потреби.

За характером застосування відрізняють матеріали, що використовують для ізоляції конструкцій, які знаходяться у звичайних температурних умовах (будівельні теплоізоляційні матеріали), і для ізоляції гарячих поверхонь (монтажні теплоізоляційні матеріали). Деякі теплоізоляційні матеріали можуть застосовуватися як для утеплення будівельних конструкцій, так і для ізоляції гарячих поверхонь (*мінеральна і скляна вата, піноскло*, ніздрюваті бетони та ін).

В залежності від жорсткості (відносної деформації стиску) під навантаженням 2 кПа, теплоізоляційні матеріали розподіляють на м'які (стисливість більше 30%), напівжорсткі (стисливість 6 – 30%), *жорсткі* (стисливість під навантаженням 4 кПа до 10%) і тверді (стисливість під навантаженням 10 кПа до 10%).

Важливою характеристикою теплоізоляційних матеріалів є *теплопровідність*, за величиною якої їх розподіляють на три класи:

- клас А – малотеплопровідні [ $\lambda < 0,058 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ ];
- клас Б – середньотеплопровідні [ $\lambda = 0,058 - 0,16 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ ];
- клас С – підвищеної теплопровідності [ $\lambda \geq 0,18 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ ].

Через складність визначення теплопровідності на практиці теплоізоляційні матеріали, як правило, класифікують за показником щільності, значення якої з відомим ступенем наближення дає уяву про теплопровідність матеріалу.

Усі теплоізоляційні матеріали за *щільністю* ( $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) розподіляють на особливо легкі, які мають марки 15, 25, 35, 50, 75, 100, легкі – 125, 150, 175, 200, 250 і важкі – 400, 450, 500, 600.

## 10.2 Будова і властивості теплоізоляційних матеріалів

З усіх середовищ, не враховуючи безповітряний простір, найменшу теплопровідність має повітря, особливо коли воно знаходиться у порах матеріалу, тобто є малорухожим ( $\lambda = 0,023 \text{ Вт м}^{-1}\text{град}^{-1}$ ). Тому матеріали для теплової ізоляції готують високопористими, а значить – легкими. Звичайно, пористість теплоізоляційних матеріалів більше 50 %, а деякі найбільш ефективні теплоізоляційні матеріали, наприклад, ніздрюваті пластмаси, нібито збудовані з повітря (пори складають 90 – 98 %, а стінки тільки 2 – 10 % від усього об'єму).

Теплоізоляційні матеріали можуть мати таку будову:

- ніздрювату (ніздрюваті бетони, піноскло, газонаповнені пластмаси);
- зернисту (сипучі матеріали з різною формою і розміром зерен);
- волокнисту (азбест, мінеральна вата, скловата);
- пластинчасту (матеріали, що містять смолу).

Для матеріалів ніздрюватої будови характерні однорідні і рівномірно розподілені пори сферичної форми. Для одержання матеріалів ніздрюватої структури використовують засоби газо- і піноутворення.

Зернисту будову мають рихлі матеріали. При виготовленні сипучих порошоків подібних теплоізоляційних матеріалів застосовують механічне подрібнення і помел.

Основним засобом одержання високопористих матеріалів волокнистої будови є утворення волокнистого каркаса з тонкими повітряними шарами, що поділяють волокна. Органічні волокна одержують механічним розщепленням деревини або рослинної сировини. Мінеральне волокно одержують шляхом розплавлення неорганічної сировини з наступним перетворенням розплаву у волокна.

Пластинчаста будова характерна для матеріалів, що містять у своєму складі смолу, яка спочатку при швидкому нагріванні спучується (спучений вермикуліт).

При однаковій *пористості* більш високі теплоізоляційні показники мають матеріали, що містять дрібні замкнені пори. Це особливо важливо при виборі матеріалів для високотемпературної ізоляції.

Зволоження і тим більше замерзання у порах матеріалу води, веде до різкого збільшення теплопровідності, тому що теплопровідність води ( $\lambda = 0,58 \text{ Вт м}^{-1}\text{град}^{-1}$ ) приблизно в 25 разів, а льоду ( $\lambda = 2,32 \text{ Вт м}^{-1}\text{град}^{-1}$ ) – у 100 разів більше, ніж повітря.

Теплоізоляційні матеріали необхідно оберігати від зволоження.



*Міцність* теплоізоляційних матеріалів відносно невелика, внаслідок їхньої пористої будови. *Межа міцності* при стиску коливається у межах від 0,2 до 2,5 МПа. Для деяких теплоізоляційних матеріалів важливою характеристикою є межа міцності при вигині (плити, сегменти) або при розтягненні (мати, повсть, азбестовий картон).

*Температуростійкість* оцінюють температурною межею використання теплоізоляційного матеріалу. Вище цієї температури матеріал змінює свою структуру, втрачає механічну міцність, а органічні матеріали можуть горіти.

### 10.3 Неорганічні теплоізоляційні матеріали

**Неорганічні теплоізоляційні матеріали** виготовляють на основі мінеральної сировини – гірських порід, шлаку, скла, азбесту і ін. До цієї групи відносять такі матеріали і вироби: мінеральна і скловата, легкі бетони на спучених заповнювачах (вермикуліти і перліти); ніздрюваті теплоізоляційні бетони; піноскло; матеріали азбестові і ті, що вміщують азбест, керамічні і ін.

Ці матеріали використовують для утеплення будівельних конструкцій та ізоляції гарячих поверхонь промислового устаткування.

**Мінеральна вата** складається зі штучних мінеральних волокон. Виробляють її з доломіту, вапняку, мергелів, базальту, шлаків і золи. Виробництво її складається з двох основних операцій – одержання розплаву у ванних печах і перетворення у тоненькі волокна дутьовим або відцентровим методом.

Щільність мінеральної вати 75–150 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність  $\lambda = 0,042\text{--}0,046 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ . Вата не горить, вона малогіроскопічна, температуростійка. Мінеральну вату використовують для теплоізоляції як холодних (до  $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ ), так і гарячих (до  $+600 \text{ }^\circ\text{C}$ ) поверхонь, частіше у вигляді виробів: плит, матів, шкаралуп, сегментів, повсті.

**Мінеральна повсть** – це листи з мінеральної вати, просочені синтетичними смолами і пресовані.

**Мінеральні мати** – це мінераловатний килим, заточений між бітумінізованим папером, склотканиною або металевою сіткою, прошитий міцними нитками або тонким дротом.

**Скловату** одержують витягненням з розплавленої скломаси (вапняк, пісок, сода) волокон. Шар скловати в 5 см дорівнює термічному опору цегляної кладки товщиною в 1 м.

Теплоізоляційні матеріали одержують також зі спучених гірських порід, що містять у своєму складі пов'язану воду. При нагріванні вода перетворюється у пар, спучує попередньо роздроблену породу, внаслідок

чого утворюються пористі зерна (спучений перліт) або спучені луски (спучений вермикуліт). Використовують як легкі заповнювачі бетону.

**Теплоізоляційні матеріали і вироби, що вміщують азбест,** розподіляють на азбестові, що складаються з азбестового волокна (азбестовий папір, картон, вироби з них), і ті, що вміщують азбест і виготовлені з суміші азбестових волокон з мінеральним в'язучим (вапно, цемент). Порошкоподібні суміші цих матеріалів перед використанням змішують з водою і одержану пластичну масу наносять на поверхню для теплоізоляції. В заводських умовах з таких само мас формують вироби – плити, сегменти, шкаралупи.

Характерною особливістю гірської породи – *азбесту* є його волокниста структура і здатність розщеплюватися на тонкі еластичні, гнучкі волокна. Це обумовило специфіку його застосування в якості теплоізолюючого негорючого матеріалу.

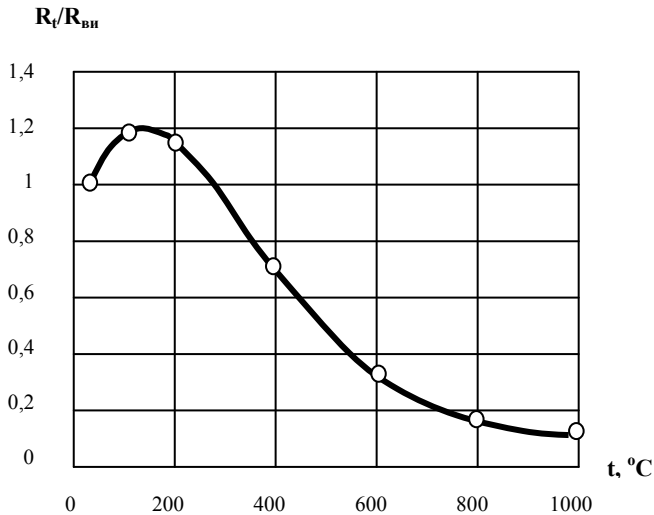
Найбільше значення з декількох різноманітностей азбесту має хризотил–азбест, волокна якого більш міцні та еластичні. Мінералогічний склад хризотил–азбесту  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Вода що входить до його складу, при температурі 400–500 °С починає відщеплюватися, а при температурі 700°С вилучається повністю, що веде до руйнування структури матеріалу.

На основі азбесту і цементу одержують азбоцементні вироби у вигляді плоских покрівельних плит (шифер), профільованих листів для стін і покрівлі, вентиляційних труб, коробів і ін.

Одержують їх внаслідок формування і наступного твердіння суміші з 80–85 % портландцементу, 15–20 % азбесту і води.

Технологія виробництва азбоцементних виробів включає такі операції: розпушування азбесту на волокна; змішування з цементом, водою; виготовлення полотна і формування з нього листів і труб; різка, вигинання, пресування; твердіння виробів у пропарювальній камері.

Поведінка азбоцементу при дії високих температур обумовлюється поведінкою цементного каменю та азбесту (рис. 10.1)



**Рисунок 10.1 – Зміна міцності при вигині азбоцементу при дії високих температур**

При нагріванні до  $t = 100 \dots 150$  °C міцність підвищується за рахунок випарювання фізичної вологи. При  $t = 400$  °C, внаслідок дегідратації, починається різке зниження міцності, що при  $t = 500$  °C становить 50 % від первинної. При  $t = 800$  °C залишається лише 15 % міцності. При пожежі може мати місце небезпечне руйнування за рахунок значної кількості (8–11 %) вологи. При нагріванні вона утворює тиск, що веде до вибуху.

Теплоізоляційні вироби виготовляють формуванням (литтям, пресуванням, прокатом) гіпсової або гіпсобетонної суміші з наступним сушінням. Міцність їх на стиск складає від 25 до 100 кг/см<sup>2</sup>.

Вони мають достатньо високу вогнестійкість за ознакою прогріву і малу вогнестійкість за ознакою втрати несучої здатності: навіть при 100 °C вони втрачають міцність. Але повільний прогрів, обумовлений пористістю каменю, а також витратами тепла на вилучення хімічно зв'язаної води, дозволяє з успіхом застосовувати гіпс для захисних конструкцій.

Поведінка **гіпсових і гіпсобетонних виробів** обумовлюється поведінкою гіпсового каменю, а також видом і кількістю заповнювачів. Так, гіпсові або гіпсоволокнисті плити, що містять не більше 8% органічної маси, відносяться до негорючих, а ті, що містять більше 8%

органічної маси, – до важкогорючих. *Гіпс* часто використовують для виготовлення теплоізоляційних виробів, що застосовують для захисту металевих і інших конструкцій від нагрівання.

## 10.4 Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби

Більшість органічних матеріалів виготовляють у вигляді плит, частіше крупнорозмірних. Сировиною для їх виробництва є деревина у вигляді відходів обпилювання (стружка, обапіл, рійка) й інша сировина волокнистої будови (комиш, солома, торф). Стружка і волокна деревини утворюють своєрідний арматурний каркас у теплоізоляційних виробах.

**Деревоволокнисті плити (ДВП)** складаються з рослинної сировини (відходи деревини, паперова макулатура, солом'яні, кукурудзяні і бавовняні стеблини і ін.) і спеціальних додатків: водних емульсій синтетичних смол, емульсій з парафіну, каніфолі, бітуму, антисептиків, антипіренів, а також азбесту, глинозему, гіпсу і ін.

Сировину подрібнюють у різних агрегатах за наявності великої кількості води, що полегшує поділ деревини на окремі волокна, і змішують зі спеціальними додатками. Потім цю рідкотекучу волокнисту масу подають на виливочну машину, що складається з безкінечної металевої сітки і вакуумної установки. Тут маса збезводнюється і розрізається на окремі плити потрібного розміру, які потім підпресовують і сушать.

Використовують такі плити для теплоізоляції стін, підлог, перегородок і міжповерхових перекриттів, утеплення покрівель.

**Деревостружкові плити (ДСП)** одержують гарячим пресуванням маси, що містить 90 % органічної волокнистої сировини і 8–12 % синтетичних смол (фенолформальдегідної, мочевиноформальдегідної і ін.) Вони більш теплопровідні. Застосовуються як і деревоволокнисті плити. Плити ДВП і ДСП горючі і пожежонебезпечні. Вони здатні спалахувати від незначного за потужністю теплового джерела і горять не тільки на відкритому повітрі, але й під шаром штукатурки або іншого облицювального матеріалу. Це відбувається внаслідок високої пористості, яка сприяє утворенню залишку повітря, внаслідок чого відбувається інтенсивне горіння. Навіть застосування до цих плит поверхневих заходів не дає вогнезахисного ефекту.

**Торфоплити** одержують формуванням розщеплених торф'яних волокон і термічною обробкою їх при температурі 120–150 °С. При високій температурі колоїдні речовини, що містяться у торфі, переходять у нерозчинену форму, що підвищує водостійкість цих плит. Торфоплити горючі, горять відкритим полум'ям і тліють, що робить важким локалізацію вогню. За певних умов вони здатні до самозапалювання. Для

захисту плит від зволоження і запалювання їх необхідно штукатурити.

**Будівельна повсть** виготовляється з відходів шерсті, хутрового виробництва. Матеріал горючий; частіше не горить відкритим полум'ям, а тліє, утворюючи задушливий сморід. Зниження горючості повсті досягається просоченням його глинистим розчином. У цьому випадку він уже стає важкогорючим матеріалом, але має місце збільшення його теплопровідності.

Будівельну повсть використовують для утеплення стін і підлог під штукатуркою. Просочену глинистим розчином повсть застосовують для вогнезахисту дерев'яних дверей, що оброблені по повсті сталевими листами. Такі двері використовують як протипожежні для захисту прорізів у протипожежних стінах і перепонах.

Застосування у будівництві мають також такі теплоізоляційні матеріали, як клоччя, комишит і соломіт, фіброліт та газонаповнені пластики.

## **ГЛАВА 11. СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ТА ЗНИЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **11.1 Загальні закономірності вогнезахисту**

Вище (у главі 1) було доведено, що для виникнення і подовження горіння необхідні три основні умови: наявність горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. Причому пальна речовина та окислювач повинні бути нагріті до певної температури і знаходитися у відповідному кількісному співвідношенні. Продовження та розвиток самостійного горіння можливі тільки тоді, коли кількість тепла, що віддається горючою поверхнею за одиницю часу, не перевищує кількості тепла, що генерується цією поверхнею.

Також відомо, що на процес горіння впливають такі фактори:

- хімічний склад матеріалів і/або властивості їх окремих компонентів (реагування з окислювачем);
- щільність та агрегатний стан пальної речовини;
- кількість окислювача (кисню): при його бракуванні реакція йде не інтенсивно, згоряння неповне, утворюється багато диму;
- вид джерела запалювання: полум'я, іскри, тління...

Щоб горіння не починалося, достатньо виключити хоча б одну з умов його виникнення. Тому можна класифікувати і три основних способи вогнезахисту:

- 1) зміна (*модифікація*) речовини з метою підвищення температури її спалахування, горіння, уповільнення транспорту горючих компонентів до поверхні;
- 2) перешкоджання потраплянню окислювача до горючої речовини;
- 3) запобігання нагріванню поверхні.

Реалізувати ці способи для матеріалів будівельних конструкцій можна трьома шляхами:

- 1) *модифікацією* складу, мікро- та макроструктури матеріалу для переведення його у групу з меншою горючістю;
- 2) створенням *захисного покриття* на поверхні, яке зменшує прогрівання матеріалу і/або затримує вихід горючих газів назовні та підхід кисню до місця реакції окислювання;
- 3) встановленням *захисних екранів* із негорючих речовин, які захищають матеріал конструкції від впливу джерела запалення.

Застосування того чи іншого способу вогнезахисту залежить від виду матеріалу та технічних вимог.

## 11.2 Основи вогнезахисту деревини і деревних матеріалів

У главі 7 розглядалися закономірності запалення й горіння деревини. Процес її термічного розкладу протікає у дві стадії:

- 1) розклад з поглиненням тепла при нагріванні до 280 °С;
- 2) розклад з виділенням тепла (горіння) при нагріванні понад 280 °С, причому розрізняються два періоди:
  - А) полум'яне горіння (згорання газів, що утворюються при термічному розкладі);
  - Б) тління (згорання деревного вугілля, що утворилося).

Протікання двох конкуруючих процесів при піролізі деревини (утворення смол, що виділяють пальні гази, та утворення вугілля) має велике значення для вогнезахисту. Підвищуючи вихід вугілля за рахунок зменшення кількості пальних газів, можна понизити горючість деревини.

Враховуючи сказане, можна виділити три шляхи зниження горючості деревини:

- 1) знизити швидкість нагрівання поверхні матеріалів, що дає змогу утворення більш товстого шару вугілля, яке має погану теплопровідність;
- 2) направити піроліз матеріалу в сторону утворення негорючих газів або зменшення виділення пальних газів;
- 3) створити умови для неможливості тління вугілля.

Технічно це досягається :

- нанесенням на поверхню матеріалів *вогнезахисного покриття*, що забезпечує утворення коксового шару і відвертання його тління і горіння;
- *просочуванням* деревних матеріалів або введенням в їхній склад речовин, що сприяють дегідратації деревини з мінімальним виділенням пальних газів і максимальним виходом вугілля;
- *екрануванням* виробів з деревини від впливу високої температури захисними сорочками з вогне- і теплоізоляційних матеріалів.

### 11.2.1 Вогнезахисні покриття деревини

Вогнезахист деревних матеріалів за допомогою покриттів дуже зручний, оскільки він достатньо технологічний, дозволяє використовувати доступні матеріали, не вимагає спеціального обладнання. Вогнезахисні покриття захищають деревину від займання, можуть виділяти при нагріванні гази та водяну пару, які флегматизують полум'я і перешкоджають горінню. Однак надзвичайне збільшення товщини покриття негативно впливає на експлуатаційні властивості, знижує декоративні якості дерев'яних виробів.

Вогнезахисні покриття бувають *атмосферостійкими* (для захисту зовнішніх поверхонь будівель і споруд), вологостійкими (для захисту конструкцій при вологості повітря до 61-75%) і невологостійкими (що використовуються для внутрішніх елементів). За товщиною, механізмом дії і функціональним призначенням покриття поділяються на типи за видом та товщиною:

- вогнезахисні обмазки товщиною 10...70 мм;
- вогнезахисні фарби товщиною 1...10 мм;
- захисні плівки товщиною до 1 мм;
- покриття, що спучуються;
- комбіновані покриття.

**Вогнезахисні обмазки** - штукатурні розчини, в яких пісок замінений легким наповнювачем (азбест, перліт, вермикуліт), дешеві і доступні за сировиною.

*Гіпсові обмазки* використовують завдяки протипожежним властивостям гіпсу. Під час дегідратації гіпсу при нагріванні водяні пари поглинають тепло. Шар гіпсової обмазки в 3 см при пожежі перешкоджає прогріву елемента, що захищається, до 100°C протягом 1 години.

Широко застосовують також вапнякові і полімерні обмазки з легкими наповнювачами.

**Вогнезахисні фарби** - суміш зв'язуючого пігменту і наповнювача - служать як для вогнезахисту, так і з декоративною метою. Найчастіше

вони складаються з хлорованих алкідів або парафінів, гідроксиду алюмінію, оксиду сурми чи їх сумішей. Їх класифікують за видом зв'язуючого:

- мінеральні:
- силікатні – на основі рідкого скла;
- магнезійні – на основі оксиду магнію (наприклад, фарби ХЛ-К);
- олійні – на основі оліфи або льняної олії з наповнювачами (фарби МХС);
- полімерні – на основі полівінілхлориду та перхлорвінілу (фарби ПХВО, ХВ-5169).

**Захисні плівки** складаються з термореактивних полімерів, як правило, прозорі і дають можливість зберегти колір та структуру деревини. Такі покриття мають гарну адгезію до основи, водостійкі, довговічні. Механізм їх вогнезахисної дії базується на перешкоді дифузії палих газів та окислювача до зони горіння. Серед різних видів захисних плівок можна назвати такі марки:

- ПНФА - на основі поліефірної смоли ПН-1;
- ЭДАМ - на основі епоксидного олігомеру ЭД-20;
- АЖМ - на основі мочевино-формальдегідного олігомеру.

**Покриття, що спучуються**, - багатокомпонентні системи із зв'язуючого, антипірену і піноутворювачів. Компоненти, що забезпечують спучення, поділяються на групи:

- речовини, що розкладаються в інтервалі 100-250 °С з утворенням кислот (фосфати амонію і мочевины, бура);
- речовини, що розкладаються з виділенням парів води або негорючих газів (крахмал, декстрин, сорбіт);
- синергіти (мочевина, меламін, бензойна кислота);
- галогенвміщуючі речовини (хлорпарафін, совол).

При нагріванні покриття, що спучуються, розкладаються, виділяючи пари або газу, що блокують конвективний перенос тепла до поверхні, подавляють полум'я. А пористий шар обвугленого покриття служить теплоізолятором. Найбільш відомі покриття і фарби: *ОФП-9, ВПД, "Екран-Д"*.

Фарба ОФП-9 призначена для експлуатації усередині приміщень з відносною вологістю не більше 75% і складається з поліметафосфату натрію, гідроксиду алюмінію та оксиду цинку. При дії тепла поліметафосфат натрію підплавлюється, створюючи тонку керамічну плівку, яка перешкоджає розповсюдженню полум'я, а гідроксид алюмінію, розкладаючись з виділенням води, спучується і створює теплоізоляційний шар. При випробуванні у приборі "Керамічна труба" затримка спалахування деревини, покритої фарбою ОФП-9, дорівнює 5-6 хв.



Фарба ВПД застосовується при відносній вологості до 80%. Вона складається зі смоли ММФ-50, карбоксиметілцелюлози КЦМ, діциандіаміду, амофосу. Вогневі випробування цієї фарби показали, що вона захищає деревний зразок протягом 10 хв.

Фарба "Екран-Д" складається з рідкого скла, мочевиноформальдегідної смоли МФ-17 і термостійких газоутворюючих заповнювачів. Вона забезпечує отримання важкогорючих і важкозаймистих конструкцій з деревини.

За результатами іспитів в УкрНДІПБ МВС України отримання важкогорючої деревини забезпечують такі розчини:

1. Прозоре вогнезахисне водоемульсійне покриття, що спучується, Рубежанського хімізаводу "Зоря".
2. Вогнезахисне покриття "Ендотерм-Хт 150" (НПП "СПЕЦМАТЕРІАЛИ", Донецьк).
3. Вогнезахисне покриття "Ендотерм КФ" (НПП "СПЕЦМАТЕРІАЛИ", Донецьк).
4. Вогнезахисне покриття "UBITERM A-C-NIT D 38302" з лаком "UNITERM 38202" ("HERBERTS GmbH", Німеччина).
5. Вогнезахисне прозоре покриття "UNITERM 19010" з лаком "UNITERM 38423" ("HERBERTS GmbH", Німеччина).

### 11.2.2 Вогнезахисне просочування деревини

Вогнезахисне просочування розчинами *антипіренів* або полімерів може надати деревині негорючих властивостей і при короткому, і при тривалому впливі джерела запалювання. На відміну від екрануючих покриттів, воно підвищує опір дії вогню не тільки на стадії займання, але й при розвитку горіння. Суть просочування виражається у створенні в капілярній системі (і на клітинному рівні) деревини після висушування соляного шару, який заважає розкладенню целюлози і лігніну та чинить опір дифузії палих газів, що утворилися при піролізі, до поверхні. Кількість просочувального розчину визначають за формулою:

$$K = \frac{a \cdot 10000}{c \cdot \rho},$$

де  $K$  – необхідна кількість просочувального розчину, % маси деревини;  
 $a$  – необхідна щільність деревини після просочування антипіреном,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $c$  – концентрація антипірену у розчині, %;  
 $\rho$  – щільність деревини,  $\text{кг/м}^3$ .

Вогнезахисне просочування антипіренами здійснюється за методами:

- 1) **просочування під тиском** – чергування вакууму і тиску ( $p = 1 \dots 1.6$  МПа;  $\tau = 1$  година;  $t = 60$  °С) при просочуванні в просочувальних циліндрах. Цей метод дозволяє досягнути витрат 75 кг сухої солі на 1 м<sup>3</sup> деревини. Таке просочування найбільш ефективно, але воно може застосовуватися тільки для порівняно невеликих деталей;
- 2) **просочування у ванні** (вимочування) – методом холодно-гарячих ванн. Використовується властивість утворення розрідження повітря у капілярах деревини при переносі дерев'яного виробу з гарячої ванни (до 90 °С) в холодну. При цьому розчин всмоктується у капіляри і утримується там. Таким методом вдається затримати у деревині до 50 кг сухої солі на 1 м<sup>3</sup> деревини;
- 3) **поверхнєве просочування** – багатократне нанесення гарячого (до 60 °С) просочувального розчину. Воно застосовується для обробки елементів вже встановлених у будівлю і не підлягаючих роз'єднанню;
- 4) **дифузійне просочування** – нанесення на вологу деревину пастовидної суміші антипірену з добре набухаючою клейкою речовиною. За рахунок великої концентрації солі у вологій пасті виникає осмотичний тиск, який обумовлює проникнення антипірену у пори деревини. Таким методом можна обробляти сирі лісні матеріали, але процес триває до 140 діб.
- 5) **просочування органорозчинюваними антипіренами** – використання розчинів з малим поверхневим натягненням. До складу таких сумішей входять антипірени (кам'яновугільне, антраценове або сланцеве масла, відходи нафтової сировини та ін.), гідрофобізатори (парафін або каніфоль) та розчинювачі (діоксан, ксилол, лігроїн, дихлорбензол і ін.). Розчини з цих компонентів, завдяки малому поверхневому натягненню, заповнюють капілярну систему деревини і навіть просочуються у стінки її клітин. А коли розчинювач випаровується, антипірени з гідрофобними додатками утворюють бар'єр, який перешкоджає, з однієї сторони, проникненню усередину деревини вологи і кисню, а з другої – дифузії назовні палих газів (продуктів піролізу) при нагріванні.

Для зниження горючості деревних матеріалів використовують *водорозчинювані або полімерні антипірени*.

**Просочування водорозчинюваними антипіренами** (солями алюмінію, фосфорної кислоти, сполученнями бору, хрому, міді, цинку і ін.) більш доступне за підбором складових речовин. Воно здійснюється методами 1, 2, 3, 4. Перелічені солі придушують процес тління деревини. Наприклад, фосфорна кислота починає зневоджуватися тільки при 213 °С,

перетворюючись у пірофосфорну кислоту, яка повільно при 800 °С переходить у метафосфорну кислоту. Борна кислота починає втрачати воду при 70 °С, а її кінцевий продукт – борний ангідрид - кипить при 600 °С. Ці продукти не випаровуються при температурі тління деревини і заважають процесу горіння. З подібної точки зору вибираються й інші антипірени.

Найбільше розповсюдження для глибокого просочування знайшли такі водні суміші, % мас.:

1. Сполука С: сульфат амонію – 15; динатрійфосфат – 2; фторид натрію – 2.
2. Сполука МС: діамонійфосфат – 7.5; сульфат амонію – 7.5; фторид натрію – 2.
3. Сполука Б: бура – 10; борна кислота – 10.

Перехід деревини у важкогорючий стан, якому відповідає втрата при іспиті менше 20 % маси матеріалу, що просочувався, досягається при вміщенні, кг/м<sup>3</sup>: діамонійфосфату – 66; сульфату амонію – 95; бури – 80.

За результатами іспитів в УкрНДІПБ МВС України отримання важкогорючої деревини забезпечує вогнезахисне просочування такого складу, % мас.: діамонійфосфат – 20, сульфат амонію – 10, контакт "Петрова" – 1, вода – 69. Додаток ваги сухих солей 40-45 кг/м<sup>3</sup>.

**Просочування полімерними антипіренами** здійснюють за методами 1, 2, 3, 5. Для цього застосовують полімери, схильні при нагріванні до карбонізації, – карбамідні і фенолформальдегідні олігомери, фуранові сполуки, кремнійорганічні рідини. Отвердіння олігомерів здійснюється в результаті або хімічної реакції, або термообробки при температурі 100-130 °С. Як приклад розповсюджених полімерних просочувальних сумішей можна привести такі, % мас.:

1. Сполука фенольна: фенолоспирти – 23; діамонійфосфат – 8; вода – 69.
2. Сполука фуранова: фурфурол – 60; мономер ФА – 25; соляна кислота – 10; нітрат кадмію – 5.

### 11.2.3 Екранування дерев'яних конструкцій

Для попередження займання деревини у будівництві часто використовують її віддалення від джерел запалення за допомогою огорож, перегородок з мінеральних негорючих матеріалів. Екрани відрізняються від покриттів більшою товщиною (понад 100 мм), або тим, що, складаються зі штучних виробів, або наявністю повітряного прошарку між захисною сорочкою і дерев'яною конструкцією. Наприклад, обкладення дерев'яних стін цеглою, гіпсобетонними або азбестоцементними плитами,

улаштування підвісних стель з мінераловатних матеріалів "ARMSTRONG" дозволяє значно підвищити межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій. Використання облицювання азбестоцементними плитами товщиною 10 мм подовжує межу вогнестійкості на 20-30 хв.

Таким чином, для вогнезахисту деревини використовуються всі три основні способи: модифікація матеріалу, застосування покриттів та екранів.

### 11.3 Основи вогнезахисту металів

Метали, що застосовуються в будівництві (сталь, алюміній), є негорючими матеріалами, але їхня межа вогнестійкості в природному вигляді не більше 0,25 години. Основна небезпека при прогріванні металевих конструкцій полягає у тому, що вони дуже швидко втрачають міцність, при цьому стають більш пластичними, і лінійні температурні деформації викликають великі зміни розмірів, короблення і навіть руйнування конструкцій. Будівельні метали мають високу теплопровідність і невисоку температурну міцність (сталі – до 350 °С, а алюмінієві сплави – до 200°С), тому їхній вогнезахист полягає в підвищенні жароміцності, а також у створенні на поверхні металевих елементів конструкцій теплоізолюючих екранів, що здатні витримати дію вогню або високих температур.

Для будівельних металів існує три напрямки підвищення вогнестійкості:

- 1) легування;
- 2) застосування захисних покриттів;
- 3) екранування.

#### 11.3.1 Легування металів

Один зі шляхів підвищення температурної міцності металевих сплавів – *легування*. Його мета – підвищити температуру межі текучості, температуру рекристалізації, корозійну стійкість та зберегти оптимальний розмір зерен сплаву.

Наприклад, у той час, коли звичайні вуглецеві сталі вже при незначному прогріванні стають менш міцними і більш пластичними, низьколеговані сталі до температури 600 °С не тільки не втрачають своєї міцності, але в інтервалі температур 200-500 °С значно зміцнюються (див. рис. 4.3). Підвищенню жароміцності сталей сприяють, в основному, додатки молібдену (який підвищує температуру рекристалізації) і хрому (який підвищує корозійну стійкість). Також корисними додатками є

присадки вольфраму і ванадію, які стабілізують зерно, та кремнію, який додає окаліностійкість. Шкідливими для жароміцності у сталях вважають домішки легкоплавких металів: олова, свинця, сурми, а також сірки. Розповсюдженими марками низьколегованих жароміцних сталей є 12МХ, 12ХМ, 12ХМФ, 12Х2МФБ, Х5ВФ. У них тривала міцність зберігається на рівні  $500 \text{ кг/см}^2$  до температур  $500\text{-}600 \text{ }^\circ\text{C}$ .

У алюмінієвих сплавів не слід очікувати великого впливу легуючих домішок на підвищення температурної міцності, тому для них слід використовувати вогнезахист покриттями та екранами.

### 11.3.2 Вогнезахисні покриття металевих конструкцій

Для підвищення межі вогнестійкості металевих конструкцій розроблено декілька складів вогнезахисних покриттів. Серед них розповсюдження отримало фосфатне покриття ОФП-ММ, об'ємна маса якого складає  $250\text{-}300 \text{ кг/м}^3$ . В склад покриття входять: низькосортний азбест або гранульоване (шлакове) мінеральне волокно; рідке скло; нефеліновий отверджувач. Витрата такої композиції дорівнює  $6\text{-}15 \text{ кг/м}^2$ , в залежності від необхідної межі вогнестійкості металевих конструкцій. Це покриття формується при взаємодії зв'язуючого - калієвого або натрієвого рідкого скла - з отверджувачем - нефеліновим антипіреном в суміші з теплоізолюючим наповнювачем.

Високою технологічністю, вогнезахисною спроможністю і надійністю відрізняються зарубіжні покриття "Фоум-Коат" (США) і "Бирокоат" (Германія). В залежності від товщини нанесеного шару покриття межа тривалості складає 0.5 - 3 години.

В Україні сертифіковані вогнезахисні покриття для сталі: "Polyplast-K" (Угорщина), "UNITERM 38091" ("HERBERTS GmbH", Німеччина).

**Фарби, що спучуються**, які наносять на поверхню конструкції тонким шаром, є одним з перспективних засобів захисту металевих конструкцій від впливу високих температур. При температурі біля  $170 \text{ }^\circ\text{C}$  фарба спучується і утворюється пористий шар, товщина якого складає декілька сантиметрів. Завдяки низькій теплопровідності, пористий шар відвертає швидке нагрівання металу. Він являє собою багатофазну систему з органічних і неорганічних компонентів. В закритих осередках містяться азот і вуглекислий газ. На поверхню металу фарби наносять в два-три шари. Нанесення одного шару ненадійно захищає конструкцію через можливе утворення тріщин в процесі спучення фарби.

Фарба ВПМ-2, що спучується, являє собою суміш термостійких газоутворюючих і волокнуватих наповнювачів у водному розчині

полімерних зв'язуючих. При витраті  $4.5 \text{ кг/м}^2$  вона підвищує межу вогнестійкості до 0.8 години.

Такі фарби знаходять широке застосування для вогнезахисту металевих конструкцій за рубежом. Деякі з них забезпечують межу вогнестійкості сталевих конструкцій до 1 години. Фарба "Перинокс", що спучується, фірми "Херберге" (Німеччина), що рекламується в Україні, являє собою тришарове покриття товщиною 600-700 мкм, яке забезпечує вогнестійкість сталевих конструкцій протягом 30 хв.

Вогневі іспити металевих елементів і натурних зразків показали, що при товщині сухого шару фарби 4-5 мм забезпечується межа вогнестійкості сталевій конструкції - 0.75 години, алюмінієвої - 0.25 години. При дії вогню відбувається поступове вигорання вуглецю композиції і руйнування пористої маси.

### 11.3.3 Екранування металевих конструкцій

Розповсюдженими засобами вогнезахисту для металевих конструкцій є важкі і легкі бетони, цегла, цементно-піщані штукатурки. Ці матеріали можуть створити практично будь-яку межу вогнестійкості конструкцій. Так, для забезпечення межі вогнестійкості сталевій конструкції, рівної 2 годинам, необхідний шар важкого бетону або гіпсу товщиною 60 мм, штукатурки - 50-60 мм, цегли - 65 мм.

**Покриття з цементно-піщаних штукатурок** застосовують для вогнезахисту як зовнішніх, так і внутрішніх конструкцій. Цемент використовується марки не нижче 400. При нанесенні шару штукатурки товщиною більше 100 мм його армують сталеві сіткою, яку кріплять на поверхні, що захищається.

При розробці методів вогнезахисту металевих конструкцій велику увагу приділяють використанню легких і спучених заповнювачів - азбесту, спученого перліту і вермикуліту, мінерального волокна, які мають високі теплоізоляційні властивості. На їхній основі виробляють теплоізоляційні штукатурки, вогнезахисні покриття і фарби, що спучуються. Ці суміші можуть завадатися на конструкції механізованим або ручним способом.

У склад штукатурок із заповнювачем з перлітового піску або вермикуліту входять також цемент або гіпс та рідке скло. Об'ємна маса таких штукатурок дорівнює  $300-470 \text{ кг/м}^3$ . Зі зменшенням об'ємної маси ефективність штукатурки зростає. Найбільш ефективні штукатурки, в склад яких входить, % мас.: швидкотвердіючий цемент БТЦ-500 – 62.5; перліт – 10; рідке скло – 6.5.

**Плитні і листові теплоізоляційні матеріали**, такі як гіпсокартонні і гіпсоволокнисті листи, перлітофосфогелеві і азбоцементні плити і ін.

ефективно застосовуються для вогнезахисту металевих конструкцій. Їх використовують при необхідності уникнути мокрих процесів при проведенні робіт, коли надаються підвищені вимоги до зовнішнього вигляду конструкцій, а також коли збільшення маси конструкцій є небажаним.

В склад перлітофосфогелевих плит входять: перліт, рідке скло, ортофосфорна кислота, гідрофобізуючі добавки. Технологічний процес їх приготування складається з дозування, змішування компонентів, пресування, прокату полусухих виробів і їхньої термообробки. Об'ємна маса плит складає 200-300 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність 0.08 Вт/(м·град). Вони витримують температури до 800 °С. Перлітофосфогелеві плити (при товщині до 50 мм) забезпечують межу вогнестійкості сталевих конструкцій 2.5 г.

Гіпсокартонні листи товщиною 10-20 мм для захисту металевих конструкцій встановлюють на металевому каркасі. Повітряний прошарок роблять не менше 25 мм. Таким чином забезпечується межа вогнестійкості більше 1 години.

*Азбоцементні* лицювальні плити знаходять широке застосування в будівництві. Їх також використовують в якості вогнезахисного лицювання металевих конструкцій.

## 11.4 Основи вогнезахисту полімерних матеріалів

Полімерні матеріали у будівництві майже не використовують як несучі конструктивні елементи. Вони, в основному, застосовуються як оздоблювальні, лицювальні, і тому немає сенсу захищати їх екранами чи покриттями.

Зниження пожежної небезпеки полімерних будівельних матеріалів (ПБМ), з урахуванням багатостадійного характеру їх дифузійного горіння можна добитися, активно впливаючи фізичними та хімічними засобами на кожну стадію хвилі горіння.

Серед **фізичних засобів** впливу можна виділити такі:

- 1 Зниження тепло- та масопереносу між полум'ям і конденсованою фазою. Наприклад, теплоізолююче екранування поверхні спученим шаром того ж самого (основного) матеріалу.
- 2 Охолодження полум'я в результаті втрати тепла у зовнішнє середовище:
  - відтік тепла від покриття через теплопровідну підставу;
  - флегматизація полум'я негорючими газами;
  - втрати тепла на випаровування і піроліз полімерної матриці;
  - розкладення наповнювачів, які утримують хімічно зв'язану воду;

- унесення тепла стікаючим розплавом полімеру.
- 3 Зрив полум'я потоком окислювача.

**Хімічні засоби** впливу включають:

- цілеспрямовані зміни хімічної будови та структури полімерів;
- зміну складу та співвідношення компонентів ПБМ.

Пожежну безпеку ПБМ можна знизити декількома методами:

- *хімічною модифікацією* полімерів;
- введенням наповнювачів;
- введенням *антипіренів*, димоподавлювачів або інших цільових додатків;
- нанесенням вогнезахисних покриттів;
- комбінацією різних методів.

Перспективним вважається шлях створення ПБМ зі зниженою пожежною небезпекою за рахунок використання неорганічних або елементоорганічних полімерів з мінімальним вмістом горючої органічної частини.

Для кожного типу полімеру притаманні свої методи підвищення теплостійкості та вогнестійкості.

**Поліолефінові ПБМ.** До них відносять поліетилени, поліпропілени та їх сополімери. У будівництві з них виготовляють гідроізоляційні плівки, водопровідні та каналізаційні труби, погонажні вироби, фітингі. При використанні поліолефінових ПБМ треба урахувати, що поряд з корисними властивостями: міцністю, хімічною стійкістю, морозостійкістю, вологонепроникністю, вони мають низьку термостійкість, легку займистість і підвищену пожежну небезпеку. Їх горіння проходить з плавленням і розприскуванням горючих крапель, без сильного димовиділення (див. п.8.1.1.1). Для підвищення міцності, жорсткості, твердості поліолефінів до них додають наповнювачі: азбест, тальк, карбонат кальцію, слюду. Ці наповнювачі практично не знижують горючість композицій. Деяко підвищити пожежонебезпечність поліолефінових ПБМ дозволяє додавання дрібнодисперсного порошку алюмосилікатів (цеоліту), гідроксидів алюмінію та магнію. Це підвищує температуру самозаймання на 50-70 °С, знижує час самозатухання та втрати маси при горінні. Знизити горючість також можна методом модифікації основи галогенами. Наприклад, у хлорованого поліетилену кисневий індекс підвищується до  $KI = 26$  %. Ще одним способом покращення пожежної безпеки поліолефінових ПБМ є введення до їх складу антипіренів. Неорганічні антипірени, крім з'єднань амонію, неефективні. Краще зарекомендували себе органічні антипірени: хлорпарафіни, гексабромбензол, триброманілін, ПВХ.



**Полівінілхлоридні ПБМ**, з яких виробляють труби, лінолеум, пінопласти, матеріали для лицювання, покрівлі та електроізоляції, відносяться, в основному, до важкозаймистих матеріалів. Але їх пожежонебезпечні характеристики у дуже великому ступеню залежать від складу та кількості наповнювачів, пластифікатора.

Усі пластифікатори, крім галоїд- та фосфорвміщуючих підвищують пожежну небезпеку ПВХ. Тому з них частіше використовують хлорпарафіни. Але введення пластифікаторів підвищує димоутворюючу здатність пластмас. Зменшення димовиділення та пожежної небезпеки добиваються додаванням у композицію наповнювачів, таких як каолін, талькомагнезит,  $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Sb_2O_3$ . За допомогою наповнювачів з оксидів та карбонатів натрію, магнію, кальцію, міді вдається нейтралізувати хлороводень, який утворюється при горінні. Ще дієвими методами отримування ПВХ-матеріалів зі зниженою пожежною небезпекою – це хімічна модифікація ПВХ газоподібним хлором та використання мікрокапсульованих антипіренів на основі галоїдвміщуючих фосфатів. Комплекс вказаних заходів дозволяє значно знизити для ПВХ-матеріалів димоутворюючу здатність на 25 %, підвисити кисневий індекс на 15...19 % (до  $KI=60$  %), температуру займання до 620 °С при збереженні задовільних експлуатаційних характеристик.

**Полістирольні ПБМ** дуже розповсюджені у будівництві. Частіше з них виробляють стінові лицювальні плитки, сантехнічні вироби та пінопласти. Спосіб зниження горючості для полістирольних ПБМ залежить від їх призначення. Перспективним методом вважають хімічну модифікацію стиролу галоїд- та фосфорвміщуючими мономерами (наприклад, це може бути вінілхлорид, вінілбромід, хлорування полімеру). Але такий шлях може привести до погіршення експлуатаційних властивостей матеріалу. Інший метод зниження горючості полягає у застосуванні реакційноздатних антипіренів, таких як гексаброметан, тетрабромпарацисол та ін. При цьому для підвищення ефективності вогнегасної дії антипіренів додатково використовують речовини-*синергісти* (наприклад,  $Sb_2O_3$ , органічні перекиси, ароматичні аміни та ін.). Пінополістирольні вироби у деяких випадках захищають від дії вогню за допомогою вогнезахисних покриттів на основі рідкого скла, армованого наповнювачем: волокнистим (азбестом) або порохоподібним (діатомітом, кварцевою мукою).

**Поліефірні ПБМ** для підвищення вогнестійкості піддають хімічній модифікації за допомогою галоген- та фосфорвміщуючих реагентів і/або додають наповнювачі та антипірени. Як наповнювач частіше використовується  $Al(OH)_3$ , але великий інтерес викликає введення модифікованого віскозного волокна або пороховидного ПВХ. Додатки, що

зменшують пожежонебезпечні властивості спроможні перевести поліефірний ПБМ у важкозаймистий і, навіть, у важкогорючий стан, але вони, як правило, негативно впливають на його механічні і експлуатаційні характеристики.

**Поліуретанові ПБМ.** Перспективним способом отримання вогнезахищених поліуретанів є їх направлений синтез і модифікація з метою підвищення термостійкості. Традиційний метод зниження горючості – введення неорганічних наповнювачів (тонкомелені силікати, азбест, перліт, склобісер). Також, для підвищення вогнестійкості використовують численну групу антипіренів на основі галоген- та фосфорвміщуючих речовин, металвміщуючих комплексів з амінами, мікрокапсульованих додатків. Застосування цих методів переводить виробу з поліуретану у важкогорючий стан (наприклад, кисневий індекс підвищується з  $KI = 8$  до  $KI = 35$ ).

**Фуранові ПБМ** використовують як зв'язуюче при виготовленні полімербетонів, шаруватих пластиків, герметиків. Пожежонебезпечні властивості фуранових полімерів підвищують введенням наповнювачів. Вогнезахищені поліфуранові пінопласти мають кисневий індекс  $KI = 40$ . Цікаво, що при тривалому тепловому впливі ( $450\text{ }^\circ\text{C}$ ; 200 год) їх міцність зростає приблизно на 10 %.

**Епоксидні ПБМ** відрізняються великим різноманіттям. Для покращення вогнезахисту у їх складі намагаються використовувати бром-, галоген-, фосфорвміщуючі олігомери або отверджувачі. Також, дуже популярним є введення *синергістів* ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ), які сприяють збереженню властивостей ПБМ і перешкоджають виділенню пластифікатора при старінні. Вибір антипіренів визначається вимогами до технологічних, експлуатаційних, санітарно-гігієнічних властивостей епоксидних ПБМ. Тут, як правило використовують галоїдвміщуючі антипірени (хлоровані парафіни, гексабромбензол, хлорендіковий ангідрид та ін.). Серед неорганічних наповнювачів найбільше використання для зниження горючості епоксидних полімерів отримали  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , борат цинку, ортофосфат амонію, мікрокапсульовані хладони,  $\text{CCl}_4$ .

**Фенолформальдегідні та карбамідні ПБМ** застосовуються дуже широко. На їх основі виробляють ДСП, ДВП, паперово-шаруваті та склопластики, піно- й сотопласти. Фенолформальдегідні полімери важкозаймисті матеріали, а карбамідні (мочевиноформальдегідні) – ще менш горючі. При високотемпературному розкладенні карбамідні полімери випаровують токсичні гази (див. п.8.1.1.1), спучуються, руйнуються, утворюють обвуглений шар, який поступово вигорає.

Фенолформальдегідні полімери, хоча і більш горючі, утворюючи обвуглений шар, менше руйнуються.

Горючість цих матеріалів визначається горючістю наповнювачів. Коли вони мінеральні (азбест, мармурова крішка, рідке скло), фенольні пінопласти відносять до вогнезахищених матеріалів. Але ці наповнювачі погіршують механічні та теплофізичні властивості пінопластів. Міцнісні характеристики вдається поліпшити при додаванні скловолкна, перлітового піску. Органічні наповнювачі підвищують горючість фенольних та карбамідних пластмас, і тоді для зменшення пожежної небезпеки до їх складу вводять антипірени. Наприклад, шаруватий пластик на основі паперу та фенолформальдегідних полімерів – *гетинакс*, який відносять до горючих матеріалів ( $t_{\text{займ}} = 335 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{с/з}} = 495 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{розклад}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $KI = 25.7$ ), при додаванні антипірену (тетрабромдіфенілолпропану) переходить у групу важкогорючих матеріалів. Антипірени можуть використовуватися як у складі просочувального розчину, так і для модифікації паперу. Для виготовлення вогнезахищених ДВП та пінопластів у їх склад вводять антипірени на основі фосфату амонію, ПВХ, нефеліну, ортофосфорної кислоти та ін.

## література

1. Конституція України.
2. Закон України "Про пожежну безпеку".
3. Правила пожежної безпеки в Україні. - К.: Укрархбудінформ, 1995.-195 с.
4. Зенков Н.И. Строительные материалы и их поведение в условиях пожара. М.: ВИПТШ МВД СССР. 1974.
5. Пожарная опасность строительных материалов / под ред. А.Н.Баратова.- М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
6. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Под.ред. А.Н.Баратова и А.Я.Корольченко - М.: Химия, 1990. Т.1, 2.
7. Пожарная профилактика в строительстве. Учебник для пожарнотехнических училищ МВД СССР / Грушевский Б.В. и др./.-М.: Стройиздат, 1989. - 368 с.
8. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов. - М.: Стройиздат, 1985.
9. Денисенко В.В., Точилкина В.Г. Справочник. Пожарная безопасность в строительстве. - К.: Будівельник, 1987. - 302 с.
10. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций.- М.: Стойиздат, 1992. - 350 с.
11. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.
12. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ.- М.: Химия, 1981. - 272 с.
13. Воробьев В.А., Комар А.Г. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1976.– 475 с.
14. Горчаков Г.И. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1981.– 412 с.
15. Домокеев А.Г. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1989. - 495 с.
16. Строительные материалы / Под ред. Б.Г.Скрамтаева – М.: Промстройиздат, 1952. – 676 с.
17. ДСТУ 2272-93. ССБТ. Пожежна безпека. Терміни та визначення.
18. ДСТУ Б А.1.1-5-94. Система стандартизації і нормування в будівництві. Загальні фізико-технічні характеристики та експлуатаційні властивості матеріалів. терміни та визначення.
19. ДСТУ Б А.1.1-6-94. Теплофізичні випробування матеріалів. Терміни та визначення.

20. ДСТУ Б А.1.1–12–94. Вироби будівельного призначення з мінерального волокна. Терміни та визначення.
21. ДСТУ Б А.1.1–21–94. Скло та вироби зі скла будівельного призначення. Терміни та визначення.
22. ДСТУ Б А.1.1–15–94. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Терміни та визначення.
23. ДСТУ Б А.1.1–18–94. Лінолеум. Терміни та визначення.
24. ДСТУ Б А.1.1–28–94. Вироби полімерні погонажні профільні та оздоблювальні стінові (рулонні і листові). Терміни та визначення.
25. ДСТУ Б А.1.1–53–94. Матеріали будівельні. Методи визначення пористості. Терміни та визначення.
26. ДСТУ Б А.1.1–56–94. Гірські породи для виробництва нерудних будівельних матеріалів. Терміни та визначення.
27. ДСТУ Б А.1.1–60–95. Технологія важких бетонів та залізобетонних виробів. Арматурні вироби та закладні елементи. Терміни та визначення.
28. ДСТУ Б В.1.1–2–97 (ГОСТ 30402–96). Матеріали будівельні. Методи випробувань на займистість.
29. ДСТУ Б В.2.6–2–95. Матеріали будівельні. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови.
30. ДСТУ Б В.2.7–18–95. Матеріали будівельні. Бетони легкі. Загальні технічні умови.
31. ДСТУ Б В.2.7–19–95 (ГОСТ 30244–94). Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість.
32. ДСТУ Б В.2.7–23–95. Матеріали будівельні. Розчини будівельні. Загальні технічні умови.
33. ДСТУ Б В.2.7–36–95. Матеріали будівельні. Цегла та камені стінові безцементні. Технічні умови.
34. ДСТУ Б В.2.7–37–95. Матеріали будівельні. Плити та вироби з природного каменю.
35. ДСТУ Б В.2.7–38–95 (ГОСТ 17177–94). Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань.
36. ДСТУ Б В.2.7–42–97. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.
37. ДСТУ Б В.2.7–43–96. Матеріали будівельні. Бетони важкі. Технічні умови.
38. ДСТУ Б В.2.7–46–96. Матеріали будівельні. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
39. ДСТУ Б В.2.7–61–97. Матеріали будівельні. Цегла та камені керамічні рядові лицьові. Технічні умови.

40. ДСТУ Б В.2.7–70–98 (ГОСТ 30444–97). Метод випробування на розповсюдження полум'я.
41. ДСТУ Б В.2.7–80–98. Матеріали будівельні. Цегла та камені силікатні. Технічні умови.
42. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
43. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
44. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
45. ГОСТ 16363-76. ССБТ. Пожарная безопасность. Средства защиты для древесины. Метод определения огнезащитных свойств.
46. СТ СЭВ 382-76. Противопожарные нормы строительного проектирования. Испытания строительных материалов на возгораемость (горючесть). Определение группы негоряемых материалов.
47. СТ СЭВ 2437-80. Пожарная безопасность в строительстве. Возгораемость строительных материалов. Метод определения трудногораемых материалов.

## ПРЕДМЕТНИЙ ВКАЗІВНИК

- Адгезія 20  
**Азбест 41, 87, 126**  
**Азбоцемент 87, 138**  
Акрил 105, 111  
Альдегід 105  
Аміак 105  
**Аліт 55, 58**  
Антипірен 113, 132–134, 138–140  
Антраценове масло 118  
Асфальтовий бетон 119  
Атмосферостійкість 20, 130  
Ацетальдегід 104  
Ацетонітрил 106
- Базальт 44  
Барвник 103  
Беліт 55, 58  
Бензол 113  
Біотит 41  
Бітум 116  
Браунміллерит 55, 59  
Брізол 121  
Бронза 67  
Брус 98
- Вапно гашене 52  
— негашене 51  
— повітряне 45, 51  
Вата мінеральна 123  
— скляна 123  
Вапняк 45, 53  
Вермикуліт 41  
Відкладення механічні 37  
— органогенні 37  
Вогнева труба 27, 28, 29  
Вогнетривкі матеріали 92  
Водопоглинення 15  
Водопроникність 16  
Водостійкість 16  
Водоутримуюча здатність 74  
Волога гігроскопічна 96  
— капілярна 96  
Вологість 15, 96  
**Всмоктування 16**  
Вугілля деревне 100
- В'язкість 117  
В'яжучі 8, 47, 56
- Газ вуглекислий 104  
— пальний 100  
— чадний 104–106  
Герметик 119  
Гігроскопічність 16, 96  
Гідратація 51, 56  
Гідрозол 120  
**Гіпс 42, 53, 56, 127, 131**  
— будівельний 48  
Гірські породи 35  
— — — магматичні 37  
— — — інтрузивні 37  
— — — ефузивні 37  
— — — обломкові 37  
— — метаморфічні 37  
— — осадові 37  
Глиноземистий цемент 60, 61  
Горіння 21  
— гетерогенне 23  
— дифузійне 24  
— гомогенне 24  
— ламінарне 24  
— стаціонарне 24  
— турбулентне 24  
Горючість 25, 26  
Гравій 35  
Граніт 43  
Група горючості 27
- Дегідратація 52, 53**  
Деревина 94  
Деревний пластик 110  
Деревоволокниста плита (ДВП)  
98, 110, 128  
Деревостружечна плита (ДСП) 98,  
110, 128  
Деформація відносна 13  
— пластична 13  
— пружна 13  
Джерело запалювання 21  
Дим – 26

Димоутворююча здатність 30  
Дисоціація 52, 55  
Доломіт 42  
Дошка 98  
Дуктилометр 117  
**Дьоготь 117**  
Дюралюмін 67, 70

**Екран захисний 129**  
Екранування 130, 134, 137  
Електропровідність 20  
**Емульгатор 118**  
Емульсія 118

Жолоблення 96  
Жорсткість 76

Заболонь 94  
Займистість 27  
Залізобетон 80  
Звукопоглинення 21  
Звукопровідність 21  
Зв'язність 76  
Зручноукладальність 74, 76

Ізол 121  
Ізоморфізм 38  
Індекс розповсюдження полум'я 30

Кальцит 42  
Камбій 94  
Каолініт 41, 55  
**Карбамід 105**  
Карбонізація 52, 57  
Картон 120  
Кварц 40  
Керамічна труба 30  
Керамічні матеріали 90  
Кипілка 51  
Кисневий індекс 31  
Клас міцності бетону 80  
**Клінкер 53, 56**  
Коефіцієнт димоутворення 31  
Колода 98  
Колоїдизація 49, 56  
Кора 94

Корозійна стійкість 20  
Кристалізація 49, 56, 57  
Крихкість 10, 13

Латунь 67  
Легування 62, 135  
Липкість 20  
Лігнін 100  
Лінолеум 112  
Луб 94

Магнезит 42  
Марка в'язучого 48  
— бетону 79  
— цементу 57, 58  
Мармур 46  
Мастика 119, 121  
Матеріал 8  
Межа гігроскопічності 96  
— міцності 10, 63, 125  
— пружності 63  
— пропорційності 62  
— текучості 63  
Мергель 45, 53  
Метал 62  
Метан 100, 101, 106  
**Мінерал 38**  
**Міцність 10, 125**  
— відносна 12, 72  
Модифікація 129, 138  
Модуль основності 19  
— пружності 13  
Мономер 103  
**Морозостійкість 17, 79**

Набухання 16, 96  
**Наповнювач 103, 106**  
Напруга 10  
Небезпечні фактори пожежі 26  
Нітробензол 106

Обапіл 98  
Об'ємна маса 97  
Оксид азоту 113, 114  
— вуглецю 100, 101, 108, 113, 114  
Отверджувач 107



Пальна система 23  
Паскаль 10  
**Паста 118**  
**Пек 118**  
Пенетрометр 117  
Пергамін 120  
Перліт 44  
**Пінопласт 106, 113**  
Пінополістирол 113  
Пінополіуретан 114  
Піноскло 93, 123  
Піридин 106  
Піроліз 100  
Піщаник 45  
Пластина 98  
Пластифікатор 103, 107  
Пластичність 10, 13, 117  
Пластмаса 102, 103  
Повітропроникність 16  
**Повість 125, 126, 128**  
**Повторна гідратація 51, 52, 60**  
Пожежа 21  
Показник горючості 25  
— токсичності 31  
Покриття захисне 129, 136  
Полівінілхлорид (ПВХ) 104, 111  
Полівінілацетат 104  
Поліетилен 103  
Поліефір 106  
Поліізобутилен 104, 112  
Полікарбонат 111  
**Поліконденсація 103**  
Полімер 103  
— епоксидний 105  
— карбамідний 105  
— кремнійорганічний 106  
— термопластичний 103  
— терморективний 105  
**Полімеризація 103**  
Поліметилметакрилат 105  
Поліморфізм 38  
Поліпропилен 104  
**Полістирол 104**  
Поліуретан 106  
Попередньо напружена арматура 81

**Пористість 14, 79, 125**  
Поролон 106, 113  
**Поропласт 113**  
Портландцемент 53  
Продукти згоряння 25  
**Просочування 130, 132, 133**  
Пружність 10, 12  
Пушонка 52  
  
Розм'якшення 16  
Розчинення 16  
Розчин будівельний 74  
Розчинність 20  
**Рулонний матеріал 118–120**  
Руберойд 120  
Рухливість 74, 76  
  
Серпентит 46  
Серцевина 95  
Силікатні бетони 87  
— матеріали 85  
Силікатна цегла 85  
Силумін 67, 70  
Скло 93  
— органічне 105  
— рідке 53  
Склоізол 120  
**Склопластик 110**  
Склоповість 120  
Склоруберойд 120  
Склотканина 120  
Сплав 62  
Стабілізатор 103, 107  
Сталь 64  
— арматурна 69  
— будівельна 68  
— вуглецева 65, 66  
— інструментальна 66  
— конструкційна 65  
— легована 65  
Старіння 102  
Стіраність 10, 14  
Стирол 104  
Схоплювання 48, 57  
  
Твердіння 20, 48

Твердість 64  
Температура заpalення 23, 100  
— критична 12, 72  
— розм'якшення 117  
Температуростійкість 125  
Теплоємність 17  
**Теплопровідність 17, 97, 124**  
Теплота згорання 23  
Тес 99  
Тління 24, 100  
Термічний опір 18  
Термостійкість 19  
Токсичність 31  
**Толуол 106**  
Толь 120  
Торфоплита 128  
  
Усадка 16, 61  
Усихання 96

Фарба вогнезахисна 131  
**Фанера 99**  
Фенол 105, 108, 114  
Фенолформальдегід 105  
Фольга 120  
Формальдегід 104, 108

Хімічна активність 19  
— стійкість 19  
Хімічні осади 37  
Хлор 104, 108  
Хлорид вуглецю 108  
**Хлористий водень 104**

Цегла 92  
Целіт 55, 59  
Целюлоза 97, 100  
Цементний камінь 57, 58, 59  
— тісто 56  
Цементуюча здатність 20  
**Ціанистий водень 104–106, 113, 114**

Чавун 64  
Четвертина 98

Шахтна піч 27, 28, 29  
Швидкість вигорання 23  
Шпат польовий 40

Щебінь 35  
**Щільність 14, 97, 124**  
— істинна 14, 97  
— насипна 15  
— середня 14, 79, 97

## **Ядро 94**

Armstrong 134

Decuninck 111

Ondex 111

Plexiglas 105

Rolvaplast 111

Termoplast 111

Uniterm 132, 138

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ..5	
1.1 Загальні відомості .....	5
1.2 Механічні властивості будівельних матеріалів .....	7
1.3 Фізичні властивості будівельних матеріалів .....	12
1.4 Хімічні і спеціальні властивості будівельних матеріалів .....	18
1.5 Пожежно–технічні характеристики будівельних матеріалів .....	21
1.5.1 Горіння матеріалів, умови займання і розповсюдження вогню.21	
1.5.2 Пожежна небезпека і визначення груп горючості будівельних матеріалів .....	25
1.5.3 Методи визначення пожежно-технічних характеристик будівельних матеріалів .....	27
1.6 Стандартизація будівельних матеріалів .....	33
ГЛАВА 2. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ .....	36
2.1 Визначення і класифікація .....	36
2.2 Гірські породи і породоутворюючі мінерали .....	37
2.3 Особливості хімічного складу і поведінки окремих мінералів при дії високих температур .....	42
2.3.1 Класи оксидів і гідроксидів .....	42
2.3.2 Клас силікатів .....	43
2.3.3 Клас карбонатів .....	44
2.3.4 Клас сульфатів .....	45
2.4 Особливості поведінки природних кам'яних матеріалів при нагріванні .....	46
2.4.1 Вивержені породи .....	46
2.4.2 Осадові породи .....	48
2.4.3 Метаморфічні породи .....	50
ГЛАВА 3. НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ.....	50
3.1 Визначення і класифікація .....	50
3.2 Мінеральні повітряні в'язучі матеріали та їхня поведінка при впливі високих температур .....	52
3.2.1 Будівельний гіпс .....	52
3.2.2 Повітряне будівельне вапно .....	55
3.2.3 Рідке скло .....	57
3.3 Гідравлічні мінеральні в'язучі та їх поведінка при впливі високих температур .....	57
3.3.1 Портландцемент .....	57
3.3.2 Глиноземистий цемент .....	65
ГЛАВА 4. МЕТАЛИ І СПЛАВИ .....	66
4.1 Властивості металів і сплавів .....	66

4.1.1	Склад та маркування чорних металів.....	69
4.1.2	Склад та маркування сплавів кольорових металів.....	72
4.2	Метали і сплави, що застосовуються в будівництві.....	74
4.2.1	Будівельні сталі.....	74
4.2.2	Алюмінієві будівельні сплави.....	76
4.3	Поведінка металів і сплавів при нагріванні.....	77
ГЛАВА 5.	БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ, БЕТОНИ, ЗАЛІЗОБЕТОН.....	80
5.1	Будівельні розчини.....	80
5.2	Бетон і його властивості.....	82
5.3	Залізобетон і його властивості.....	88
5.4	Вплив високих температур на бетон і залізобетон.....	89
ГЛАВА 6.	ШТУЧНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ.....	92
6.1.	Штучні кам'яні неопалені матеріали.....	92
6.1.1.	Силікатні матеріали.....	93
6.1.2.	Азбоцементні матеріали.....	96
6.2	Штучні кам'яні опалені матеріали.....	98
6.3	Матеріали і вироби на основі мінеральних розплавів.....	102
ГЛАВА 7.	ДЕРЕВИНА І ВИРОБИ НА ЇЇ ОСНОВІ.....	102
7.1	Будова деревини.....	103
7.2	Властивості деревини та її застосування.....	105
7.2.1	Фізичні і механічні властивості деревини.....	105
7.2.2	Застосування деревини в будівництві.....	107
7.3	Поведінка деревини при дії високих температур.....	110
ГЛАВА 8.	ПОЛІМЕРНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.....	111
8.1	Склад і властивості пластмас.....	111
8.1.1	Основні компоненти пластмас.....	112
8.2	Види будівельних матеріалів і виробів з пластмас.....	118
8.2.1	Конструкційно-оздоблювальні матеріали.....	120
8.2.2	Покрівельні і гідроізоляційні матеріали.....	122
8.2.3	Матеріали для підлог.....	123
8.2.4	Теплоізоляційні матеріали.....	123
8.2.5	Полімерні бетони.....	125
ГЛАВА 9.	БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ.....	126
9.1	Основні властивості бітумних та дьогтьових в'язучих.....	126
9.2	Види будівельних матеріалів на основі органічних в'язучих.....	129
9.2.1	Емульсії, пасти, асфальтові бетони.....	129
9.2.2	Покрівельні, гідроізоляційні і герметизуючі матеріали.....	130
ГЛАВА 10.	ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ.....	134
10.1	Визначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів і виробів .....	134

10.2	Будова і властивості теплоізоляційних матеріалів.....	136
10.3	Неорганічні теплоізоляційні матеріали.....	137
10.4	Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби.....	140
<b>ГЛАВА 11. СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ТА</b>		
<b>ЗНИЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>		
.....		141
11.1	Загальні закономірності вогнезахисту .....	141
11.2	Основи вогнезахисту деревини і деревних матеріалів .....	142
11.2.1	Вогнезахисні покриття деревини.....	143
11.2.2	Вогнезахисне просочування деревини .....	145
11.2.3	Екранування дерев'яних конструкцій .....	147
11.3	Основи вогнезахисту металів.....	148
11.3.1	Легування металів .....	148
11.3.2	Вогнезахисні покриття металевих конструкцій .....	149
11.3.3	Екранування металевих конструкцій .....	150
11.4	Основи вогнезахисту полімерних матеріалів .....	151
	література.....	156











