

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

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

Навчальний посібник

**Рекомендовано до друку і використання в освітньому
процесі вченою радою НУЦЗ України**

Харків 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

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

Навчальний посібник

**Рекомендовано до друку і використання в освітньому
процесі вченою радою НУЦЗ України**

Харків 2024

Авторський колектив:

- О. В. Васильченко, кандидат технічних наук, доцент – глави 1–11;
М. М. Удянський, кандидат технічних наук, доцент – глава 1;
О. М. Данілін, кандидат технічних наук, доцент – глава 11;
О. В. Савченко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник – глава 9;
О. В. Миргород, кандидат технічних наук, доцент – глава 6

Рецензенти: доктор технічних наук, професор **Г.М. Шабанова**, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
доктор технічних наук, професор **Ю.А. Отрош**, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України,

Рекомендовано до друку і використання в освітньому процесі
вченою радою НУЦЗ України
(протокол від 29.11.2023 № 3)

Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур: навч. посіб. /
О. В. Васильченко, М. М. Удянський, О. М. Данілін, О. В. Савченко, О. В. Миргород. –
Х.: НУЦЗУ. – 2024. – 174 с.

В навчальному посібнику наведено дані про класифікацію будівельних матеріалів, їх отримання, використання, основні властивості у нормальних умовах та за високих температур; надано елементарні поняття про горіння матеріалів, їх пожежно-технічні характеристики та способи контролю; викладено теоретичні основи вогнезахисту будівельних матеріалів та конструкцій; розглянуто способи зниження пожежної небезпеки для конструкцій із деревини, сталі та залізобетону, а також для матеріалів на полімерній основі.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти, слухачів навчальних закладів пожежно-технічного напрямку та практичних робітників Державної служби цивільного захисту України.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Глава 1. Основні властивості будівельних матеріалів	8
1.1 Загальні відомості	8
1.2 Механічні властивості будівельних матеріалів	10
1.3 Фізичні властивості будівельних матеріалів.....	15
Найменування матеріалу	19
1.4 Хімічні та спеціальні властивості будівельних матеріалів	20
1.5 Пожежно-технічні характеристики будівельних матеріалів.....	22
1.5.1 Горіння матеріалів, умови займання і поширення вогню.....	22
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	34
Питання для самоконтролю до глави 1	37
Глава 2. Природні кам'яні матеріали	38
2.1 Визначення і класифікація	38
2.2 Гірські породи і породоутворювальні мінерали.....	38
Колір	41
2.3 Особливості хімічного складу і поведінки окремих мінералів при дії високих температур.....	43
2.3.1 Класи оксидів і гідроксидів.....	43
2.3.2 Клас силікатів	44
2.3.3 Клас карбонатів	45
2.3.4 Клас сульфатів	46
2.4 Особливості поведінки природних кам'яних матеріалів при нагріванні.....	46
2.4.1 Вивержені породи	46
2.4.2 Осадкові породи	48
2.4.3 Метаморфічні породи	49
Питання для самоконтролю до глави 2	49
Глава 3. Неорганічні в'язучі матеріали.....	50
3.1 Визначення і класифікація	50
3.2 Мінеральні повітряні в'язучі матеріали та їхня поведінка при впливі високих температур.....	51
3.2.1 Будівельний гіпс.....	51
3.2.2 Будівельне повітряне вапно	54
3.2.3 Рідке скло	56
3.3 Гідравлічні мінеральні в'язучі та їх поведінка при впливі високих температур	57
3.3.1 Портландцемент	57

3.3.2 Глиноземистий цемент	63
Питання для самоконтролю до глави 3	64
Глава 4. Metали і сплави	66
4.1 Властивості металів і сплавів	66
4.1.1 Склад та маркування чорних металів	66
4.1.2 Склад та маркування сплавів кольорових металів	71
4.2 Metали і сплави, що застосовуються в будівництві	72
4.2.1 Будівельні сталі	75
4.2.2 Алюмінієві будівельні сплави	79
4.3 Поведінка металів і сплавів при нагріванні	80
Питання для самоконтролю до глави 4	82
Глава 5. Будівельні розчини, бетони, залізобетон	83
5.1 Будівельні розчини	83
5.2 Бетон і його властивості	85
5.3 Залізобетон і його властивості	91
5.4 Вплив високих температур на бетон і залізобетон	94
Питання для самоконтролю до глави 5	96
Глава 6. Штучні кам'яні матеріали і вироби	98
6.1 Штучні кам'яні неопалені матеріали	98
6.1.1 Силікатні матеріали	98
6.1.2 Азбестоцементні матеріали	101
6.2 Штучні кам'яні опалені матеріали	103
6.3 Матеріали і вироби на основі мінеральних розплавів	107
Питання для самоконтролю до глави 6	110
Глава 7. Деревина і вироби на її основі	111
7.1 Будова деревини	111
7.2 Властивості деревини та її застосування	114
7.2.1 Фізичні та механічні властивості деревини	114
7.2.2 Застосування деревини в будівництві	116
7.3 Поведінка деревини при дії високих температур	119
Питання для самоконтролю до глави 7	121
Глава 8. Полімерні будівельні матеріали	122
8.1 Склад і властивості пластмас	122
8.1.1 Основні компоненти пластмас	122
8.2 Види будівельних матеріалів і виробів із пластмас	127
8.2.1 Конструкційно-оздоблювальні матеріали	128
8.2.2 Покрівельні та гідроізоляційні матеріали	130
8.2.3 Матеріали для підлог	131
8.2.4 Теплоізоляційні матеріали	132
8.2.5 Полімерні бетони	134
Питання для самоконтролю до глави 8	135
Глава 9. Будівельні матеріали на основі органічних в'язучих	136
9.1 Основні властивості бітумних та дьогтьових в'язучих	136
9.2 Види будівельних матеріалів на основі органічних в'язучих	138

9.2.1 Емульсії, пасти, асфальтові бетони	138
9.2.2 Покрівельні, гідроізоляційні та герметизуючі матеріали	139
Питання для самоконтролю до глави 9	144
Глава 10. Теплоізоляційні матеріали та вироби	145
10.1 Визначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів та виробів	145
10.2 Будова і властивості теплоізоляційних матеріалів.....	146
10.3 Неорганічні теплоізоляційні матеріали	147
10.4 Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби	150
Питання для самоконтролю до глави 10	152
Глава 11. Способи підвищення вогнестійкості та зниження пожежної небезпеки будівельних матеріалів	153
11.1 Загальні закономірності вогнезахисту	153
11.2 Основи вогнезахисту деревини і деревних матеріалів	154
11.2.1 Вогнезахисне просочування деревини.....	154
11.2.2 Вогнезахисні покриття деревини	157
11.2.3 Екранування дерев'яних конструкцій.....	160
11.3 Основи вогнезахисту металів	161
11.3.1 Легування металів	161
11.3.2 Вогнезахисні покриття металевих конструкцій.....	162
11.3.3 Екранування металевих конструкцій	163
11.4 Основи вогнезахисту полімерних матеріалів	165
Питання для самоконтролю до глави 11	168
Література	169
Предметний покажчик	173

ВСТУП

Будівництво – це одна з найбільш матеріалоемних галузей народного господарства, що потребує великої кількості матеріалів та виробів. Витрати на матеріали складають близько шістдесят відсотків номінальної вартості будівельно-монтажних робіт і близько 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 ін. 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 із природної сировини або відходів промисловості, із 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 їх якість відповідає умовам роботи будівель і споруд під час експлуатації. Рациональне використання сировинних, матеріально-технічних і інших видів ресурсів потребує відповідного ставлення до матеріальних цінностей, у тому числі і до захисту їх від пожеж.

Високі темпи розвитку економіки 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 з використанням легких конструкцій з металу та полімерних матеріалів, що мають низьку вогнестійкість.

Використання усіх видів будівельних матеріалів повинно базуватися на знанні їх фізико-механічних і хімічних властивостей при нормальних і високих температурах, а також токсичних властивостей. При цьому необхідно мати уявлення не тільки про міцність і деформативність матеріалів при нагріванні, але і про пожежонебезпечні властивості, такі як займистість, теплота займання, температура спалахування, швидкість вигорання і поширення полум'я по поверхні, здатність до димоутворення тощо. Треба мати на увазі, що деякі матеріали, особливо полімерні, в умовах дії високих температур і при термоокисленні виділяють токсичні гази, що шкідливо впливають на стан організму людини.

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

Питаннями поведінки різноманітних будівельних матеріалів і конструкцій при впливі високих температур займалися такі відомі діячі науки і техніки як О.М. Баратов, Б.В. Грушевський, М.І. Зенков, М.О. Ільїн, О.Ф. Мілованов, М.Я. Ройтман, І.Г. Романенков, О.І. Яковлев та ін. Але тепер у зв'язку зі збільшенням номенклатури і розширенням географії постачання будівельних матеріалів на ринок України та виникненням на ньому нових виробів (особливо це стосується полімерних матеріалів), виникла потреба у виданні навчального посібника для здобувачів вищої освіти, слухачів навчальних закладів пожежно-технічного напрямку та практичних робітників Державної служби цивільного захисту України, в якому узагальнено попередній досвід і додано відомості про сучасні будівельні матеріали.

У цьому навчальному посібнику приділено увагу наведенню прикладів різноманітних будівельних матеріалів, їх термомеханічних та пожежонебезпечних характеристик. У навчальному виданні в лаконічній формі наведено: основні види та властивості будівельних матеріалів, що частіше застосовуються у будівництві, з викладенням головних показників якості; розкрито основні процеси, що мають місце при дії високих температур і вогню на будівельні матеріали та вплив різних факторів на поведінку матеріалів у цих умовах; описано методи оцінки пожежонебезпечних властивостей матеріалів; вказано способи підвищення пожежної безпеки будівельних матеріалів; зазначено основи протипожежного нормування щодо 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 ін.

За використанням матеріалів та виробів у будівництві їх можна 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 огорожувальні 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 із 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, головними з яких є:

1. Походження:

– *природні* (використовуються без суттєвої переробки природної сировини) - кам'яні плити, блоки, щебінь;

– *штучні* (одержують в результаті достатньо складної технологічної переробки природної сировини) – гіпс, вапно, цементи, бетони.

2. Призначення:

– *конструкційні* (для спорудження стін, перекриттів, каркасів) – метал, цегла, деревина, бетон, залізобетон;

– *в'язучі* (для кам'яної кладки, бетонів, штукатурки) – цементи, 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-, дво- та багатокомпонентні.

7. Спосіб отримання – плавлені, полімеризовані, спечені, обпалені...

8. Техніко-економічні показники – надійність, довговічність, вартість...

9. Пожежно-технічні показники – горючість, займистість, поширення полум'я, димоутворююча здатність, токсичність тощо.

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 будівлях 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 і перебувають у рівновазі. Після прикладення до тіла зовнішнього навантаження його дія рівномірно розподіляється на всі частки матеріалу; це призводить до зміни відстаней між ними, тобто до *деформації* тіла. Внутрішні сили взаємодії між частками матеріалу намагаються відновити рівновагу, що викликає виникнення внутрішніх *напружень* всередині тіла. Такий стан тіла називають *напружено-деформованим*, що вказує на нерозривний зв'язок між деформацією та напруженням.

Напруження (*напряга*) виражається відношенням сили (навантаження), яка діє на тіло, до площі перерізу тіла. В системі СІ її вимірюють у *Паскалях* ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$):

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

де σ – *напряга*, Па; P – сила (навантаження), Н; F – площа перерізу, м^2 .

Міцність деталей будівельних конструкцій залежить від їх форми та розмірів, виду навантажень, природи матеріалу, його структури, щільності тощо. Для ухвалення рішення щодо можливості застосування конкретних матеріалів для виготовлення деталей будівельних конструкцій користуються поняттям «*границя міцності*». Будівельні матеріали у конструкціях під дією різних навантажень сприймають *напрягу* стиску, розтягнення, згину та ін. Тому міцність матеріалів характеризують *границею міцності* при стиску, розтягненні, згині та інших навантаженнях.

Таким чином, ***границею міцності*** називають умовну *напрягу*, 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 *напряга*, яка відповідає найбільшому навантаженню, що витримує зразок матеріалу при випробуванні.

Практично *границю міцності* визначають шляхом навантаження до руйнування стандартних зразків (рис. 1.1) на спеціальних пресах або розривних машинах (рис. 1.2).

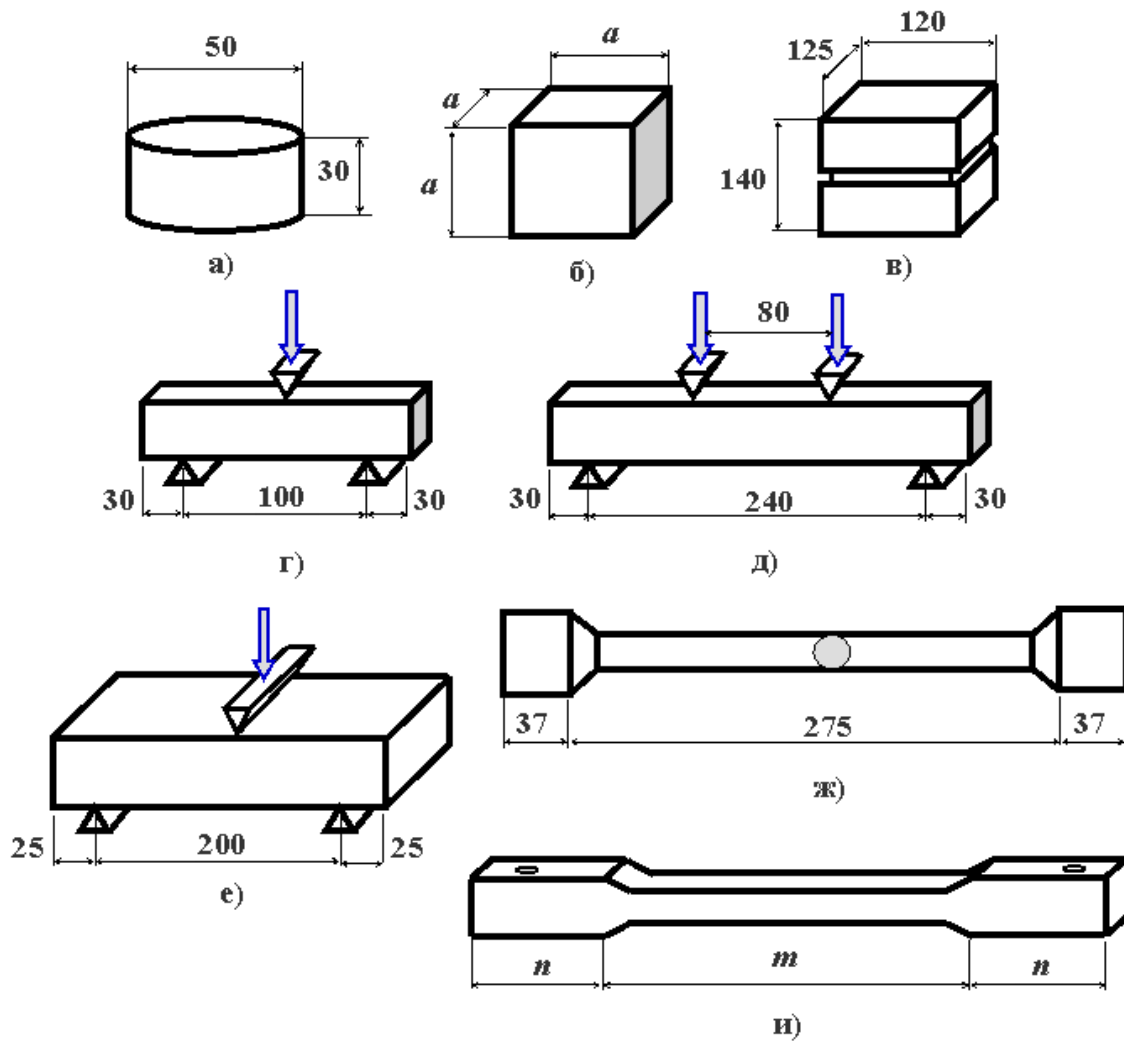


Рисунок 1.1 – Приклади стандартних зразків для випробування матеріалів:

- на стиск: а) щільне природне каміння; б) щільне і пористе природне каміння та бетон: $a = 50; 100; 150$; в) цегла – дві склеєні половини;
- на вигин: г) цементний розчин; д) деревина; е) цегла;
- на розтягнення: ж) сталь; и) деревина уздовж волокон: $n = 100; m = 150$; поперек волокон $n = 45; m = 90$



Рисунок 1.2 – Прилади для випробування будівельних матеріалів

Середнє значення результатів вимірювання границі міцності серії зразків матеріалу характеризується поняттям «марка». Границі міцності деяких будівельних матеріалів наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Границі міцності при стиску та розтягненні деяких будівельних матеріалів

Найменування матеріалу	Границя міцності, МПа		
	при стиску	при розтягненні	при згині
Граніт	120...250	6...12	–
Базальт	250...500	12...25	–
Вапняк щільний	10...150	0,4...7	–
Бетон цементний	5...60	0,8...3,2	0,5...1
Цегла керамічна	15...30	–	1,5...4,5
Цегла силікатна	5...29	–	0,5...4
Скло	500...2000	–	30...100
Чавун	500...750	120...210	280...400
Сталь	200...500	200...1500	200...750
Дюралюміній	210...450	210...450	180...250
Ялина	37...42	127...129	77...78
Сосна	43...44	113...117	78...80
Дуб	50...52	128...130	93...95
Бук	40...46	128...130	90...92
Текстоліт	150...250	40...100	40...100
СВАМ	140	160	250
Органічне скло	50...120	–	65...78

Границя міцності будівельних матеріалів при стиску коливається 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.

Математично це визначається відношенням:

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

де K_3 – коефіцієнт запасу міцності (завжди більше 1); R_a^H – нормативна границя міцності матеріалу; σ_a – напруга в матеріалі від нормативних (робочих) 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 $K_3=1,4$).

При нагріванні деталі будівельної конструкції може відбуватися прогрівання матеріалу, з якого вона складається, до **критичної температури** (T_k), при якій границя міцності зразка матеріалу знижується до величини допустимих робочих напружень, зумовлених нормативним запасом міцності, що виникають від експлуатаційних навантажень (рис. 1.3).

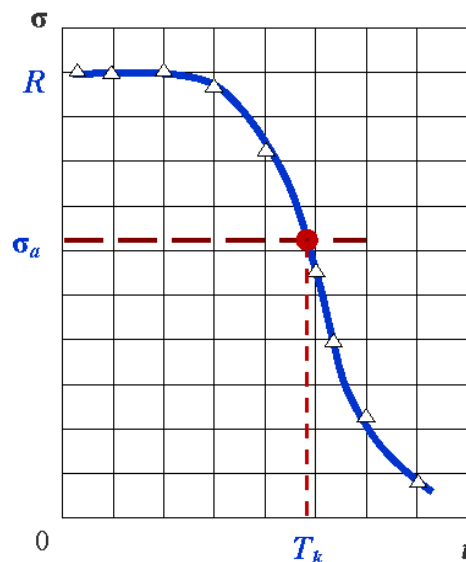


Рисунок 1.3 – Визначення критичної температури (T_k) матеріалу

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

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

Пружність – здатність матеріалу змінювати під дією навантаження свою форму та об’єм без ознак руйнування та відновлювати їх після припи-

нення дії деформуючих сил. Зовнішні сили, прикладені до зразка матеріалу, викликають зміну його розмірів на величину Δl у напрямку дії сили (при стиску – скорочення, при розтягуванні – подовження). Показником деформації є **відносна деформація** (ε), яку визначають відношенням зміни лінійних розмірів тіла, що деформується (Δl) 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 зняття навантаження. 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 σ – напруга, МПа; ε – 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 рази нижче, ніж у скла. А якщо деформованість сталі порівнювати з каучуком ($E=20$ МПа), то вона буде в 10000 разів 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 у значній мірі 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 є крихкими у сухому стані та пластичними у вологому.

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

Стиранийність – здатність матеріалу опиратися дії зусиль тертя. Як правило, чим вище твердість матеріалу, тим більше у нього і опір стиранню. Одноточасний вплив на матеріал стирання і удару викликає його спрацювання. А стійкість до спрацювання зумовлена спроможністю протидіяти абразивній дії.

Довговічність – здатність матеріалів зберігати потрібні якості до настання граничного стану, який задається умовами експлуатації або випробувань. Оцінюють її часом або числом циклів від початку експлуатації (випробування) до моменту досягнення граничного стану, в разі настання якого 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 (ρ) – 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, м³.

Будівельні матеріали, за небагатьма виключеннями (скло, метали), мають пори, тому визначення істинної щільності передбачає подрібнення матеріалу в 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 (ρ_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, м³.

Пористість (П) – 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.

$$П = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho} \right) \cdot 100, \quad [\%] .$$

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

Для будівельних матеріалів, які часто використовуються у вигляді 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 (ρ_n) – маса одиниці об'єму пухконасипних матеріалів. Якщо середня густина матеріалу відноситься до його окремих зразків, то насипна густина враховує ще й порожнини, що утворюються в об'ємі насипаних в купку часток, шматків або волокон матеріалу.

Для визначення насипної щільності використовують стандартну мірну посудину

$$\rho_c = \frac{m_2 - m_1}{V_{\Pi}} \cdot 100, \quad [\%] ,$$

де m_1 – маса пустої мірної посудини, кг; m_2 – маса мірної посудини з рихлим матеріалом, кг; V_{Π} – об'єм посудини, м³.

Гідрофізичні властивості матеріалів характеризують їх відношення 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:

$$В = \frac{m_B - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad [\%] ,$$

де m_c – маса сухого зразка, кг; m_B – маса вологого зразка, кг.

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 пов'язане поняття водопроникності. **Водопроникність** – здатність матеріалу фільтрувати через себе воду під дією одностороннього тиску. Чисельним показником водопроникності є коефіцієнт фільтрації (K_f), рівний кількості води, що профільтрувалася через тіло матеріалу площею 1 м^2 за 1 секунду при заданому тиску води, або марка водопроникності (W), що позначає величину одностороннього гідростатичного тиску (МПа), при якому зразок – циліндр не пропускає воду в умовах стандартного випробування. За цим показником розрізняють марки бетону від W2 до W20. В будівництві в основному застосовується бетон марки W4 нормальної водопроникності. Для споруд із монолітного залізобетону застосовують бетон W6 пониженої проникності. Бетони особливо низької проникності (марок W8 та більше) використовують в гідротехнічних спорудах.

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

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

До гідрофізичних явищ відносяться також вологісні деформації матеріалів, пов'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 пов'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_p), що визначається як відношення границі міцності при стиску зразка матеріалу в насиченому водою стані до границі міцності зразків у сухому стані. Якщо значення K_p менше 0,8, то такі матеріали не є водостійкими.

$$K_p = \frac{R_H}{R_c},$$

де R_c – міцність матеріалу в сухому стані, МПа; R_H – міцність матеріалу в 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 газонепроникних 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 упродовж 4 годин і розтавання також упродовж 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 (λ) – 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 м² за 1 с при різниці температур по обидві сторони матеріалу 1 °С.

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

де λ – теплопровідність, Дж/м·с·град; Q – кількість тепла, Дж; δ – товщина стінки, м; t_r – температура гарячої поверхні, °С; t_x – температура холодної поверхні, °С; F – площа, м²; τ – час, с.

Теплопровідність – важлива характеристика матеріалу, що залежить від його мінералогічного і фазового складу, пористості і вологості. Чим вище по-

ристість і нижче вологість матеріалу, тим менше його теплопровідність, що пов'язано з низькою теплопровідністю повітря (0,023 Вт/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 будівель та визначення товщини теплової ізоляції.

В табл. 1.2 наведено істинну, середню густину та теплопровідність найбільш поширених будівельних матеріалів.

Таблиця 1.2 – Основні властивості будівельних матеріалів

Найменування матеріалу	Істинна густина, ρ , кг·м ⁻³	Середня густина, ρ_0 , кг·м ⁻³	Теплопровідність, λ , Вт·м ⁻¹ ·град ⁻¹
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
Мармур	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
Скловата	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
Цегла керамічна	2700	1600 – 1900	0,30 – 0,52
Цегла силікатна	2600	1800 – 2000	0,46 – 0,85
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 (λ).

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

Термічний опір нормується, і тим для зазначеного виду матеріалу з конкретним значенням λ 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 м²·град·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 °С) і його охолодження (у воді – до 5...25 °С) 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 80·10⁻⁷ с⁻¹, як правило, мають низьку термостійкість. Якщо матеріал має КТР менше 40·10⁻⁷ с⁻¹, то вони характеризуються високою термостійкістю, як наприклад, вироби із кварцового скла, які мають КТР менше 7·10⁻⁷ с⁻¹.

1.4 Хімічні та 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 їх 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 зумовлює 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 у кислих та лужних середовищах, у залежності від складових сполук, застосовують *модуль основності (M_o)*:

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

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

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

Корозійна стійкість – здатність матеріалу не руйнуватися в агресивних середовищах (кислі та лужні розчини, морська і проточна вода), з якими він стикається у процесі експлуатації. Карбонатні матеріали не є стійкими 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 гниттю.

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

Твердіння – здатність матеріалу переходити із 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 із зернами щебеню, гравію, піску та металевою арматурою зумовлює міцність бетону та залізобетону. Чим більше адгезія, тим більше міцність конструкції у цілому.

Цементуюча здатність – здатність кам'яного матеріалу в розпушеному і зволоженому стані твердіти і утворювати при висиханні деяку зв'язність.

До **спеціальних властивостей** відносять *електропровідність і радіаційну стійкість*. Відповідно 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 використовують: фарфор, окремі види скла, азбест, гуму, 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 у першу чергу цікавить *звукопровідність, звукопоглинання 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 вла-

стивості є узагальненими і відбивають водночас комплекс фізичних, хімічних і механічних явищ в будь-якому їхньому поєднанні. До технологічних властивостей відносяться: здатність до дроблення, пластичність, легкоукладання, розшаровуваність, формівність, гвоздимість, злежуваність, відбілюваність і т. п.

Декоративні властивості враховують при використанні матеріалів відповідно до їх функціонального призначення і для виконання 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 поширення 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 подана на рис. 1.4.

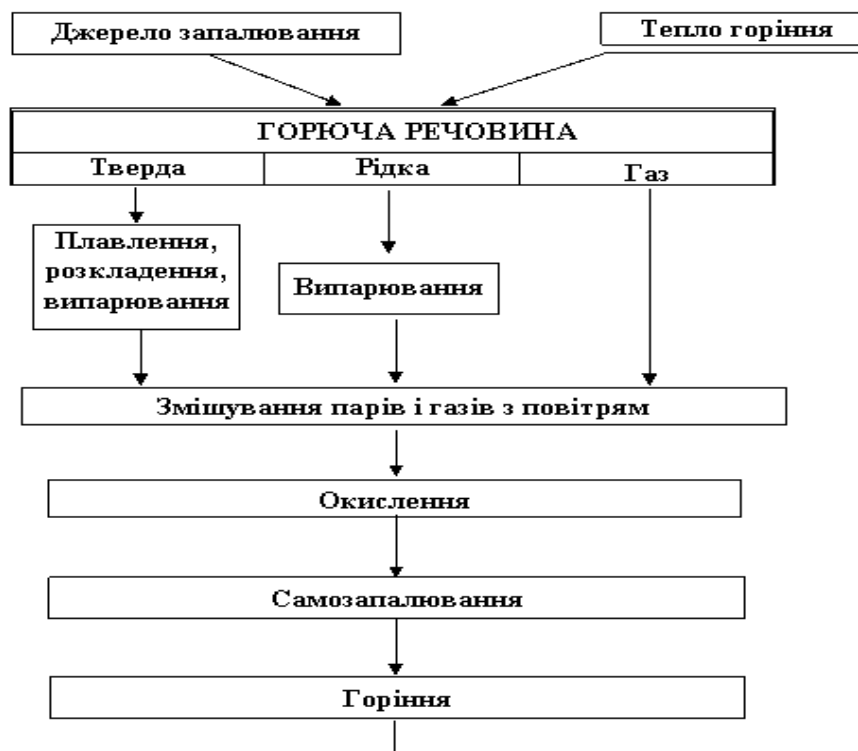


Рисунок 1.4 – Умовна схема протікання процесу горіння

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

На процес горіння впливають такі фактори:

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

Температура горючої речовини, за якої виникає її стійке горіння після впливу джерела запалювання, і є *температурою запалювання* 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 м², характеризує *швидкість вигорання* матеріалу.

Горючі 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 (τ_r) складається з часу, необхідного для виникнення фізичного контакту між горючою речовиною і киснем повітря τ_ϕ , та часу, що витрачається на проходження самої хімічної реакції τ_x

$$\tau_r = \tau_\phi + \tau_x,$$

де τ_ϕ – фізична взаємодія – час виникнення контакту між горючою речовиною та окислювачем; час сумішеутворення (гомогенне горіння); час транспорту окислювача до твердої поверхні горіння (гетерогенне горіння); τ_x – хімічна взаємодія – час протікання хімічної реакції.

В неоднорідній системі $\tau_\phi > \tau_x$ та, практично, $\tau_r \approx \tau_\phi$. Тобто швидкість горіння визначається тільки дифузією кисню 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 розжареної поверхні або конденсованої фази, що безпосередньо горить. 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 го-

ріння ще перетинаючи шар твердих продуктів згорання. 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. 1.5,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 дифузиею окислювача у зону полум'я, або дифузиею горючих випарів, або обома процесами. Воно *буває стаціонарним і турбулентним*. Прикладом дифузійного горіння є горіння випарів, що підіймаються з вільної поверхні рідини (рис. 1.5,а). Кисень повітря дифундує крізь шар газоподібних продуктів згорання до зони горіння. Швидкість реакції горіння залежить від швидкості дифузії кисню.

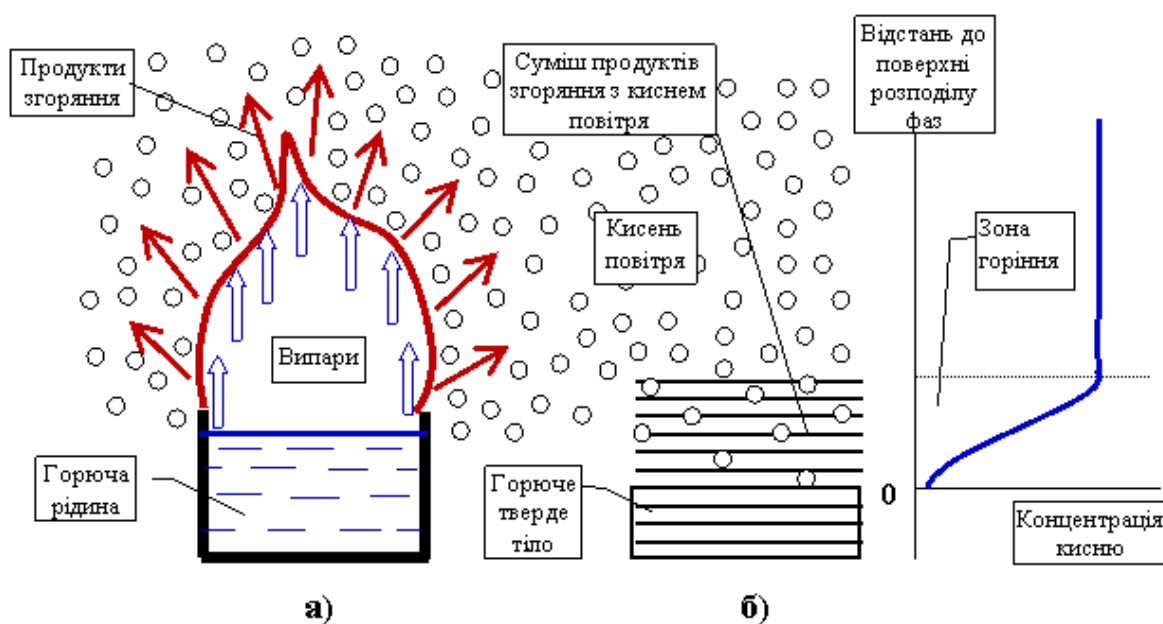


Рисунок 1.5 – Схеми гомогенного (а) та гетерогенного (б) горіння

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

Особливий вид горіння – *тління*, для якого є характерними ознаки як гетерогенного (розжарення конденсованої фази), так і гомогенного (близьке

до поверхні дифузійне полум'я) горіння. До тління є схильними високопористі горючі матеріали, що не плавляться, які мають у порах деяку кількість окислювача, достатню для окислення частини газоподібних продуктів піролізу, або ще певну невелику частину кисню у складі молекул. Найбільш часто з тлінням стикаються 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, $\tau_{\text{ф}} < \tau_{\text{х}}$, а $\tau_{\text{г}} \approx \tau_{\text{х}}$. Завдяки тому, що швидкість хімічної реакції при високій температурі є великою, горіння однорідних сумішей відбувається майже миттєво і має характер вибуху.

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

1.5.2 Пожежна небезпека і визначення груп горючості будівельних матеріалів

Під пожежною небезпекою речовин і матеріалів розуміють сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення пожежі. Найбільш важливі поняття, що стосуються пожежної безпеки встановлюються стандартом «ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення».

Також важливим документом, що встановлює визначальні властивості речовин та матеріалів, є стандарт «ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення». До головних пожежонебезпечних характеристик матеріалів, згідно з цим документом, можна віднести:

- горючість;
- займистість;
- здатність до поширення полум'я;
- димоутворюючу здатність;
- токсичність продуктів згорання;
- індекс поширення полум'я;
- кисневий індекс.

Горючість (займистість) – здатність матеріалів до самостійного горіння, або, іншими словами, здатність спалахувати, полум'яно чи безполум'яно горіти (тліти), поширювати горіння. За ДСТУ 8828:2019 матеріали поділяються за цими ознаками 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 го-

ріння 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 запалювання.

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

а) за достатньої кількості окислювача – продукти повного згорання: вуглекислий газ (CO_2), вода (H_2O), азот (N_2);

б) за недостатньої кількості окислювача або низької температури – чадний газ (CO), сажа (C), оксиди азоту.

При горінні неорганічних речовин (S , P , Na , K , Ca , Al , Mg , Ti ...) утворюються їхні дисперсні оксиди (P_2O_5 , Na_2O , CaO , MgO ...).

Дисперсна система із 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 *ДСТУ 8828:2019* визначаються **небезпечні фактори пожежі**, які впливають на людей, це:

– **первинні фактори**:

- 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;

– **вторинні фактори**:

- 1) частини будівельних конструкцій, що зруйнувалися, агрегатів, установок і т.п.;
- 2) ураження електричним струмом;
- 3) радіоактивні і токсичні речовини і матеріали, що вийшли зі зруйнованих апаратів і установок;
- 4) небезпечні фактори вибуху за *ДСТУ 8828:2019*;
- 5) токсичні речовини, що застосовуються для гасіння пожежі.

Слід підкреслити, що **первинні фактори**, тобто прояви самої пожежі безпосередньо впливають на людину, завдаючи шкоду її здоров'ю. **Вторинні фактори** створюють небезпеку людині через її техногенне оточення.

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 поширювалось горіння;
- кількість тепла, витраченого на запалювання зразка, або кількість тепла, що утворилося при його горінні;
- зміна температури у випробувальній камері або температура газів, що відходять;
- швидкість поширення горіння по зразку.

1.5.3 Методи визначення пожежно-технічних характеристик будівельних матеріалів

Горючість будівельних матеріалів визначається згідно зі стандартом «ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація». За цим стандартом матеріали поділяються на негорючі та горючі.

Первинне випробування зразків здійснюють за методом І у приладі «Вогнева труба» (рис. 1.6) при температурі зразка 750 °С та середній температурі стінок 835 °С упродовж 30 хв. Температурний режим контролюється термопарами. Для кожного випробування готують п'ять циліндричних зразків розмірами $d = 45 \text{ мм}$, $h = 50 \text{ мм}$.

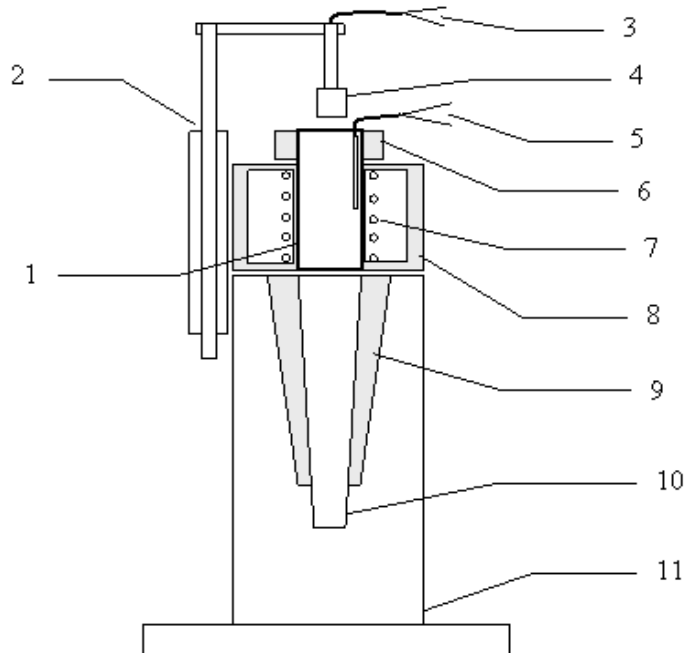


Рисунок 1.6 – Схема приладу «Вогнева труба» для випробувань будівельних матеріалів на горючість за методом І:

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

До **негорючих** відносять матеріали, в яких:

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

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

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 ДСТУ 8829:2019 визначають за методом ІІ для усіх однорідних та шаруватих будівельних матеріалів і, у тому числі, тих, що використовуються для оздоблювальних, лицевальних робіт та лакофарбових покриттів. До кожного випробування готують 12 зразків 1000×190 мм товщиною не більше 70 мм. Для тестування оздоблювальних, лицевальних 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 $10\pm 1 \text{ м}^3/\text{хв}$ при температурі 20 °С (рис. 1.7). За результатами обробки даних трьох випробувань за таблицею 1.3 визначають групу горючості матеріалу.

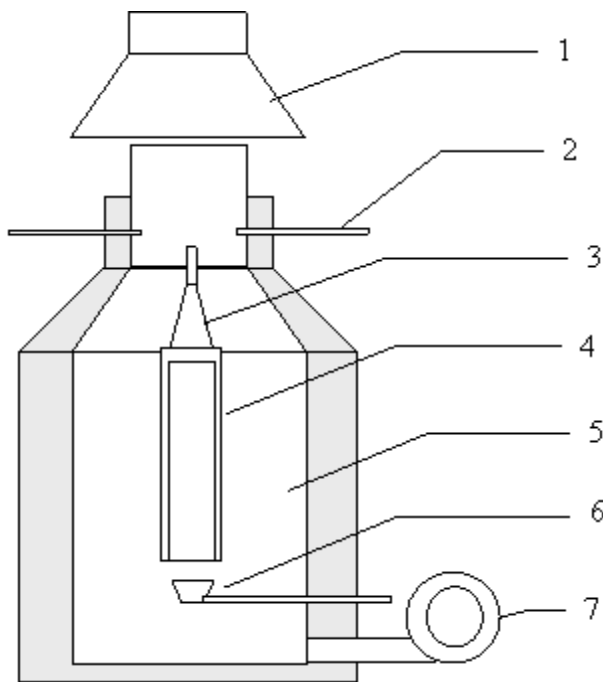


Рисунок 1.7 – Схема вертикальної шахтної печі для випробувань будівельних матеріалів на горючість за методом ІІ:

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

Таблиця 1.3 – Ознаки груп горючості будівельних матеріалів згідно з ДСТУ 8829:2019

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

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. *Займісткість* матеріалів встановлюється згідно з ДСТУ Б В.1.1-2-97.

Випробування здійснюють на 15 зразках квадратної форми зі стороною 165 мм і товщиною не більше 70 мм. Дозволяється використання зразків оздоблювальних, лицювальних та лакофарбових матеріалів разом з негорючою основою.

Основними частинами приладу є (рис. 1.8):

- утримувач зразка;
- екранувальна пластина;
- радіаційна панель, яка складається з кожуха з теплоізолюючим шаром та електронагрівального елемента потужністю 3 кВт. Потужність радіаційної панелі калібрують за струмом, забезпечуючи в центрі експонованої поверхні *поверхневу щільність теплового потоку* (далі – ПЩТП) 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45 кВт/м²;
- рухомий пальник із пристроєм для регулювання витрати газу.

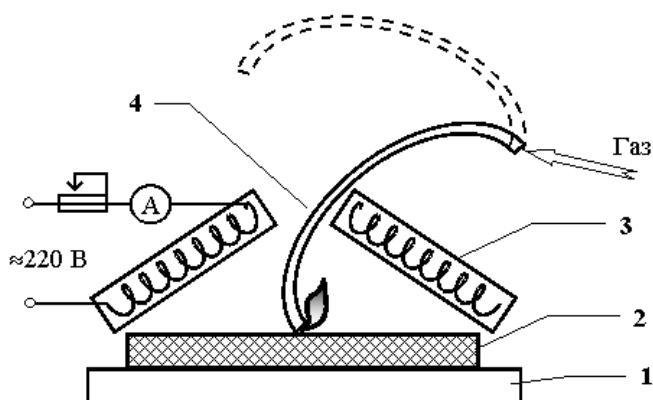


Рисунок 1.8 – Принципова схема приладу випробування матеріалів на займісткість (ДСТУ Б В.1.1-2-97):

1 – утримувач зразка; 2 – зразок; 3 – радіаційна панель; 4 – рухомий пальник

Випробування починають регулюючи електроживлення радіаційної панелі до встановлення ПЩТП 30 кВт/м^2 та довжину факелу полум'я рухомого запальника 15 мм . Після цього встановлюють зразок в утримувач, усувають з нього екранувальну пластину та витримують, регулярно нахиляючи до його центру рухомий палик упродовж 15 хв або до займання. Якщо спалахування сталося, зменшують ПЩТП та повторюють випробування з новим зразком. Задачею випробування є пошук *критичної поверхневої щільності теплового потоку* (КПЩТП), при якому спалахування вже не буде виникати.

За *займистістю* 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 кВт/м^2 ;
- В2 – величина КПЩТП перебуває у межах від 35 до 20 кВт/м^2 ;
- В3 – величина КПЩТП менше 20 кВт/м^2 .

Спроможність матеріалів до поширення полум'я по поверхні під впливом зовнішнього теплового струму визначається згідно з «ДСТУ Б В.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97). Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я».

Для випробувань виготовляють 5 зразків розміром $1100 \times 250 \text{ мм}$ у поєднанні з негорючою основою товщиною не більше 60 мм .

Основними частинами приладу є (рис. 1.9):

- кожух із димоходом та вентилятором;
- утримувач зразка;
- радіаційна панель, яка нахилена відносно зразка на 30° і складається з кожуха з теплоізолюючим шаром та електронагрівального елемента потужністю не менше 8 кВт .

- газовий палик із пристроєм для регулювання витрати газу.

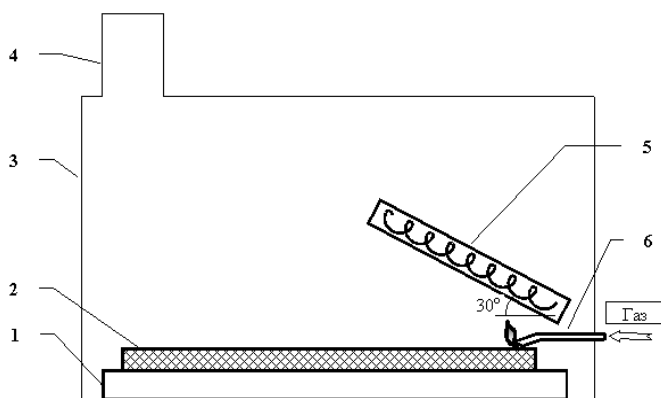


Рисунок 1.9 – Принципова схема приладу випробування матеріалів на поширення полум'я:

- 1 – утримувач зразка; 2 – зразок; 3 – кожух; 4 – димохід; 5 – радіаційна панель; 6 – газовий палик

Перед випробуванням за допомогою приймачів теплового випромінювання калібрують потужність радіаційної панелі за струмом, забезпечуючи в контрольних точках *поверхневу щільність теплового потоку* (ПЩТП) від 9,1 до 2,4 кВт/м², і будують графік розподілу величин ПЩТП по довжині зразка; також встановлюють швидкість потоку повітря у димоході 1,10–1,34 м/с.

Для кожного випробування зразок, горизонтально встановлений в утримувачі, підпалюють упродовж 10 хв за допомогою газового пальника і, у випадку спалахування, витримують до припинення полум'яного горіння (але не довше 30 хв). Величину КПЩТП визначають, фіксуючи час полум'яного горіння та довжину пошкодженої частини зразка (яка вигоріла або обвуглилась) за графіком розподілу ПЩТП.

Горючі будівельні матеріали, у залежності від величини КПЩТП розподіляють на 4 групи:

- РП1 – КПЩТП дорівнює або більше 11,0 кВт/м²;
- РП2 – КПЩТП знаходиться у межах від 8,0 до 11,0 кВт/м²;
- РП3 – КПЩТП знаходиться у межах від 5,0 до 8,0 кВт/м²;
- РП4 – КПЩТП менше 5,0 кВт/м².

Димоутворююча здатність матеріалів визначається за ДСТУ 8829:2019. Метод ґрунтується на визначенні оптичної щільності середовища, що утворюється при згорянні відомої кількості речовини у режимах тління і горіння.

Прилад для визначення коефіцієнта димоутворення складається з камери згоряння та вимірювальної камери (рис. 1.10). У камері згоряння розміщуються:

- електрорадіаційна панель, яка забезпечує на поверхні зразка *поверхневу щільність теплового потоку* (ПЩТП) 35 кВт/м²;
- утримувач зразка;
- газовий пальник з пристроєм для регулювання витрати газу.

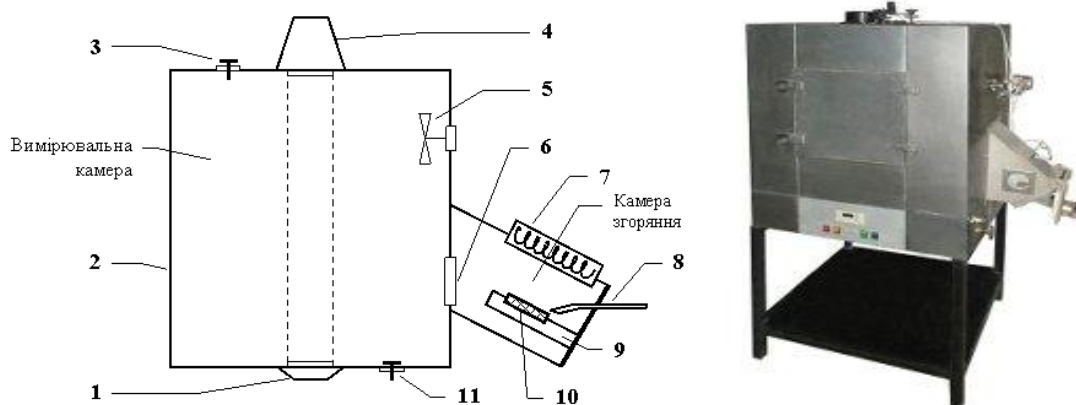


Рисунок 1.10 – Принципова схема приладу визначення коефіцієнта димоутворення:

1 – приймач світла; 2 – корпус; 3 – клапан; 4 – джерело світла; 5 – вентилятор; 6 – заслінка; 7 – радіаційна панель; 8 – пальник; 9 – утримувач зразка; 10 – зразок; 11 – клапан

У вимірювальній камері розташовані:

- джерело світла (гелій-неоновий лазер потужністю 2–5 мВт) та приймач світла (фотодіод);
- впускний та випускний клапани;
- вентилятор.

Камера згоряння та вимірювальна камера сполучаються між собою через отвір з заслінкою.

Для випробувань виготовляють 10–15 зразків розміром 40×40 мм товщиною не більше 10 мм.

Випробування зразків проводять у двох режимах: горіння та тління. Закінчують випробування при досягненні мінімальної величини світлопропускання.

Коефіцієнт димоутворення (D_m) підраховують за формулою:

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \ln \frac{T_0}{T_{\min}},$$

де V – об'єм вимірювальної камери, м³; L – довжина шляху променя світла в задимленому середовищі, м; m – маса зразка, кг; T_0 , T_{\min} – величини початкового та кінцевого світлопропускання, %.

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 ДСТУ 8829:2019. Метод ґрунтується на спалюванні зразка речовини, який досліджується у камері згоряння при заданій щільності теплового струму і визначенні на тваринах летального ефекту.

Прилад для визначення показника токсичності продуктів горіння складається з камери згоряння, експозиційної камери та передкамери (рис. 1.11).

У камері згоряння розміщуються:

- електрорадіаційна панель, яка забезпечує на поверхні зразка поверхневу щільність теплового потоку (ПЩТП) до 65 кВт/м²;
- утримувач зразка;
- газовий пальник із пристроєм для регулювання витрати газу.

В експозиційній камері розташовані:

- впускний та випускний клапани;
- газоаналізатор СО та СО₂
- вентилятор.

У передкамері розташовані:

- термометр;

– клітка для дослідних тварин.

Камера згоряння та експозиційна камера сполучаються між собою через отвір з заслінкою. Також через отвір з заслінкою сполучаються між собою передкамера та експозиційна камера.

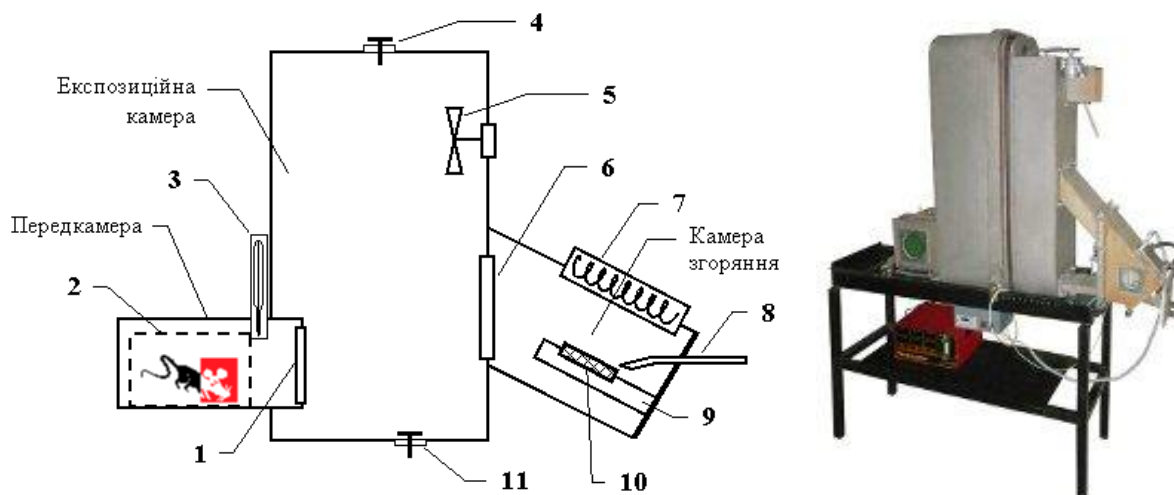


Рисунок 1.11 – Принципова схема приладу визначення показника токсичності продуктів горіння:

1 – заслінка передкамери; 2 – клітка для тварин; 3 – термометр; 4 – клапан; 5 – вентилятор; 6 – заслінка; 7 – радіаційна панель; 8 – пальник; 9 – утримувач зразка; 10 – зразок; 11 – клапан

Для випробувань виготовляють до 10 зразків розміром 40×40 мм товщиною не більше 10 мм. В одному експерименті використовують 8-10 білих мишей.

Випробування зразків проводять у двох режимах: горіння та тління. На початку випробування розігрівають камеру згоряння при закритій заслінці до температури, яка забезпечує певний режим; швидко поміщають зразок в камеру згоряння і відкривають заслінку. При досягненні максимальних концентрацій CO та CO₂ закривають заслінку, включають вентилятор і відкривають заслінку передкамери. Час експозиції 30 хв.

Після закінчення часу експозиції заслінку передкамери закривають, прилад провітрюють і реєструють кількість загиблих тварин.

Показник токсичності (H_{CL50}) – це кількість речовини, при спалюванні якої в об'ємі 1 м³ утворюється концентрація продуктів горіння, що викликає протягом 30 хв загибель 50 % тварин.

Розрахунок показника токсичності проводять різними способами, і в тому числі за формулою:

$$H_{CL50} = \frac{CL_{50}CO}{gCO},$$

де $CL_{50}CO$ – середня смертельна концентрація оксиду вуглецю (мг·м⁻³), яку підраховують за рівнянням $CL_{50} = 4502 + 22292 \cdot \tau^{-1}$; τ – час експозиції, хв; gCO – рівень виділення CO при згорянні умовно "еталонних" матеріалів:

- надзвичайно небезпечних – більше $360 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$;
- високонебезпечних – $120\text{--}360 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$,
- помірно небезпечних – $40\text{--}120 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$,
- малонебезпечних – до $40 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$

По цьому показнику розрізняють матеріали:

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

Визначення кисневого індексу здійснюють відповідно до ДСТУ 8829:2019. Кількість окислювача, необхідна для горіння матеріалу, характеризується *кисневим індексом (КІ)*. 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 у 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 стандарти (ДСТУ), галузеві стандарти (ГСТ) та стандарти підприємств (СПТ).

Більшість будівельних матеріалів і виробів є об'єктом державної стандартизації, тобто їхня якість регламентується ДСТУ або ще діючими 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 поширеними є стандарти: технічних умов, методів випробувань, пакування, транспортування та зберігання.

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

Головні положення будівельного проектування, виконання будівельних робіт і вимоги до будівельних матеріалів і виробів регламентуються «Державними будівельними нормами» (ДБН) або ще діючими «Будівельними

нормами и правилами» (СНіП), обов'язковими для усіх організацій і підприємств. ДБН (СНіП) є основою уніфікованих норм і правил у галузі будівництва для багатьох країн.

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

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

Таким чином, для визначення якості, при випробуванні матеріалів, необхідно ретельно вивчити нормативну літературу, і, в першу чергу, – стандарти.

В галузі будівельних матеріалів розроблено 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 ін.), визначення фізичних, механічних і хімічних властивостей. Поряд із цим існують стандарти на усі види в'язучих (цементи, вапно, гіпс та ін.), на пісок, щебінь для будівництва, цеглу, бетон, а також вироби з них.

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

У стандартах і нормах 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 в 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 та ін.) 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 в 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).

Інформацію про чинні нормативні документи містить в собі «Перелік нормативних документів в галузі будівництва», що діє на території України. Він видається періодично (щороку).

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

Таблиця 1.6 – Основні одиниці виміру в системі СІ

№ п/п	Величина	Одиниця виміру		Співвідношення між іншими системами одиниць
		Найменування	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	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$
5	Сила електричного струму	Ампер	А	
6	Площа	Квадратний метр	м^2	$1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2$
7	Об'єм	Куб.метр	м^3	$1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ см}^3$
8	Щільність		$\text{кг}/\text{м}^3$	$1 \text{ кг}/\text{м}^3 = 10^{-3} \text{ г}/\text{см}^3$
9	Сила (вага)	Ньютон	Н	$1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кГ}$
10	Тиск	Паскаль	Па ($\text{Н}/\text{м}^2$)	$1 \text{ Па} = 1,0210^{-5} \text{ кГ}\cdot\text{см}^2$
11	Робота; енергія; кількість тепла	Джоуль	Дж ($\text{Н}\cdot\text{м}$)	$1 \text{ Дж} = 0,102 \text{ кГ}\cdot\text{м}$
12	Потужність	Ватт	Вт ($\text{Дж}/\text{с}$)	$1 \text{ Дж} = 0,0239 \text{ кал}$ $1 \text{ Вт} = 0,102 \text{ кГ}\cdot\text{м}/\text{с}$
13	Теплоємність		Дж/К	$1 \text{ лс} = 736 \text{ Вт}$
14	Теплопровідність		Вт/(мК)	$1 \text{ Дж}/\text{К} = 238 \cdot 10^{-6} \text{ ккал}/\text{град}$
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		$\text{м}^2/\text{с}$	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{град}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$
17	Електрична напруга	Вольт	В ($\text{Вт}/\text{А}$)	$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$
18	Електричний опір	Ом	Ом ($\text{В}/\text{А}$)	
19	Масова концентрація		$\text{кг}/\text{м}^3$	

Таблиця 1.7 – Деякі несистемні одиниці

№ п/п	Величина	Одиниця виміру		Співвідношення між іншими системами одиниць
		Найменування	Позначення	
1	Маса	Тона	т	$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^6 \text{ г}$
2	Сила (вага)	Кілограм	кГ	$1 \text{ кГ} = 9,81 \text{ Н}$
3	Час	Хвилина, година	хв год	$1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$ $1 \text{ год} = 60 \text{ хв} = 3600 \text{ с}$
4	Термодинамічна температура	Градус за Цельсієм	$^\circ\text{C}$	$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ К}$
5	Площа	Ар	а	$1 \text{ а} = 100 \text{ м}^2$
6	Об'єм	Літр	л	$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$

Питання для самоконтролю до глави 1

1. Що таке будівельні матеріали? Як класифікують будівельні матеріали?
2. Чим відрізняється густина істинна, середня і насипна? Що таке пористість?
3. Які основні механічні властивості будівельних матеріалів? Що являє собою міцність матеріалу і межа міцності матеріалу? Що являє собою напруження матеріалу?
4. Що являє собою гідрофільність і гідрофобність? Чим відрізняються між собою водопоглинення і водопроникність? Що являє собою водостійкість і морозостійкість?
5. Чим відрізняється теплоємність від теплопровідності? Що таке термічне розширення і коефіцієнт термічного розширення?
6. Як змінюються механічні характеристики матеріалів (метал, штучне і природне каміння) при нагріванні. Що таке критична температура матеріалу? Що являє собою відносна міцність матеріалу?
7. Які умови виникнення процесу горіння, і які чинники на нього впливають? Якими є головні показники пожежної небезпеки матеріалів?
8. Що являє собою горючість? Як визначають групу горючості матеріалу?
9. Що являє собою займистість? Як визначають групу займистості матеріалу?
10. Що являє собою спроможність до розповсюдження полум'я? Як визначають групу матеріалу по спроможності до розповсюдження полум'я?
11. Що являє собою димоутворююча здатність матеріалу? Як визначають групу матеріалу по димоутворюючій здатності?
12. Що являє собою токсичність продуктів згоряння? Як визначають групу матеріалу по токсичності продуктів згоряння?

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 (дробленням, розсіюванням, розколюванням, розпилюванням, тесанням та ін.), внаслідок чого вони набувають певного розміру, форми і характеру поверхні, або використовують без обробки.

Природні кам'яні матеріали застосовують у будівництві:

А) безпосередньо в природному вигляді:

- 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;
- *щебінь* – 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 густиною:

- легкі, до 1800 кг/м^3 (застосовують для стін);
- важкі, понад 1800 кг/м^3 (застосовують для фундаментів, цоколів, облицювання та ін.);

б) за межею міцності при стиску (кГс/см^2):

- легкі, 12 марок від 4 до 200;
- важкі, 10 марок від 100 до 1000;

в) за морозостійкістю, 8 марок від $\text{Мрз } 10$ до $\text{Мрз } 200$;

г) за коефіцієнтом розм'якшення;

д) за ударною міцністю;

е) за здатністю до стертя.

2.2 Гірські породи і породоутворювальні мінерали

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

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.

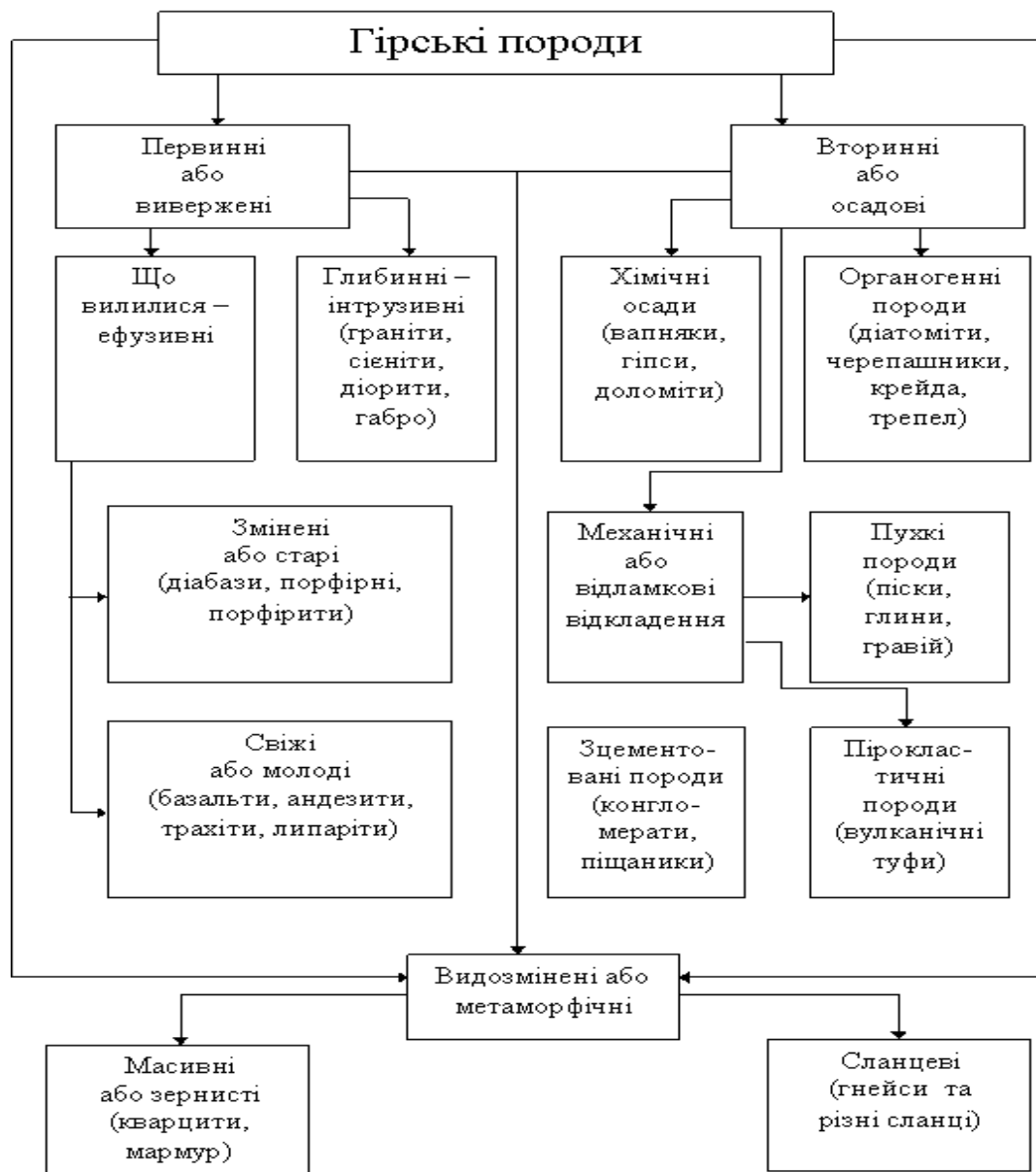


Рисунок 2.1 – Класифікація гірських порід за походженням

Масивні глибинні (інтрузивні) породи утворилися внаслідок повільного охолодження магми на великій глибині при значному тиску верхніх шарів. Ці умови були сприятливими для зростання кристалів, тому такі породи характеризуються великою середньою густиною, 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 вилились (ефузивні), формувалися на невеликій глибині або навіть на поверхні землі за відсутності тиску і швидкого охолодження магми. В таких умовах розплави застигали у вигляді аморфної скловидної або дрібнокристалічної структури. Породи, що вилилися, за властивостями є близькими до глибинних, хоча їх міцність, звичайно, дещо нижче ($R_{ст} = 400\text{...}3300 \text{ кг/см}^2$). До цієї групи відносять базальти, діабази, порфіри, андезит.

Обламкові породи, що вилилися, пухкі і зцементовані, утворилися при виверженнях вулканів. Деякі з них є пористими, 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 злежувались 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'язучими 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 осадкових 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: β -кварц (SiO_2), каолініт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), кальцит ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) тощо. До рідких мінералів відносяться вода і ртуть. На сьогодні зареєстровано більше 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, густина, механічні властивості (твердість, міцність, спайність), оптичні властивості (колір, блиск, прозорість, світлоуламлення та ін.), теплові, електричні і магнітні властивості (табл. 2.1).

У 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.

Таблиця 2.1 – Породоутворювальні мінерали

№ з/п	Мінерали		Хімічний склад	Колір	Істинна густина	Твердість за шкалою Мооса	Індивідуальні ознаки
1	Кварц		SiO_2	Білий, безкольоровий	2850	7	Велика твердість, скляний блиск, рівний злом з гладкою поверхнею
2	Польові шпати	Ортоклази	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	Жовтий, рожевий, червоний, білий	2600	6	Гладка, рівна блискуча поверхня, спайності
		Плагіоклази	Кальцієві натрієві алюмосилкати	Темно-сірий, зелено-сірий, восковий	2600–2760	6	
3	Слюди	Мусковіт	Калієвий алюмосилкат	Прозорий, безкольоровий	2760 – 3100	2 – 3	Спайність у одному напрямку з розшаруванням на листові та лускоподібні частки
		Біотит	Магнезійно-залізо-алюмосилкат	Чорний	3100	2 – 3	
4	Глауконіт		Водний алюмосилкат заліза і калію	Зелений, оливковий	2200 – 2800	2 – 3	Дрібні круглі зерна зеленого кольору
5	Темно-кольорові мінерали	Рогова обманка	Залізо-магнезійний алюмосилкат	Чорний	3100 – 3200	5,5–6	Кристали голчаті призматичні
		Авгіт	Вапняно-магнезійний силкат	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		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

№ з/п	Мінерали	Хімічний склад	Колір	Істинна густина	Твердість за шкалою Мооса	Індивідуальні ознаки
9	Ангідрит	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	FeS_2	Золотистий	5000	6	Вкраплення у вигляді кутів або плям

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 – SiO_2 , а в разі кальциту і арагоніту – 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 розширення, поступово розширюються при нагріванні. І навпаки, мінерали, що мають нерівномірні температурні деформації, обумовлюють виникнення внутрішніх напруг. Це, в свою чергу, викликає зменшення густини, 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.

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, сульфідиди, сульфати і ін. Нижче розглянуті основні породоутворюючі мінерали гірських порід.

2.3.1 Класи оксидів і гідроксидів

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

Кварц (кристалічна форма кремнезему (SiO_2)) входить до багатьох магматичних осадових і метаморфічних порід. Це кристал молочно-білого або сірого кольору. Його густина 1650 кг/м^3 , твердість 7, міцність на стиск $1000\text{--}2000 \text{ Па}$, 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 $1713 \text{ }^\circ\text{C}$. Після швидкого охолодження утворюється кварцове скло.

Поліморфізм кварцу виявляється при нагріванні:

	β -кварц	\rightleftharpoons	α -кварц	\rightleftharpoons	α -тридиміт	\rightleftharpoons	α -крystalобаліт
Температура, $^\circ\text{C}$:	575		870		1470		
Зміна об'єму, %:	+2,4		+12,7		+4,7		

Перетворення при $575 \text{ }^\circ\text{C}$ β -кварцу в α -кварц (зі збільшенням об'єму на 2,4 %) відбувається стрибком, і спостерігається розтріскування зразків.

2.3.2 Клас силікатів

Цей клас є найбільшим і складається більше ніж із 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*, залізо-магнезійні силікати, слюди, глинисті мінерали.

Польові шпати мають найбільше поширення. 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. Густина їх 2500–2900 кг/м³, твердість 6–6,5, міцність при стиску 170 МПа. При дії високих температур польові шпати є досить стійкими.

Залізо-магнезійні силікати – темно-кольорові мінерали (від темно-зеленого до чорного кольору), містяться у вивержених породах: базальтах, габро, діабазях. Густина їх 3200–3600 кг/м³, 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 поширеними є *мусковіт* і *біотит*.

Мусковіт – прозора калієва слюда густиною 2770–3100 кг/м³. Застосовується як електроізоляційний матеріал, бронювальна присипка для руберойду або компонент для виготовлення вогнетривких фарб.

Біотит – темна залізо-магнезійна слюда темного кольору щільністю 3000–3300 кг/м³. 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, що складають осадові породи (*глини*, *суглинки*, *супіски*). До них відносяться *коюміт*, *гідрослюда*, *монтморилоніт*, *каолініт* та ін.

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 ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$) і муліт ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$). $t_{\text{плав}} = 1780$ °С.

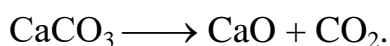
Монтморилоніт. Водний алюмосилікат змінного хімічного складу (на відміну від каолініту), що містить Ca, Na, Mg, Fe.

2.3.3 Клас карбонатів

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

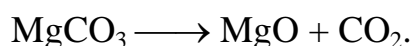
Кальцит (вапняковий шпат) CaCO_3 – дуже поширений мінерал; зустрічається у вигляді кристалів різноманітної форми. Входить до складу осадових порід (крейди, вапна, вапнякового туфу, мармуру). Крихкий, оскільки має досконалу спайність по 3 площинах. Його густина 2700–2800 кг/м³, твердість 3. Кальцит погано розчиняється у воді, але легко – у кислотах з виділенням CO_2 . Наприклад, у 10 % соляній кислоті він розчиняється з бурхливим кипінням.

В діапазоні температур до 800 °С кальцит характеризується рівномірним і незначним температурним розширенням та зберігає міцність. При подальшому підвищенні температури виникає термічний розклад мінералу за реакцією:



Магнезит (MgCO_3) утворює гірську породу з тією ж назвою. Мінерал зустрічається у природі значно менше, ніж кальцит. Істинна густина магнезиту 3000 кг/м³, твердість – до 4...4,5.

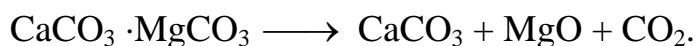
При 750–850 °С магнезит розкладається з утворенням каустичного магнезиту, який має в'язучі властивості, і вуглекислого газу:



При 1500–1600 °С магнезит спікається в матеріал з вогнетривкістю до 2000 °С.

Доломіт ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$). Поширений 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 тощо.

При 650–800 °С розкладається з утворенням каустичного доломіту (який має в'язучі властивості) і вуглекислого газу .



При 1600 °С 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. Густина – 2300 кг/м^3 .

При 200°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°C : зв'язана вода виводиться повністю і утворюється ангідрит (CaSO_4) – безводний гіпс густиною $2800\text{--}3000 \text{ кг/м}^3$, твердістю 3...3,5.

Гіпс широко використовується як сировина для в'язучих (будівельний гіпс та ін.), як додаток при помелі цементного клінкеру, для регулювання термінів схоплювання цементу, а також в паперовій, хімічній промисловості, для виготовлення фарб, емалей, глазурі тощо.

2.4 Особливості поведінки природних кам'яних матеріалів при нагріванні

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

2.4.1 Вивержені породи

Властивості вивержених порід в основному зумовлюються їх хімічним складом. Залежно від вмісту кремнезему їх поділяють на *кислі*, *середні* та *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 вилілась.

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 та 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°C спостерігається зростання міцності до 1,6 разів, завдяки зняттю внутрішніх напружень (рис. 2.2). Надалі міцність неухильно падає. При 600°C з'являються тріщини, зумовлені фазовим переходом *кварцу* від β - до α -модифікації. При 800°C граніт руйнується.

Кварцові порфіри – породи, що вилілися, схованокристалічної 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.

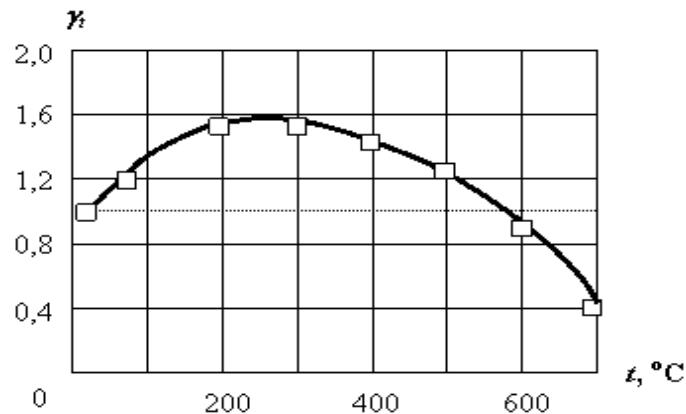


Рисунок 2.2 – Відносна міцність на стиск граніту при нагріванні

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 сферами застосування вони є близькими до гранітів, але менш стійкими 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, щебінь).

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

Габро – глибинна порода, кристалічна, крупнозерниста, буває кольору від сіро-зеленого до чорного; стійка проти вивітрювання, добре полірується, використовується для лицювання будинків і покриття доріг.

Діабазы – породи, що вилилися, аналоги габро, мають велику ударну в'язкість і малу здатність до стертя. Застосовуються у шляховому будівництві.

Базальти – породи, що вилилися, аналоги габро, схованокристалічної або аморфної будови. При температурі понад $900\text{ }^\circ\text{C}$ сильно збільшуються в об'ємі. Застосовуються в дорожньому будівництві та для виконання лицювальних робіт.

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

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

де $\rho_{пер}$ – середня густина перліту при нормальній температурі; $\rho_{всп}$ – середня густина перліту при нагріванні.

Для перліту при 1000...1200 °С $K_{всп} = 5...20$.

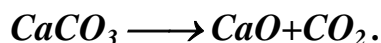
2.4.2 Осадові породи

Властивості осадових порід обумовлюються властивостями породотворюючих мінералів і цементуючих речовин.

Піщаники – механічні відкладення, складаються із зерен кварцового піску, зцементованого природними цементами. Застосовуються для виготовлення фундаментів, бортових каменів, східців, тротуарів. При 500–600 °С руйнуються завдяки розтріскуванню кварцу.

Мергель – вапняно-глиняста порода з хімічних осадів. Застосовується як сировина для виробництва портландцементу. При 1450 °С 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, лицювальних плит, щебеню для бетону, а також для виробництва вапна і портландцементу. Мало розширюються при нагріванні. При $t > 800$ °С розкладаються на оксид кальцію (повітряне вапно) і вуглекислий газ:



Повітряне вапно (CaO) – теплоізолятор, воно сприяє уповільненню реакції розкладання $CaCO_3$, перешкоджаючи прогріву матеріалу. При нагріванні аж до 600 °С спостерігається зростання міцності в 1,4 раз, що пояснюється ущільненням структури (рис. 2.3). Подальший нагрів понад 900 °С за наявності води викликає повторне гасіння вапна і повну втрату міцності.

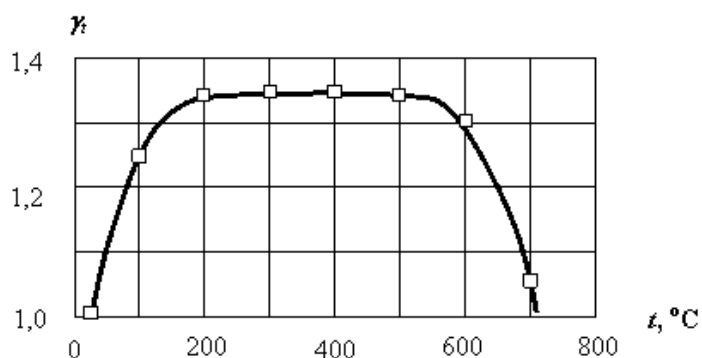


Рисунок 2.3 – Відносна міцність на стиск вапняку при нагріванні

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

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

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/см²). Застосовується він як оздоблювальний матеріал. Оскільки головним породоутворюючим мінералом мармуру є кальцит, то при дії високих температур його поведінка є аналогічною 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 облицювальних плит.

Серпентит – порода, що утворилася як продукт зміни олівіну. Це, в основному, водний силікат мангану, що вміщує до 13–17 % мас зв'язаної води. Він використовується як заповнювач у бетонах. При 700–800 °С, 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 найменші – вапняки, базальти, туфи, пемзи.

Також слід враховувати межі температурної міцності гірських порід:

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

Питання для самоконтролю до глави 2

1. Що таке природні кам'яні матеріали?
2. Як застосовують природні кам'яні матеріали в будівництві?
3. Що являють собою гірські породи?
4. Як класифікують гірські породи?
5. Наведіть особливості поведінки кварцу при нагріванні.
6. Наведіть особливості поведінки граніту при нагріванні.
7. Наведіть особливості поведінки вапняку при нагріванні.

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:

- із 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 тощо). 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 із введенням добавок;
- 6) складування.

Принципової різниці при виготовленні в'язучих немає: 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 розрізнати два періоди у процесі твердіння в'язучих – схоплювання і твердіння.

Схоплювання – період із 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 відповідає середньому значенню меж 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:



Порошок будівельного гіпсу при затворенні водою (у кількості 60–70 %) утворює пластичне тісто, яке добре формується, швидко густіє і твердіє, зберігаючи отриману форму (рис. 3.1).

Твердіння гіпсових в'язучих відбувається за такою схемою:

1 етап – утворення насиченого розчину – при з'єднанні з водою частки гіпсу починають розкладатися на поверхні, утворюючи сметаноподібну суміш, яка поступово густіє. Цей етап закінчується, коли сметаноподібна суміш починає переходити у тістоподібний пластичний стан;

2 етап – колоїдизація – пряме приєднання води до твердого гіпсу і утворення гелю (студню) – тістоподібної суміші з клеючими властивостями.

Цей етап закінчується, коли при подальшому густинні починається схоплювання тістоподібної суміші, тобто втрата нею пластичності;

3 етап – **кристалізація**. Гель перекристалізується у більші кристали голчастої форми, що зростаються між собою, складаючи остов. Цей етап характеризується твердінням суміші та її переходом у каменеподібний стан.



Рисунок 3.1 – Форми перетворення гіпсу

Якість гіпсових в'язучих нормується за *ДСТУ Б В.2.7-82:2010*, 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 *ДСТУ Б В.2.7-82:2010* 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 (табл. 3.1), а від ступеня помелу – на грубого, середнього і тонкого помелу (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

Будівельний гіпс є в'язучим, що швидко схоплюється. Терміни його схоплювання можна регулювати, застосовуючи уповільнювачі схоплювання

(буру, кістковий клей та ін.). При твердінні гіпс збільшується в об'ємі, що враховується при виготовленні архітектурних виробів.

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	I	23
Середнього помелу	II	14
Тонкого помелу	III	2

Будівельний гіпс широко використовується у штукатурних розчинах для внутрішніх робіт. Дуже поширеним є також використання гіпсу для випуску різних будівельних виробів заводського виготовлення: панелей і блоків для перегородок, стін, вентиляційних коробів, перекриттів, обшивних листів та ін. Гіпс використовується для виробництва гіпсо-цементно-пуцоланових 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°C і вище починається процес дегідратації, поступові структурні і хімічні перетворення, що викликає руйнування кристалічної структури та зниження міцності гіпсу (рис. 3.2).

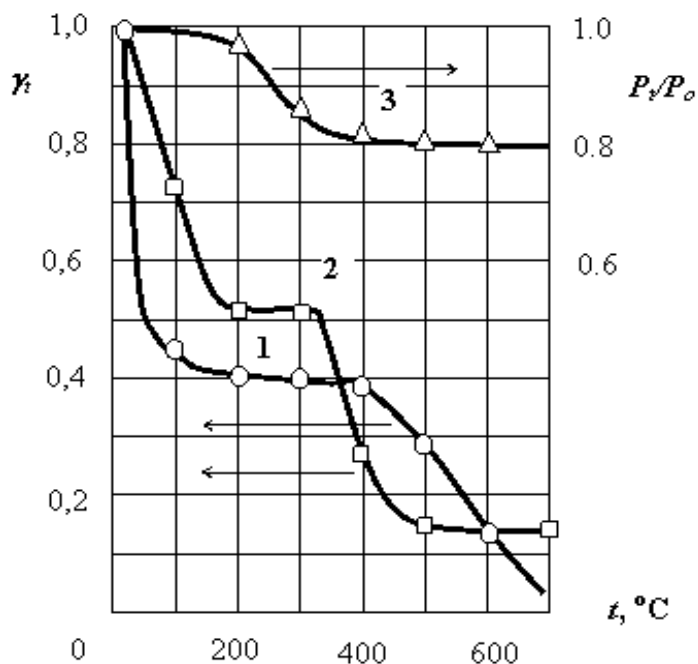
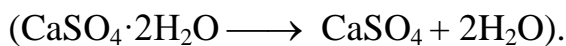


Рисунок 3.2 – Зміна міцності і ваги будівельного гіпсу при нагріванні:

1 – у гарячому стані; 2 – після охолодження; 3 – зміна ваги

За етапами цей процес можна показати у наступній формі:
 понад 70 °С – починається дегідратація $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, яка викликає порушення кристалічної структури гіпсу;
 100 °С – міцність різко знижується до 45 % від попередньої;
 200–350 °С – міцність знижується до 40 % і стабілізується, лише на поверхні з'являються волосяні тріщини;
 400 °С – дегідратація завершується, міцність гіпсу спадає до 30 %, структура повністю руйнується:

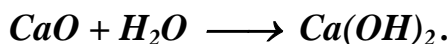


700 °С – міцність лінійно знижується до 0;

900 °С – повний розпад сульфату кальцію:



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 є дуже чутливим 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 Будівельне повітряне вапно

Будівельне 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 у шахтних печах, де у міру підвищення температури відбувається термічна дисоціація, дегідратація та декарбонізація вапняку:



Продукт опалення складається, головним чином, з оксидів кальцію та магнію, що зумовлює активність вапна. Відповідно до ДСТУ Б В 2.7-90-99 сорт вапна визначає сумарна кількість вільних оксидів кальцію і магнію. Якість вапна підвищується з її збільшенням (див. табл. 3.3).

Вапно з печі одержують у вигляді грудок (*комове вапно*). Це *негашене вапно (кипінка)* – напівпродукт, який для перетворення у в'язуче роздрібно-

ють в млині, одержуючи молоте негашене вапно. При затворенні комового або меленого негашеного вапна водою відбувається гасіння (гідратація) з виділенням тепла, яке переводить частину води до стану пару. Пар викликає у вапні внутрішні розтягуючі напруги, під дією яких воно роздрібнюється до тонкодисперсного порошку.

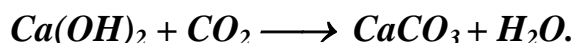
Таблиця 3.3 – Сортамент негашеного вапна

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

Швидкість гасіння складає 8...25 хв.



Гашене вапно (*пушонка*) є звичайно білим, порошковидним, при замішуванні водою буває у вигляді тіста або молока. При висиханні вапняних розчинів кристали Ca(OH)₂, спочатку розділяються водною плівкою, зближуються і утворюють зросток. А на поверхні зростка може йти процес *карбонізації*:



Карбонатний шар зрощується із кристалами Ca(OH)₂, і це зміцнює зросток.

Твердіння вапняного розчину відбувається поволі. Чисте вапняне тісто без добавок при висиханні дає велику 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.

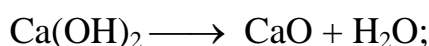
Будівельне повітряне вапно застосовують при виготовленні автоклавних силікатних матеріалів (силікатної цегли), воно входить до складу будівельних розчинів для кам'яної кладки і штукатурки. Будівельне повітряне

вапно уповільнює схоплювання будівельних розчинів, в які воно додається, і, таким чином, дає змогу регулювати швидкість їх твердіння.

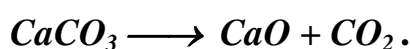
Вапно – це луг, і тому застосовувати його слід з необхідною обережністю. Зберігають вапно не більше місяця, а молоте - не більше 15 діб.

Дія високої температури на вапняний розчин, що затвердів, викликає відщеплення хімічно зв'язаної води від $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (*дегідратацію*) і дисоціацію CaCO_3 :

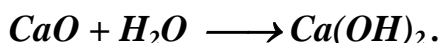
520–580 °С – *дегідратація* вапна призводить до зниження міцності:



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



Оскільки CaO і CaCO_3 мають різні коефіцієнти теплового розширення, то при нагріванні вапняний розчин, що затвердів, розтріскується. А крім того, окис кальцію, що утворюється за обома реакціями, у міру охолодження і зволоження здатний до *повторної гідратації*, що призводить до збільшення об'єму і повного руйнування вапняного каменю:

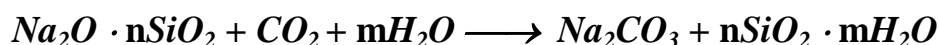


3.2.3 Рідке скло

Рідке скло являє собою в'язку рідину темно-жовтого або коричневого кольору. Це розчинені у воді солі кремнієвої кислоти $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ та $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Величина n зветься силікатним модулем і коливається у межах $n=2,5 \dots 3,5$.

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 роз'єднується за реакцією:



Утворений при цьому у вигляді колоїдного розчину аморфний кремнезем має склеювальну 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 ін.

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 двоводного гіпсу.

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

Ca – 62...68 %;

SiO₂ – 20...24 %;

Al₂O₃ – 4...7 %

(припускається наявність шкідливих домішок: Mg < 5 %; SO₃ < 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 в разі застосування цього способу значно скорочується використання палива на обпалення, одержують цемент невисокої якості через неоднорідність суміші;

б) **мокрий** – обпалення підготовленої вологої сировинної суміші у печі, що обертається (рис. 3.3). Цей спосіб має велике поширення.

Обертова 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 із 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.

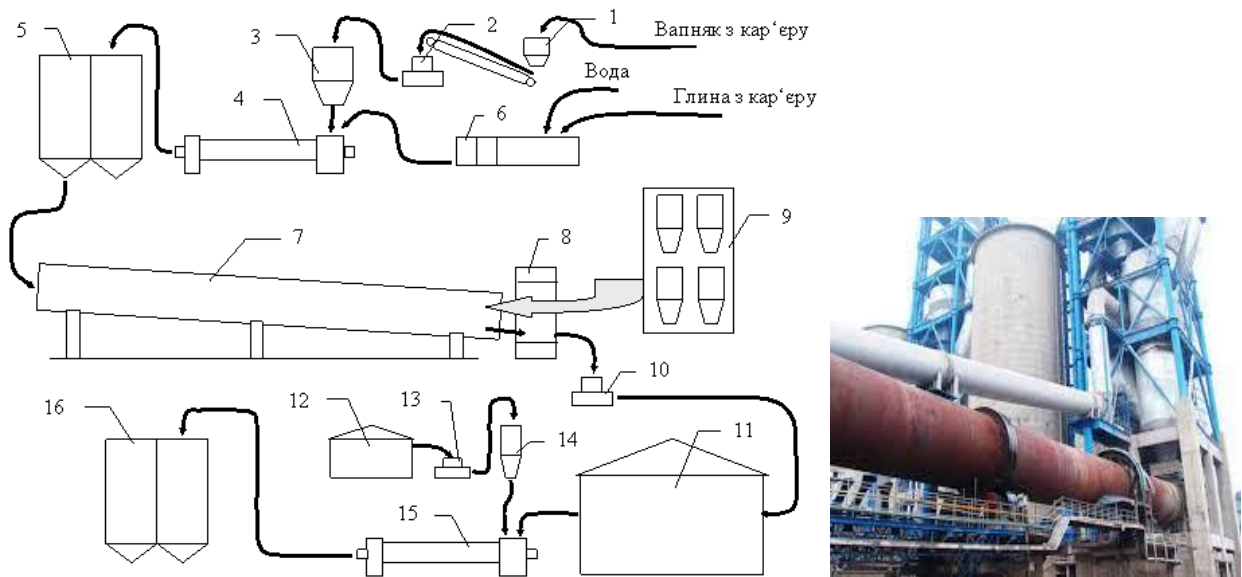


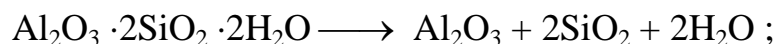
Рисунок 3.3 – Схема виробництва портландцементу по мокрому способу:

1 – бункер; 2 – подрібнювач; 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)

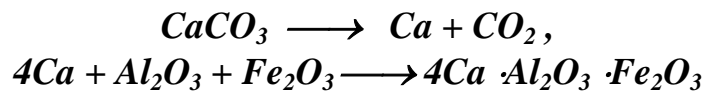
В залежності від температури виділяють кілька зон у печі:

1) 100–150 °С – **зона сушки** – випарювання з суміші вільної та гігроскопічної води;

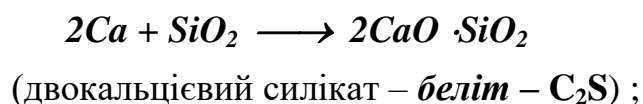
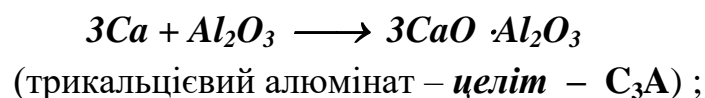
2) 200–700 °С – **зона підігріву** – видалення хімічно зв'язаної води з глинистих мінералів (*каоолініту*), вигорання органічних домішок, розпад глин з утворенням аморфного залишку, що складається з оксидів Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 ... Наприклад – розпад каоолініту:



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 відбуваються ендотермічні твердофазні реакції з великим поглиненням тепла:



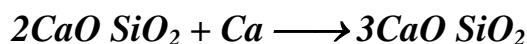
(чотирикальцієвий алюмоферит – *браунмілерит* – C_4AF) ;



4) 1100–1250 °С – **зона екзотермічних реакцій** – продовжуються твердофазні реакції утворення *целіту*, *беліту* і *браунмілериту*, 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 та надлишкового окису кальцію, утворення трикальцієвого силікату – *аліту* – у виді дрібних кристалів:



(трикальцієвий силікат – *алім* – C_3S);

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

45–65 % аліту (C_3S) – швидко твердіюче *в'яжуче* великої міцності з високою гідравлічною активністю;

15–45 % беліту (C_2S) – повільно твердіюче *в'яжуче* середньої тривкості;

10–25 % браунмілериту (C_4AF) – *в'яжуче* малої міцності, яке швидко схоплюється, але повільно твердіє;

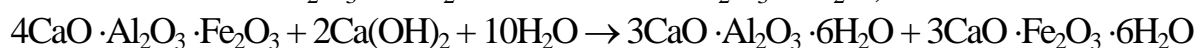
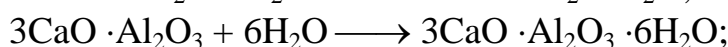
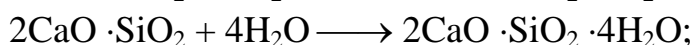
3–15 % целіту (C_3A) – *в'яжуче* малої міцності, яке дуже швидко схоплюється і твердіє тільки на повітрі.

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 *клінкеру* – зафіксувати структуру β -модифікації *беліту*, що має гідравлічні властивості. Після охолодження *клінкер* витримується на складі до 2 тижнів.

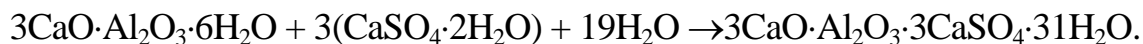
Виготовлення портландцементу завершується сумісним тонким помелом *клінкеру* та гіпсу у трубних (кульових) млинах та складанням його у силосах. *Гіпс* додають не більше 3,5 % для уповільнення схоплювання портландцементу.

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

1. Період розчинення. Після замішування водою *клінкерні мінерали* починають розчинятися, створюючи насичений розчин сметаноподібної консистенції, 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 *клинкера* уповільнює протікання цих реакцій, тому що *ginc* реагує з гідроалюмінатом, створюючи важкорозчинювану сіль –гідросульфоалюмінат кальцію (етtringіт), що екранує поверхню зерен:



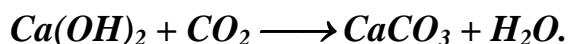
2. Період колоїдації. Подальша гідратація викликає пересичення розчину, з нього починають випадати у вигляді дрібних (колоїдних) часток клинкерні мінерали, і розчин густіє, перетворюючись у *цементне тісто*. Колоїдні частинки мають клеючу здатність і передають цю здатність *цементному тісту*, забезпечуючи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

3. Період кристалізації. Гідроокис кальцію і целіт є найменш стійкими в колоїдному стані та першими починають кристалізуватися, виконуючи роль зародків. Одночасно відбувається ущільнення студнеподібного 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 клинкерних мінералів із водою (тобто від складу, тонкості помелу, температури тощо).

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

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

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



Технічні вимоги до портландцементу викладені в ДСТУ Б В.2.7-46:2010, 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 випробуванням зразків (балочок 4×4×16 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 (табл. 3.4).

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.

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

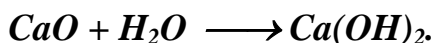
Під дією високих температур твердий *цементний камінь* поступово втрачає усі види вологи, що викликає руйнування структури цементного каменю і втрату міцності. Фізико-хімічні процеси, які мають місце при нагріванні портландцементу, базуються на впливі високих температур на окремі клінкерні мінерали.

1. Нагрівання аліту (C₃S), наприклад, викликає наступні перетворення: до 200 °С – відбувається дегідратація гелю C₃S; 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 Ca(OH)₂ і всієї структури, поява тріщин. Міцність падає;

800–900 °С – утворення у великій кількості CaO, здатної до повторного гасіння з підвищенням об'єму і руйнуванням структури цементного каменю:



2. Нагрівання беліту (C₂S)

Гідратована β-модифікація беліту, що має гідравлічні властивості, не містить вільного окису кальцію, тому по-іншому реагує на вплив температури:

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

300–760 °С – гелі, зневоджуючись, піддається усадці, негідратовані зерна C₂S розширюються, з'являються внутрішні напруги і міцність падає.

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

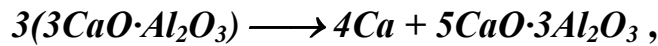
1200 °C – міцність підвищується у 5 разів від первинної.

3. Для нагрівання целіту (C₃A) є характерними такі стадії:

до 190 °C – розширення гідратованого целіту;

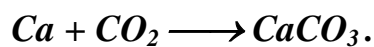
до 230 °C – йде дегідратація, яка спричиняє ущільнення структури і початок усадки. Міцність підвищується на 40 %;

до 330 °C – початок розкладання целіту



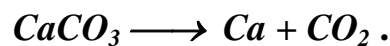
усадка продовжується, міцність падає.

550-590 °C – завершення розкладання целіту, часткова карбонізація:



Розпушення структури і руйнація кристалічної решітки. Міцність падає.

940 °C – дисоціація карбонату кальцію



4. Нагрівання браунмілериту (C₄AF) 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. 3.4.

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

150–160 °C – йде дегідратація гелеподібної частини цементного каменю; прискорюється кристалізація Ca(OH)₂; міцність підвищується.

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

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

550–600 °C – завершення дегідратації, розпад Ca(OH)₂ і всієї структури. Поява тріщин, міцність падає.

900 °C – утворення у великій кількості CaO, здатного до повторного гасіння, що веде до повного руйнування структури каменю і втрати міцності.

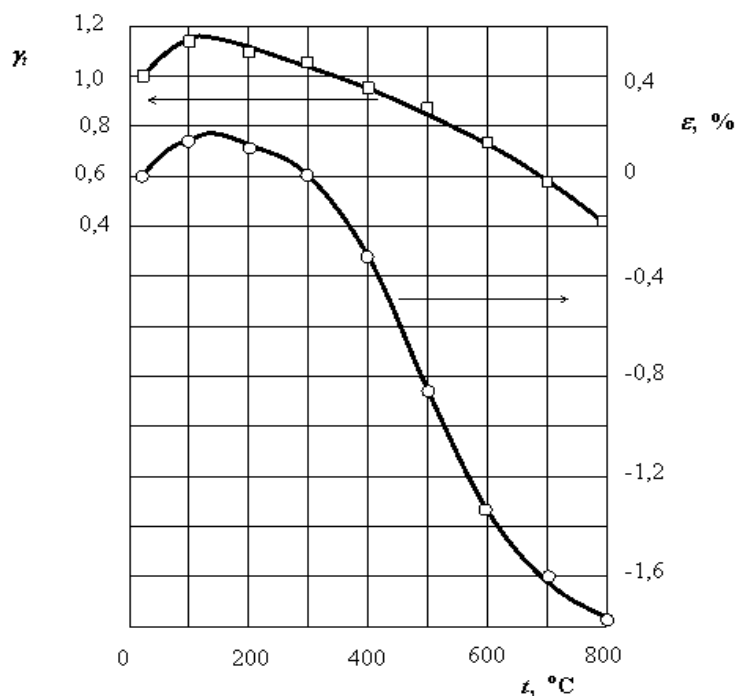


Рисунок 3.4 – Відносна міцність і температурна деформація цементного каменю при нагріванні

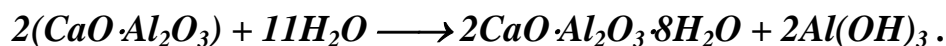
Таким чином, цементний камінь після нагрівання до 600–900 °С і охолодження за наявності вологого повітря втрачає міцність і руйнується через повторну гідратацію окису кальцію. Жаротривкість виробів з портландцементу в умовах дії високих температур є малою. Для підвищення жаротривкості у портландцемент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

3.3.2 Глиноземистий цемент

Глиноземистий цемент – швидкоотвердіюче 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 тощо), 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_2); 80–85 %
- п'ятикальцієвий трьохалюмінат, $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_5A_3);
- двокальцієві силікати і алюмосилікати.

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



При гідrataції 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 є стійкими до дії прісних і сульфатних вод, але руйнуються лужними водами. Застосовують глиноземисті цементи для термінових ремонтних робіт.

При нагріванні глиноземистого цементу відбуваються такі процеси (рис. 3.5):

до 300 °С – відбувається дегідrataція, міцність знижується на 50 %;

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

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

При повторному нагріванні *усадка* глиноземистого цементу не спостерігається.

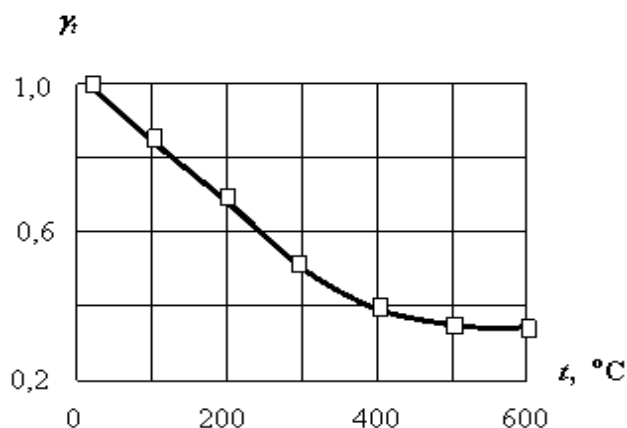


Рисунок 3.5 – Відносна міцність розчину на глиноземистому цементі при нагріванні

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

Питання для самоконтролю до глави 3

1. Що являють собою мінеральні в'язучі? Для чого використовуються в'язучі речовини? Як класифікують мінеральні в'язучі? Що таке марка в'язучого?

2. Що являють собою повітряні мінеральні в'язучі і як вони застосовуються? Як класифікують повітряні в'язучі?

3. Що являє собою будівельний гіпс і як він застосовується? Які етапи твердіння будівельного гіпсу? Які особливості поведінки будівельного гіпсу при нагріванні?

4. Що являє собою повітряне вапно і як воно застосовується? Які особливості поведінки повітряного вапна мають місце при нагріванні? Що таке повторна гідратація?

5. Що являють собою гідравлічні мінеральні в'язучі і як вони застосовуються? Як класифікують гідравлічні в'язучі?

6. Що являє собою портландцемент? Наведіть етапи твердіння портландцементу? Як застосовується портландцемент, термін його твердіння? Що таке марка цементу? Які особливості поведінки портландцементу спостерігаються при нагріванні?

7. Що являє собою глиноземистий цемент, як він застосовується і термін його твердіння?

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 – сполуки металів з металами і неметалами, які зберігають електронну провідність. Сплави звичайно одержують сплавленням, 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 дрібнозернисті речовини з кристалічними решітками 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 є щільними та безпористими.

4.1.1 Склад та маркування чорних металів

Чорні метали бувають 2 видів (схему їх виробництва див. на рис. 4.1):

1. **Чавуни** – сплави заліза з вуглецем, в яких вміст вуглецю становить більше 1,7 % (середня щільність $\rho_c = 7200 \text{ кг/м}^3$). Їх одержують плавленням залізних руд у доменних печах при температурі порядку 1500 °С. Чавуни виробляють ливарні сірі, з яких виготовляють відливки труб, решіток, радіаторів, та переробні білі, що йдуть на виготовлення сталей.

2. **Сталі** – сплави заліза з вуглецем, в яких вміст вуглецю становить менше 1,7 % (середня щільність $\rho_c = 7850 \text{ кг/м}^3$). Для будівництва їх виробляють конверторним способом із чавуну та мартенівським способом з чавуну або сталевому 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 буді-

вництві для виготовлення елементів конструкцій, які працюють на стиск без ударних навантажень (колони, опорні подушки, башмаки, труби, деякі елементи арок, що стискаються).



Рисунок 4.1 – Схема виробництва чорних металів та будівельних матеріалів із них

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. Зі статичних важливішими є випробування на розтягнення та твердість.

Випробування чорних металів на розтягнення здійснюють руйнуючи спеціальні зразки (див. рис. 1.1,и) на розривних машинах. Діаметр зразків для визначення площі перерізу вимірюють із точністю до 0,5 %. Результати випробувань подають у вигляді діаграми залежності напруги від подовження, приклад якої для зразків зі сталі наведено на рис. 4.2. На діаграмі розтягнення (діаграмі « σ – ϵ ») розрізняють характерні точки, яким відповідає стан матеріалу:

$\sigma_{п}$ – *границя 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, тобто сталь зберігає пружні властивості;

σ_{E} – *границя пружності* – напруга, за якої після зняття деформуючої сили у зразку виникають залишкові деформації, що не перевищують допусків, встановлених технічними умовами. Наприклад, коли встановлюється допуск 0,001 %, границя пружності визначається $\sigma_{0,001}$. Вище межі пружності прояв-

ляється пластичність зразка, і ділянка діаграми вже перестає бути прямолінійною (ділянка АБ);

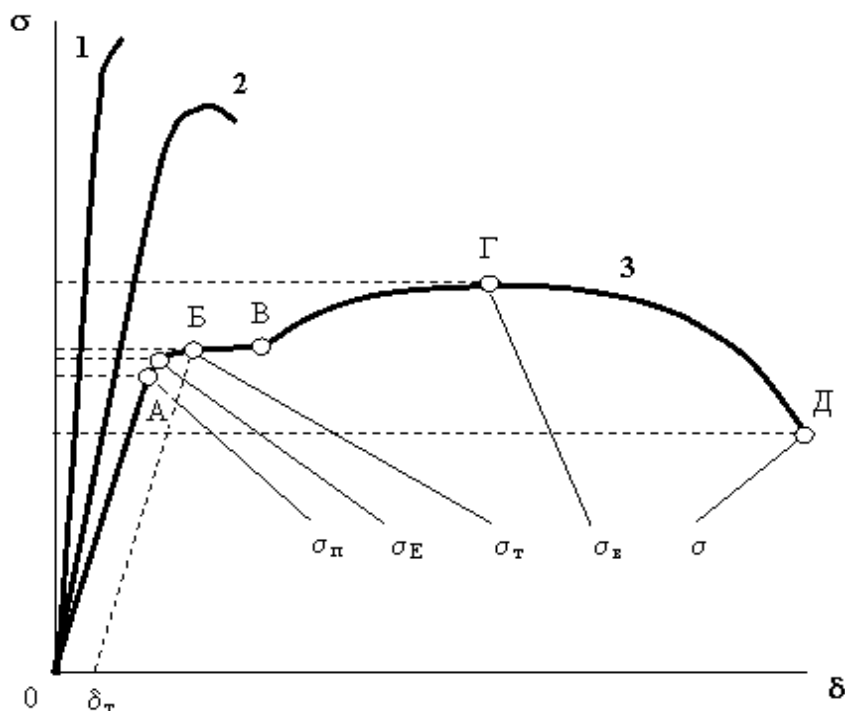


Рисунок 4.2 – Діаграма розтягнення сталі σ - ϵ :

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

$\sigma_{п}$ – границя пропорційності; $\sigma_{Е}$ – границя пружності; $\sigma_{Т}$ – границя пливності; $\sigma_{В}$ – границя міцності; $\sigma_{р}$ – напруга розриву; $\delta_{т}$ – залишкове подовження межі текучості

$\sigma_{Т}$ – границя пливності (текучості) – напруга, яка відповідає нижній границі площадки текучості (ділянка БВ) на діаграмі розтягнення. Коли при випробуванні цю площадку неможливо винайти, визначають умовну межу текучості, яка звичайно відповідає залишковій деформації 0,2 %. Її позначають $\sigma_{0,2}$;

$\sigma_{В}$ – границя міцності (тимчасового опору) – напруга, що відповідає найбільшому навантаженню, яке викликало руйнування зразка (точка Г);

$\sigma_{р}$ – напруга розриву – фактична напруга, при якій зруйнувався зразок (точка Д).

За діаграмою розтягнення можна судити про властивості сталі. Чим більше нахил прямої ділянки (ОА), тим м'якіша сталь (див. рис. 4.2, крива 3). М'які сталі є пластичними, вони мають велику нелінійну ділянку. В більш твердих сталях (див. рис. 4.2, крива 2) може не бути площадки текучості БВ, і тоді ділянки АБ та ВГ поєднуються. У крихких сталей не тільки відсутня площадка текучості БВ, але й графік залежності напруги від деформації являє майже пряму лінію, і границя міцності є тотожною до напруги розриву (див. рис. 4.2, крива 1).

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

Сталі за властивостями є значно більш різноманітними, 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.

Сталі класифікують за такими ознаками:

1. За ступенем розкислення сталі поділяють на киплячі, напівспокійні та спокійні.

При виплавці сталі окислення вуглецю відбувається з утворенням газоподібних продуктів, які зумовлюють кипіння металеві ванни. Якщо не проводити розкислення, то кипіння продовжується і після випуску сталі до виливниць, де вона охолоджується. Таку сталь звать *киплячою*. Для неї є характерною неоднорідність хімічного складу (ліквація), особливо наявність надлишків вуглецю, сірки, фосфору, що веде до неоднорідності структури і механічних властивостей.

Для поліпшення якості сталі її розкислюють, додаючи в ківш після виплавлення енергійні розкислювачі: кремній, марганець, алюміній та деякі інші. При цьому окислення вуглецю припиняється, і сталь перестає кипіти, стає *спокійною*.

Спокійна сталь є дорожчою за киплячу приблизно на 10...12 %, але її якість є значно кращою.

Компромісним рішенням є виробництво *напівспокійної* сталі, для одержання якої вживається менша кількість розкислювачів, що дає можливість знизити вартість при достатньо добрій якості.

2. За хімічним складом. Залежно від вимог до якості сталі та її призначення використовують сталі з різним хімічним складом. За кожною плавкою сталі металургійні заводи дають відомості про хімічний склад у спеціальному документі, який називається *сертифікатом*. Вміст хімічних елементів у сталевому сплаві нормується в межах, встановлених державним стандартом. Залежно від складу компонентів та точності дотримувannya їх пропорцій розрізняють сталі:

а) *вуглецеві*, до складу 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*, до складу яких, крім вказаних вище домішок, також вводяться у 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.

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

За кількістю домішок розрізняють:

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

3. За твердістю (і вмістом вуглецю). Сталь являє собою твердий розчин вуглецю із залізом. Вуглець справляє найбільш сильний вплив на властивості сталі. Збільшення вмісту вуглецю підвищує міцність сталі, але знижує пластичність і погіршує зварювальність. Залежно від вмісту вуглецю розрізняють сталі:

- 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.

4. За застосуванням у техніці розрізняють:

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

Маркування сталей є літерно-цифровим 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 є найбільш важливим додержання механічних властивостей, і тому відповідно до них проводиться маркування. Зі зростанням номеру 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: границями текучості, міцності та відносним подовженням. Сталі групи «Б» постачаються за хімічним складом: зі зростанням номеру в них підвищується вміст вуглецю (C) 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», напівкиплячої – «пк», киплячої – «к» (наприклад: *МСт.3*, *БСт.5сп*, *МСт.4к*).

2 Вуглецеві якісні і леговані сталі набувають механічних та інших властивостей 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 у десятих частках;
- дві цифри – вміст у сотих частках;
- без цифри – середній вміст вуглецю становить 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 – N₂; 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 вигляді застосовуються рідко, тому що їх властивості, як правило, не відповідають механічним, спеціальним і технологічним вимогам до об'єкта прикладення. Мабуть тільки мідь використовується в чистому вигляді у будівництві (з неї виробляють дріт та водопровідні труби).

Задовольнити вимоги виробництва до характеристик деталей вдається тільки за допомогою використання сплавів кольорових металів. Найбільш поширені 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 добавок у відсотках, наприклад: *БрОЦ 4-3*; *БрОС 5-25*; *БрОНС 11-4-3*);
- мідно-нікелеві сплави – маркуються за вмістом нікелю та інших добавок і власними назвами, наприклад: *мельхіор МН19*, *нейзильбер МНЦ15-20*.

2 Алюмінієві сплави.

Алюміній (Al) – метал легкий, пластичний, м'який і маломіцний ($\sigma = 8...10$ кГ/мм², $E = 7000$ кГ/мм²). Механічні властивості алюмінію значно покращуються при введенні легуючих добавок (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 добавок. 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 «АЛ» і цифрою, що позначає номер. Для усіх видів алюмінієвих сплавів у кінці маркування може додаватися умовне позначення термо-механічної обробки:

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

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

Алюмінієві сплави, що деформуються, мають високу міцність, піддаються пластичній деформації та 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: *В92, В95* та ін.) 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 та 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

З великої кількості відомих металів та металевих сплавів для будівельних конструкцій використовують лише сталь і алюмінієві сплави.

Перевагами цих матеріалів, у порівнянні з іншими будівельними матеріалами, є:

1. Прогнозованість поведінки у конструкціях. Це забезпечується достатньо точною відповідністю головним розрахунковим передумовам теорії споруд про пружну та пружно-пластичну роботу матеріалу (однорідність, ізотропність, суцільність). Сталь і алюмінієві сплави мають властивості та структуру, які наближають їх до такого ідеального матеріалу.

Це дає упевненість, що результати розрахунку металевих конструкцій відповідають умовам їх дійсної роботи (розподіл напружень і деформацій), і що це, у свою чергу, дає змогу забезпечити високу імовірність надійності об'єктів будівництва.

2. Найбільша питома міцність. Це характеристика будівельного матеріалу, яка визначається відношенням:

$$r = \frac{R}{\rho} \quad (\text{м}),$$

де R – показник міцності матеріалу; ρ – щільність матеріалу.

У фізичному розумінні, *питома міцність* – це висота умовного стовпа, в опорному перерізі якого напруження від власної ваги дорівнює межі міцності його матеріалу R . Зрозуміло, що чим вище цей стовп, тим ефективнішим є матеріал за міцністю.

Наприклад, *питома міцність* головних будівельних матеріалів:

- залізобетон 300...400 м;
- деревина 2000...3000 м;
- сталь 3000...7000 м;
- алюмінієві сплави 7300 м.

Завдяки високій міцності матеріалу, конструкції з металів виконуються тонкостінними, більш легкими, ніж конструкції з інших будівельних матеріалів.

Звідси економічна доцільність застосування металевих конструкцій, особливо для великопробовних споруд, тому що за рахунок зниження власної ваги знижується навантаження на нижче розташовані конструкції, спрощується транспортування і монтаж.

3. Конструктивні переваги. Металеві конструкції виготовляють з готових стандартних первинних елементів – листів та профілів – прокатних, гнутих або пресованих.

З'єднання елементів металевих конструкцій – зварні і болтові – є простими та технологічними.

Зазначені конструктивні переваги дають можливість швидко і зручно робити складання металевих конструкцій у процесі виготовлення і монтажу.

Якщо треба, металеві конструкції можна розбирати для заміни та підсилення елементів і частин споруд.

4. Водогазонепроникність. Це дозволяє використовувати метали для виготовлення листових обшивок споруд, що призначені для збереження рідин і газів, а також для захисту від шкідливих випромінювань.

5. Можливість повторного використання матеріалу після утилізації та переробки металевих конструкцій, які вже відпрацювали свій термін.

Головними недоліками металевих конструкцій є:

1. Недостатня вогнестійкість. При нагріванні вище 200 °С модуль пружності сталі знижується і має місце явище повзучості, а при *критичних температурах* 500...600 °С сталь практично втрачає міцність. Для алюмініє-

вих сплавів такими критичними температурами відповідно є 150 °С та 300 °С. Тому металеві конструкції будівель, небезпечних у пожежному відношенні, треба захищати вогнестійким облицюванням.

2. Схильність до корозії. Схильність сталі до корозії пов'язана з її хімічним складом і впливом навколишнього, особливо агресивного, середовища.

Підвищення корозійної стійкості сталі досягається додаванням легуючих елементів та періодичним покриттям поверхонь конструкцій захисними плівками (лаки, фарби).

3. Дефіцитність та висока вартість сталі, і особливо алюмінієвих сплавів, що слід також віднести до недоліків металевих конструкцій.

Ще один суттєвий недолік алюмінієвих сплавів, як вже було зазначено вище, – це слабка опірність пружним деформаціям (модуль пружності є утричі меншим, ніж у сталі), що веде до великих, в порівнянні зі сталевими, прогинів балок і ферм, а також до збільшення небезпеки втрати стійкості.

Тому, незважаючи на такі вагомні переваги як:

найбільша питома міцність;

висока стійкість проти корозії;

зниження крихкості (а не підвищення, як у сталі) в умовах низьких температур;

більш економічний спосіб виготовлення первинних елементів (пресування алюмінієвих профілів є простішим та дешевшим, ніж прокатка сталевих),

алюмінієві сплави рідко застосовуються для виготовлення несучих металевих конструкцій.

Усі ці недоліки зумовлюють застосування металевих конструкцій у переважній більшості випадків у промисловому будівництві та для зведення спеціальних споруд.

Практично будь-яку інженерну споруду можна виконати з металевих конструкцій.

Галузі використання металевих конструкцій визначаються можливістю найбільш ефективно використати їх головні переваги, які були перелічені у попередньому параграфі, а також економічними міркуваннями.

З урахуванням означеного, металеві конструкції раціонально застосовувати для споруд, які мають прольоти більше 24 м, висоту більше 20 м.

Найбільш поширеними з них є такі:

– металеві каркаси промислових будівель і естакад, обладнані мостовими кранами вантажопідймальністю понад 1000 кН;

– великопрольотні мости і споруди громадського та промислового призначення (павільйони, спортивні арени, ангари, випробувальні корпуси та ін.);

– висотні споруди (вежі та щогли), які забезпечують експлуатацію будов радіозв'язку, телебачення, блискавкозахисту; до них також слід віднести опори ліній електропередач, димові труби, надшахтні копри, каркаси висотних споруд;

– листові конструкції, що являють собою, головним чином, ємності для зберігання рідин, газів та сипких матеріалів; це також металева ізоляція спеціальних споруд для захисту від агресивного середовища, високих температур і електромагнітних випромінювань;

– конструкції рухомих споруд для обслуговування технологічних процесів і монтажних робіт;

– конструкції вантажопідіймальних кранів, будівельних машин;

– збірно-розбірні конструкції, в тому числі легкі металеві конструкції комплексного постачання, які виготовляються на потокових лініях спеціалізованих заводів; за рахунок зниження ваги, комплектності, зручності виготовлення і монтажу вони мають такі великі переваги, що ефективно застосовуються в будівлях, проліт (прогін) яких може бути менше 24 м.

Металеві конструкції як окремі елементи (балки, ферми, зв'язки) використовують також у сполученні з конструкціями з інших будівельних матеріалів, і особливо – при відбудові та підсиленні.

Відносно застосування у будівництві алюмінієвих сплавів можна сказати, що це, головним чином, конструкції вітрин, вітражів, віконних плетінь, архітектурних деталей, при виготовленні яких найбільш повно використовуються можливості одержання складних профілів, а при експлуатації – їх висока стійкість проти корозії.

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.

Низьковуглецеві конструкційні сталі звичайної якості.

Найбільш поширеною у будівництві є сталь марки Ст.3, завдяки своїй універсальності: вона повніше інших задовольняє усім вимогам 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 тощо.

Сталь Ст.3 – найбільш поширена у будівництві – для виконання несучих металевих конструкцій та залізобетонних виробів (балки, рами, ферми, арматура, листові конструкції резервуарів).

Сталі Ст.4 і Ст.5 – досить поширені. 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 реєк 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 мають більшу вартість. Їх застосовують для зменшення ваги конструкцій. Найбільш поширені з них: сталі 10Г2С, 10ХСНД, 15ГС, 16Г2АФ, 17ГС, 17ГСБ, 20ГС, 20ХГ2Ц, 23ХГ2Т, 25Г2С, 30ЧГ2С, 35ГС, 45С, 80С. За досвідом будівельних робіт використання низьколегованої сталі стає економічно доцільним, коли це дозволяє зменшити вагу конструкцій, порівняно із застосуванням сталі Ст.3, на 15–20 %. Крім того, низьколеговані сталі призначаються для дуже відповідальних конструкцій, де за технічними умовами інші матеріали не допускаються (великопрольотні форми мостів, громадських та промислових будівель або інші важкі металеві вироби).

Таблиця 4.1 – Механічні характеристики при розтягненні будівельних сталей

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

Сталевий прокат. Сутність отримання виробів методом прокату полягає в тім, що нагріту сталеву заготовку пропускають на прокатному стані між двома валками, що обертаються. Завдяки цьому відбувається пластична деформація початкової заготовки: змінюється її форма, зменшується площа поперечного перерізу, збільшується довжина (рис. 4.3). Форма поперечного перерізу прокатного виробу залежить від конфігурації валків. Температура на початку прокатки перевищує 1100 °С, а наприкінці – знаходиться на рівні не менше 900 °С. Такий сталевий прокат називають *гарячекатаним*.

Так виробляють довгий плоский та профільований *сталевий прокат*, який використовується у будівельній справі:

- товстий лист або плити завтовшки від 4 мм до 350 мм;

- тонкий лист завтовшки від 1,2 мм до 4 мм;
- широкосмуговий прокат, що змотується у рулони, завтовшки до 25 мм;
- сортовий прокат простої форми – круг, квадрат, арматура, смуга, катанка;
- фасонний прокат – рейки, кути, двотаври, швелери, спецпрофілі тощо (рис. 4.4).

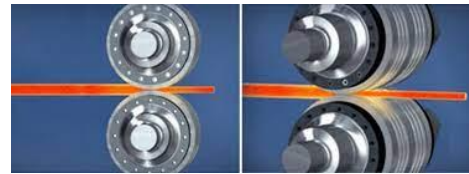
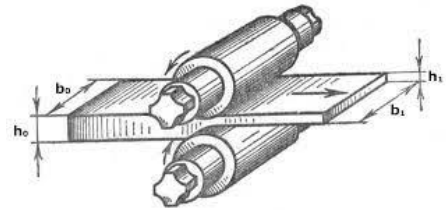


Рисунок 4.3 – Вид металургійного цеху з прокатним станом та принцип отримання сталевого прокату

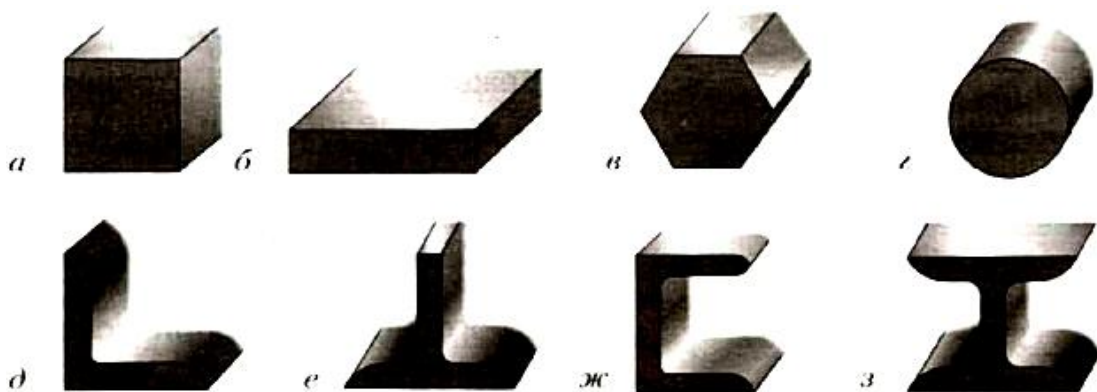


Рисунок 4.4 – Види перерізів прокатних профілів:

а – квадрат; б – смуга; в – шостикутник; г – круг; д – кут; е – тавр; ж – швелер; з – двотавр

Прийнята класифікація передбачає для фасонного прокату 13 найменувань сталі за значеннями межі текучості: С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С590, С590К. Перші 5 типів сталі є вуглецевими, а інші – низьколегованими. Літера «С» вказує на належність сталі до будівельних конструкцій, «К» – на модифікацію хімічного складу сталі. Наприклад, сталь С235 відповідає сталі ВСтЗкп, а сталі С345 і С375, у залежності від виду прокату і товщини, – сталям 09Г2, 12Г2С, 14Г2, 15ХСНД.

Сталевий прокат широко використовується у виробництві несучих металоконструкцій для великих об'єктів будівництва або у машинобудуванні. З нього виробляють балки, ферми, колони, рейки тощо.

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 та дріт, які використовують для армування, отримують способами гарячого прокату та холодного витягнення. Зміцнення гарячекатаних сталевих виробів здійснюється термічною обробкою. У холоднотягнутих виробих зміцнення досягається за рахунок наклепу. Наклеп – це, як правило, поверхнева пластична деформація мікроструктури металу, яка виникає при механічних впливах і виявляється в подрібненні 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.

Арматурний прокат згідно *ДСТУ 3760:2019* маркують літерою «А» та поділяють на класи залежно від показника механічних властивостей (встановленого стандартом нормованого значення умовної чи фізичної границі плинності в Н/мм²) та службових властивостей.

Залежно від службових властивостей прокат поділяють на:

- зварюваний (індекс С);
- незварюваний (без індексу С);
- з підвищеною пластичністю (індекс Е).

Арматурний прокат виготовляють класів: А240С – із гладким профілем, А400С, А500С, А500Е, А600, А600С, А800 та А1000 – з періодичним профілем (рис. 4.5).

Арматурний прокат гладкого профілю виготовляють номінальним діаметром від 5,5 мм до 40 мм, періодичного профілю – від 6,0 мм до 40 мм.

Початковий модуль пружності Е приймають рівним 200000 Н/мм² для всіх класів.



Рисунок 4.5 – Види сталеві арматури:

1 – періодичний кільцевий профіль; 2 – періодичний серповидний профіль; 3 – дріт періодичного профілю; 4 – семидротова прядь; 5 – двопрядний канат

Існує застаріла 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 меншоваартості, багатим можливостям регулювання властивостей і технологічності.

1. Силуміни використовують для фасонного лиття. Вони мають пониженою 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, штампуванням, волочінням і можуть застосовуватися для клепаних 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 є значно меншою в порівнянні зі сталлю.

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

- невеликий модуль пружності (в 3 рази менший, ніж у сталі);
- великий коефіцієнт температурного розширення (в 2–3 рази більший, 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 легких металів (K, Na, Li, Mg...) поверхневі окисли є пористими і мають температуру плавлення вище температури кипіння металів. Тому при контакті з джерелом запалювання метал розплавляється, його пари дифундують крізь пористу оксидну плівку назовні і після досягнення 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 у повітря, там конденсуються і перетворюються в білий дим – ознака горіння легких металів.

У нелегких 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 великому різноманіттю 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 зумовлюється дією двох факторів: термічного розширення та змін у структурі. При температурі більше 780...900 °C (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 границя міцності (тимчасовий опір розтягненню) і умовна границя текучості знижуються до величин робочих напружень, що виникають від експлуатаційних навантажень та власної ваги конструкції. Цьому моменту відповідає стан, коли вини-

кають надмірні деформації, вичерпується несуча здатність конструкції і настає її руйнування.

Порівняння поведінки різних сталей при нагріванні зручно проводити за їх відносною міцністю (γ_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. 4.6 за залежністю відносної міцності сталі від температури продемонстровано різницю 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.

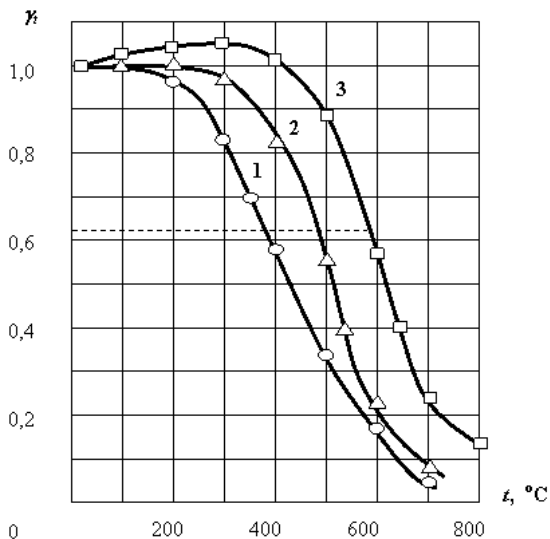


Рисунок 4.6 – Зміна відносної міцності сталей при нагріванні:

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

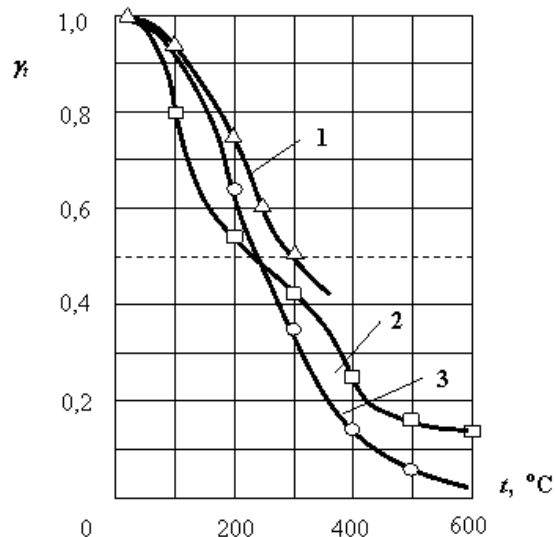


Рисунок 4.7 – Зміна відносної міцності алюмінієвих сплавів при нагріванні:

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

Для нелегованих сталей граничною температурною областю використання фактично є 300–350 °С, бо за цієї температури починаються рекристалізаційні явища і сукупно зі зменшенням міцності виникають деформації повзучості.

Коефіцієнт вичерпування несучої здатності для сталевих конструкцій з гарячекатаних сталей умовно дорівнює 1,6. Цьому значенню 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. 4.7). Критичною для алюмінієвих сплавів умовно приймається така температура, при якій один з основних механічних параметрів матеріалу (границя міцності або текучості) знижується у 2 рази. Критичні температури для різних марок сплавів приблизно мають такі значення (°С):

АЛ-8 → 300 ; Д16А-Т → 290 ; В95-Т → 200;
АМг-6 → 250 ; АМц-М → 235.

Питання для самоконтролю до глави 4

1. Що собою являють метали і сплави, як їх класифікують? Що таке чорні і кольорові метали? Чим відрізняється сталь від чавуну?
2. Що собою являє сталь і для чого вона застосовується? Як залежать властивості сталі від вмісту вуглецю? Як класифікують сталі?
3. Як класифікують і маркують сталі? Які сталі і сплави застосовуються в будівництві?
4. Що таке сталевий прокат? Якою є сфера застосування в будівництві сталевого прокату? Яка сфера застосування в будівництві арматурних сталей?
5. Які кольорові сплави застосовуються у будівництві, що з них виготовляють? Які достоїнства і недоліки мають кольорові сплави, що застосовуються у будівництві?
6. Які існують особливості поведінки будівельних сталей при нагріванні? Наведіть способи підвищення стійкості металів і сплавів до нагрівання.
7. Наведіть процеси, що протікають у металах і сплавах при нагріванні та впливають на зміну їх механічних і теплофізичних властивостей.

ГЛАВА 5. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ, БЕТОНИ, ЗАЛІЗОБЕТОН

5.1 Будівельні розчини

Будівельними розчинами називають штучні кам'яні матеріали, які одержують у результаті твердіння раціонально складеної суміші з в'язучого, води і дрібного заповнювача (піску). Будівельні розчини застосовуються для заповнення швів задля зв'язування кускового або штучного матеріалу в кам'яній кладці (рис. 5.1), для виготовлення декоративних і захисних штукатурок, елементів збірного домобудівництва.



Рисунок 5.1 – Застосування мурувального будівельного розчину

Класифікують будівельні розчини:

- за видом в'язучих – на цементні, вапняні, гіпсові та змішані (цементно-вапняні, вапняно-гіпсові та ін.). Змішаними ще називають розчини, в які вводять дисперсні добавки – *пластифікатори* (глину, шлаки, золи і т.п.);
- за призначенням – на мурувальні та штукатурні (звичайні та спеціальні);
- за видом наповнювачів – на важкі (звичайні) та легкі (ніздрюваті);
- за співвідношенням в'язучого і наповнювача – на жирний (менше 4 об'ємних частин наповнювача на 1 частину в'язучого) і пісний (більше 4 частин наповнювача на 1 частину в'язучого).

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. **Легкоукладальність** – здатність розчинної суміші укладатися на основу тонким шаром без розривів із заповненням всіх нерівностей. Вона залежить від таких властивостей як *рухомість* та *водоутримувальна здатність*.

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 та крупності піску. Для підвищення рухомості суміші в неї вводять пластифікуючі дисперсні добавки (вапно, глину, золу, шлак і т.п.) або *поверхнево-активні речовини*, які значно покращують змочуваність твердих частинок (наприклад, милонафт).

3. **Водоутримувальна здатність** – це здатність розчину чинити опір розшаруванню. Залежить від вмісту в’язучого і пластифікуючої добавки.

Розчини, що затверділи, для виконання ними передбачених функцій повинні задовольняти таким вимогам:

- набувати потрібної міцності на стиск за певний термін твердіння;
- добре зчеплюватися з основою;
- забезпечувати рівномірність та малу величину деформацій, не припускати великих змін об’єму (відсутність розтріскування) у процесі твердіння та у твердому стані при допустимих навантаженнях.

Міцність розчинів, що затверділи R_b , залежить від активності в’язучого, водов’язучого відношення, умов твердіння і віку. Основний закон міцності відображається емпіричною формулою:

$$R_b = AR_y(\frac{C}{B} - C), \quad (5.1)$$

де A – коефіцієнт, який враховує якість заповнювачів бетону, $A = 0,40 \dots 0,80$; R_y – марка (активність) цементу; C – кількість цементу; B – кількість води; C – коефіцієнт, що враховує легкоукладальність бетонної суміші, $C = \pm (0,15 \dots 0,70)$

Якість будівельних розчинів, відповідно до вимог «ДСТУ Б В.2.7-23-95 Розчини будівельні. Загальні технічні умови», 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) із середньою щільністю більше 1500 кг/м^3 і легкі – із середньою щільністю менше 1500 кг/м^3 .

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.

Процеси, що мають місце у цементно-піщаному розчині при нагріванні, можна прослідкувати за зміною відносної міцності (рис. 5.2).

При нагріванні до $300\text{--}400^\circ\text{C}$ міцність цементно-піщаного розчину дещо знижується, а потім значно збільшується. При подальшому збільшенні температури міцність поступово знижується. А при температурах більше 300°C спостерігається усадка цементного каменю. Зерна кварцу в цей час поширюються в об’ємі, що викликає утворення тріщин і щілин. Цей процес інтенсифікується при 600°C і вище, бо за цих температур у цементному камені, внаслідок дегідратації $\text{Ca}(\text{OH})_2$, утворюється CaO , здатний до вторинного гасіння, а у кварці, який входить до складу піску, здійснюється модифікаційне перетворення β -кварцу у α -кварц, що супроводжується раптовим збільшенням об’єму.

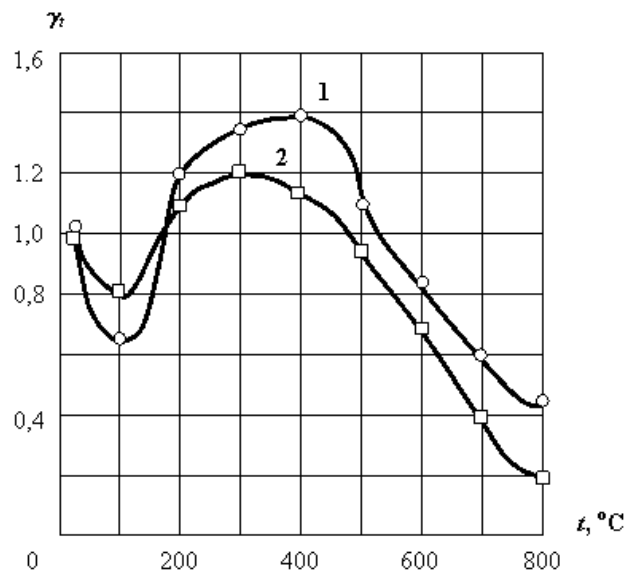


Рисунок 5.2 – Відносна міцність цементно-піщаного розчину:

1 – у гарячому стані; 2 – після нагрівання і охолодження

Таким чином, при нагріванні до високих температур розширення заповнювачів разом з усадкою цементного каменя 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 добавок (рис. 5.3). За цим визначенням *будівельні розчини* можна розглядати як дрібнозернисті бетони, в яких відсутній крупний заповнювач.



Рис. 5.3 – Складові бетону

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

Заповнювачами можуть служити щебінь, гравій, пісок із природних матеріалів (граніт, вапняк, туф, опока) і штучних (керамзит, шлак, перліт, зола). Крупним заповнювачем для бетонів звичайно буває *гравій* або *щебінь* із природного каменю або відходів гірничозбагачувальних підприємств і *шлаків* ТЕЦ. Крупний заповнювач, у залежності від вимог до бетону, вибирають за такими показниками: зерновим складом та найбільшою крупністю, вмістом пилоподібних та глинистих часток, шкідливих домішок, формою зерен, міцністю, петрографічним складом.

В якості дрібного заповнювача для бетонів застосовують природний пісок, пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід або їх сумішей.

Крім заповнювачів, у бетоні часто використовуються добавки, які покращують його властивості та *легкоукладальність*. Такими добавками можуть бути дисперсні дрібномелені речовини (трепел, доменні шлаки, золи та ін.) і *поверхнево-активні речовини* (милонафт).

Широке поширення бетону в будівництві пояснюється можливістю порівняно легко змінювати його властивості (міцність, щільність, теплопровідність, об'ємну вагу) і виготовляти з нього різноманітні за формою і розміром будівельні конструкції. Виробництво та використання бетонів визначається стандартом «ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови».

За величиною *середньої густини* (ρ_0) бетони розподіляють на:

- особливо важкі, $\rho_0 > 2500 \text{ кг/м}^3$ – для фортифікаційних споруджень;
- важкі (звичайні), $\rho_0 = 1800...2500 \text{ кг/м}^3$ – для влаштування фундаментів, виготовлення несучих конструкцій каркаса (балок, ферм, колон, плит перекриття та покриття, сходових маршів тощо);
- легкі, $\rho_0 = 500...1800 \text{ кг/м}^3$ – для огорожувальних конструкцій зовнішніх стін (стінових панелей), конструкцій перекриттів та покриттів;
- особливо легкі (ніздрюваті), $\rho_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ – для огорожувальних конструкцій зовнішніх стін, перегородок, покриттів, теплоізоляційних виробів.

В залежності від призначення, розрізняють *звичайні бетони* – для несучих елементів конструкцій (колони, балки, ферми, 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* (чарунчасті), *бетони спеціального призначення* (жаростійкі, кислототривкі).

Призначення бетону визначає основні вимоги до нього. Так, для звичайних бетонів найбільш важливо гарантувати призначену міцність на стиск та морозостійкість, для гідротехнічних – водонепроникність, стійкість проти вимивання та вилужування, для стінових та теплоізоляційних – малі теплопровідність та об'ємну вагу, для спеціальних – вогнестійкість, хімічну стійкість та ін.

Усі загальні та спеціальні властивості бетону забезпечує його *склад* – раціональне співвідношення компонентів, яке забезпечує одержання суміші з необхідними показниками якості при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах. Він встановлюється за розрахунком. При підборі *складу бетону* враховують середню густину, пористість, водопоглинення заповнювачів.

При змішуванні розрахованих компонентів бетону в залежності від призначення утворюється речовина, що за консистенцією буває від рідкої сметаноподібної до густої тістоподібної і навіть жорсткої ледь вологої. Цю речовину називають **бетонною сумішшю**. Бетонна суміш займає проміжне положення між рідинами і твердими тілами (рис. 5.4). До певної напруги вона має пружність і міцність структури як тверде тіло, а коли міцність структури переборена, система уподібнюється до в'язкої рідини.

Приготування бетонної суміші включає операції дозування і змішування складових матеріалів. Для змішування компонентів використовують змішувачі безперервної або періодичної дії (рис. 5.5).

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



Рисунок 5.4 – Заповнення *опалубки* бетонною сумішшю

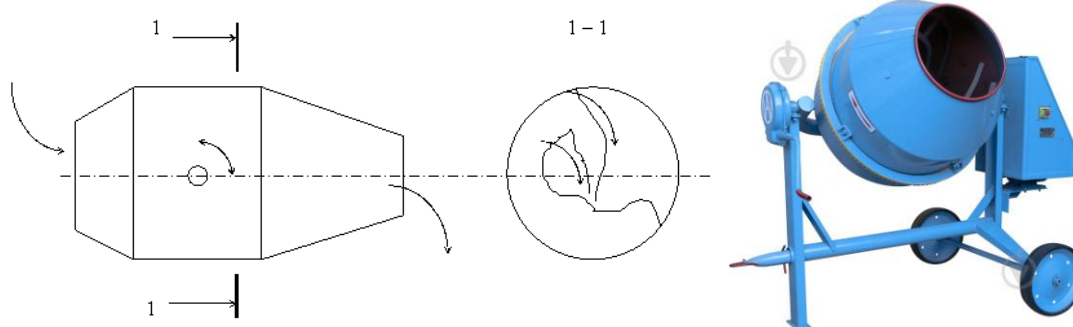


Рисунок 5.5 – Принцип змішування компонентів у гравітаційному змішувачі

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

Рухливість визначається за осіданням стандартного конусу. Різниця висот (в сантиметрах) конусної металевої форми та бетонної суміші, що була

сформована у цьому конусі та осіла, характеризує рухливість суміші і зветься осадкою конусу (ОК). За цим показником легкоукладальність 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 легкоукладальності бетонні суміші поділяють на марки (див. табл. 5.1).

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 в **опалубку**, тобто об'єм, що надає задану форму (див. рис. 5.4), завдяки взаємодії цементу з водою самовільно твердіє, створюючи каменеподібне тіло – **бетон**. Бетонні суміші, укладені в **опалубку**, ущільнюють вібруванням, термін якого залежить від інтенсивності застосованого ущільнення і легкоукладальності суміші. Таким чином отримують вироби з бетону (рис. 5.6).

Таблиця 5.1 – Класифікація бетонних сумішей

Марка легкоукладальності за жорсткістю	Норма легкоукладальності за показником		Марка легкоукладальності за рухливістю	Норма легкоукладальності 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



а)



б)

Рисунок 5.6 – Вироби з бетону:

а) еталонні кубічні зразки 150×150×150 мм; б) бетонні блоки

Основною характеристикою бетону як конструкційного матеріалу є його **міцність** (яка, в основному, залежить від якості застосованих мінеральних матеріалів) і пористість бетону. Визначають міцність бетону за емпіричною формулою (5.1).

На рис. 5.7 показано, що за однакової якості мінеральних матеріалів міцність бетону прямо пропорційна до активності цементу. Вид і марку цементу вибирають у відповідності до призначення та умов експлуатації, прийнятої технології виготовлення. Марка цементу повинна бути вище заданої марки бетону.

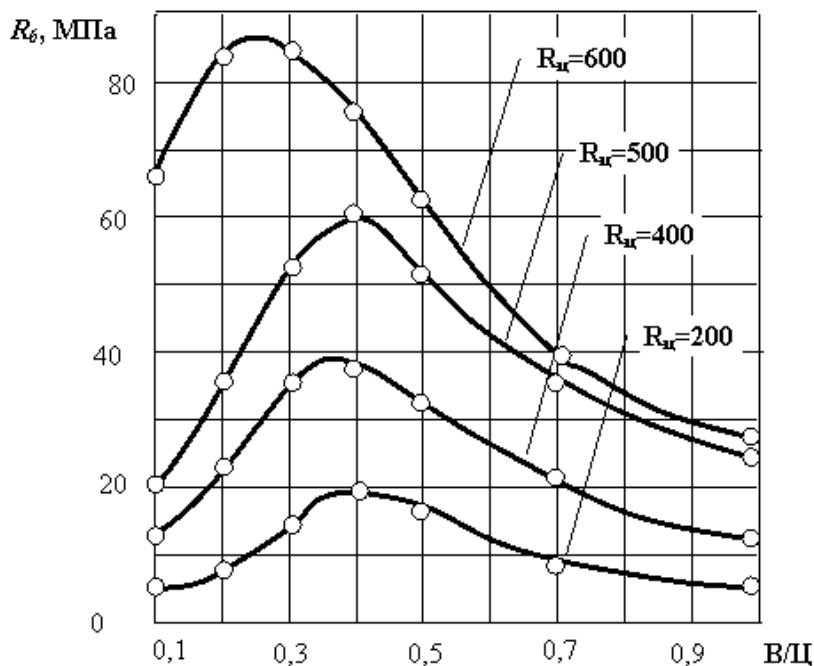


Рисунок 5.7 – Залежність міцності бетону (R_b) від активності цементу (R_c) і водоцементного відношення

Найважливішими факторами, що впливають на набування міцності бетоном, є *тривалість твердіння* і *температурно-вологісні умови*. Нормативну міцність бетон набирає через 28 діб твердіння у нормальних умовах.

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...90 °С. На рис. 5.8 показано кінетику зростання міцності бетону, який твердіє у різних 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. Міцність бетону характеризується поняттям «*марка бетону*», що дорівнює середній границі міцності кубічних зразків при їх ви-

пробуванні у стандартних умовах. У визначенні марки використовують літеру «М» та число, що дорівнює границі міцності у $\text{кг}/\text{см}^2$.

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

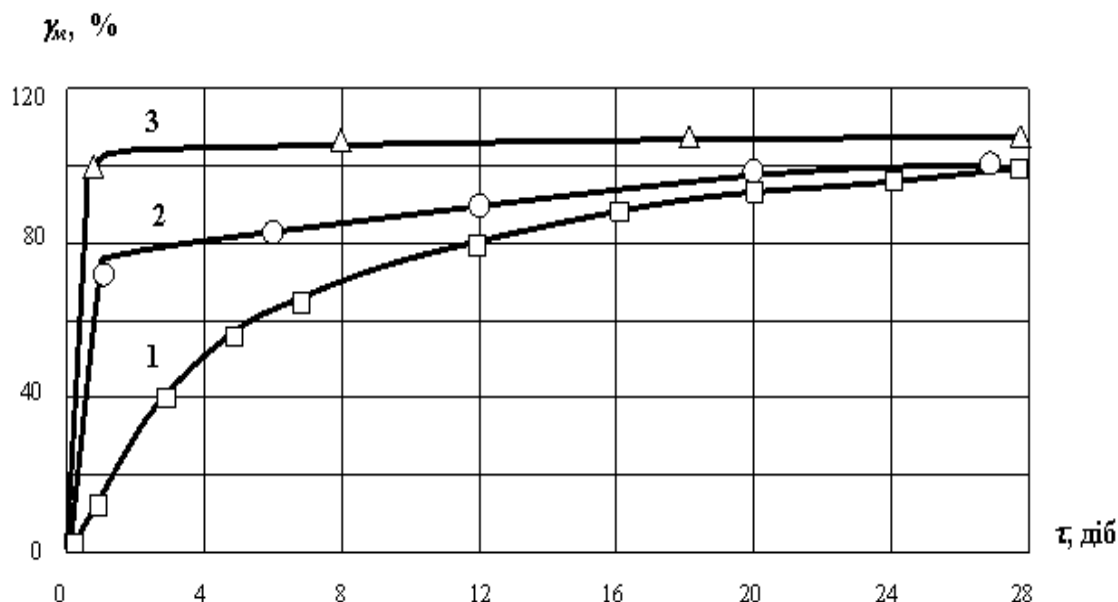


Рисунок 5.8 – Кінетика зростання відносної міцності (від марки) бетону при твердінні:

1 – у нормальних умовах; 2 – пропареного при 85 °C і нормальному тиску; 3 – пропареного при 175 °C в автоклаві під тиском 0.8 МПа

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 °C через 28 діб твердіння в нормальних умовах. У визначенні *марки* за міцністю на розтягнення використовують літери «R_t». Наприклад, для важкого бетону встановлені марки за міцністю на розтягнення: R_t5, R_t10, R_t15, R_t20, R_t25, R_t30, R_t35, R_t40, R_t45, R_t50.

Технологія виробництва бетонів, у значній мірі, – випадковий процес, тому показники міцності бетону мають статистичний розкид або статистичну неоднорідність. Тому, відповідно до ДСТУ БВ.2.7-43-96, було введено поняття «*клас міцності бетону*» – середньостатистичне значення тимчасового опору еталонних кубічних зразків 150×150×150 мм (див. рис. 5.6, а) у МПа, виготовлених і випробуваних за стандартною методикою. Клас міцності бетону пов'язаний з маркою (середньою міцністю бетону) таким співвідношенням:

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

де B – клас міцності бетону, МПа; R_{cp} – середня міцність бетону, МПа; t – коефіцієнт прийнятої забезпеченості класу бетону; γ – коефіцієнт варіації

міцності бетону, $\gamma = 13,5 \%$. На практиці користуються менш складною формулою:

$$B = 0,778R_{cp}.$$

Співвідношення між класом і марками бетону за міцністю приведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Співвідношення між класом і марками бетону за міцністю

Клас бетону	Середня міцність даного класу, кгс/кв.см	Найближча марка бетону
B 5	65	M 75
B 7,5	98	M 100
B 10	131	M 150
B 12,5	164	M 150
B 15	196	M 200
B 20	262	M 250
B 25	327	M 350
B 30	393	M 400
B 35	458	M 450
B 40	524	M 550
B 45	589	M 600
B 50	655	M 600
B 55	720	M 700
B 60	786	M 800

Взагалі *клас бетону* – це числова характеристика якої-небудь його властивості, прийнята з гарантованою забезпеченістю 0,95. Це значить, що встановлена класом властивість забезпечується не менш ніж у 95 випадках з 100 і лише в 5-ти випадках можна чекати його не виконаним. Тобто *марка* відображає середнє значення міцності бетону, а *клас* – його **гарантовану** міцність (з надійністю 95 %).

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-43-96 встановлено класи бетону, де цифрами визначені величини міцності у мегаПаскалях або в інших відповідних одиницях:

- за міцністю на стиск: B 3,5, B5, B7,5, B10, B12.5, B15, B20, B25...B80;
- за міцністю на розтяг: B_t0,4, B_t0,8, B_t1,2, B_t1,6, B_t2, B_t2,4, B_t2.8, B_t3,2, B_t4;
- за міцністю на вигин: B_{cb}0,4... B_{cb}8;
- за вологонепроникністю: W2, ... W20;
- за морозостійкістю: F50, F75, F100, F150, F200, F1000.

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

5.3 Залізобетон і його властивості

У будівельних несучих конструкціях, які працюють і на стиск, і на розтягнення, для сприймання розтягувальних напружень у розтягнуту зону конс-

трукцій з бетону доцільно ввести матеріал, що добре працює на розтяг, наприклад, сталеві стержні (арматуру). В результаті такого поєднання утворюється **залізобетон** – композитний будівельний матеріал, в якому бетон і сталеві арматури поєднані у монолітне ціле (рис. 5.9). 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 границі 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.



Рисунок 5.9 – Утворення виробів із залізобетону

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 та бетону незначною мірою відрізняються між собою, тому зусилля, що виникають при зміні температури, які намагаються зсунути арматуру відносно бетону, є значно меншими, 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.

Принципово виготовлення виробів із залізобетону відбувається у такій послідовності:

1) виготовляють опалубку необхідної форми дерев'яну або металеву;

2) в опалубку встановлюють арматурний каркас. Як правило, арматурний каркас виготовляють зі сталевих арматур (див. п. 4.2.1), але він може бути і з базальтових стрижнів;

3) опалубку зі встановленим арматурним каркасом заповнюють бетонною сумішшю та проводять ущільнення вібруванням;

4) встановлюють у визначених місцях закладні деталі та/або інші технологічні деталі;

5) витримують виріб певний термін до схоплення бетонної суміші, її твердіння та набування бетоном нормативної міцності;

6) вивільнюють отриманий залізобетонний виріб з опалубки.

Виробництво та використання виробів із залізобетону визначається стандартом «ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення».

Розрізняють *монолітні* і *збірні* бетонні та залізобетонні вироби і конструкції. Монолітні конструкції виготовляють безпосередньо на місці будівництва. Збірні конструкції та вироби виготовляють на заводах і полігонах з подальшим їх монтажем на місці будівництва (рис. 5.10).



Рисунок 5.10 – Види збірних залізобетонних конструкцій

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

В попередньо розтягнутих залізобетонних виробах арматуру спочатку розтягують, а після виготовлення конструкції та затвердіння бетону визволяють від натягнення. При цьому арматура пружно скорочується і викликає стиснення бетону. При розтягувальних зусиллях деформації від попереднього

обтиснення підсумовуються з деформаціями бетону на розтягнення, що підвищує граничну розтяжність бетону в конструкціях під експлуатаційним навантаженням.

5.4 Вплив високих температур на бетон і залізобетон

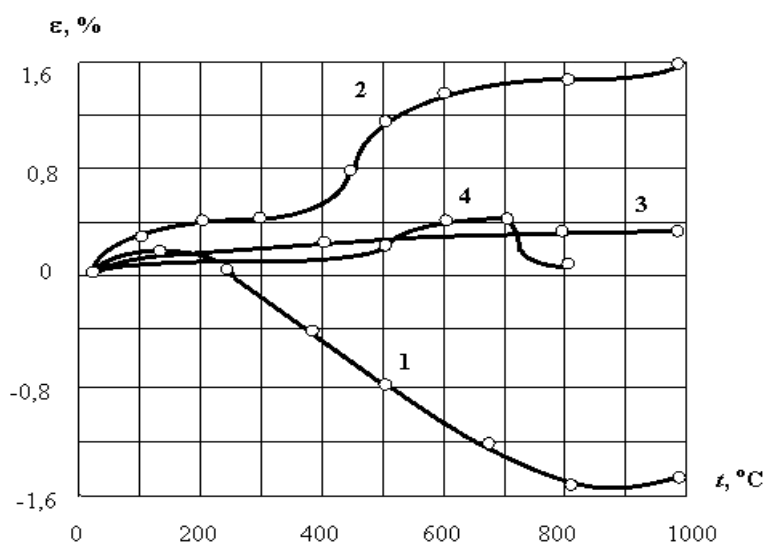
Властивості бетону і залізобетону при нагріванні обумовлюються поведінкою їх складових: цементного каменя, заповнювачів і сталеві арматури, різницею їх деформацій, величиною зчеплення бетону з арматурою, ступенем напруженого стану бетону та ін.

Розглядаючи зміну фізико-механічних властивостей заповнювачів та цементного каменя, наведену в розділі 2 і пункті 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 – портландцементу.

Нагрівання вище 500 °С викликає дегідратацію кристалового зростка $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементного каменя, і тому, при наступному охолодженні і зволоженні бетону слід очікувати різкого зниження його міцності внаслідок порушення суцільності за рахунок вторинного гасіння CaO , що утворюється.

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* та *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 у значній мірі відрізняються одна від одної (рис. 5.11).



Риснок 5.11 – 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* із 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 ін.

Температурні деформації у матеріалах, що містять кварц, викликані його модифікаційними перетвореннями при 575 °С, які й обумовлюють зниження міцності та 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 (до 900 °С), у порівнянні з бетонами на гранітному заповнювачі (до 600 °С). Зміна міцності бетонів із гранітним та вапняковим заповнювачем при нагріванні показана на рис. 5.12.

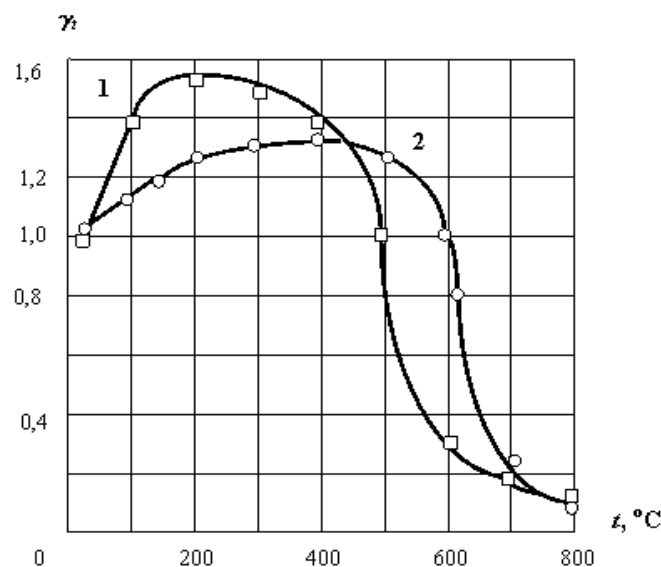


Рисунок 5.12 – Відносна міцність бетонів на гранітному (1) та вапняковому (2) заповнювачах при нагріванні

Таким чином, на зниження міцності бетону впливають фізико-хімічні процеси, що мають місце у заповнювачах і цементному камені при дії та після дії високих температур, а також і температурні напруги.

Узагальнену схему поведінки бетонів при нагріванні можна уявити так:

- при 200-300 °С – відносна міцність підвищується через зняття внутрішніх напруг;

- при подальшому нагріванні до 500–600 °С 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 та 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.

Робочу температуру до 1250 °С можуть витримати тільки спеціальні жаростійкі бетони, які виробляються з використанням глиноземистого цементу і тугоплавкого наповнювача (шамоту).

У залізобетоні при високотемпературному нагріванні зміна деформаційних властивостей сталі зумовлює 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 зростання різниці 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 розрахунків 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;
- щільності.

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

Питання для самоконтролю до глави 5

1. Що собою являють будівельні розчини і як вони застосовуються? Як класифікують будівельні розчини?
2. За якими показниками оцінюють якість розчинової суміші? Що таке марка будівельного розчину?
3. Що собою являє бетон? Як класифікують бетони? За якими критеріями оцінюють якість бетону?
4. Що таке марка бетону і клас бетону?
5. Що собою являє бетонна суміш, за якими показниками її характеризують?
6. Як застосовується бетон. Вкажіть термін його твердіння.
7. Як поводить ся бетон при нагріванні?

8. Що собою являє залізобетон і як він застосовується? Чим зумовлені достоїнства залізобетонних виробів?
9. Як виготовляють залізобетонні вироби?
10. Чим зумовлена сумісна робота бетону і сталевий арматури в залізобетоні?
11. Що таке захисний шар у залізобетоні і які його функції?
12. Розкрийте основні причини руйнування (зниження міцності) залізобетону при нагріванні до високих температур.

ГЛАВА 6. ШТУЧНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ

Штучні кам'яні матеріали та вироби поділяють на:

- штучні кам'яні неопалені матеріали і вироби;
- штучні кам'яні опалені матеріали;
- матеріали і вироби з мінеральних розплавів.

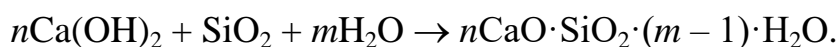
6.1 Штучні кам'яні неопалені матеріали

Штучні кам'яні неопалені матеріали і вироби одержують на основі неорганічних в'язучих речовин і різноманітних мінеральних заповнювачів *без суттєвої теплової обробки* (до 500 °С). 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 внаслідок формування і наступної тепло-вологої обробки в автоклавах сумішей, які складаються з вапняно-кремнеземистих в'язучих, заповнювачів (кварцового піску, шлаку та ін.) і води.

При температурі 170...200 °С і дії тиску в 0,8...2 МПа SiO₂ пісок стає хімічно активним, і між ним і вапном Ca(OH)₂ відбувається хімічна взаємодія з утворенням гідросилікатів кальцію, які цементують зерна піску в міцний моноліт (камінь):



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

- *щільні* – 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 $R_{ct} = 0,25 \dots 2,0 \text{ МПа}$.

Силікатна цегла багато років була найбільш поширеним видом силікатних виробів. Її одержують пресуванням сумішей, які вміщують: 8...10 % вапна, 90...92 % кварцового піску та близько 7 % (від сухої суміші) води з наступним запарюванням у автоклавах. Вапно у суміші з піском гасять у спеціальних силосах або гасильних барабанах.

Пресування цегли відбувається 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.

Вимоги до силікатної цегли встановлюються за стандартом «ДСТУ Б В.2.7-80:2008 Будівельні матеріали. Цегла та камені силікатні. Технічні умови». Зазвичай, при будівництві застосовують силікатні цеглини трьох типорозмірів (рис. 6.1):

- одинарні 250×120×65 мм;
- полуторні (модульні) – 250×120×88 мм;
- силікатне пустотіле каміння – 250×120×138 мм.

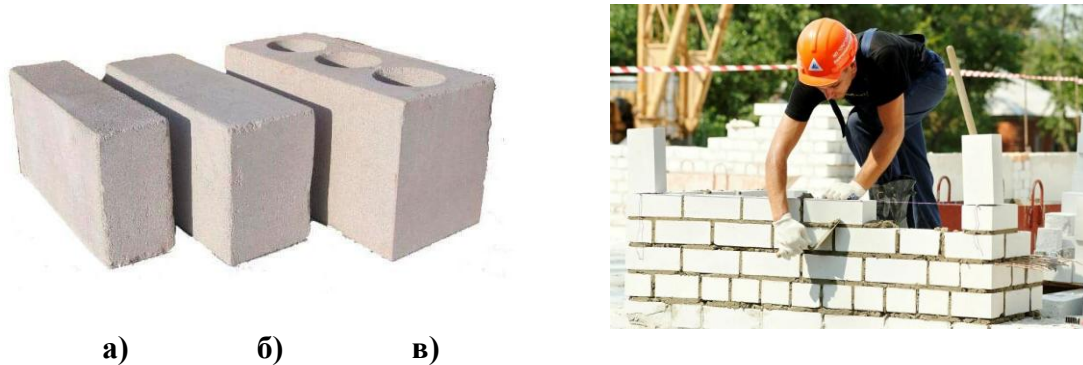


Рисунок 6.1 – Види силікатної цегли:

а) одинарна; б) полуторна (модульна); в) пустотіле каміння

Залежно від межі міцності при стиску, силікатні камені та цеглу (для цегли нормується також межа міцності за вигином) поділяють на марки М300, М250, М200, М150, М125, М100 і М75. 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 «вологим» 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. 6.2)

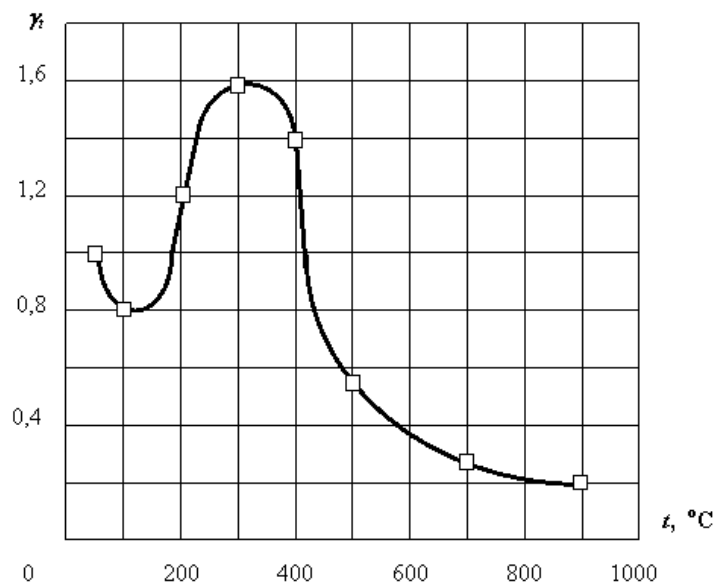


Рисунок 6.2 – Зміна відносної міцності силікатної цегли при дії високих температур

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 β -кварцу в α -кварц при $t = 600$ °С), що супроводжується стрибкоподібним збільшенням об'єму. При температурі 700 °С міцність силікатної цегли знижується удвічі, що призводить 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 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 та кремнеземистого компоненту. В залежності від виду кремнеземистого компоненту розрізняють такі види в'язучих речовин: вапняно-кремнеземисті, вапняно-шлакові, вапняно-зольні та вапняно-аглопоритові. Співвідношення вапна і кремнеземистого компонента в них складає від 30:70 до 50:50.

Вимоги до силікатних бетонів встановлюються за стандартом «ДСТУ Б В.2.7-287:2011 Бетон силікатний щільний. Технічні умови». Найбільше поширення мають дрібнозернисті силікатні бетони, в яких заповнювачем є звичайний кварцовий пісок.

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

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

В залежності від призначення, ніздрюваті бетони розподіляють на конструкційні – з $\rho_c = 900 \dots 1200$ кг/м³ і $R_{ct} = 7,5 \dots 15$ МПа, теплоізоляційно-конструкційні – з $\rho_c = 500 \dots 900$ кг/м³ і $R_{ct} = 2,5 \dots 7,5$ МПа і теплоізоляційні з $\rho_c \leq 500$ кг/м³ і $R_{ct} \leq 2,5$ МПа. Ніздрюваті бетони використовують для панелей, зовнішніх стін огорожувальних конструкцій споруд, панелей внутрішніх несучих стін, перегородок.

Основою для оцінки вогнестійкості конструкцій, виготовлених із силікатобетонів, може бути зміна міцності силікатної цегли при дії високих

температур (що розглянута вище і наведена на рис. 6.2), тому що їх фізико-хімічна природа є однаковою. Вогневі випробування силікатобетонів з вологістю бетону більше 2 % демонструють можливість вибухоподібного їх руйнування.

6.1.2 Азбестоцементні матеріали

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

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

Вимоги до азбестоцементних виробів встановлюються за стандартом «ДСТУ Б В.2.7-53:2014. Вироби волокнистоцементні хвилясті. Технічні умови». З азбестоцементу виготовляють покрівельні та стінові вироби, труби, вентиляційні коробки та ін., всього близько 40 найменувань.

Найбільш широке поширення має "мокрый" спосіб одержання азбестоцементних виробів (рис. 6.3).

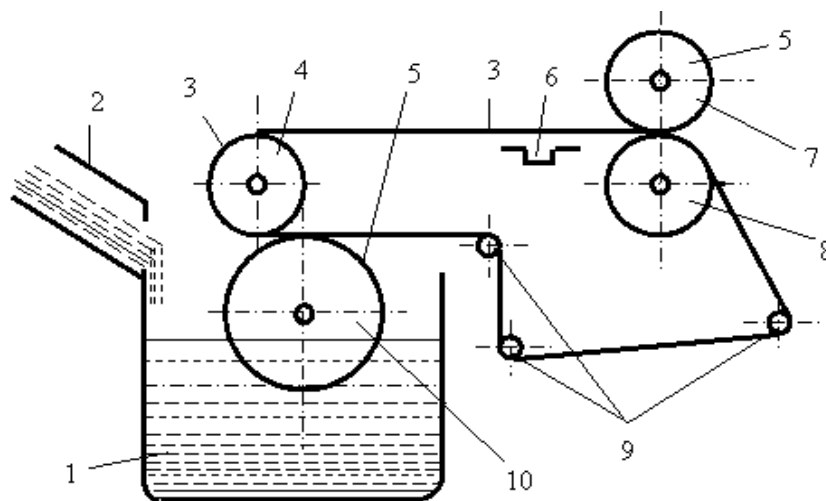


Рисунок 6.3 – Схема формувальної машини для виробництва азбестоцементних виробів:

1 – металева ванна; 2 – жолоб для подавання азбоцементної маси; 3 – стрічка конвеєру; 4 – притискний вал; 5 – шар азбоцементної маси; 6 – вакуум-коробка; 7 – формувальний барабан; 8 – спрямовальний вал; 9 – вал натягування; 10 – барабан, обтягнутий металевією сіткою

Технологічний процес виробництва азбестоцементних 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 листоформувальній машині і формування з нього листів і труб; надання виробам необхідної щільності та форми шляхом пресування, вигинання, різання; твердіння виро-

бів 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 азбестоцементу залежать від вмісту азбестового волокна і його якості (довжини та діаметра волокон), активності цементу, середньої щільності азбестоцементу, умов твердіння та ін.

Міцність при розтягненні азбестоцементу 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 азбестоцементу складає $(8...16) \cdot 10^{-4}$ мм, що перевищує розтяжність цементного каменю у 5 разів. Середня щільність азбестоцементу знаходиться у межах 1600–1800 кг/м³.

Азбестоцементні вироби поділяють на листи, панелі, труби, фасонні частини до них (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Види азбестоцементних виробів

За формою розрізняють листи *плоскі* (пресовані і непресовані) та *профільовані* (хвилясті, фігурні).

Хвилясті листи використовують для покрівлі та стінових огорожень споруд.

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

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

Поведінка азбестоцементу 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 азбестоцементу при розтягненні перпендикулярно шарам виявляється в 10 разів менше, ніж при розриві вздовж цих шарів. Цим пояснюється характер руйнування азбоцементу при дії високих темпера-

тур – матеріал розшаровується. Руйнування азбестоцементу в умовах дії високих температур має вибуховий характер, що пояснюється його високою вологістю (8–11 %).

На рис. 6.5 показано зміну міцності азбестоцементу при вигині в залежності від температури нагрівання.

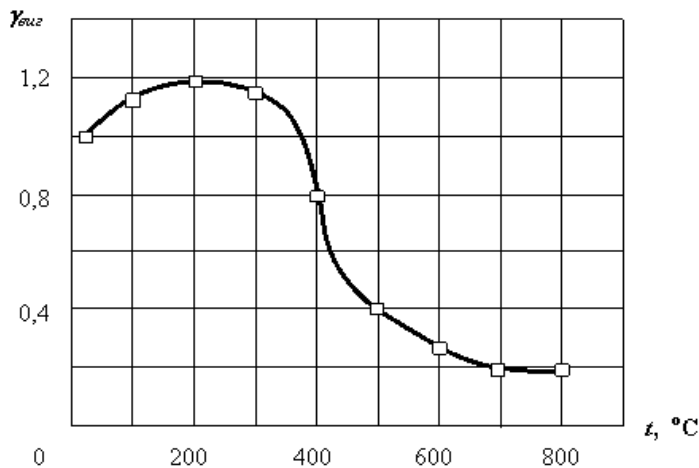


Рисунок 6.5 – Зміна відносної міцності азбестоцементу при вигині в залежності від температури нагрівання з послідуєчим охолодженням

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

6.2 Штучні кам'яні опалені матеріали

Керамічні матеріали одержують із 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 – земляні 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 додаванням високопластичних глин, а також спеціальних поверхнево-активних речовин. Зменшити пластичність можна за допомогою спіснювальних добавок – піску, *шамоту*, *шлаку*, тирси, деревини та ін. В залежності від складу глинистої сировини змінюється в'язуча здатність глини, а потім і міцність виробу, що одержується.

При висиханні зразків та 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 випаровується механічно примішана вода; при температурі 550–800 °С має місце дегідратація глинистих мінералів і втрата глиною пластичності; при температурі 900–1100 °С відбувається опалення глини і перехід її у каменеподібний стан (спікання глини).

Загальна технологічна схема виробництва керамічних виробів складається з технологічних етапів, що наведені на рис 6.6. Їх сушіння у вагонетках камерних або тунельних сушил здійснюється протягом від 24 годин до 3 діб, а опалення – у печах за технологічним регламентом.



Рисунок 6.6 – Технологічна схема виробництва керамічних виробів

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

Вогнетривкі матеріали та вироби готують із 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 та вироби використовують для кладки стін і склепінь промислових печей, обмурування топок, димоходів та ін.

Завдяки тому, що керамічні матеріали і вироби у 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 із 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.

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 %).

Вимоги до керамічних виробів встановлюються за стандартом «ДСТУ Б В.2.7-245:2010 Вироби керамічні клінкерні. Технічні умови». За призначенням розрізняють керамічні вироби (рис. 6.7): для стін (цегла і керамічні камені); облицювання фасадів (лицьова цегла і камені); плитки для внутрішнього облицювання стін і підлоги; покрівельні (черепиця); санітарно-технічне обладнання (вироби з фаянсу); доріг і підземних комунікацій (дорожня цегла, труби і т.п.); теплоізоляції (легкий цегла, фасонні вироби); кислототривкі вироби (цегла, плитки, труби і т.п.); вогнетриви; наповнювачі для легких бетонів (керамзит, аглопорит).

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

Керамічну цеглу випускають ординарною (250×120×65 мм) або модульною (250×120×88 мм) за «ДСТУ Б В.2.7-61:2008. Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови» (рис. 6.8). В залежності від межі міцності при стиску і вигині, цегла глиняна звичайна поділяється на сім марок: М75, М100, М125, М150, М200, М250 і М300.



Рисунок 6.7 – Види керамічних виробів



Рисунок 6.8 – Види керамічної цегли

Виробництво цегли при пластичному способі формування складається з таких операцій: подрібнення сировини на вальцях; 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 лицювальну 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 із легкоплавких пластичних глин пластичним формуванням або напівсухим пресуванням.

Вогнетривкі матеріали і вироби виготовляють 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 та склепінь промислових печей, обмурування топків, димоходів та 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 поведуть 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 у результаті плавлення мінеральної сировини, широко використовують у будівництві. У залежності від виду сировини та хімічного складу розплавують скляні та шлакові матеріали, сітали і кам'яне литво. Матеріали з розплавів мають високі показники довговічності, хімічної стійкості до впливу агресивних середовищ, відмінні декоративні властивості, деякі з них є прозорими.

Скло і вироби з нього. Скляні матеріали виробляють із розплаву кварцового піску, соди або сульфату натрію, вапняку, крейди при температурі 1000...1500 °С. Скло як будівельний матеріал згідно «ДСТУ Б В.2.7-200:2009. Скло та вироби будівельного призначення зі скла. Номенклатура показників» 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 $M = 5...7$.

За призначенням вироби зі скла поділяються на *технічні, будівельні та побутові*.

До *технічного скла* відносяться оптичне, хіміко-лабораторне, медичне, захисне, тепло-, звуко- і електроізоляційне, а також труби, технічні дзеркала, склотканини і склопластики, різні скляні деталі машин та установок. Це найбільш численний клас виробів зі скла.

До класу *будівельного скла* входять вироби зі скла, що використовуються в будівництві (рис. 6.9): віконне, вітринне, профільне, армоване, візерункове, облицювальні, піноскло, мозаїка, склопакети, склоблоки, вітражі архітектурні, різні будівельні деталі, будівельні склопластики і декоративні оздоблювальні склотканини, скловата тощо.

Побутове скло – посудне і очкове, склотара, дзеркала побутові, емалі, глазури, прикраси та імітації.

Поверхня *листового скла*, згідно «ДСТУ Б В.2.7-122:2009 Скло листове. Технічні умови», повинна бути плоскою, границя допуску кривизни листа не більше 0,3 % від його довжини (стріла прогину).

Скло вітринне випускається полірованим і неполірованим. Скло вітринне використовується для застосування отворів споруд, зовнішніх і

внутрішніх вітрин виставкових залів, кінотеатрів, аеропортів, вокзалів і т. ін., а також для виготовлення склопакетів і дзеркал.

З безбарвного і пофарбованого скла виготовляють різні види будівельного скла – скляні блоки, профільне скло, склошифер, склоплитки й інші лищовальні матеріали.



Рисунок 6.9 – Види будівельних виробів зі скла

Армоване листове скло одержують за пресуванням у його товщу паралельно поверхням зварену чи кручену сітку зі сталюого, хромованого, нікельованого чи з алюмінієвим покриттям дроту. Така сітка утримує уламки скла, які з'являються при механічних пошкодженнях або впливі високих температур.

Загартоване скло – це скло, яке піддають спеціальній термічній обробці, тобто нагріванню до 630–650 °С і швидкому, рівномірному по площині повітряному охолодженню. Таке скло має більш високу механічну міцність, термостійкість і безпечність. Різати алмазом таке скло неможливо, тому що воно є дуже крихким.

Склоблоки – пустотілі вироби, які одержують зварюванням на спеціальних автоматах по периметру двох порожніх половин, внутрішня поверхня яких є рифленою або гладенькою. Випускаються квадратні, прямокутні і кутові, безбарвні та кольорові, розмірами 194×194×98, 240×240×98, 249×249×98, 244×244×75 мм. Склоблоки використовуються для кладки стін і перегородок будівель і споруд.

Профільне скло (склопрофіліт) – це погонажні довгомірні світлопрозорі вироби, які застосовують для влаштування прозорих огорож і самонесучих стін, внутрішніх перегородок і прозорих плоских покрівель у будівлях різного типу. Профільне скло виготовляється відкритого (швелерне, ребристе й т.д.) і замкнутого (коробчасте, овальне, трикутне й т.д.) перерізів (рис. 6.3), неармоване й армоване, безбарвне та кольорове, а також з аерозольним оксидно-металевим покриттям.

Склопакети – вироби, що складаються із листів скла, сполучених рамою з алюмінію, сплаву зі свинцю або пластмаси з металом. Використовуються для зашклення вікон у цивільному будівництві.

Скляні труби випускаються довжиною 1,5–3,0 м, внутрішній діаметр становить до 200 мм, товщина стінки – 4,0–11,5 мм. Скляні труби здатні витримувати значний тиск, мають більш високу в порівнянні з металевими хімічну стійкість, гладеньку поверхню, велику пропускну здатність, легше очищаються, мають меншу масу і невисоку теплопровідність. Скляні труби випускаються із гладенькими кінцями і з конічними буртами на кінцях. Застосовуються для прокладання водопроводу, каналізації, телефонного і силового кабелю, схованої електропроводки, для транспортування агресивних рідин і газів, облаштування трубопроводів у молочній, спиртово-горілчаній та пивоварній промисловості.

Вироби зі скла не горять, не поширюють 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. Армване скло теж руйнується невдовзі після початку пожежі, але після розтріскування його частини утримуються металевою сіткою і продовжують перешкоджати переносу тепла. Вогнестійкість конструкцій зі склопрофіліту 15 хв. Добре опираються дії вогню склоблоки.

Вироби з кам'яного лиття виготовляють із розплавів гірських порід або шлаків литтям у форми з наступною термічною обробкою. Вироби з кам'яних розплавів підрозділяються на щільні, ніздрюваті й волокнисті. За однорідністю та технічними властивостями вироби з лиття перевершують багато самих міцних природних кам'яних матеріалів. Залежно від вихідної сировини кам'яне лиття буває темного або світлого кольору. Для одержання виробів темних кольорів застосовують магматичні гірські породи – базальти й діабазу. Для одержання світлого кам'яного лиття використовують осадові гірські породи – доломіт, вапняк, мрамур і кварцовий пісок.

Технологія одержання литих виробів включає операції дроблення, помелу, перемішування компонентів, плавлення, виливки виробів, кристалізації і відпалу. Плавлення діабазу й базальту найчастіше здійснюють у ванних печах або вагранках при температурі 1400–1500 °С, а при виготовленні світлого кам'яного лиття – в електropечах.

Щільні литі кам'яні вироби мають густину 2900–3000 кг/м³, високу морозостійкість, міцність при стиску – 200–240 МПа, при розтягу – 20–30 МПа; їх стиранність до 5 разів є меншою, ніж у граніту, базальту й діабазу; висока хімічна стійкість, у тому числі до впливу концентрованих сірчаної й соляної кислот.

У будівництві литі кам'яні вироби використовують в особливо складних умовах експлуатації: бруцатка для доріг, труби для агресивних середовищ, лицювальні плити для підприємств хімічної промисловості.

Мінеральна вата – це волокнистий матеріал, отриманий з розплаву гірських порід або металургійних шлаків. Вату з розплаву гірських порід називають гірською, а з розплаву шлаків – шлаковою. Висока пористість вати, що

містить порожнечі до 95 % за об'ємом, забезпечує їй відмінні тепло- і звукоізоляційні властивості. Довжина волокон у ваті – від 2 до 60 мм. Виробництво мінеральної вати та виробів з неї не відрізняється від описаної вище технології виробництва скловати й виробів з неї. Ці вироби виготовляють марок від 50 до 250, вони мають теплопровідність від 0,032 до 0,077 Вт/(м·°С). Мінераловатні вироби застосовують для теплоізоляції будівельних конструкцій при температурі ізолюємих поверхонь від –180 до +600 °С, а мінераловатні утеплювачі посідають перше місце серед всіх інших теплоізоляційних матеріалів.

Ситали – це склокристалічні матеріали, отримані зі скляних розплавів шляхом їх повної або часткової кристалізації. Маючи полікристалічну будову, ситали, зберігаючи позитивні властивості скла, позбавлені його недоліків: крихкості, малої міцності при вигині, низької теплостійкості. За фізико-технічними властивостями ситали витримують порівняння з металами. Твердість ситалів наближається до твердості загартованої сталі. Термостійкість виробів із ситалів досягає 1100 °С. Ситали мають високу стійкість до впливу сильних кислот (крім плавикової) і лугів. Окремі види ситалів відрізняються жаростійкістю і здатністю паятися зі сталлю. Міцність ситалів при стиску – до 500 МПа.

У будівництві ситали використовують для влаштування підлог промислових цехів, у яких можуть бути протоки кислот, лугів, розплавів металів, а також рух важких машин. Високу техніко-економічну ефективність дає застосування ситалів для виготовлення хімічних апаратів і труб для транспортування високоагресивних середовищ і теплообмінників. За зовнішнім виглядом ситали бувають темних, сірих, коричневих, кремових, світлих кольорів, глухі та прозорі.

Питання для самоконтролю до глави 6

1. Що собою являють силікатні матеріали. Розкрийте їх достоїнства і недоліки. Що таке силікатний бетон?
2. Що собою являє силікатна цегла. Розкрийте її достоїнства і недоліки. Які особливості поведінки силікатної цегли спостерігаються при нагріванні?
3. Що собою являють азбестоцементні матеріали, в чому полягають їх переваги? Які особливості поведінки азбестоцементних матеріалів спостерігаються при нагріванні?
4. Що собою являють керамічні будівельні матеріали, в чому полягають їх переваги? Як застосовуються в будівництві керамічні матеріали?
5. Як отримують глиняну цеглу, які її розміри?
6. Що собою являють вогнетривкі матеріали, як вони застосовуються?
7. Які існують вироби на основі мінеральних розплавів?
8. Як отримують скло і які вироби зі скла застосовують в будівництві?

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 із позитивними властивостями, деревина має і недоліки, що слід враховувати при її використанні, це:

- неоднорідність будови (анізотропність), що зумовлено волокнистою будовою деревини;
- наявність дефектів (пороків);
- гігроскопічність, що призводить до зміни розмірів виробів, короблення, розтрощення (це зумовлено волокнистою будовою деревини);
- здатність до загнивання;
- здатність до займання.

7.1 Будова деревини

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

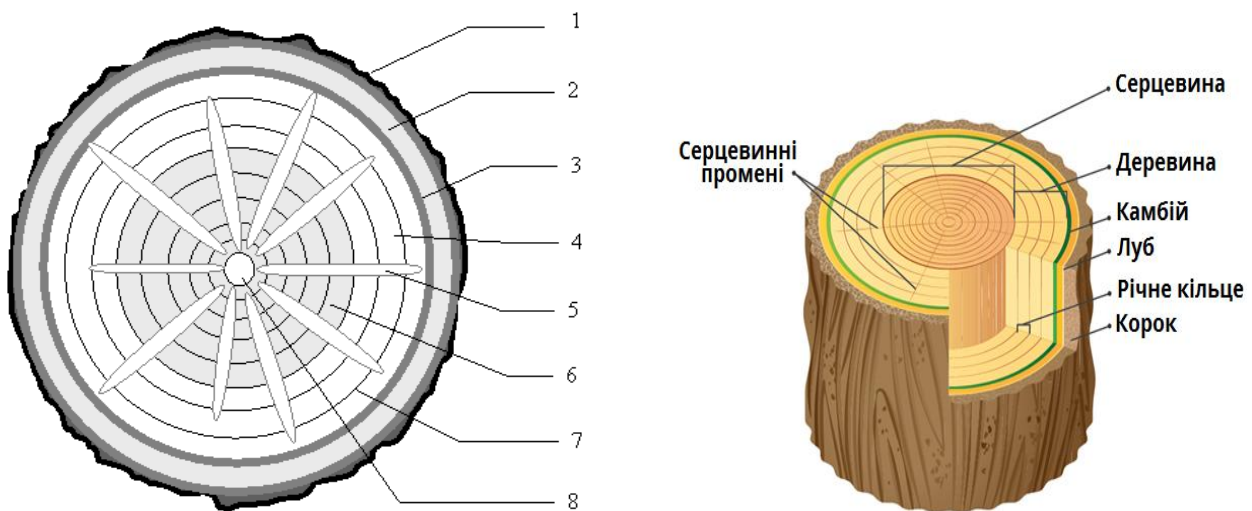


Рисунок 7.1 – Будова деревини (торцовий зріз):

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

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 уздовж стовбура 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 із 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**.

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. Пізня деревина є не тільки більш твердою, але і важчою від ранньої, і від кількості її у стовбурі залежить вага та міцність деревини в цілому. Міцність стовбура тим вище, чим більшу частину займає пізня деревина.

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

Серцевинні промені забезпечують переміщення вологи і поживних речовин у радіальному напрямку.

Вивчення деревини під мікроскопом показує, що вона має волокнисту будову і складається з живих та відмерлих клітин, які мають вигляд замкнених трубок, розташованих уздовж стовбура деревини і пов'язаних між собою міжклітинною речовиною (рис. 7.2). Живі клітини мають оболонку, а в її середині – цитоплазму, клітковий сік і ядро.

За формою та функціями розрізняють клітки механічні, провідні та запасуючі. **Механічні** клітини, що утворюють опорну тканину деревини, щільно з'єднані між собою, мають щільні стінки і забезпечують міцність. Вони є найбільш стійкими 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 трахеїдах. **Запасаючі** клітини знаходяться, в основному, у серцевинних променях і служать для зберігання живильних речовин. Вони є неміцними – слабо зв'язаними між собою.

Різні відхилення у деревині, які виражаються у формі зміни зовнішнього вигляду, порушенні правильності будови деревини, цілісності її тканин або клітинних стінок, називаються **дефектами (вадами) деревини** (рис. 7.3).

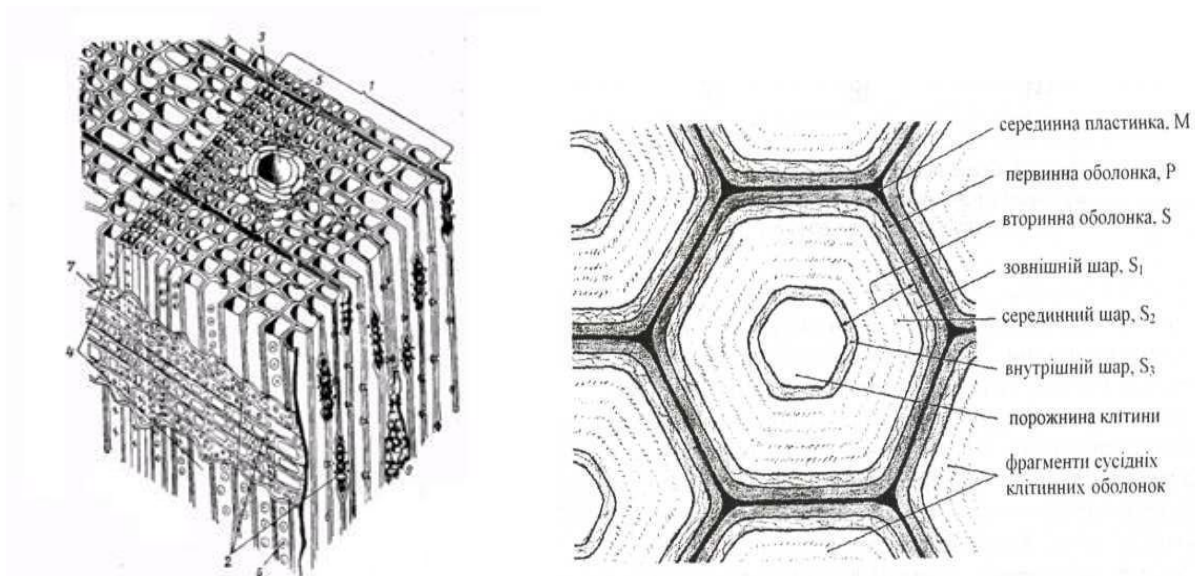


Рисунок 7.2 – Мікробудова деревини



Рисунок 7.3 – Види дефектів деревини

Деякі з дефектів утворюються ще при рості дерева (сучки, косошар та ін.), інші виникають уже в зрубаному дереві (розколини та ін.). Майже всі дефекти зменшують механічні характеристики виробів із деревини.

Сучки із залишками зрізаних або відмерлих гілок мають різну форму і розташування у стовбурі. Річні шари стовбура, підходячи до сучка, змінюють напрямок, і структура деревини в цьому місці змінюється. Сучки в деревині – найбільш поширений і небажаний дефект.

Косошар є небезпечним через можливість сколювання при навантаженні.

7.2 Властивості деревини та її застосування

7.2.1 Фізичні та 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.

Вологість деревини – це кількість води, що міститься в ній, виражена у відсотках від ваги деревини (ДСТУ EN 13183-1:2004). Волога, що заповнює внутрішні порожнини клітин, судин і міжклітковий простір деревини, називається *вільною* або *капілярною*.

Волога, що знаходиться у стінках клітин деревини, називається *зв'язаною* або *гігроскопічною*. Насичення стінок клітин гігроскопічною водою, коли порожнини і міжкліткові простори є вільними від неї, називають *межею гігроскопічності* (в середньому 30 %).

Усухання і набрякання. Зміна вологості деревини від нуля до межі гігроскопічності викликає збільшення її лінійних розмірів, розбухання 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 %.

При висушуванні зволоженої деревини, коли волога з неї поступово випаровується, спочатку випаровується вільна волога, а згодом – зв'язана. Вільна волога випаровується з деревини порівняно швидко, не викликаючи зміни розмірів деревини і призводячи тільки до зменшення її ваги. Зв'язана волога випаровується повільно; при цьому відбувається зменшення не тільки ваги, але і зменшення лінійних розмірів і об'єму деревини. Це явище називається *усиханням* деревини.

Зміна властивостей і розмірів деревини при висиханні розпочинається, коли значення вологості зменшиться нижче *межі гігроскопічності* (тобто менше 30 %). Деформації виробів при *усиханні* деревини відбуваються в радіальному (3 %), тангентальному (5 %) і поздовжньому (0,25 %) напрямках (рис. 7.4). Така особливість зумовлена нерівномірністю форми і розташування клітин деревини. 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* є для них приблизно однаковою і дорівнює $\rho = 1,54 \text{ г/см}^3$.

Середня густина (інша назва – *об'ємна маса*) різних видів деревини залежить від породи деревини, кількості порожнин, товщини стінок волокон та вологості. Прийнято визначати об'ємну масу при 12 % вологості. Для різних порід дерев вона може змінюватись у діапазоні $\rho_{об} = 0,54...0,9 \text{ г/см}^3$. Об'ємна маса свіжозрубаної деревини, наприклад, хвойних порід, може прийматися $0,85 \text{ г/см}^3$, а при розрахунках конструкцій – $0,5 \text{ г/см}^3$.

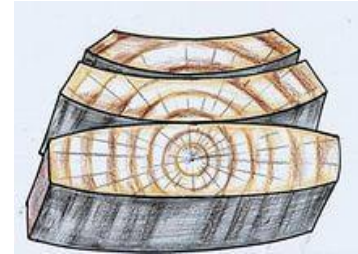
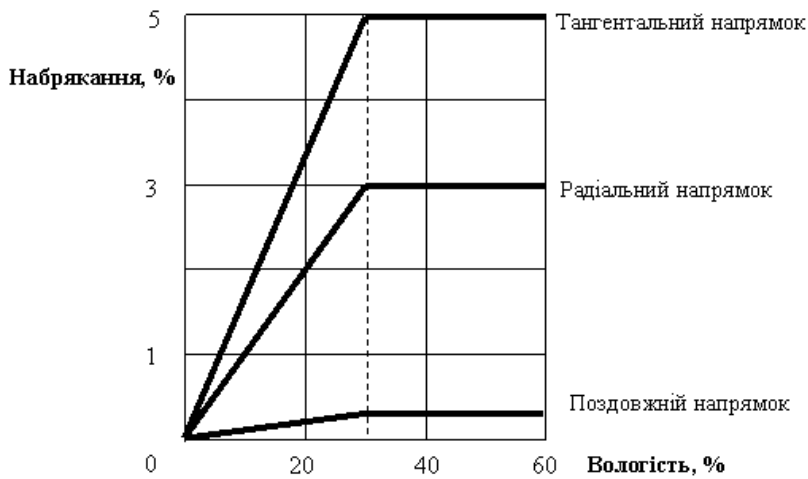


Рисунок 7.4 – Вплив вологості деревини на її набухання

Теплопровідність. Високопориста і волокниста будова деревини обумовлює її відносно низьку теплопровідність, вона погано проводить тепло. Але, внаслідок анізотропності, ця величина вздовж та поперек волокон різниться приблизно у 2 рази. Наприклад, для сосни: $\lambda_{\text{вздовж}} = 0,35 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$; $\lambda_{\text{поперек}} = 0,17 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$.

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

Міцність. Властивості деревини чинити опір дії зовнішніх сил називаються *механічними властивостями деревини*. Через її анізотропію механічні властивості залежать:

- від кута між напрямком діючого зусилля і напрямком волокон деревини;
- від породи, будови деревини та її об'ємної ваги, від наявності дефектів деревини, особливо сучків;
- від швидкості прикладання навантаження: чим вищою є швидкість навантаження, тим більшим є опір деревини;
- від тривалості навантаження.

Анізотропність деревини проявляється в її механічних властивостях. *Міцність на стиск* уздовж (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 уздовж волокон становить $R_{cl} = 40 \dots 60$ МПа.

Міцність на розтяг уздовж (R_{pl}) і поперек (R_{pd}) волокон визначають на зразках $30 \times 30 \times 350$ см і $30 \times 30 \times 180$ см відповідно (див рис. 1.1). Міцність досягає $R_{pl} = 70 \dots 123$ МПа, а співвідношення $R_{pl} : R_{pd} = 25 : 1$.

Модуль пружності деревини уздовж волокон при визначенні деформацій конструкцій приймається $E = 1000$ МПа.

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 так само має велике значення, коли треба робити вруби, клейові з'єднання. У більшості деревних порід вона уздовж волокон досягає $R_{sl} = 6 \dots 10$ МПа, поперек волокон – у 3–4 рази більше.

На механічні властивості деревини можуть впливати різні фактори. Для деревини є характерним, 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 (лиственця)* – ядрова порода, приблизно на 30 % більш тривка, тверда і щільна, ніж сосна, і більш гниlostійка, але схильна до розтрощення. Її використовують у 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, обалолі);

– 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 із синтетичними матеріалами і пластмасами: фанера, ДВП, ДСП, фіброліт, арболіт.

За способом механічної обробки, згідно «ДСТУ 4845:2007. Пиломатеріали. Класифікація», лісні матеріали поділяють на: круглі лісоматеріали, пиляні, луцнені, стругані, колоті та здрібнені. У будівництві з круглих лісоматеріалів є поширеними *колоди*, а з пиляних – *пластини, обапелі, бруси, четвертини, дошки* (рис. 7.5). Матеріали товщиною менше 32 мм зуть тонкими, а більшої товщини – товстими. Тонкі дошки зуть *тесом*.

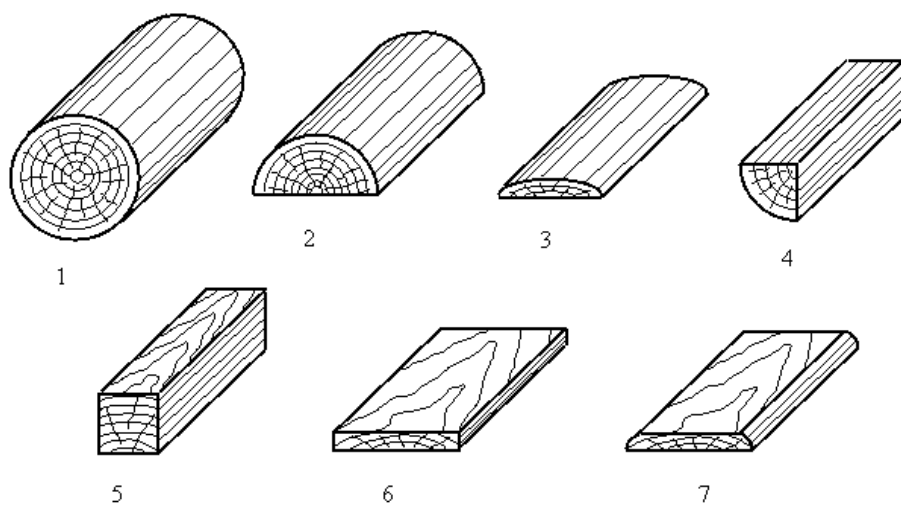


Рисунок 7.5 – Види лісоматеріалів:

1) колода; 2) пластина; 3) обапелі; 4) четвертина; 5) брус; 6) дошка обрізна; 7) дошка необрізна

З'єднання на клею є жорсткими, невіддатливими. З'єднання дерев'яних елементів відбувається без будь-якого послаблення деревини і ґрунтується на використанні сил зчеплення, які виникають між деревиною і клейовою плівкою.

До переваг з'єднань на клею і виготовлених з їх допомогою дерев'яних конструкцій відносяться:

– суцільність і монолітність перерізів різноманітних і вигідних, відносно опору зовнішнім навантаженням, форм і розмірів;

– можливість використання деревини зниженої якості навіть у відповідальних конструкціях, що досягається раціональним розміщенням її в менш напружених зонах поперечного перерізу, відрізуванням дефектів і стикуванням на клею більш якісних частин пиломатеріалів;

– використання маломірних матеріалів;

– використання деревини рідкісних листяних порід, розташування її у менш напружених зонах поперечного перерізу клеєної конструкції;

– заводське виготовлення конструкцій, що сприяє як їх збірності, так і транспортабельності.

Фанера – дуже поширений матеріал, який одержують глибокою переробкою деревини (рис. 7.6). Її виробляють, склеюючи під великим тиском декілька шарів шпона (тонкі листи, які луцять з деревини різних порід) таким чином, щоб волокна двох суміжних листів були взаємно перпендикулярними. Фанеру використовують для виробництва оздоблювальних матеріалів, дверей, перегородок, опалубки.

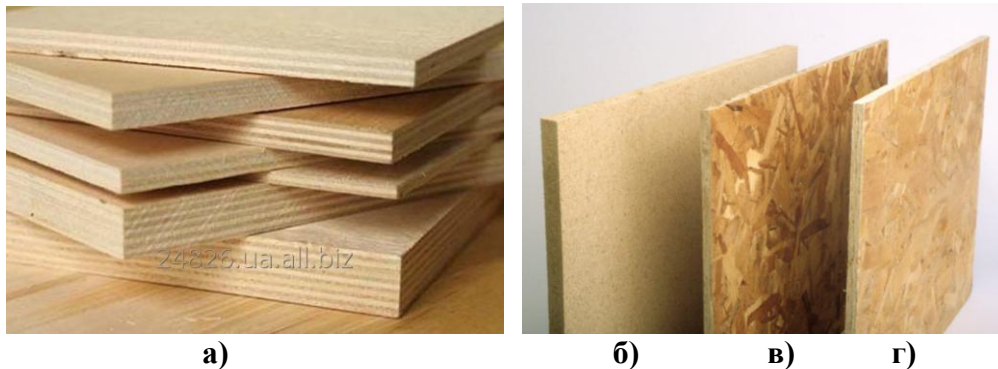


Рисунок 7.6 – Вироби, які одержують глибокою переробкою деревини:

а) фанера; б) ДВП; в) ОСП; г) ДСП

Деревинноволокніста плита (ДВП) – деревинний матеріал, що отримується гарячим пресуванням маси, що складається з целюлозних волокон, води, синтетичних полімерів і спеціальних добавок.

Деревинностружкова плита (ДСП) – дешевий листовий композиційний матеріал, вироблений гарячим пресуванням деревинних частинок, переважно стружки, із введенням спеціальних добавок (6–18 % від маси стружок). Пресування виконують на одно- та багатоповерхових періодичних пресах за тиску 0,2–5 МПа та температури 100–140 °С або у безперервних стрічкових, гусеничних або екструзійних агрегатах.

Орієнтовано-стружкова плита (ОСП) – багатошаровий (3–4 шари) листовий композиційний матеріал, що складається з деревинної стружки, склеєної різними смолами з додаванням синтетичного воску і борної кислоти. Стружка в шарах плити має орієнтацію: в зовнішніх – поздовжню, у внутрішніх – поперечну.

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. Близько 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 – чадного газу (СО), вуглекислого газу (СО₂) та водяної пари (Н₂О). Вугілля здатне підтримувати горіння лише через тління.

2) при 280–340 °С целюлоза перетворюється на смолу, яка легко виділяє у великій кількості горючі газу – метан (СН₄) та ін.

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 деревини, 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 $t = 250 \dots 260$ °С, окрім окису вуглецю, починає виділятися велика кількість метану, і виникає можливість запалювання і самостійного горіння. Мінімальна температура, при якій продукти розкладення деревини здатні запалюватися від джерела запалювання, – ***температура запалювання деревини***.

Взагалі у процесі горіння деревини спостерігається 4 стадії (рис. 7.7).

На першій стадії відбувається прогрівання поверхні від джерела запалювання. При досягненні температури запалювання деревини у тонкому шарі починає виділятися певна кількість пальних газів (в основному, метану), яка зумовлює займання. Після займання вогонь, що виник, вже самостійно поширює область прогрівання, забезпечуючи збільшення виходу пальних газів і встановлення сталого горіння.

Друга стадія характеризується горінням великим факелом, коли після запалювання верхній шар деревини на велику глибину нагрівається до $t = 290 \dots 300$ °С, забезпечуючи максимальний вихід газоподібних пальних продуктів і висоту полум'я.

Третя стадія характеризується горінням малим факелом через утворення деревного вугілля на поверхні деревини. Верхній шар деревини продовжує нагріватися до $t = 500 \dots 700$ °С, і в результаті процесів розкладання перетворюється на *деревне вугілля*. Це деревне вугілля екранує поверхню від виходу пальних газів, але саме не займається від недостатку кисню (який повністю витрачається в зоні полум'я). Приріст шару деревного вугілля відбувається за мірою прогрівання до 300 °С нижчерозташованих шарів деревини, а його за-

палювання і горіння настає, коли факел зменшується, і до поверхні починає надходити кисень. Полум'я залишається тільки біля тріщин вугілля, де полегшений вихід палих газів – продуктів розкладення деревини. Рівновага між швидкістю розкладання деревини, її прогріванням і вигоранням вугілля звичайно відповідає товщині шару вугілля 2–2,5 см.

Четверта стадія – тління – починається, коли вся деревина перетворюється на деревне вугілля. Тоді спільне горіння продуктів розкладання деревини і вугілля припиняється, і далі горить тільки вугілля.

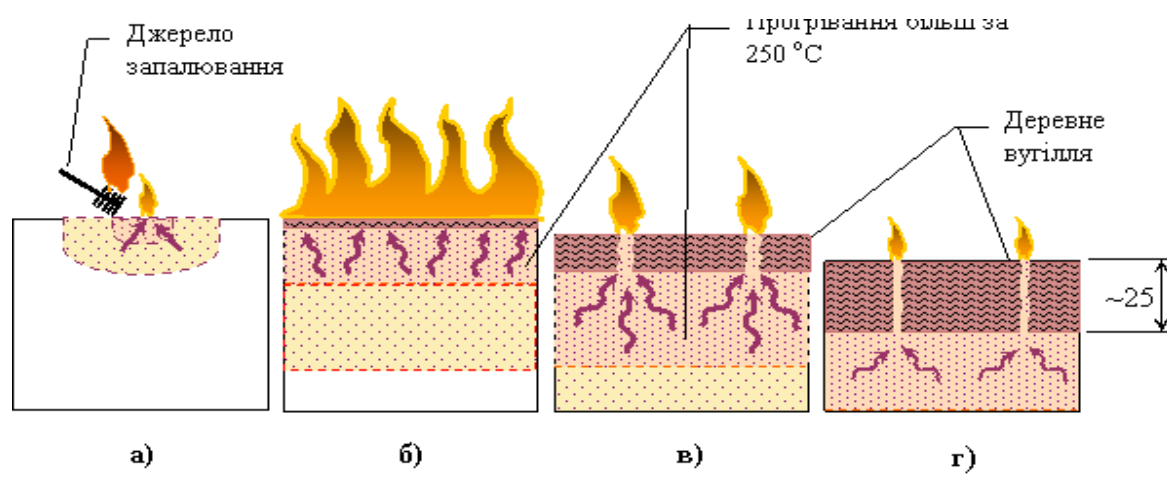


Рисунок 7.7 – Стадії горіння деревини:

а) прогрівання поверхні та займання; б) горіння великим факелом; в) утворення деревного вугілля, горіння малим факелом; г) екранування поверхні деревини вугіллям, перехід у режим тління

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

I фаза (поглинання тепла, переважання CO , CO_2 та H_2O):

110 °C – висихання і виділення летких запашних речовин;

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

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

II фаза (горіння, виділення тепла, витрата CH_4):

а) горіння газів:

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

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 вживати 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.

Питання для самоконтролю до глави 7

1. Наведіть переваги і недоліки деревини як будівельного матеріалу.
2. Як класифікують деревні матеріали, які використовують в будівництві?
3. Наведіть особливості будови деревини.
4. Наведіть області застосування деревини і матеріалів на її основі у будівництві.
5. Як впливають будова деревини і зовнішні фактори на фізичні, механічні і теплофізичні властивості дерев'яних матеріалів?
6. Які будівельні матеріали і вироби виготовляють з деревини?
7. Які породи деревини використовують в будівництві?
8. Які особливості поведінки деревини спостерігаються при нагріванні?
9. Які існують стадії та фази горіння деревини?

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/см³. Вони демонструють 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⁻¹·град⁻¹ 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 у 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 є горючими. Їх пожежонебезпечні властивості характеризуються займистістю, інтенсивністю горіння, температурою запалювання, теплою згоряння, 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:

$$\text{Пластмаса} = \text{полімер}[u] + [\text{наповнювачі} + \text{пластифікатори} + \text{стабілізатори} + \text{барвники}]$$

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 рогавидну прозору або слабкопрозору речовину щільністю $0,94-0,97 \text{ г/см}^3$. Розм'якшується при $80-90^\circ\text{C}$, плавиться при $100...120^\circ\text{C}$, зберігає еластичність при $-70...+80^\circ\text{C}$. 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 $t_{\text{займ}} = 325...345^\circ\text{C}$, а температура самозаймання $t_{\text{c/3}} = 345...390^\circ\text{C}$, але вже при $150...250^\circ\text{C}$ з нього починають виділятися *чадний (CO) та вуглекислий (CO_2) газ*, ефіри, *формальдегід, ацетальдегід*, кислоти. Основні пожежонебезпечні властивості поліетилену та інших полімерів див. у табл. 8.1.

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

Таблиця 8.1 – Пожежонебезпечні характеристики полімерів

Найменування матеріалу	Температура займання, t_3 , °С	Температура самозаймання $t_{c/3}$, °С	Кисневий індекс, КІ, %	Теплота згоряння, Q , кДж·кг ⁻¹	Показник токсичності, H_{Cl50} , г·м ⁻³
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

Полівінілхлорид (ПВХ), $[-CH_2-CHCl-]_n$ – прозорий, жорсткий матеріал, який має міцність $R=50$ МПа. Температура його розм'якшення $t_{м'як}=60...100$ °С, а плавлення – $t_{плав}=180...200$ °С. Він застосовується для виготовлення матеріалів для лицювання, покрівлі та електроізоляції, труб, лінолеуму, штучної шкіри, пінопластів. Температура займання ПВХ $t_{займ}=270...290$ °С, а самозаймання $t_{c/3}=550...580$ °С (див. табл. 8.1). У діапазоні температур $230...600$ °С з нього випаровуються *хлористий водень* (HCl), *чадний* (CO) та *вуглекислий* (CO₂) *гази* і навіть вільний *хлор*.

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

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

Полівінілацетат, $[-CH_2-CHCOOCH_3-]_n$ – полімер із добрими клеючими властивостями. Він використовується для отримання клеїв, водоемульсійних фарб, шпаклівок і мастик, а також як добавка 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 $0,19$ Вт·м⁻¹·град⁻¹. Поставляється у вигляді листів та блоків. Застосовується для виготовлення прозорих огорож, труб. Температура займання цього матеріалу $t_3 = 180...200$ °С, а самозаймання $t_{c/3} = 425...430$ °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 стиrolу 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 $t_{\text{займ}} = 450 \dots 460 \text{ } ^\circ\text{C}$, а самозаймання $t_{\text{с/з}} = 510 \dots 545 \text{ } ^\circ\text{C}$ (табл. 8.1). При нагріванні до $250 \text{ } ^\circ\text{C}$ 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 $t_{\text{с/з}} = 530 \dots 550 \text{ } ^\circ\text{C}$ (табл. 8.1). При температурах $200 \dots 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ з них випаровуються *чадний газ (CO), цианістий водень (HCN), аміак (NH₃), альдегіди*.

Епоксидні полімери – високоміцні, хімічно стійкі, з доброю адгезією речовини. Застосовуються для виготовлення, склеювання і ремонту залізобетонних конструкцій, отримання полімербетонів та ін. Небезпечні випаровування *толуолу* з епоксидних полімерів виникають починаючи вже з $100 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Поліефіри – речовини на основі ненасичених олігоефірів – олігоефіракрилатів (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, облицювальних плит, монолітних покриттів підлог. Із властивостей поліефірів типовими є температура займання $t_{\text{займ}} = 350 \dots 440 \text{ } ^\circ\text{C}$, самозаймання $t_{\text{с/з}} = 410 \dots 440 \text{ } ^\circ\text{C}$, кисневий індекс $KI = 17 \dots 19$, димоутворююча здатність при горінні $D_m = 850 \dots 930$, теплота згоряння $Q = 7190 \dots 9200 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. 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 $500 \text{ } ^\circ\text{C}$) і хімічну стійкість, добру сполучуваність із силікатними матеріалами. Застосовуються в якості гідрофобізуючих домішок до бетонів і розчинів, для отримання атмосферостійких фасадних фарб.

Поліуретани – речовини, що містять в основному ланцюгу уретанові групи (-NH-CO-O-)_n. 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 $t_{\text{займ}} = 350 \dots 440$ °С, а самозаймання $t_{\text{с/з}} = 480 \dots 540$ °С (табл. 8.1). При нагріванні вище 170 °С вони починають розкладатися на *чадний газ*, *цианістий водень*, *метан*, етан, бутан та ін. з концентрацією випаровувань, небезпечною для життя людини. Горіння поліуретанів супроводжується виділенням диму. Їх димоутворююча 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, в якому переважають ароматичні продукти. При підвищенні температури і, особливо, вище 800 °С виділяються азотовмісні речовини: *цианістий 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.

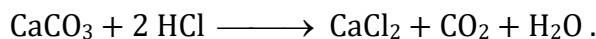
Класифікують наповнювачі за структурою:

- порошкові (деревне борошно, крейда, тальк, сажа);
- волокнуваті (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 у ПВХ може нейтралізувати випаровування хлористого водню за реакцією



Пластифікатори – це речовини, що надають пластмасі більшої пластичності при нормальній температурі. Для цього звичайно використовують нелеткі 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 із пластмас

Використанню пластмас у будівництві сприяють такі їх достоїнства, як: міцність за малої об'ємної маси, корозійна стійкість, добра електро- і теплоізоляційна здатність, технологічність і мала собівартість. Але вони мають і серйозні недоліки, які треба враховувати 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 наведено на рис. 8.1 та 8.2.

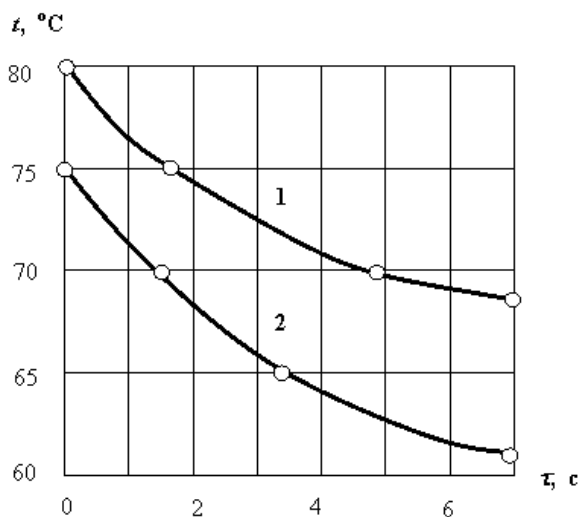


Рисунок 8.1 – Залежність теплостійкості виробів із ПВХ від часу дії полум'я:

1 – покрівля ПВХ «Ondex»; 2 – панелі ПВХ «Rolvaplast»

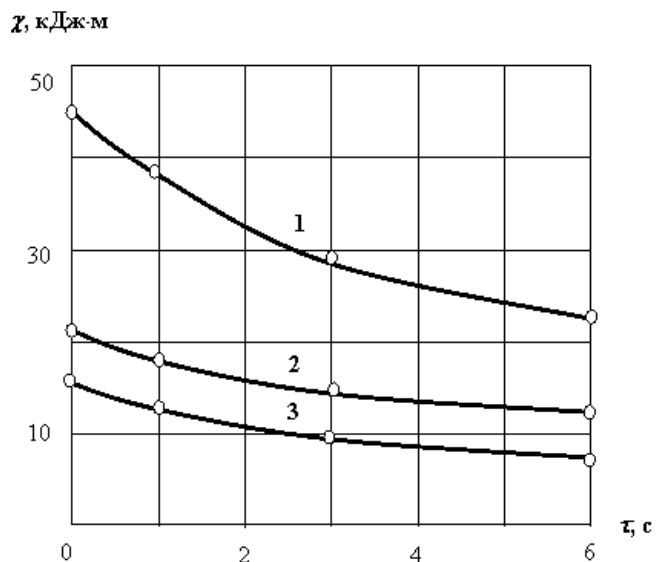


Рисунок 8.2 – Залежність ударної в'язкості полімерних будівельних матеріалів від часу дії полум'я:

1 – покрівля ПВХ «Ondex»; 2 – фенолформальдегідний шарувато-паперовий лицевальний пластик; 3 – полікарбонатні панелі «Polygal»

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/м³), *хлорид вуглецю* (ПДК 5 мг/м³), *фенол* (ПДК 5 мг/м³), *формальдегід* (ПДК 1 мг/м³) та ін. 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 є набагато більшою, 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 COCl_2 (ПДК $0,03 \text{ мг/м}^3$).

Особливості поведінки пластмас при механічному навантаженні зумовлюють 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, лицювальні 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 є відносно дорогими. Тому їх використовують у максимально готових до застосування оздоблювальних матеріалах для стін і стель (шпалери, декоративні плівки, лицювальні 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, добавках до будівельних розчинів і бетонів.

8.2.1 Конструкційно-оздоблювальні матеріали

Конструкційно-оздоблювальні матеріали випускають у вигляді 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 склотканини термореактивними олігомерами (поліефірними, фенолформальдегідними, епоксидними полімерами) з наступним їх твердженням. Їх об'ємна маса $1500\text{--}1700 \text{ кг/м}^3$. Міцність при вигині таких матеріалів $200\text{--}500 \text{ МПа}$.

Розрізняють 3 групи склопластиків (рис. 8.3), 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.



Рисунок 8.3 – Види склопластиків

Склопластики використовують для декоративного зовнішнього лицювання стін, улаштування покрівель (рис. 8.4), композиційних панелей, для виготовлення санітарно-технічних виробів (ванн, раковин, труб). СВМ через високу вартість 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. Існують 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, *деревинноволокнисті (ДВП)*, *деревинностружечні (ДСП)* і *орієнтовано-стружкові плити (ОСП)* плити (див. рис. 7.5). Вони використовуються для каркасних перегородок, лицювання стін, стель.



Рисунок 8.4 – Види виробів зі склопластиків

Деревні пластики витримують нагрівання тільки до 120 °С, легко запалюються, виділяють велику кількість тепла і сприяють поширенню 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 сполуками, що спучуються. Такі заходи дають змогу перевести лицювальні вироби (наприклад, шарувато-паперові плити на основі ФФО) у групу важкогорючих матеріалів.

Полістирольні плити – виготовляють із полістиролу за допомогою лиття під тиском або пресування. Їх використовують для лицювання стель, стін та підлог. Вони є водо- і паронепроникними, хімічно стійкими, але при цьому легкозаймистими: 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 та декоративно оформлені, що використовують для опоряджувальних робіт, виготовлення з'єднувальних деталей. ПВХ – важкозаймистий матеріал і тому – широко поширений.

Лицювальні панелі – вироби з ПВХ у вигляді профілів для склопакетів, лицювання стель, внутрішніх та зовнішніх стін. З відомих постачальників цієї продукції можна назвати фірми «Deceuninck», «Rolvaplast», «Termoplast».

8.2.2 Покрівельні та 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 із *ПВХ, полікарбонату та акрилу* (рис. 8.5).

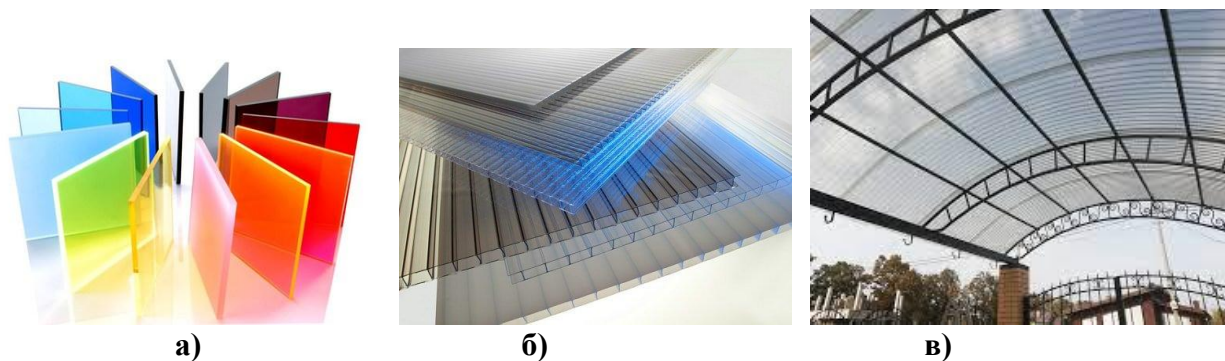


Рисунок 8.5 – Види виробів з:

а) акрилу (органічного скла); б) полікарбонату; в) ПВХ

ПВХ-профілі поставляє відома фірма «Ondex». Покрівельні листи її виробництва зберігають високу стійкість до ударних навантажень при низьких і високих температурах, є довговічними, хімічно стійкими. Вони відносяться до важкогорючих матеріалів, не утворюють крапель. Після короткоча-

сної дії полум'я їх теплостійкість зменшується на 20 %, а ударна в'язкість – на 60 % (див. 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 їх вартість є більшою.

Полікарбонатні структурні панелі за технологією «Polygal» і «Makrolon», завдяки прозорості та легкості, використовують для покриття та закління атриумних 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 поширення полум'я. Температура самозаймання $t_{c/3}=570$ °С. Після короткочасної дії полум'я їх ударна в'язкість зменшується на 50 % (див. рис. 8.2).

2. Полімерні гідроізоляційні матеріали – застосовують у вигляді гідроізоляційних плівок або пастоподібних герметиків для гідроізоляції дахів, підлог, фундаментів та забивання швів.

Гідроізоляційні плівки, у залежності від типу матеріалу, бувають *поліетиленові*, *ПВХ* та ін. Їх можна склеювати, зварювати для влаштування не тільки покриттів будівель, але й для басейнів, резервуарів. Вони є довговічними, надійними і простими в застосуванні.

Пастоподібні герметики застосовують для герметизації стиків у стінових панелях, улаштування швів між деталями з бетону, металу, кераміки, скла. Ці герметики виробляють на основі:

– *поліізобутилену* – мастики УМС-50, УМ-20, УМ-40 (цифра – межа температури);

– *тіоколових каучуків* – мастики ГС-1, У-30М. Вони є водостійкими, добре прилипають до бетону, зберігають еластичність у 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, колоксиліновий).

ПВХ-лінолеум випускають безосновним (одно- і багатошаровим), на тканевій основі та теплозвукоізоляційним (повстяним або пористим полімерним). Найбільш відомими є ПВХ-лінолеуми фірм «Tarkett», «Skundy», «Solido», «Forbo». Ці вироби рекламуються як важкогорючі матеріали (рис. 8.6).

Алкідний лінолеум одержують нанесенням на джутову тканину алкідного полімеру з наповнювачами. Його якість вище якості ПВХ лінолеуму, але він є дорожчим.

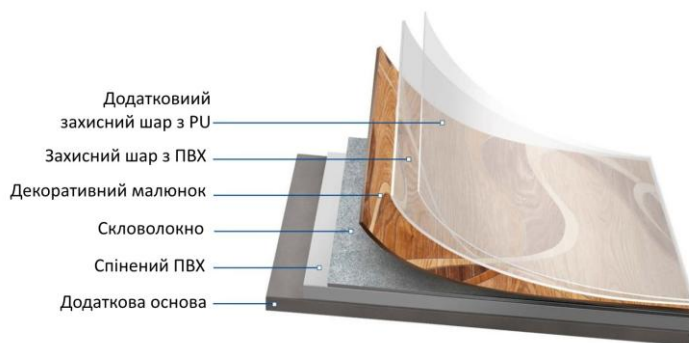


Рисунок 8.6 – Будова та застосування ПВХ-лінолеуму

Плиткові матеріали – плитки (ПВХ, полістирольні, полівінілацетатні). З них тільки полівінілацетатні плитки є важкогорючими. За умовами експлуатації матеріали для підлоги, за рахунок наклеювання або укладки на горизонтальній поверхні, важче запалюються, ніж стінові.

Монолітні (суцільні) покриття – мастичні сполуки на основі полімерів, покриття на основі бітумів і полімерцементного бетону. Такі підлоги є хімічно стійкими та зносостійкими, добре опираються ударним навантаженням, негорючими або важкогорючими.

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 та 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 (рис. 8.7), а другі – для звукоізоляції.



Рисунок 8.7 – Застосування пінопласту

Пінопласти отримують на основі як термопластичних, так і термореактивних полімерів. Основою для пінопластів частіше стають: *пінополістирол, ПВХ, пінополіуретан, фенолформальдегідні та епоксидні полімери.*

Пінополістирол – виробляють марок ПС-1, ПС-4, ПСБ і ПСБ-С у вигляді плит. В нього густина $\rho=30\text{...}200 \text{ кг/м}^3$; а теплопровідність $\lambda=0,031\text{...}0,054 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$. Він використовується при температурах від -100 до $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ для теплоізоляції стін, перекриттів, підвісних стель, улаштування бетонних підлог. Пінополістирол горить зі швидкістю до 5 м/хв з виділенням диму, сажі та токсичних продуктів (вони можуть зберігатися у порах матеріалу, що не згорів). З токсичних продуктів горіння більше всього випаровується діоксиду та оксиду вуглецю, цианістого водню, бензолу, оксидів азоту. Пожежонебезпечні характеристики пінополістиролу ПС–1 наведені у табл. 8.2.

Обробка поверхні пінополістиролу вогнезахисною сумішшю ФАМ-2 переводить його у 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, $t_3, \text{ }^\circ\text{C}$	Температура самозаймання, $t_{сз}, \text{ }^\circ\text{C}$	Теплота згоряння, $Q, \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$	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 $T_3=400\text{...}426 \text{ }^\circ\text{C}$, а самозаймання $T_{сз}=500 \text{ }^\circ\text{C}$ при теплоті згоряння $20000 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$. При згорянні цих пінопластів утворюється велика кількість диму. Продукти горіння є токсичними (бо одною зі сполук, що утворюється при піролізі є HCl).

Пінополіуретан (ППУ) – виробляють у вигляді жорстких плит або м'яких еластичних рулонів. В нього густина $\rho=30\text{...}200 \text{ кг/м}^3$, а теплопровідність $\lambda=0,032\text{...}0,058 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$. Межі міцності плитних виробів на стиск $R_{ст}=3,5 \text{ МПа}$, а на вигин $R_{виг}=5 \text{ МПа}$. Застосовується пінополіуретан у діапазоні температур $-160\text{...}+150 \text{ }^\circ\text{C}$ для теплоізоляції стінових панелей та полегшених стін, перекриттів, труб, а також для герметизації стиків. Пожежонебезпечні характеристики пінополіуретану є подібними до таких самих характеристик у пінополістиролу (табл. 8.2). При горінні виділяються токсичні речовини: діоксид та оксид вуглецю, цианістий водень, оксиди азоту, фенол. За-

стосування 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 фенолформальдегідних полімерів мають густину порядку $\rho=80 \text{ кг/м}^3$. 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 із паперу, склотканини, бавовняної тканини, ДВП, які просочують синтетичними полімерами. Теплопровідність сотопластів $\lambda = 0,046 \dots 0,058 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$.

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 вдається 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 у невеликих кількостях (5...10 %мас) полімерної речовини (наприклад, водорозчинного фенолформальдегіду або диспергованого полівінілацетату). Отримана таким чином суміш має добру 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 морозо- та зносостійкість. В якості мономерів використовують *стирол* та метілметакрилат.

Полімербетон – бетон, у якому в якості в'язучого застосовують термоактивні 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, а крім того вони є дуже дорогими. Полімербетони використовують для проведення ремонтних робіт та улаштування захисних покриттів.

Питання для самоконтролю до глави 8

1. Розкрийте позитивні якості і недоліки полімерних будівельних матеріалів (пластмас).
2. Вкажіть полімери і пластмаси, що використовуються у будівництві, розкрийте особливість їх будови.
3. Яким чином класифікують полімери. Чим різняться між собою термопластичні та термореактивні полімери?
4. Що являє собою пластмаса? З яких компонентів складаються пластмаси?
5. Як впливають наповнювачі на властивості пластмас?
6. Як впливають пластифікатори, стабілізатори і отверджувачі на властивості пластмас?
7. Де і за яких умов використовуються у будівництві теплоізоляційні полімерні матеріали?
8. Чим розрізняються поропласти і пінопласти та як вони застосовуються?
9. В яких будівельних виробках використовуються пластмаси?
10. Які полімерні бетони використовуються у будівництві?

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 та 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 та 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, із суміші високомолекулярних вуглеводнів, головним чином, метанового (C_nH_{2n+2}) і нафтового (C_nH_{2n}) рядів та їх кисневих, сіркових і азотистих похідних. Їх щільність є близькою 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 (рис. 9.1). 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 в закритому тиглі 212...270 °С, температура займання $t_z = 300...351$ °С, а самозаймання – $t_{c/3} = 380...397$ °С.



Рисунок 9.1 – Види бітумів за консистенцією

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 із введеними в них твердими компонентами єдиний матеріал;

3) додавати гідрофобних (водовідштовальних) властивостей матеріалам, які були оброблені бітумами.

За призначенням нафтові бітуми розподіляють на будівельні, покрівельні та 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 30 с при 0 °С. *Температура розм'якшення* фіксується на стандартному приладі «кільце і куля» за станом, коли шар бітуму в кільці при поступовому нагріванні в'язко деформується під вагою вільно лежачої сталеві 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'яжучі – 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⁻³. У неї температура спалаху $t_{сп} = 76...81$ °С, займання – $t_3 = 99$ °С, самозаймання – $t_{c/3} = 357...399$ °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.

Таблиця 9.1 – Основні властивості нафтових бітумів

Марка бітуму	Глибина проникнення голки при 25 °С, $h \cdot 10$ мм	Розтяжність при 25 °С, см, не менше	Температура, °С, не нижче	
			розм'якшення	спалаху
Бітуми нафтові будівельні				
БН-50/50	41-60	40	50	220
БН-70/30	21-10	3	70	230
БН-90/10	5-20	1	90	240
Бітуми нафтові покрівельні				
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
Бітуми нафтові дорожні				
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

Властивості дьогтьових в'язучих, в основному, ті ж самі, 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.

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 ін.

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, пасти і асфальтові бетони (рис. 9.2).

Бітумні та 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 стійкості. Бітумні та дьогтьові емульсії застосовують у дорожньому будівництві, для улаштування захисних паро- і гідроізоляційних покриттів, ґрунтування основи під гідроізоляцію, приклеювання рулонних матеріалів.

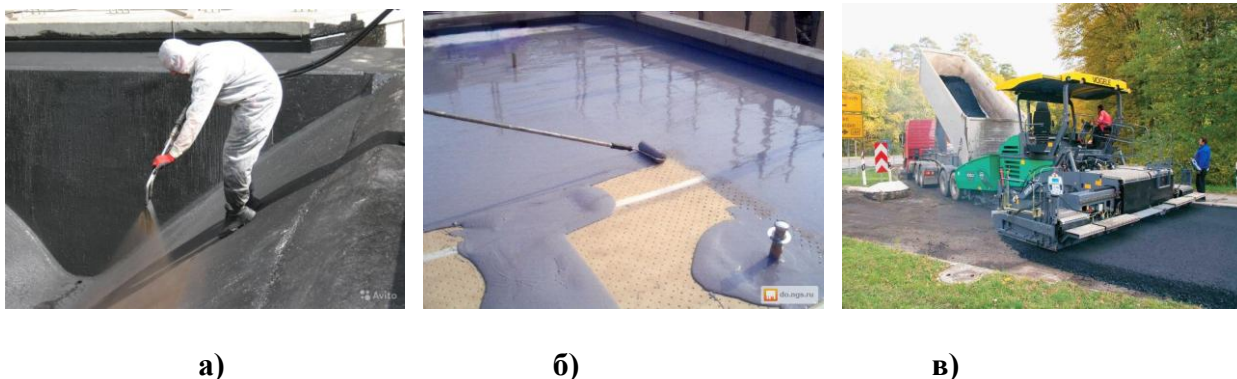


Рисунок 9.2 – Приклади застосування бітумної емульсії (а), пасту (б) і асфальтового бетону (в)

Бітумні пасту є різновидністю емульсії сметаноподібної консистенції, де як емульгатор використовують тонкодисперсні мінеральні порошки (вапнякові, глиняні, трепельні). Найбільш широко бітумні пасту застосовують у гідроізоляційних роботах.

Асфальтовим бетоном називають штучний будівельний матеріал, який отримують у результаті охолодження раціонально підібраної, ретельно 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 та герметизуючі матеріали

Покрівельні, гідроізоляційні та 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 огорожувальних 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 та 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 та гідроізоляційні матеріали виробляють основними і безосновними.

Рулонні основні матеріали мають основу (*покрівельний картон, склотканину, склоповсть, 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 багатошаровий матеріал, який виробляють шляхом просочування покрівельного картону м'якими нафтовими бітумами і наступного покриття з обох сторін тугоплавкими бітумами. *Руберойд* використовуються у будівництві для гідроізоляції дахів (рис. 9.3), фундаменту, підвалу та інших частин будівель.

До переваг *руберойду* відносяться:

- гнучкість – можна провести гідроізоляцію об'єкта з будь-якою конфігурацією. Використовується у проектах типового та індивідуального будівництва;

- довговічність – при дотриманні правил експлуатації руберойдового покриття може служити десятиліттями, забезпечуючи захист від вологи;
- універсальність;
- відмінні гідроізоляційні властивості;
- простий монтаж;
- низька вартість.

Серед недоліків – низька стійкість до механічних пошкоджень, невисокий рівень пожежної безпеки та не особливо естетичний вигляд.



Рисунок 9.3 – Приклади використання руберойду

Відповідно «ДСТУ Б В.2.7-265:2011. Руберойд. Технічні умови» за призначенням руберойд 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 із суміші бавовняних і вовняних ганчірок, паперової макулатури та целюлози. Він має високу всмоктувальну здатність і міцність на розрив. Випускають картон за всмоктувальною здатністю марок А, Б та В та за масою (у грамах) 1 м² 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 позначають 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

$Q=29000\dots30000$ кДж/кг. Рулонні матеріали на основі бітумів у згорнутому виді здатні до самозаймання.

Склоруберойд і **склоізол** – виготовляють двостороннім нанесенням бітумного, гумо-бітумного або бітумно-полімерного в'язучого на скловолоконисту основу. Ці матеріали, що укладаються на гарячих і холодних бітумних мастиках, більш довговічні і застосовуються для покриття багат шарових плоских водоналивних покрівель, для гідро- і пароізоляції.

Гідроізол – азбестовий картон, просочений нафтовим окисленим бітумом, витримує робочу температуру до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $t_3=260\dots270\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самозаймання – $t_{c/3}=460\text{ }^{\circ}\text{C}$; при горінні він виділяє тепло $Q=15900\dots16000$ 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. Рулонні матеріали на основі дьогтів у згорнутому виді здатні до самозаймання.

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 гумо-бітумного в'язучого, азбестових волокон і пластифікатора. Застосовується для оклейної 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 $t_3 = 345\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самозаймання – $t_{c/3} = 410\text{ }^{\circ}\text{C}$. Застосовується *брізол* для гідроізоляції підземних споруд, антикорозійного захисту трубопроводів.

2. Мастики – пластичні речовини, що одержують змішуванням органічних в'язучих з мінеральними наповнювачами та деякими добавками (наприклад, пластифікаторами). Мастики повинні зберігати твердість при $t = 18\dots20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при нагріванні до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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;

- склеювальна здатність;
- температура розм'якшення;
- вміст наповнювача після нагрівання.

В залежності від виду застосованого в'язучого мастики поділяють на: бітумні, бітумно-гумові, дьогтьові, бітумно-дьогтьові, 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 великою є небезпека виникнення пожежі у період монтажу покрівель, бо для укладання на гарячих мастиках, гарячого приклеювання, зварювання швів часто запроваджуються вогневі роботи.

Найбільш поширеним 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 спалахує від іскор.

Треба мати на увазі, що рулонні матеріали на основі бітумів і дьогтів у згорнутому виді здатні до самозапалювання. Це треба враховувати при складуванні таких матеріалів.

Питання для самоконтролю до глави 9

1. Що собою являють органічні в'язучі?
2. Що собою являє асфальтовий бетон? Наведіть класифікацію асфальтових бетонів.
3. Що собою являють бітумні та дьогтьові в'язучі? Розкрийте їх позитивні якості і недоліки. Як вони використовуються в будівництві?
4. Які існують види будівельних матеріалів на основі органічних в'язучих?
5. Які існують покрівельні та гідроізоляційні матеріали на основі органічних в'язучих?

ГЛАВА 10. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

10.1 Визначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів та виробів

Теплоізоляційними називають матеріали і вироби, що застосовують у житлових, виробничих та інших спорудах, а також у теплових установках, трубопроводах і камерах холодильників з метою зменшення теплообміну з навколишнім середовищем. Теплоізоляційні матеріали мають високоніздрювану будову і, внаслідок цього, невелику щільність (не більше 600 кг/м^3) і низьку теплопровідність (не більше $0,17 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$).

За видом вихідної сировини теплоізоляційні матеріали поділяють на дві групи:

1) *органічні*, що складаються з різноманітних рослинних волокон або з пористої пластмаси: деревоволокнисті та деревостружкові плити, комишит, торф'яні плити, вироби з пластмас та 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 та 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* та *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) та ін.

Застосування теплоізолюючих матеріалів дозволяє зменшити товщину захисних конструкцій (рис. 10.1), вагу будівлі, знизити витрати, скоротити витрати палива на опалення будівель і технологічні потреби.

За характером застосування розрізняють 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 $6 \dots 30 \%$), *жорсткі* (стисливість під

навантаженням 4 кПа до 10 %) і тверді (стисливість під навантаженням 10 кПа до 10 %).

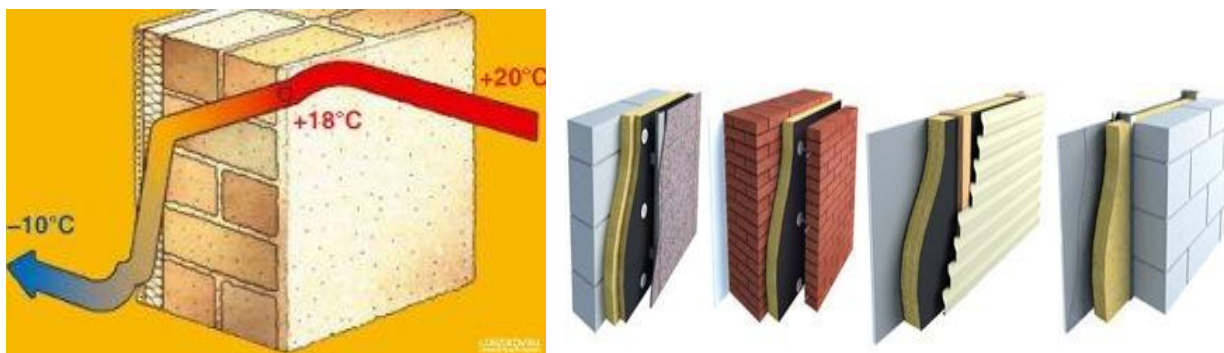


Рисунок 10.1 – Принцип застосування теплоізоляції в будівельних конструкціях

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* [$\lambda = 0,058 \dots 0,16 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$];
- 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 уявлення про теплопровідність матеріалу.

Усі теплоізоляційні матеріали за *щільністю* ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$) розподіляють за марками: *особливо легкі* – 15, 25, 35, 50, 75, 100, *легкі* – 125, 150, 175, 200, 250 та *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 малорухомим ($\lambda = 0,023 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$). 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 є характерними однорідні та рівномірно розподілені пори сферичної форми. Для одержання матеріалів ніздрюватої структури використовують засоби газо- і піноутворення.

Зернисту будову мають рихлі матеріали. При виготовленні сипучих порошків 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 є характерною для матеріалів, що містять у своєму складі смоли, 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.

Теплоізоляційні матеріали необхідно оберегати від зволоження. Зволоження і, особливо замерзання у порах матеріалу води, зумовлює різке збільшення його теплопровідності, тому що теплопровідність води ($\lambda=0,58 \text{ Вт м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$) приблизно в 25 разів, а льоду ($\lambda=2,32 \text{ Вт м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$) – у 100 разів більше, ніж повітря.

Міцність теплоізоляційних матеріалів є відносно невеликою, 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 використовують для утеплення будівельних конструкцій та ізоляції гарячих поверхонь промислового устаткування. Їх виготовляють на основі мінеральної сировини – гірських порід, шлаку, скла, азбесту та 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 тощо.

Теплоізоляційні матеріали і вироби на основі мінеральних розплавів

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/м³, теплопровідність – $\lambda=0,042\dots0,046$ Вт·м⁻¹·град⁻¹. Вата не горить, вона є малогіроскопічною, температуростійкою. Мінеральну вату використовують для теплоізоляції як холодних (до –200 °С), так і гарячих (до +600 °С) поверхонь. Мінвата «*ROCKWOOL*» витримує температуру до 1000 °С. Частіше мінеральну вату застосовують у вигляді виробів: плит, матів, шкаралуп, сегментів, повсті для утеплення підлог, стін, стель, дахів, труб. Повну номенклатуру цих виробів виготовляють фірми «*ROCKWOOL*» та «*ISOVER*».

Мінеральна повсть – це листи з мінеральної вати, просочені синтетичними смолами і пресовані.

Мінераловатні плити і мати – це вироби у вигляді жорсткого або гнучкого килима з мінеральної вати, яка у залежності від типу виробу може бути просочена мінеральними або синтетичними в'язучими, та ще укріплена покриттям (бітумінізованим папером, склотканиною, металевою фольгою або сіткою), прошита міцними нитками або тонким дротом (рис. 10.2).



Рисунок 10.2 – Вироби з мінеральної вати та приклади їх застосування

Скловату одержують витягненням з розплавленої скломаси (вапняк, пісок, сода) волокон. Шар скловати в 5 см дорівнює термічному опору цегляної кладки товщиною в 1 м. Але скловата вважається канцерогенним матеріалом. Її вживання у житлових і виробничих приміщеннях заборонене.

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 та 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 саме 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 є більш міцними та еластичними. 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 $400\text{...}500\text{ }^\circ\text{C}$ починає відщеплюватися, а при температурі $700\text{ }^\circ\text{C}$ вилучається повністю, що веде до руйнування структури матеріалу.

На основі азбесту і цементу одержують азбестоцементні вироби у вигляді плоских покрівельних плит (шифер), профільованих листів для стін і покрівлі, вентиляційних труб, коробів тощо (рис. 10.3).

Одержують їх внаслідок формування і наступного твердіння суміші з $80\text{...}85\%$ портландцементу, $15\text{...}20\%$ азбесту і води.

Технологія виробництва азбестоцементних 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 азбестоцементу при дії високих температур обумовлюється поведінкою цементного каменю та азбесту (рис. 10.4).

При нагріванні до $t=100\text{...}150\text{ }^\circ\text{C}$ міцність підвищується за рахунок випарювання фізичної вологи. При $t=400\text{ }^\circ\text{C}$, внаслідок дегідратації, починається різке зниження міцності, що при $t=500\text{ }^\circ\text{C}$ становить 50% від первинної. При $t=800\text{ }^\circ\text{C}$ залишається лише 15% міцності. При пожежі може мати місце небезпечне руйнування за рахунок значної кількості ($8\text{--}11\%$) вологи. При нагріванні вона утворює тиск, що веде до вибуху.



Рисунок 10.3 – Теплоізоляційні матеріали і вироби, що вміщують азбест

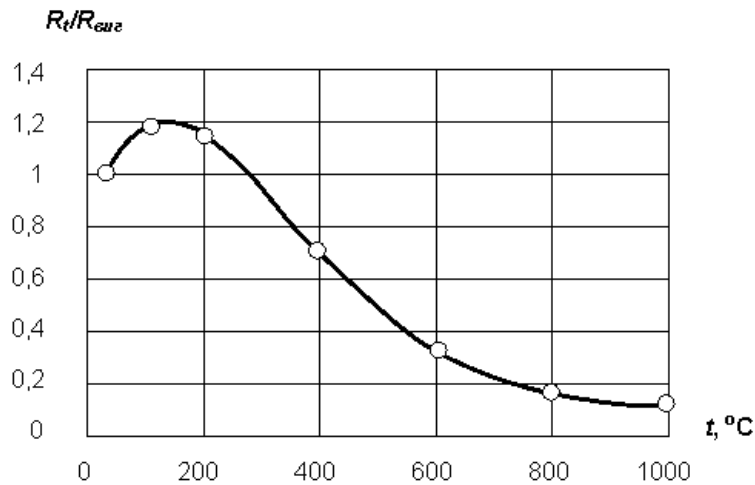


Рисунок 10.4 – Зміна міцності при вигині азбестоцементу при дії високих температур

Теплоізоляційні вироби, що вміщують гіпс, виготовляють формуванням (литтям, пресуванням, прокатом) гіпсової або гіпсобетонної суміші з наступним сушінням. Вони мають теплопровідність $\lambda=0,39\dots0,4 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$. Міцність їх на стиск складає від 25 до 100 кг/см².

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, зумовлений 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 зумовлюється поведінкою гіпсового каменю (див. п. 3.2.1), 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 та інших конструкцій від нагрівання.

10.4 Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби

Більшість органічних матеріалів виготовляють у вигляді плит, частіше – крупнорозмірних. Їх виготовляють з полімерів – *пінопластів* (див. п. 8.2.4) або з рослинних матеріалів, сировиною для виробництва яких є деревина у вигляді відходів обпилювання (стружка, обапіл, рійка) та 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 та ін.) і спеціальних добавок: водних емульсій синтетичних смол, емульсій з парафіну, каніфолі, бітуму, антисептиків, антипіренів, а також азбесту, глинозему, гіпсу тощо (див. рис. 7.5).

Сировину подрібнюють у різних агрегатах за наявності великої кількості води, що полегшує поділ деревини на окремі волокна, і змішують зі спеціальними добавками. 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 (рис. 10.5).

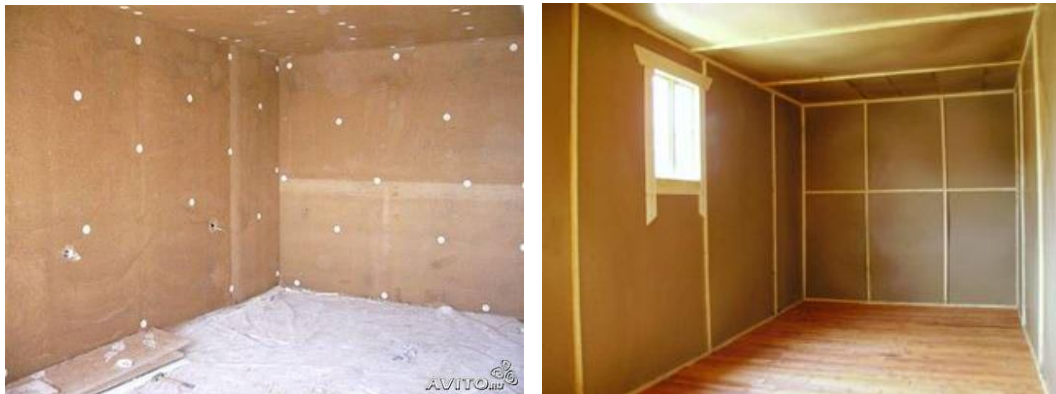


Рисунок 10.5 – Приклад застосування плит ДВП

Деревостружкові плити (ДСП) одержують гарячим пресуванням маси, що містить 90 % органічної волокнистої сировини і 8...12 % синтетичних смол (фенолформальдегідної, мочевиноформальдегідної та ін.) Вони більш теплопровідні. Застосовуються як і деревоволокнисті плити. Плити ДВП і ДСП є горючими і пожежонебезпечними. Вони здатні спалахувати від незначного за потужністю теплового джерела і горять не тільки на відкритому повітрі, але й під шаром штукатурки або іншого лицевального 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 є горючим; 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 ганчір'я, комишит і соломит, фіброліт та газонаповнені пластики.

Для теплоізоляції використовуються полімерні речовини з пористою структурою: пінополістирол, ПВХ, пінополіуретан, фенолоформальдегідні та епоксидні полімери (див. п. 8.2.4). Пінополімерні теплоізоляційні вироби застосовуються у вигляді об'ємної піни, вати, м'яких матів, плит, шкаралуп (рис. 10.6).



Рисунок 10.6 – Приклад застосування теплоізоляції на основі полімерних речовин

Питання для самоконтролю до глави 10

1. Що являють собою будівельні теплоізоляційні матеріали і як вони застосовуються?
2. Як класифікують будівельні теплоізоляційні матеріали?
3. Поясніть особливості будови теплоізоляційних матеріалів та вплив їх будови на теплоізоляційні властивості.
4. Які існують теплоізоляційні матеріали і вироби на основі мінеральних розплавів?
5. Які існують теплоізоляційні матеріали і вироби, що вміщують азбест?
6. Які існують теплоізоляційні матеріали і вироби, що вміщують гіпс?
7. Які існують теплоізоляційні матеріали і вироби на основі органічних речовин?

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 необхідний одночасний збіг трьох умов:

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

Причому горюча 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 є неповним, 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 запалювання.

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 запалювання й горіння деревини. Процес її термічного розкладу протікає у дві фази:

- 1) розклад з поглиненням тепла при нагріванні до 250...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 горючі гази, та утворення вугілля) має велике значення для вогнезахисту. Підвищуючи вихід вугілля за рахунок зменшення кількості палих газів, можна понизити горючість деревини.

Враховуючи сказане, можна виділити такі шляхи зниження горючості деревини:

– знизити швидкість нагрівання поверхні матеріалів, що дає змогу утворення більш товстого шару вугілля, яке має погану теплопровідність;

– направити піроліз матеріалу в бік утворення негорючих газів або зменшення виділення палих газів;

– створити умови для неможливості тління вугілля.

Технічно це досягається трьома методами:

1) *просочуванням* деревних матеріалів або введенням до їхнього складу речовин, що сприяють дегідратації деревини з мінімальним виділенням горючих газів і максимальним виходом вугілля;

2) нанесенням на поверхню матеріалів *вогнезахисного покриття*, що забезпечує утворення коксового шару і відвертання його тління та горіння;

3) *екрануванням* виробів із деревини від впливу високої температури захисними сорочками з вогне- і теплоізоляційних матеріалів.

11.2.1 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 *антипіренами* 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, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – концентрація антипірену у розчині, %; ρ – щільність деревини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Вогнезахисне просочування *антипіренами* здійснюється за методами:

1) просочування під тиском в автоклаві (рис. 11.1) – при просочуванні в просочувальних циліндрах у сольовому розчині при температурі $t=60^\circ\text{C}$ здійснюється чергування вакууму і тиску ($p=1\dots1,6$ МПа; $\tau=1$ година). Цей метод дозволяє досягнути витрат 75 кг сухої солі на 1 м^3 деревини. Таке просочування є найбільш ефективним, дозволяє просочувати деревину на максимальну глибину та отримувати після висушування важкогорючі матеріали I групи вогнезахисту (тобто із вмістом сухої солі не менше $66\text{ кг}/\text{м}^3$ згідно *ГОСТ 16363-98*). Але такий метод має недоліки: він потребує складного обладнання; може застосовуватися тільки для порівняно невеликих деталей, які не перевищують габаритів автоклаву; також цей метод не підходить для повторної обробки деталей, які вже вбудовані в конструкції, що експлуатуються;

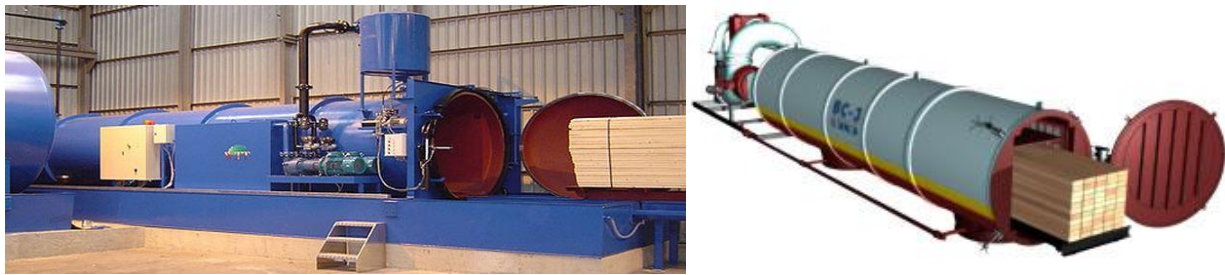


Рисунок 11.1 – Обладнання для просочування під тиском деревини у автоклаві

2) просочування у ванні – вимочування методом холодно-гарячих ванн (рис. 11.2). Використовується властивість утворення розрідження повітря у капілярах деревини при переносі дерев'яного виробу з гарячої ванни (до 90°C) в холодну. При цьому розчин антипірену всмоктується у капіляри і утримується там. Таке просочування дозволяє затримати у деревині до 50 кг сухої солі на 1 м^3 деревини і одержати важкозаймистий матеріал II групи вогнезахисту (тобто із вмістом сухої солі не менше $30\text{ кг}/\text{м}^3$ згідно *ГОСТ 16363-98*); Цей метод потребує менш складного обладнання, ніж попередній; але також може застосовуватися тільки для порівняно невеликих деталей, які не перевищують габаритів ванни, і не підходить для повторної обробки деталей, які вже вбудовані в конструкції, що експлуатуються;

3) поверхневе просочування – багатократне нанесення гарячого (до 60°C) просочувального розчину антипірену (рис. 11.3, а). Воно застосовується для обробки елементів, що вже встановлені у будівлю і не підлягають роз'єднанню. Цей метод дозволяє одержати важкозаймистий матеріал II групи вогнезахисту;



Рисунок 11.2 – Обладнання для просочування методом холодно-гарячих ванн



а)



б)

Рисунок 11.3 – Вогнезахисне оброблення деревини:

а) методом поверхневого просочування; б) методом просочування органорозчинюваними антипіренами

4) дифузійне просочування – нанесення на вологу деревину пастоподібної суміші антипірену з добре набрякаючою клейкою речовиною. За рахунок великої концентрації солі у вологій пасті виникає осмотичний тиск, який зумовлює проникнення антипірену в пори деревини. Таким методом можна обробляти сирі лісні матеріали, але процес триває до 140 діб. Цей метод дозволяє одержати важкозаймистий матеріал II групи вогнезахисту;

5) просочування органорозчинюваними антипіренами – використання розчинів з малим поверхневим натягненням. До складу таких сумішей входять антипірени (кам'яновугільна, антраценова або сланцева оливи, відходи нафтової сировини та ін.), гідрофобізатори (парафін або каніфоль) та розчинювачі (діоксан, ксилол, лігроїн, діхлорбензол та 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 добавками утворюють бар'єр, який перешкоджає, з однієї сторони, проникненню усередину деревини вологи і кисню, а з іншого боку – дифузії назовні горючих газів (продуктів піролізу) при нагріванні. Цей метод дозволяє одержати важкозаймистий матеріал II групи вогнезахисту.

Для зниження горючості деревних матеріалів використовують *водорозчинювані або полімерні антипірени*.

Просочування водорозчинюваними антипіренами (солями алюмінію, фосфорної кислоти, сполученнями бору, хрому, міді, цинку та ін.) є більш доступним 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.

Перехід деревини у важкогорючий стан, якому відповідає втрата при випробуванні менше 20 % маси матеріалу, що просочувався, досягається при вміщенні, кг/м³: діамонійфосфату – 66; сульфату амонію – 95; бури – 80.

Найбільшого поширення для глибокого просочування знайшли такі водні суміші, % мас.:

1. Сполука С: сульфат амонію – 15; динатрійфосфат – 2; фторид натрію – 2.
2. Сполука МС (ВАТ «Антисептик», Київ): діамонійфосфат – 7.5; сульфат амонію – 7.5; фторид натрію – 2.
3. Сполука ББ-11 (НТЦ «Конрест», Київ): бура – 10; борна кислота – 10.
4. Сполуки ОСП-3 та FRB-34С.

За результатами випробувань в УкрНДПБ МВС України отримання важкогорючої деревини також забезпечує вогнезахисне просочування такого складу, % мас.: діамонійфосфат – 20, сульфат амонію – 10, контакт «Петрова» – 1, вода – 69. Додаток ваги сухих солей 40-45 кг/м³.

Просочування полімерними антипіренами здійснюють за методами 1, 2, 3, 5. Для цього застосовують полімери, схильні при нагріванні до карбонізації, – карбамідні та фенолформальдегідні олігомери, фуранові сполуки, кремнійорганічні рідини. Отвердіння олігомерів здійснюється в результаті або хімічної реакції, або термообробки при температурі 100–130 °С. Як приклад поширених 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.

11.2.2 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 газу та водяну пару, які флегматизують полум'я і перешкоджають горінню. У порівнянні з просочуванням використання покриттів дозволяє забезпечити І групу вогнезахисту великих конструкцій, автоклавне просочування яких для отри-

мання такої ж групи вогнезахисту неможливо. Крім того, просочування часто погіршує зовнішній вигляд дерев'яних деталей; воно з часом "вимивається" з матеріалу вологою, а його перевірка і поновлення бувають проблематичними і, навіть, неможливими. Вогнезахисні покриття, з іншого боку, виконують і декоративні функції, а їх перевірка та поновлення здійснюються досить легко. 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 та 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 °С протягом 1 години.

Широко застосовують також вапнякові та 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, гідрооксиду алюмінію, оксиду сурми чи їх сумішей. Їх класифікують за видом зв'язуючого:

- мінеральні:
- силікатні – на основі рідкого скла;
- магнезійальні – 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;
- ЕДАМ – на основі епоксидного олігомеру ЕД-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 (рідке скло, крахмал, декстрин, сорбіт);
- сінергіти (мочевина, меламін, бензойна кислота);
- галогенвміщуючі речовини (хлорпарафін, совол).

При нагріванні спучувальні покриття розкладаються, виділяючи пари або гази, що подавляють полум'я, та збільшуючись в об'ємі утворюють «шубу», тобто пористий шар обвугленого покриття, який служить теплоізолятором (рис. 11.4). «Шуба», яка утворилася, блокує конвективний перенос тепла до поверхні. Найбільш відомі покриття і фарби: *ОФП-9, ВПД, «Екран-Д»*.



Рисунок 11.4 – Вогнезахисне покриття, що спучуються, для деревини

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 поширенню полум'я, а гідроксид алюмінію, розкладаючись з виділенням води, спучується і створює теплоізоляційний шар. При випробуванні у приладі «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.

Перспективним вважають вогнезахисне покриття «КСВ» («Сіофарб»), розроблене у ВАТ «Центральна будівельна компанія», Київ. Воно має повністю мінеральне походження, тому не виділяє диму і запаху.

За результатами випробувань в УкрНДПБ МВС України на 1.12.2000 отримання важкогорючої деревини забезпечують такі розчини:

1. Прозоре вогнезахисне водоемульсійне покриття, що спучується, Рубежанського хімзаводу «Зоря».

2. Вогнезахисні покриття «Ендотерм ХТ-150», «Ендотерм КФ», «Ендотерм ЖК».

3. Вогнезахисні покриття «Pyro-Safe Flammoplast» («SVT Brandschutz», Німеччина).

4. Вогнезахисні покриття «UNITERM 19010» з лаком «UNITERM 38423» та «UBITERM А-С-NIT D 38302» з лаком «UNITERM 38202» («HERBERTS GmbH», Німеччина).

5. Вогнезахисне покриття «Heat Shield FR-15» («EDEN-L.A.M. chemical s.r.o.», Чехія).

11.2.3 Екранування дерев'яних конструкцій

Для попередження займання деревини у будівництві часто використовують *екранування*, тобто її віддалення від джерел запалювання за допомогою огорож, перегородок з мінеральних негорючих матеріалів.

Екрани відрізняються від покриттів більшою товщиною (понад 100 мм), або тим, що, вони складаються зі штучних виробів, або наявністю повітряного прошарку між захисною сорочкою і дерев'яною конструкцією (рис. 11.5).

Наприклад, обкладення дерев'яних стін цеглою, гіпсобетонними або азбестоцементними плитами, улаштування з мінераловатних матеріалів підвісних стель «ARMSTRONG», утеплення стін і даху плитами і матами «ROCKWOOL» (див. п.10.3) дозволяє значно підвищити межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій. Використання облицювання азбестоцементними плитами товщиною 10 мм подовжує межу вогнестійкості на 20–30 хв. А застосування теплоізоляційних плит «ROCKWOOL» товщиною 80 мм підвищує вогнестійкість на 60 хв.



Рисунок 11.5 – Приклади екранування дерев'яних конструкцій

Таким чином, для вогнезахисту деревини використовуються всі три основні способи: *модифікація матеріалу, нанесення покриттів та застосування 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 вплив 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 550 °С не тільки не втрачають своєї міцності, але в інтервалі температур 200...400 °С значно зміцнюються (див. рис. 4.5). Підвищенню жароміцності сталей сприяють, в основному, добавки 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, свинцю, сурми, а також сірки. Поширеними марками низьколегованих жароміцних сталей є 12МХ, 12ХМ, 12ХМФ, 12Х2МФБ, Х5ВФ. У них тривала міцність зберігається на рівні 500 кГ/см² до температур 500...600 °С.

У алюмінієвих сплавах 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 (рис. 11.6). Серед них розповсюдження отримало фосфатне покриття ОФП-ММ, об'ємна маса якого складає 250...300 кг/м³. В склад покриття входять: низькосортний азбест або гранульоване (шлакове) мінеральне волокно; рідке скло; нефеліновий отверджувач. Витрата такої композиції дорівнює 6...15 кг/м², 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. Також, для захисту металевих конструкцій використовують мінеральне покриття, що спучується, КСВ (Сіофарб).

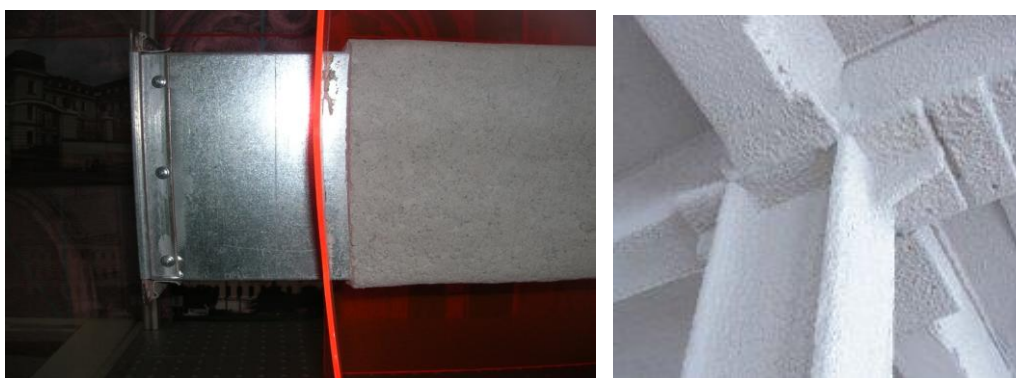


Рисунок 11.6 – Вогнезахисні покриття металевих конструкцій

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 °С фарба спучується і утворюється пористий шар, товщина якого складає декілька сантиметрів. Завдяки низькій теплопровідності, пористий шар відвертає швидке нагрівання металу (рис. 11.7). 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, тому що 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 50 хв.



Рисунок 11.7 – Вогнезахисне покриття, що спучується, для металевих конструкцій

Такі фарби знаходять широке застосування для вогнезахисту металевих конструкцій за рубежом. Деякі з них забезпечують межу вогнестійкості сталевих конструкцій до 1 години. Спучувальна фарба «Перинокс» фірми «Хербертс» (Німеччина), що рекламується в Україні, являє собою тришарове покриття товщиною $600 \dots 700 \text{ мкм}$, яке забезпечує вогнестійкість сталевих конструкцій протягом 30 хв.

Вогневі випробування металевих елементів і натурних зразків показали, що при товщині сухого шару фарби 4–5 мм забезпечується межа вогнестійкості сталевих конструкцій – 45 хв, алюмінієвої – 15 хв. При дії вогню відбувається поступове вигорання вуглецю композиції і руйнування пористої маси.

11.3.3 Екранування металевих конструкцій

Поширеними засобами вогнезахисту для металевих конструкцій є важкі і легкі бетони, цегла, цементно-піщані штукатурки (рис. 11.8). Ці матеріали можуть забезпечити практично будь-яку межу вогнестійкості конструкцій.

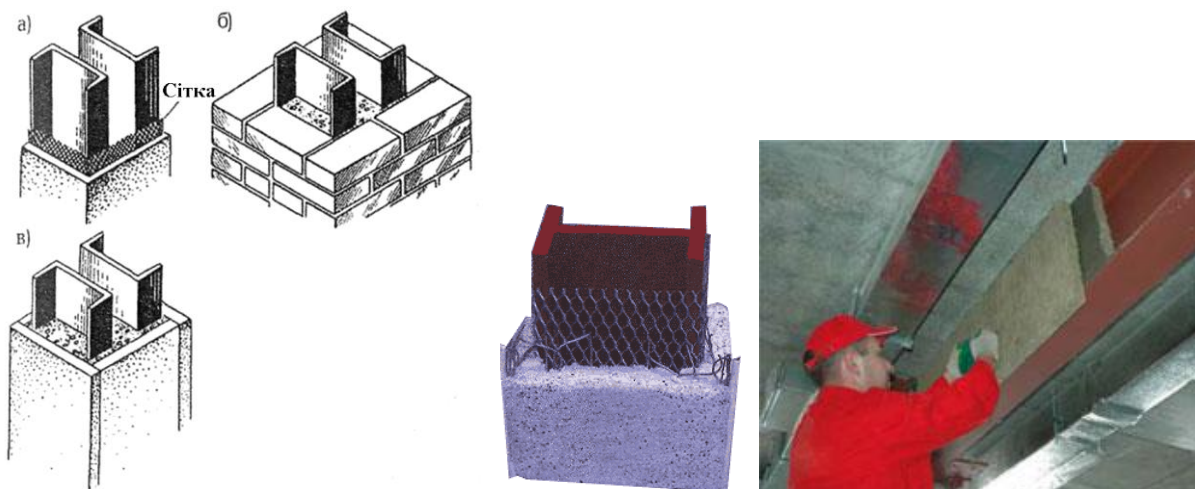


Рисунок 11.8 – Вогнезахисне екранування металевих конструкцій

Так, забезпечити межу вогнестійкості сталевій конструкції, що дорівнює 120 хв, можна, застосовуючи на вибір:

- шар важкого бетону товщиною 60 мм
- шар гіпсу товщиною 60 мм;
- шар штукатурки – 50...60 мм;
- шар цегли – 65 мм.

Покриття з цементно-піщаних штукатурок застосовують для вогнезахисту як зовнішніх, так і внутрішніх конструкцій. Цемент використовується марки не нижче М400. При нанесенні шару штукатурки товщиною більше 100 мм його армують сталевією 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 завдаватися 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 кг/м³. 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 та 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 напівсухих виробів та їхньої термообробки. Об'ємна маса плит складає 200...300 кг/м³, теплопровідність 0,08 Вт/(м·град). Вони витримують температури до 800 °С. Перлітофосфогелеві плити (при товщині до 50 мм) забезпечують межу вогнестійкості сталевих конструкцій 150 хв.

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 60 хв.

Азбестоцементні лицювальні плити знаходять широке застосування в будівництві. Їх також використовують в якості вогнезахисного лицювання металевих конструкцій.

11.4 Основи вогнезахисту полімерних матеріалів

Полімерні матеріали в будівництві майже не використовують як несучі конструктивні елементи. Вони, в основному, застосовуються як оздоблювальні, облицювальні, 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 небезпеку ПБМ, враховуючи перелічені фізичні та хімічні засоби, намагаються знизити декількома розповсюдженими 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 поліетилен, поліпропілен та їх сополімери. У будівництві з них виготовляють гідроізоляційні плівки, водопровідні та каналізаційні труби, погонажні вироби, фітинги. При використанні поліолефінових ПБМ треба ураховувати, що поряд з корисними властивостями: міцністю, хімічною стійкістю, морозостійкістю, вологонепроникніс-

ттю, 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. Дещо 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 КІ=26. Ще одним способом покращення пожежної небезпеки 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 сильно 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 досягають 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 отруйно небезпечний хлороводень (HCl), який утворюється при горінні. Ще дієвими методами отримання 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 %, підвищити кисневий індекс на 15...19 % (до КІ=60 %), температуру займання до 620 °С при збереженні задовільних експлуатаційних характеристик.

Полістирольні ПБМ дуже поширені 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 гекса-

брометан, тетрабромпаракилол 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 порохоподібного 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 вогнезахисних 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 вироби 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. Вогнезахиснені 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 (Sb_2O_3 , ZnO , 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 $Al(OH)_3$, борат цинку, ортофосфат амонію, мікрокапсульовані хладони, 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 високо-температурному 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, мармуровий дрібняк, рідке скло), фенольні пінопласти відносять до вогнезахисних матеріалів. Але ці наповнювачі погіршують механічні та теплофізичні властивості пінопластів. Міцнісні характеристики вдається поліпшити при додаванні скловолокна, 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 ($t_{\text{займ}}=335\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{с/з}}=495\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{розклад}}=250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{KI}=25,7$), при додаванні антипірену (тетрабромдіфенілпропану) переходить у групу важкогорючих матеріалів. Антипірени можуть використовуватися як у складі просочувального розчину, так і для модифікації паперу. Для виготовлення вогнезахисних ДВП та пінопластів у їх склад вводять антипірени на основі фосфату амонію, ПВХ, нефеліну, ортофосфорної кислоти та ін.

Питання для самоконтролю до глави 11

1. Наведіть основні способи вогнезахисту будівельних матеріалів і шляхи їх реалізації.
2. Які шляхи і методи зниження горючості деревини?
3. Що собою являє антипірен? У чому суть застосування антипіренів?
4. Наведіть основні методи вогнезахисного просочення деревини.
5. Охарактеризуйте спосіб глибокого просочування під тиском.
6. Охарактеризуйте спосіб просочування в гарячехолодних ваннах.
7. Наведіть основні методи вогнезахисного покриття деревини.
8. Чим відрізняються вогнезахисні фарби від покриттів, що спучуються?
9. Наведіть основні способи підвищення вогнестійкості металевих конструкцій.
10. Охарактеризуйте підвищення вогнестійкості металевих конструкцій за допомогою легування.
11. Охарактеризуйте вогнезахисні покриття металевих конструкцій.
12. Охарактеризуйте хімічні і фізичні способи зниження пожежної небезпеки полімерних будівельних матеріалів.
13. Які існують методи зниження пожежної небезпеки ПБМ?

ЛІТЕРАТУРА

1. Конституція України.
2. Кодекс цивільного захисту України.
3. Будівельні матеріали та вироби: підручник / О. М. Лівінський, О. М. Пшінько, М. В. Савицький та ін. – Дніпропетровськ: «Акцент ПП», 2014. 658 с.
4. Васильченко О.В., Савченко О.В., Отрош Ю.А., Стельмах О.А. Забезпечення інженерного захисту територій, будівель і споруд в умовах надзвичайних ситуацій: практикум. Харків: Друкарня Мадрид, 2022. 252 с.
5. Кривенко В.П., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., та ін. Будівельне матеріалознавство: Підручник. – К.: «Видавництво Ліра-К», 2012. 624 с.
6. Пушкаренко А.С., Васильченко О.В. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур: навчальний посібник. Харків: АПБУ, 2001. 166 с.
7. Пушкаренко А.С., Васильченко О.В., Квітковський Ю.В. та ін. Вогнезахисне оброблення будівельних матеріалів і конструкцій: навчальний посібник. Х.: НУЦЗУ, 2011. 176 с.
8. Шналь Т. Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. 220 с.
9. Шналь Т. Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 176 с.
10. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення.
11. ДСТУ 4479:2005. Речовини вогнезахисні водорозчинні для деревини. Загальні технічні вимоги та методи випробування (61480)
12. ДСТУ 4845:2007. Пиломатеріали. Класифікація
13. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення
14. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація
15. ДСТУ 9176:2022. Пожежна безпека. Методи визначення параметрів легкоскридних конструкцій для приміщень та будинків. Основні положення
16. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови.
17. ДСТУ Б EN 12057:2007. Вироби з природного каменю. Модульні плити. Вимоги.
18. ДСТУ Б EN 12058:2007. Вироби з природного каменю. Плити для підлоги і сходів. Вимоги
19. ДСТУ Б А.1.1-5-94. Система стандартизації і нормування в будівництві. Загальні фізико-технічні характеристики та експлуатаційні властивості матеріалів. Терміни та визначення.
20. ДСТУ Б А.1.1-12-94. Система стандартизації та нормування в будівництві. 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 Система стандартизації та нормування в будівництві. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Терміни та визначення.

23. ДСТУ Б А.1.1-18-94 Система стандартизації та нормування в будівництві. Лінолеум. Терміни та визначення.

24. ДСТУ Б А.1.1-28-94 Система стандартизації та нормування в будівництві. Вироби полімерні погонажні профільні та оздоблювальні стінові (рулонні і листові). Терміни та визначення.

25. ДСТУ Б А.1.1-53-94 Система стандартизації та нормування в будівництві. 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. Матеріали будівельні. Методи випробувань на займистість.

29. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови.

30. ДСТУ Б В.2.6-147:2010 Плити перекриттів залізобетонні ребристі
Технічні умови

31. ДСТУ Б В.2.7-18-95. Матеріали будівельні. Бетони легкі. Загальні технічні умови.

32. ДСТУ Б В.2.7-23-95. Матеріали будівельні. Розчини будівельні. Загальні технічні умови.

33. ДСТУ Б В.2.7-36:2008. Будівельні матеріали. Цегла та камені стінові безцементні. Технічні умови.

34. ДСТУ Б В.2.7-38-95. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Методи випробувань (ГОСТ 17171-94).

35. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинення, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.

36. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

37. ДСТУ Б В.2.7-53:2014. Вироби волокнистоцементні хвилясті. Технічні умови.

38. ДСТУ Б В.2.7-61:2008. Цегла та камені керамічні рядові та лицьові
Технічні умови (EN 771-1: 2003, NEQ)

39. ДСТУ Б В.2.7-70-98. Матеріали будівельні. Метод випробування на розповсюдження полум'я (ГОСТ 30444-97).

40. ДСТУ Б В.2.7-80:2008. Будівельні матеріали. Цегла та камені силікатні. Технічні умови.

41. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Суміші бетонні. Технічні умови.

42. ДСТУ Б В.2.7-122:2009. Скло листове. Технічні умови (EN 572:2004, NEQ).

43. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ).

44. ДСТУ Б В.2.7-200:2009. Скло та вироби будівельного призначення зі скла. Номенклатура показників.
45. ДСТУ Б В.2.7-245:2010. Вироби керамічні клінкерні. Технічні умови.
46. ДСТУ Б В.2.7-265:2011. Руберойд. Технічні умови (ГОСТ 10923-82, MOD).
47. ДСТУ Б В.2.7-287:2011. Бетон силікатний щільний. Технічні умови.
48. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
49. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. Вогнезахисне обробляння будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання.
50. ДСТУ EN 335-1:2010. Стійкість деревини та виробів з деревини. Визначення класів використання. Частина 1. Загальні положення (EN 335-1:2006, IDT).
51. ДСТУ EN 1310:2005. Лісоматеріали круглі та пиляні. Метод вимірювання параметрів.
52. ДСТУ EN 1363-1:2023. Випробування на вогнестійкість. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1363-1:2020, IDT).
53. ДСТУ EN 1363-2:2023. Випробування на вогнестійкість. Частина 2. Альтернативні і додаткові процедури (EN 1363-2:1999, IDT).
54. ДСТУ ENV 1363-3:2023. Випробування на вогнестійкість. Частина 3. Верифікація параметрів печі (ENV 1363-3:1998, IDT).
55. ДСТУ EN 13183-1:2004. Пиломатеріали. Частина 1. Визначення вологості на зразку абсолютно сухим методом.
56. ДСТУ EN 14221:2021. Деревина та матеріали на основі деревини у внутрішніх вікнах, внутрішніх дверних полотнах та внутрішніх дверних коробках. Вимоги та технічні умови (EN 14221:2006, IDT).
57. ДСТУ ISO 3129:2015. Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків (ISO 3129:2012, IDT).
58. ДСТУ EN ISO 4589-1:2018. Пластмаси. Визначення характеристик горіння за кисневим індексом. Частина 1. Загальні вимоги (EN ISO 4589-1:2017, IDT; ISO 4589-1:2017, IDT).
59. ДСТУ EN ISO 4589-2:2018. Пластмаси. Визначення характеристик горіння за кисневим індексом. Частина 2. Випробування за температури навколишнього середовища (EN ISO 4589-2:2017, IDT; ISO 4589-2:2017, IDT).
60. ДСТУ EN ISO 4589-3:2018. Пластмаси. Визначення характеристик горіння за кисневим індексом. Частина 3. Випробування за підвищеної температури (EN ISO 4589-3:2017, IDT; ISO 4589-3:2017, IDT).
61. ДСТУ EN ISO 8256:2017. Пластмаси. Визначення міцності під час розтягування (EN ISO 8256:2004, IDT; ISO 8256:2004, IDT).
62. ДСТУ ГОСТ 30704:2007. Захисні засоби для деревини. Методи контролювання якості (ГОСТ 30704-2001, IDT).
63. ГОСТ 16363-98. Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей.

64. ГОСТ 20022.6-93. Захист деревини. Способи просочування.
65. ГОСТ 30219-95. Деревина вогнезахищена. Загальні технічні вимоги. Методи випробовувань. Транспортування і зберігання.
66. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

а

азбест, 44
азбестоцемент, 103
алюмінієві сплави, 73
антипіренів, 160
арматурні сталі, 79
атмосферостійкість, 21

б

базальти, 48
бетон, 87
бетонна суміш, 89
біотит, 44
бітуми, 141
будівельна повсть, 157
будівельний гіпс, 52
будівельні розчини, 85
будівельні сталі, 77

в

вапняки, 49
вермикуліт, 44
відносна деформація, 14
відносна міцність, 13
вогнетривкі матеріали, 108
водопоглинання, 17
водопроникність, 17
водостійкість, 18
водоутримуюча здатність, 86
вологість, 17

г

гашене вапно, 56
гетерогенне горіння, 24
гідрофільність, 17
гідрофобність, 17
гіпс, 46
глиноземистий цемент, 64
гомогенне горіння, 24
горіння, 22
горючість, 26
границя міцності, 10
граніти, 47
групи горючості, 28
густина, 15

д

деревоволокниста плита (двп), 121, 156
деревостружкова плита (дсп), 121, 156
дефект деревини, 116
джерело запалювання, 23
димоутворююча здатність, 32
дифузійне горіння, 25
діаграма « σ - ϵ », 68
довговічність, 15
дьюгооть, 142
дюралюміні, 81

е

екранування, 166
електропровідність, 22
епоксидні полімери, 128

з

заболонь, 115
займистість, 30
залізобетон, 94
зв'язність, 90

і

ізол, 147

к

камбій, 115
карбамідні полімери, 128
кварц, 43
керамічні матеріали, 105
керамічна цегла, 108
клас міцності бетону, 92
клінкер, 60
кора, 115
корозійна стійкість, 21
критична температура, 13, 75, 82
крихкість, 14

л

легкоукладальність, 85, 88
леговані сталі, 72
липкість (адгезія), 21
лігнін, 122
луб, 115

м

марка, 11
марка бетону, 92
метали, 67
мідні сплави, 72
мінеральна вата, 112
мінеральна повсть, 153
міцність, 10
модифікація, 159
модуль пружності, 14
мономери, 126
морозостійкість, 18

н

наповнювачі, 129
напруга, 10

о

опалубка, 90

п

паскаль, 10
перліт, 48
питома міцність, 74
пінополістирол, 137
пінополіуретан, 138
пластичність, 14
пластмаса, 125
повітряне вапно, 49, 55
пожежа, 22
покриття, що спучуються, 165
полівінілацетат, 127
полівінілхлорид (пвх), 127
поліетилен, 126
полієфіри, 129
поліізобутилен, 127
поліконденсація, 126
полімери, 126
полімеризація, 126
поліметилметакрилат, 128
поліпропілен, 127
поліуретани, 129
пористість, 16
портландцемент, 58
проліт (прогін), 76
пружність, 14

р

рідке скло, 57
розчинність, 21
руберойд, 145
рухливість, 90
рухомість, 85

с

силікатна цегла, 100
скло, 109
скловата, 153
склопластики, 133
сплави, 67
сталевий прокат, 78
сталі, 67
стиранність, 15
схоплювання, 52

т

твердіння, 21, 52
твердість, 15
теплоємність, 18
теплопровідність, 19
термічний опір, 19
термостійкість, 19
тління, 26, 123
токсичність, 33
толь, 147

ф

фанера, 121
фарби, що спучуються, 168
фенолформальдегідні полімери, 128

х

хімічна стійкість, 21

ц

целюлоза, 122
цементний камінь, 62

ч

чавуни, 67

Навчальне видання

Васильченко Олексій Володимирович
Удянський Микола Миколайович
Данілін Олександр Миколайович
Савченко Олександр Віталійович
Миргород Оксана Володимирівна,

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

Навчальний посібник

Підписано до друку 10.06.2024. Формат 60x84 1/16.
Умовн.-друк. арк. 10,1.
Вид. № 12/24.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.
www.nuczu.edu.ua