

В.І. ОСИПЕНКО, С.В. ПОЗДЄЄВ, І.Ю. ТИЩЕНКО

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ПОВЕДІНКА ПРИ ДІЇ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ЧЕРКАСИ 2012

УДК 691(075.8)
ББК 38.3

Рекомендовано до друку Вченою радою
Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
протокол №9 від 01.07. 2011 р.

Рецензенти:

Голоднов О.І., доктор технічних наук, професор;
Головко Л.Ф., доктор технічних наук, професор;
Столяренко Г.С., доктор технічних наук, професор.

**Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для студентів ВНЗ
(Лист МОН України № 1/11-6690 від 06.05.2014).**

Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю.

Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур: Навчальний посібник. – Черкаси: 2011. – 170 с.

У посібнику викладено базові основи будівельного матеріалознавства. Розглянуто властивості та технологію виготовлення основних будівельних матеріалів: кам'яних природних і штучних, бетону, залізобетону, чорних і кольорових сплавів, кераміки, силікатів, деревини, полімерів. Особливу увагу автори приділили властивостям та поведінці будівельних матеріалів при дії високих температур в умовах пожежі та способам їх вогнезахисту. Навчальний посібник розрахований на курсантів та студентів, що опановують спеціальність «Пожежна безпека»

ПЕРЕДМОВА

Курс «Матеріалознавство та технологія матеріалів» при підготовці спеціалістів у галузі пожежної безпеки є базовим для вивчення дисциплін «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах пожежі», «Пожежна профілактика у населених пунктах», «Пожежна профілактика у виробничих процесах», «Пожежна автоматика», «Пожежна тактика» та інших. Враховуючи наведене, матеріал посібника «Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур» викладений у відповідності до програми навчальної дисципліни «Матеріалознавство та технологія матеріалів» для спеціальності «Пожежна безпека».

У запропонованому читачу курсі лекцій розглядаються як добре відомі будівельні матеріали, так і матеріали, отримані за новітніми технологіями. Достатньо детально висвітлюються питання класифікації будівельних матеріалів, технологій їх виробництва, сировини, спеціального технологічного обладнання. Особлива увага звертається на зв'язок внутрішньої структури матеріалів і їх властивостей за нормальних умов та за умов високотемпературного нагріву під час пожежі з урахуванням питань профілактики та гасіння пожеж, а також сучасного нормативно-технічного забезпечення пожежної безпеки у будівництві, що діє в Україні та інших державах. Компактно представлені основні положення технологій вогнезахисту будівельних матеріалів та конструкцій, де вони використовуються.

Всі теоретичні питання, викладені у посібнику супроводжуються практичними прикладами і відповідними ілюстраціями. Для більш ефективного засвоєння матеріалу курсантами та студентами кожний розділ має питання для самоконтролю і задачі для самостійного розв'язування.

Окрім того при підготовці даного видання автори виходили з того, що представлений теоретичний та практичний матеріал може бути використаний для вирішення інженерних задач, що стоять перед фахівцями пожежної безпеки при проектуванні, зведенні і експлуатації будівель і споруд для забезпечення їх пожежної безпеки.

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ В СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ, СИСТЕМИ
ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ, ПОКАЗНИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТА
ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ**

1. Зміст і задачі дисципліни.
2. Застосування будівельних матеріалів у будівельних конструкціях.
3. Класифікація будівельних матеріалів.
4. Вогнестійкість будівельних конструкцій.
5. Фізичні властивості матеріалів.
6. Гідрофізичні властивості матеріалів.
7. Теплофізичні властивості матеріалів.
8. Акустичні властивості матеріалів.
9. Радіаційні властивості матеріалів.
10. Хімічні властивості матеріалів.
11. Механічні властивості матеріалів.

1.1. Змісті задачі дисципліни

Матеріалознавство – це наука, яка вивчає зв'язок між складом, структурою та властивостями матеріалів а також закономірності їхньої зміни під впливом фізичних, механічних та фізико–хімічних факторів.

Сучасне будівництво вимагає використання нових легких ефективних конструкційних матеріалів. Деякі види таких матеріалів, маючи багато переваг з точки зору якості будівельних конструкцій, мають погіршені характеристики з точки зору пожежної безпеки.

Мета викладання дисципліни "Матеріалознавство та технологія матеріалів" – засвоєння курсантами та студентами базових знань щодо технологій виготовлення та галузей застосування будівельних конструкційних матеріалів, параметрів їх механічних і фізико–хімічних властивостей при дії високих температур та отримання практичних навичок щодо визначення типу

та токсичності продуктів термічного розкладу і горіння будівельних матеріалів, впливу процесу гасіння пожежі на стан та властивості будівельних матеріалів.

За підсумками вивчення дисципліни **курсанти та студенти повинні знати:**

- основи технологій виготовлення, класифікації та застосування будівельних матеріалів (БМ);
- вплив температури на фізико–механічні властивості природних кам'яних матеріалів;
- особливості поведінки металів при дії високих температур;
- особливості поведінки бетонів при високих температурах в залежності від використаних цементів та заповнювачів;
- області застосування неорганічних в'язучих матеріалів та особливості впливу на них високих температур;
- особливості поведінки силікатних матеріалів при високих температурах;
- застосування керамічних матеріалів в будівництві, їх характеристики та поведінку в умовах високих температур;
- вогнезахист та механізм дії різноманітних методів вогнезахисної обробки будівельних матеріалів;
- поведінка деревини при нагріванні, основні методи вогнезахисної обробки деревини;
- умови спалахування, горючості, плавкості, розтікання, димоутворення та виділення токсичних газоподібних продуктів полімерними будівельними матеріалами під час впливу небезпечних факторів пожежі;
- основи методів зниження горючості полімерних будівельних матеріалів.

Після вивчення дисципліни **курсанти та студенти повинні уміти:**

- розпізнавати типи природних та штучних будівельних матеріалів;
- працювати з діючою нормативною документацією щодо будівельних матеріалів;
- проводити оцінку пожежно–технічних характеристик будівельних матеріалів.

1.2. Застосування БМ у будівельних конструкціях

Спорудою називається усе, що штучно зведено людиною для задоволення матеріальних і духовних потреб суспільства.

Будівлею називається надземна споруда, яка має внутрішній простір і призначена для того чи іншого виду людської діяльності (житлові будинки, заводські корпуси, вокзали, школи, лікарні та ін.).

Споруди, які не відносяться до будівель, а призначені для виконання лише технічних потреб (мости, димарі, щогли, резервуари, тунелі та ін.) називають **інженерними спорудами**.

Будівля складається із взаємозв'язаних конструктивних елементів: фундаменту, стін, опор, прогонів, перекриттів, даху, сходів, вікон, дверей та перегородок.

Фундамент – це підземна конструкція, яка сприймає навантаження від наземних частин будівлі і передає його на ґрунт; виконують із буту, бетону, бутобетону, цегли і залізобетону.

Стіни - вертикальні конструкції, які виконують огорожуючі або несучі функції; виконуються з деревини, каміння, цегли, залізобетону, блоків.

Перекриття - це горизонтальні несучі конструкції, що спираються на несучі стіни (плити перекриття) або колони (балки, ригелі, ферми з плитами перекриття); виконуються з залізобетону, деревини, сталі.

Окремі опори – несучі вертикальні елементи (колони, стовпи, стійки), що передають навантаження від перекриттів та інших елементів будівлі на фундаменти; виконуються з залізобетону, дерева, каменю, сталі.

Дах – це частина будівлі, яка захищає приміщення і конструкції будівлі від температурних впливів та атмосферних опадів; складається із несучих елементів та покрівлі; несучі елементи виконуються із дерева, з/б, сталі у вигляді крокв, кроквяних ферм і великорозмірних панелей, покрівлі – з черепиці, оцинкованого металу, азбестоцементних хвилястих листів, руберойду.

1.3. Класифікація будівельних матеріалів

Усі будівельні матеріали класифікують за:

- а) походженням;
- б) призначенням;
- в) пожежно – технічними показникам.

За походженням будівельні матеріали можна поділити на дві групи:

- природні;
- штучні.

Природні матеріали зустрічаються в природі у готовому вигляді і використовуються в будівництві без особливої обробки (бут ,щебінь, граніт, базальт, пісок, глина та інші).

Штучними називають такі будівельні матеріали, які в природі не зустрічаються, а виготовляються за допомогою спеціальних технологічних процесів (цегла, керамічні вироби, пластмаси, руберойд та інші).

За призначенням будівельні матеріали поділяють на:

- а) матеріали, призначені для зведення стін (цегла, дерево, метали, бетони, залізобетон);
- б) в'язучі матеріали, призначені для зв'язування окремих матеріалів в монолітну конструкцію (цемент, вапно, гіпс, глина);
- в) теплоізоляційні матеріали (піно і газобетони, войлок, мінеральна вата, пінопласти та інші);
- г) облицювальні матеріали (кам'яні породи, керамічні плитки, різні види пластиків, лінолеум та інші).
- д) покрівельні і гідроізоляційні матеріали (покрівельна сталь, азбестоцементні плити, шифер, толь, руберойд, рубіпласт, ізол, бітум та інші).

За пожежно – технічними ознаками будівельні матеріали класифікують за такими показниками пожежної небезпеки: *горючістю, займистістю, поширенням полум'я поверхнею, димоутворювальною здатністю та токсичністю продуктів горіння.*

За горючістю будівельні матеріали поділяють на *негорючі (НГ) і горючі (Г).*

Негорючі (неспалимі) – матеріали, які не горять, не тліють і не обуглюються під впливом відкритого полум'я або високої температури (скло, мармур, залізо, азбестоцемент).

Негорючі (неспалимі) матеріали поділяють на жаростійкі, вогнетривкі, та термостійкі.

Жаростійкість – це здатність матеріалу витримувати тривале нагрівання до заданого інтервалу температур (нижче 1580°C) без зміни експлуатаційних характеристик. До жаростійких відносять різні керамічні і металеві матеріали, ситали, спеціальні бетони.

Термостійкість – це здатність матеріалів витримувати без руйнування циклічні зміни температури. Підвищену термостійкість мають матеріали з низьким коефіцієнтом термічного розширення (плавлений кварц, спеціальне скло), високою теплопровідністю і низьким модулем пружності (метали).

Вогнетривкість – це здатність матеріалів протистояти впливу високих температур не розплавляючись. Вона характеризується температурою, при якій зразок усіченої піраміди розм'якшується так, що його вершина, нахилиючись, торкається основи. Для вогнетривких матеріалів (динас, шамот, корунд і ін.) ця температура не нижче 1580°C.

Негорючі будівельні матеріали за іншими показниками пожежної безпеки не класифікують.

Горючі (спалимі) – матеріали, що горять самостійно після видалення джерела займання, якими вони були підпалені (дерево).

Горючі будівельні матеріали поділяють на 4 групи:

- Г 1 – низької горючості;
- Г 2 – помірної горючості;
- Г 3 – середньої горючості;
- Г 4 – підвищеної горючості.

Горючість будівельних матеріалів з відношенням їх до відповідної групи визначають за результатами випробувань відповідно до ДСТУ БВ.2.7-19-95.

Горючі будівельні матеріали *за займистістю* поділяють на 3 групи:

- В 1 – важкозаймисті.

В 2 – помірнозаймисті.

В 3 – легкозаймисті.

Визначаються за результатами випробувань відповідно до ДСТУ БВ.1.1-2-97.

Горючі будівельні матеріали *за поширенням полум'я поверхнею* поділяють на 4 групи:

РП 1 – не поширюють;

РП 2 – локально поширюють;

РП 3 – помірно поширюють;

РП 4 – значно поширюють.

Визначають для поверхневих шарів конструкцій, покрівель, підлог, килимових покриттів і встановлюють за результатами випробувань згідно ДСТУ Б.В.2.7-70-98.

Горючі будівельні матеріали *за димоутворюючою здатністю* поділяють на 3 групи:

D 1 – з малою димоутворюючою здатністю.

D 2 – з помірною димоутворюючою здатністю.

D 3 – з високою димоутворюючою здатністю.

Групи встановлюють залежно від коефіцієнта димоутворювання, який визначаються відповідно до ГОСТ 12.1.044.

Горючі будівельні матеріали *за токсичністю продуктів горіння* поділяють на 4 групи:

T 1 – малонебезпечні;

T 2 – помірnoneбезпечні;

T 3 – високонебезпечні;

T 4 – надзвичайно небезпечні.

Встановлюють залежно від значення показників токсичності продуктів горіння відповідно до ГОСТ 12.1.044.

До полімерних матеріалів звичайно застосовується така характеристика як теплостійкість. **Теплостійкість** – властивість матеріалу зберігати

експлуатаційні характеристики (наприклад, міцність, пластичність, ударну в'язкість) при механічному і хімічному впливі в умовах високої температури.

1.4. Вогнестійкість будівельних конструкцій

Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь.

Вогнестійкість будівельних конструкцій – це здатність їх чинити опір дії високої температури в умовах пожежі і виконувати при цьому свої звичайні експлуатаційні функції.

Вогнестійкість відноситься до числа основних характеристик конструкції і регламентується **ДБН В 1. 1–7 – 2002**.

Показником вогнестійкості є *межа вогнестійкості* конструкції, що визначається часом (у хвилинах) від початку вогневого випробування конструкції на вогнестійкість (або теплового впливу) за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції. Розрізняють наступні ознаки настання граничного стану конструкції за межею вогнестійкості:

- втрата несучої спроможності (**R**);
- втрата цілісності (**E**);
- втрата теплоізолювальної спроможності (**I**).

Значення межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначають шляхом випробувань за **ДСТУ Б В.1.1–4–98**, за стандартами щодо методів випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних видів або за розрахунковими методами відповідно до стандартів і методик, затверджених або узгоджених з центральним органом ДПН.

Визначення фактичної межі вогнестійкості БК здійснюють експериментальним шляхом: зразок конструкції в натуральну величину нагрівають у спеціальній печі і одночасно піддають дії нормативного навантаження. При цьому визначають час від початку випробування до появи одного з граничних станів, які характеризують межу вогнестійкості конструкції.

1.5. Фізичні властивості матеріалів

Фізичні властивості характеризують фізичний стан матеріалу, а також його здатність реагувати на зовнішні фактори, які не впливають на хімічний склад матеріалу.

До фізичних властивостей відносять:

1) **Густина** матеріалу або речовини – це маса одиниці його об'єму.

Залежно від того, чи береться до розрахунку об'єм тільки щільної речовини, або весь об'єм матеріалу разом з порами та порожнинами розрізняють **істинну** та **середню** густину.

Істинна густина – маса одиниці об'єму речовини без пор і порожнин („абсолютний” об'єм, стала маса).

$$\rho = \frac{m_c}{V_a}, \quad [\text{кг/м}^3, \text{г/см}^3, \text{т/м}^3]. \quad (1.1)$$

Середня густина – маса одиниці об'єму речовини в природному стані.

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad [\text{кг/м}^3, \text{г/см}^3, \text{т/м}^3]. \quad (1.2)$$

Насипна густина (для сипучих матеріалів) – густина в насипному стані.

Середня густина має велике практичне значення для виконання різних розрахунків (обсягів транспортування, складування матеріалів, міцності конструкцій). Вона тісно пов'язана з іншими властивостями будівельних матеріалів (пористістю, міцністю, теплопровідністю, водопроникністю), що дає змогу, орієнтуючись на показник, визначати доцільні галузі їхнього використання у будівництві.

2) **Пористість** – ступінь заповнення матеріалу порами.

$$P_i = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

Пористість є важливою характеристикою, оскільки з нею пов'язані такі технічні властивості матеріалу, як міцність, водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність тощо. Легкі пористі матеріали мають зазвичай невелику міцність

і велике водопоглинання, щільні ($P_i=0...0,8$ %) – значну міцність і незначне водопоглинання.

1.6. Гідрофізичні властивості матеріалів

Поводження матеріалів у конструкціях, які підлягають зволоженню, залежить від їхньої здатності змочуватися водою і поглинати її, змінювати при зволоженні механічні властивості і пропускати воду під тиском і визначається рядом гідрофізичних властивостей:

1) **Водопоглинання** – властивість матеріалів вбирати та утримувати в собі вологу. Залежить від пористості P_i та характеризується кількістю води, яку може поглинути абсолютно сухий матеріал. Водопоглинання визначається за масою:

$$W_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\% , \quad (1.4)$$

де m_c – маса матеріалу у сухому стані, m_n – маса насиченого водою матеріалу.

Зміна водопоглинання може вказувати на зміну й інших властивостей матеріалів, наприклад міцності, морозостійкості, хімічної стійкості, тому даний показник часто нормується. Так, глиняна цегла повинна мати водопоглинання не менш 6 чи 8 % (у залежності від марки), а силікатна – не більш 16 % (14 % – лицьова). Для звичайних торф'яних плит водопоглинання повинне бути не більш 180 %, а водостійких – 50 % і т.д. Водопоглинання визначається витриманням зразків у воді при нормальній температурі чи при кип'ятінні протягом визначеного часу. При насиченні матеріалу водою міцність його знижується в результаті розчинення, розклинюючого ефекту адсорбційних водяних шарів, хімічної взаємодії води з окремими компонентами, набрякання глинистих матеріалів і інших процесів.

Здатність матеріалів зберігати міцність при насиченні водою називається **водостійкістю**. Показником водостійкості служить **коефіцієнт розм'якшення**

$$K_p = \frac{R_{н.в}}{R_c} , \quad (1.5)$$

де $R_{н.в}$ – міцність матеріалу, насиченого водою; R_c – міцність сухого матеріалу.

Коефіцієнт розм'якшення наближається до нуля для глинистих невивалених матеріалів і до одиниці – для металів, скла, полімерів. Для водостійких матеріалів $K_p = 0,75...0,8$. Підвищення його досягається гідрофобізацією, а також технологічними прийомами, що сприяють зниженню розчинності і пористості матеріалів. Наприклад, коефіцієнт розм'якшення гіпсових виробів можна підвищити майже в 2,5 рази (від 0,3 до 0,7), замінивши будівельний гіпс на змішане гіпсоцементнопуцоланове в'язуче.

2) Вологість – вміст вільної води в порах і на поверхні матеріалу. Абсолютна вологість визначають як відношення маси вологи, яка знаходиться у матеріалі, до маси сухого матеріалу:

$$W_a = \frac{m_v - m_c}{m_c} \cdot 100\% , \quad (1.6)$$

3) Гігроскопічність – здатність матеріалу вбирати водяну пару з повітря залежить від виду матеріалу та його пористості. До гігроскопічних матеріалів належать деревина та гіпс

$$W_{сорб} = \frac{m_{сорб} - m_c}{m_c} \cdot 100\% , \quad (1.7)$$

При зволоженні матеріалів погіршуються його властивості – зменшується міцність, збільшується теплопровідність, насипна густина. Пористі матеріали потрібно оберегати від зволоження.

4) Вологовіддача – здатність матеріалу втрачати воду, яка знаходиться в його порах. Ця здатність характеризується інтенсивністю втрати вологи за добу при відносній вологості навколишнього повітря 60% і температурі 20°C (293 °К).

Вологовіддачу важливо враховувати при сушінні стін будинків та догляді за твердіючим бетоном. В першому випадку бажана швидка вологовіддача, у другому – повільна.

5) Змочуваність водою, чи гідрофільність матеріалу характеризується ступенем розтікання краплі води на його поверхні. Кількісно вона визначається крайовим кутом, утвореним дотичною до поверхні краплі з поверхнею твердого тіла, чи його косинусом. Для гідрофільних матеріалів крайовий кут гострий. Добре змочуються водою матеріали з речовин з вираженим полярним зв'язком молекул – природні і штучні кам'яні матеріали, скло й ін. Надати матеріалам водовідштовхувальні властивості можна гідрофобізацією, тобто створенням на їхній поверхні адсорбційного шару поверхнево–активних речовин (ПАР). Таким способом одержують гідрофобний цемент, гідрофобні покриття на ряді матеріалів. Молекули ПАР при гідрофобізації, адсорбуючись на поверхні, орієнтуються таким чином, що їхні полярні групи звернені до поверхні матеріалу, а вуглеводневі ланцюги – у повітря.

Для капілярно–пористих матеріалів характерна здатність зволожуватися за рахунок підйому і переміщення води під дією капілярного тиску (капілярне всмоктування). З нею зв'язаний підйом води в матеріалах, прямо пропорційний косинусу крайового кута змочування, тобто ступеню гідрофільності, і протилежно пропорційний радіусу капілярів. Капілярне всмоктування мінералізованих вод може супроводжуватися відкладенням у порах солей (сольова корозія). Капілярне всмоктування використовується для просочення пористих матеріалів, наприклад, просочення бітумом залізобетонних конструкцій.

6) Морозостійкість – властивість матеріалу в насиченому водою стані витримувати багаторазове заморожування та відтавання без ознак руйнування.

Морозостійкість обумовлена опором матеріалів високому тиску, що виникає в їхніх порах при заморожуванні води. Кристалізація льоду супроводжується збільшенням об'єму приблизно на 8 % і розвитком тиску до 200 МПа. При чергуванні циклів заморожування і відтавання в матеріалах накопичуються залишкові деформації, що приводять до руйнування (рис.1.1). Розходження коефіцієнтів термічного розширення компонентів, що входять у матеріали, також приводить до напруженого стану. Показником морозостійкості є число циклів (для деяких матеріалів – мінусова температура),

що витримують зразки при припустимому ступені руйнування. Для більшості будівельних матеріалів після випробувань їх на морозостійкість зниження міцності допускається не більш 25%, а втрати маси – 5%. Морозостійкість залежить від складу, пористості і структури порового простору; вона знижується зі зменшенням водостійкості і ростом водопоглинання матеріалів.

Для зниження тиску льоду ефективно утворення в матеріалі замкнутих повітряних пор, що виконують роль амортизаторів.

Випробування матеріалів на морозостійкість здійснюють у морозильних камерах звичайно при $-15...-18$ °С, коли в більшості капілярів вода переходить у лід. Подальше зниження температури веде до істотного зменшення морозостійкості, що пояснюється залученням у процес руйнування усе більш тонких капілярів (рис. 1.1). Щодо морозостійкості (**F**) матеріали поділяють на марки: **15, 25, 35, 50, 100, 200**.

Марка морозостійкості цегли 25 означає, що зразки, відібрані з партії цегли, витримують не менше 25 циклів „заморожування – відтаювання” без помітних ушкоджень.

При роботі пористого матеріалу в умовах визначеного тиску води спостерігається її фільтрація. В залежності від структури порового простору можливі в'язкісний, капілярний чи дифузійний переноси води.

При в'язкісному переносі вода переміщається тільки у вигляді рідини, при капілярному вона може переноситися й у вигляді пари, а при дифузійному – у вигляді окремих молекул. Здатність матеріалів не пропускати воду під тиском називають *водонепроникністю*. Практично водонепроникними вважаються матеріали, відносна густина яких, тобто відношення середньої густини до абсолютної, наближається до одиниці (метали, скло, полімери). Високу водонепроникність мають матеріали із замкненими порами, а також ті, що мають в основному пори у вигляді мікрокапілярів (кераміка, тонкодисперсні глини й ін.). Порівняно низька водонепроникність характерна для матеріалів зі сполученими капілярами.

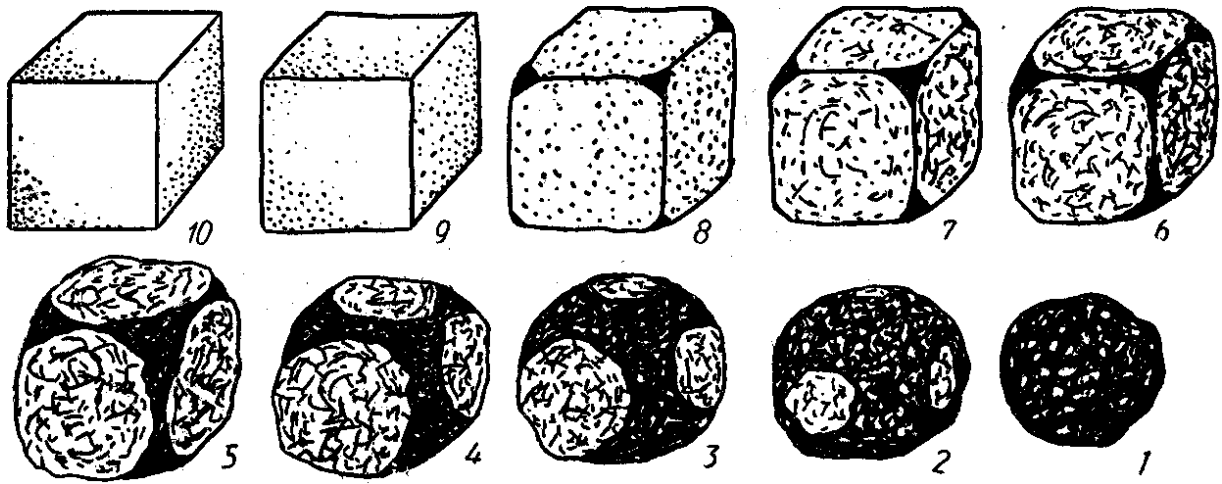


Рис. 1.1. Стан зразків матеріалу при випробуванні на морозостійкість (по десятибальній шкалі С. В. Шестоперова).

Водонепроникність матеріалів вимірюється трьома методами: тиском води, що витримує зразок протягом заданого часу без появи ознак фільтрації; часом, необхідним для проходження заданого об'єму води при постійному тиску; кількістю води, яка просочилася протягом заданого часу при встановленому тиску. Найбільш розповсюдженим є перший метод. Він застосовується для оцінки водонепроникності бетону, рулонних гідроізоляційних матеріалів, асфальтових мастик і т.д.

1.7. Теплофізичні властивості матеріалів

У цю групу входять властивості матеріалів, що характеризують їхнє відношення до зміни температури.

1) **Теплопровідність** – здатність матеріалу пропускати тепло крізь свою товщу від однієї стінки до іншої у разі, якщо їх температура різна. Теплопровідність характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ , що показує яку кількість тепла у джоулях здатний пропускати матеріал через 1 м^2 поверхні при товщині 1 м та різниці температур на поверхнях 1°К протягом 1 с .

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F\tau\Delta t}, \quad (1.8)$$

де δ – товщина матеріалу, м., Q – загальна кількість тепла, що проходить через стінку, Дж., τ – час теплопередачі, с., Δt – різниця температур гарячої та холодної стінок, $^\circ\text{К}$, F – площа теплопередачі, м^2 .

Теплопровідність залежить від хімічного складу речовини та її молекулярної будови, але у всіх випадках вища ніж у повітря.

Граніт $\lambda = 3 \text{ Вт/м}\cdot\text{°К}$

Повітря $\lambda = 0.024 \text{ Вт/м}\cdot\text{°К}$;

Кварц $\lambda = 5.5 \text{ Вт/м}\cdot\text{°К}$.

Найбільше на теплопровідність впливає пористість. Чим більша пористість, тим менша теплопровідність. Найкраще це ілюструє пінопласт: $\Pi = 95 - 98 \% \Rightarrow \lambda = 0.03 \text{ Вт/м}\cdot\text{°К}$. Теплопровідність матеріалів залежить також від температури, тому при розрахунках вогнестійкості будівельних конструкцій враховують зміну коефіцієнту теплопровідності при наростанні температури. З теплопровідністю тісно пов'язана така важлива характеристика матеріалів, застосовуваних для зовнішніх огорожувальних конструкцій, як термічний опір R_δ , або опір теплопередачі, що є величиною оберненою до λ :

$$R_\delta = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1.9)$$

2) **Теплоємність** – здатність матеріалу вбирати тепло під час нагрівання. Показник – питома теплоємність, яка дорівнює кількості тепла, необхідного для нагрівання одиниці маси матеріалу на 1°К .

Питома теплоємність залежить від походження й особливостей структури матеріалів, їхньої вологості і температури. Так, для природних і штучних кам'яних матеріалів $c = 0,754 \dots 0,921$, для скла $c = 0,335 \dots 1,047$, для лісових матеріалів $c = 2,394 \dots 2,73 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°К)}$. Теплоємність, як і теплопровідність, не є фізичною константою матеріалу. Вона змінюється в залежності від температури. Поряд з теплопровідністю теплоємність використовується при розрахунках вогнестійкості будівельних конструкцій

3) **Теплове розширення** – властивість матеріалу розширятися під час нагрівання та скорочуватися під час охолодження.

Ця властивість характеризується коефіцієнтом лінійного розширення, що показує на яку частку початкової довжини розширяється матеріал при підвищенні температури на 1°К .

$$\alpha_p = \frac{l_1 - l}{l(t_2 - t_1)}, \quad (1.10)$$

де l та l_1 – довжина зразка до і після розширення, t_2 , t_1 – кінцева та початкова температури нагрівання.

Коефіцієнт лінійного розширення пластмас у 5 – 10 більший ніж у бетону. Коефіцієнт лінійного розширення потрібно враховувати у конструкціях з різних матеріалів. В разі жорсткого з'єднання елементів з різними коефіцієнтами лінійного розширення у конструкціях можуть виникнути великі напруження, внаслідок чого вони розтріскуються. Так при зміні температури від 20 до 30⁰С, залізобетонна панель довжиною 6м збільшується на 3 мм.

1.8. Акустичні властивості матеріалів

Акустичні властивості – властивості, пов'язані з взаємодією матеріалу і звуку.

Звукопровідність – здатність матеріалу проводити звук через свою товщу. Залежить від маси матеріалу і будови. Низька звукопровідність у матеріалів, які мають пористу і волокнисту структуру.

Звукопоглинання та *звуківідбиття* матеріалу залежить від характеру його поверхні. Матеріали із гладкою поверхнею відбивають звук який падає на них (ефект дзеркала). Якщо матеріал має відкриту пористість, звук поглинається, а не відбивається.

1.9. Радіаційні властивості матеріалів

Радіоактивність будівельних матеріалів обумовлена природними довгоіснуючими радіонуклідами, переважно радієм–226, торієм–232 та калієм–40. Ці радіоактивні елементи присутні практично в усіх гірських породах, які використовуються як мінеральна сировина для виготовлення більшості неорганічних будівельних матеріалів.

Деякі усереднені дані про радіоактивність будівельних матеріалів України наведено у таблиці 1.1.

Активність визначають у Бк/кг (Бекерель на кілограм). Основною характеристикою будівельних матеріалів є ефективна сумарна питома

активність природних радіонуклідів (ПРН). Її величину (A_{ef}) визначають як виважену суму питомої активності радію-226 (A_{Ra}), Торію-232 (A_{Th}) і Калію-40 (A_K) за формулою:

$$A_{ef} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K, \quad (1.11)$$

де 1,31 і 0,085 відповідно коефіцієнти вагомості.

За величиною сумарної питомої радіоактивності будівельні матеріали поділяють на класи, за якими визначають можливі області їх використання (табл. 1.2).

Таблиця 1.1

Радіоактивність деяких будівельних матеріалів України

Матеріал	Питома активність радіонуклідів, Бк/кг			
	Радій-226	Торій-232	Калій-40	A_{ef}
Глина	41,0	78,0	574,0	204,0
Пісок	12,0	33,0	165,0	68,0
Щебінь	36,6	79,3	971,0	223,0
Гранітний відсів	43,0	118,2	1171,0	297,3
Вапно	58,0	44,0	139,0	127,0
Гіпс	38,0	8,0	194,0	65,0
Бетон	25,0	36,0	380,0	106,0
Цегла	44,0	51,0	704,0	171,0
Плитка керамічна	89,0	102,0	680,0	280,0
Гравій керамзитовий	37,0	28,0	658,0	130,0

Класифікація будівельних матеріалів за величиною A_{ef}

Клас	A_{ef} , Бк/кг	Галузі використання
I	Не більше 370	Для всіх видів будівництва без обмежень
II	370...740	Для об'єктів дорожнього та промислового будівництва
III	740.. .1350	Для об'єктів промислового призначення, де виключається перебування людей; для об'єктів дорожнього призначення поза населеними пунктами; для об'єктів дорожнього призначення в межах населених пунктів за умовою покриття шаром ґрунту або іншого матеріалу завтовшки не менше 0,5м.

Якщо будівельні матеріали мають > 1350 Бк/кг, тоді питання про можливі сфери використання їх у будівництві вирішується в кожному випадку окремо з дозволу Міністерства охорони здоров'я України.

Вибіркові дослідження показали, що середня ефективна питома радіоактивність будівельних матеріалів України становить 105,1 Бк/кг, що дещо більше, ніж для будівельних матеріалів колишнього СРСР (93,5 Бк/кг). Територія України розташована на кристалічному щиті з наявністю великих родовищ гірських порід, що містять природні радіонукліди (граніту, лабрадориту, габро, мармуру, вапняку тощо), із яких виготовляють різні будівельні матеріали.

До об'єктів рекомендованого радіаційного контролю відносять будівельні вироби і конструкції, оздоблювальні матеріали і вироби.

Підприємства, які видобувають сировину або виготовляють будівельні матеріали, що підлягають обов'язковому радіаційному контролю, повинні на кожну партію поставки своєї продукції видавати паспорт радіаційної якості з визначеним класом за величиною A_{ef} .

Радіаційна стійкість – властивість матеріалу протистояти дії радіоактивного випромінювання, яке змінює його структуру і властивості. Споруди атомної енергетики, деякі науково–дослідні, лікувально–профілактичні установи необхідно захищати від радіоактивного випромінювання, в першу

чергу від потоку нейтронів та γ – променів, небезпечних для живих істот. Ступінь захисту залежить від виду випромінювання, природи захисного матеріалу, товщини огорожувальної конструкції.

Для захисту від нейтронного випромінювання застосовують матеріали, що містять велику кількість хімічно зв'язаної води (наприклад, гідратні бетони), а від γ -випромінювання – матеріали з великою середньою густиною (особливо важкі бетони, свинець, барит). Для порівняння радіаційно-захисних властивостей різних матеріалів введено термін „товщина шару подвійного послаблення”, під яким розуміють товщину шару захисного матеріалу, що забезпечує послаблення радіоактивного випромінювання удвічі порівняно з початковим.

1.10. Хімічні властивості матеріалів

Хімічні властивості характеризують здатність матеріалу до хімічних перетворень при взаємодії з речовинами, що контактують з ним. До них належать: розчинність, кислотостійкість, лугостійкість, токсичність та інші.

Кислотостійкість – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії розчинів кислот або їхніх сумішей у межах, встановлених нормативними документами. Вона оцінюється за втратою маси дослідних зразків, витриманих у розчині кислоти певної концентрації.

Час витримування, концентрація кислот та інші параметри випробування регламентуються відповідними нормативними документами. Наприклад, кислотостійкість каналізаційних керамічних труб становить не менше 92% (тобто втрати за масою – до 8%), а шлакоситалів – до 99%.

Лугостійкість – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії лугів у межах, встановлених нормативними документами. Методика визначення лугостійкості така сама, як і кислотостійкості. Якщо в складі матеріалу переважають основні оксиди, то він зазвичай є лугостійким, але вступає у взаємодію з кислотами і може руйнуватися. Якщо будівельний матеріал має значний вміст діоксиду силіцію (кремнезему), то він є кислотостійким, але реагує з основними оксидами.

Токсичність – це здатність матеріалу в процесі виготовлення й особливо експлуатації за певних умов виділяти шкідливі для здоров'я людини (отруйні) речовини. Деякі будівельні матеріали, наприклад, не дозволяється використовувати у житлових приміщеннях, дитячих закладах, тощо. Зокрема, це стосується матеріалів, виготовлених на основі синтетичних смол (полімерів), а також пігментів, які містять сполуки свинцю, міді, миш'яку, цинку.

Розчинність – здатність матеріалу розчинюватись у воді, олії, бензині, скипидарі та інших речовинах–розчинниках. Розчинність може відігравати і позитивну, і негативну роль. Наприклад, якщо облицювальний синтетичний матеріал у процесі експлуатації руйнується під дією розчинника, розчинність є шкідливою.

Хімічна активність – залежить від ступеню подрібнення матеріалу, оскільки хімічні процеси протікають на його поверхні. Характеристикою ступеня подрібнення є питома площа поверхні (сумарна площа поверхонь всіх часток одиниці маси речовини ($\text{см}^2/\text{г}$)). Для цементу питома площа поверхні 2000 – 2500 $\text{см}^2/\text{г}$, для дрібно молотого цементу 3000 – 4000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Корозія – самовільне руйнування твердих тіл, викликане хімічними процесами, які відбуваються в них під час взаємодії із зовнішнім середовищем. Корозія руйнує не тільки металеві, але й кам'яні матеріали, бетон, деякі пластмаси. Основними агресивними речовинами, які викликають корозію є: прісна і солоня вода, ґрунтові води, розчинні в дощовій воді гази (SO_2 , SO_3 , NO_2) від промислових підприємств і автомашин. На промислових підприємствах корозію будівельних матеріалів викликають кислоти, луги, гарячі гази, розплавленні матеріали.

Корозія будівельних матеріалів небезпечна не стільки хімічними змінами в матеріалі, скільки пов'язаними з ними змінами фізико–механічних характеристик конструкцій, виготовлених з цих матеріалів.

Особливим видом корозії є **біокорозія** – руйнування матеріалу під дією живих організмів (грибів, мікробів, комах).

Біокорозія – це не тільки гниття органічних матеріалів (деревини, бітуму), але й руйнування природного каменю, бетону і металу продуктами життєдіяльності мікроорганізмів.

1.11. Механічні властивості матеріалів

Механічні властивості характеризують поведінку матеріалу під дією механічних навантажень.

До механічних властивостей належать:

Міцність – це здатність матеріалу сприймати навантаження, які викликають в ньому внутрішні напруження, не руйнуючись. Міцність характеризується межею міцності – найбільшим напруженням (σ_e), яке може витримати даний матеріал. Це напруження відповідає найбільшому навантаженню у момент руйнування (до зруйнування) F_e . Залежно від характеру навантаження і виду напружень, що виникають в матеріалі, розрізняють міцність при: стисканні, розтягуванні, згині, зрізі та ударі. Міцність визначають на зразках матеріалу необхідної форми і розміру, які встановлює стандарт. Міцність при стисканні, розтягуванні і згині одного і того самого матеріалу може сильно відрізнятись. Так, міцність кам'яних матеріалів при стисканні у 5–10 разів вища ніж при згині або розтягуванні. Міцність деревини при згині вища ніж при стисканні.

В межах малих деформацій для більшості матеріалів справедливий закон Гука, який встановлює зв'язок напруження та деформації:

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (1.12)$$

де $\varepsilon = \Delta L/L$, ΔL – абсолютне видовження, L – початкова довжина, E – коефіцієнт пропорційності або модуль Юнга (модуль пружності Н/м²).

Жорсткість – властивість матеріалу чинити опір прагненню зовнішніх сил до пружного деформування матеріалу. Жорсткість матеріалів оцінюють за величиною модуля Юнга (табл. 1.3.).

Значення модуля Юнга деяких матеріалів

Матеріал	E , МПа
Алмаз	$12,9 \cdot 10^5$
Вольфрам	$4,0 \cdot 10^5$
Свинець	$0,17 \cdot 10^5$
Деревина (вздовж волокон)	$1,11 \cdot 10^5$
Деревина (поперек волокон)	$0,007 \cdot 10^5$
Залізо, сталі	$2 \cdot 10^5$
Алюмінієві сплави	$0,7 \cdot 10^5$
Гуми	$8 \cdot 10^0$

Втомна міцність – це здатність чинити опір втомному руйнуванню (під дією динамічних навантажень).

Пружність – це здатність матеріалів повністю відновлювати свою форму і розміри після усунення навантаження. **Деформації** які зникають після зняття навантаження, називають **пружними**. **Деформації** які залишаються після зняття навантаження, називають **пластичними** (залишковими).

Границя пружності – це те найбільше напруження ($\sigma_{пр}$), при якому залишкові деформації мають найменше (допустиме за нормами) значення, тобто матеріал практично зазнає зворотних пружних деформацій.

Пластичність – це властивість матеріалу змінювати без руйнування форму та розміри під впливом навантаження або внутрішніх напружень, стійко зберігаючи утворену форму і розміри після припинення цього впливу. Такі пластичні (залишкові) деформації називають незворотними. Пластичність деяких будівельних матеріалів змінюється під дією температури: при нагріванні – підвищується, при охолодженні – знижується. До таких матеріалів належать бітуми, деякі сорти сталі й ряд полімерних матеріалів.

В'язкість – здатність матеріалу накопичувати (поглинати) енергію деформування. Залежить від міцності і пластичності.

Ударна в'язкість це відношення роботи A (Дж), затраченої на руйнування, до площі перерізу S (m^2) в місці руйнування

$$a_n = \frac{A}{S}, \text{ [Дж/м}^2\text{]} \quad (1.13)$$

Для сталей $a_H=0,2-2,2$ Дж/м²;

для заліза $a_H=3,0$ Дж/м²;

для сірих чавунів $a_H=0,01 - 0,04$ Дж/м².

Характеристики міцності, пружності і жорсткості визначають експериментально.

Твердість – властивість матеріалу чинити опір проникненню в них інших тіл – інденторів. Індентор–кулька, конус або пірамідка – виготовляється із загартованої сталі, алмазу або твердого сплаву.

За методом Бринеля в матеріал втискується **сталева кулька**, за діаметром відбитка визначається число твердості **HB**.

За методом Роквелла – втискується **алмазний конус**, твердість визначається за глибиною проникнення конуса в тіло (**HRA, HRB, HRC**).

За методом Віккерса втискується чотиригранна алмазна пірамідка, за діагоналлю відбитка визначається твердість **HV**.

Між твердістю та міцністю існує залежність

$$\sigma_s = 0.25 \dots 0,55 \text{ HB} , \quad (1.14)$$

для сталі $\sigma_s = 0,36 \text{ HB}$.

Ілюстраційні дані по твердості окремих матеріалів наведено в табл. 1.4

Таблиця 1.4

Твердість окремих будівельних матеріалів

Матеріал	Твердість за Бринелем
Сталь	1500–3000
Загартована сталь	6000–7000
Свинець	30–80

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню, або протистояти силам тертя від предметів, що рухаються. Зношування буває абразивне, корозійно–механічне, ерозійне.

Зносостійкість зростає з підвищенням твердості. Усі технологічні методи, що збільшують твердість (гартування, термохімічна обробка), збільшують зносостійкість. Показник зносостійкості матеріалу визначають за формулою:

$$Z = \frac{m - m_1}{S} , \quad (1.15)$$

де m – маса зразка до початку досліджень; m_1 – маса зразка після проведення дослідів; S – площа стирання зразка

Дуже важливим для будівельного матеріалознавства є **поняття про умови міцності**. Руйнування будь-яких конструкцій призводить до втрати матеріальних цінностей, каліцтва або загибелі людей. Щоб уникнути цього, розрахунки на міцність необхідно робити, дотримуючись умови міцності: найбільші напруження σ_{\max} , що можуть виникнути в конструкції, мають бути меншими не лише від границі міцності σ_v , а й від границі текучості σ_m і навіть границі пружності $\sigma_{пр}$.

Умова міцності записується

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (1.16)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження ($[\sigma] = \sigma_v/n_\delta$); n_δ – запас міцності.

Запас міцності завжди $n_\delta > 1$. Звичайно $n_\delta = 2,4 \dots 3,0$ і більше, залежно від відповідальності конструкції.

Для пластичних матеріалів запас міцності беруть відносно до межі текучості σ_m .

$$[\sigma] = \sigma_m/n_m, \quad (1.17)$$

$$n_m = 1,4 \dots 1,6$$

Крім умови міцності (1.16) має виконуватись умова жорсткості (щоб уникнути великих деформацій)

$$\varepsilon_{\max} \leq [\varepsilon], \quad (1.18)$$

$$\varepsilon_{\max} = \sigma_{\max}/E$$

Висновок: умови міцності (1.16, 1.17) і жорсткості (1.18), а також характеристики σ_v , σ_m , E , являються основними в розрахунках на міцність.

Питання для самоконтролю

1. Застосування БМ у будівельних конструкціях.
2. Класифікація будівельних матеріалів.
3. Основні показники пожежної небезпеки будівельних матеріалів і методи їх визначення.

4. Вогнестійкість будівельних конструкцій. Показники та методи визначення.
5. Основні фізичні властивості будівельних матеріалів.
6. Основні механічні властивості будівельних матеріалів.
7. Що таке твердість і якими методами вона визначається?
8. Які властивості будівельних матеріалів відносять до гідрофізичних?
9. Які властивості будівельних матеріалів відносять до хімічних?
10. Чим обумовлена радіоактивність будівельних матеріалів?
11. Як визначається та характеризується радіоактивність будівельних матеріалів?
12. Що таке радіаційна стійкість матеріалів?
13. Поняття про умови міцності та жорсткості.
14. Акустичні властивості будівельних матеріалів.
15. Теплофізичні властивості будівельних матеріалів. В яких розрахунках враховуються теплоємність та теплопровідність будівельних матеріалів.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Необхідно замінити теплоізоляцію із пінобетонних виробів із середньою густиною $\rho_0=500 \text{ кг/м}^3$ і товщиною $\delta=100 \text{ мм}$ на теплоізоляцію із мінеральної вати (в набивку під сітку) марки 100. Температура поверхні, що ізолюється $t_1=300^\circ\text{C}$, а поверхні ізоляції $t_2=25^\circ\text{C}$. Визначити товщину теплоізоляційного шару із мінеральної вати.
2. Яку масу має зразок матеріалу неправильної форми середньої густини 2400 кг/м^3 , якщо його маса у воді зменшується на $45,5 \text{ г}$? На парафінування зразка використовується $1,5 \text{ г}$ парафіну густиною $0,93 \text{ г/см}^3$.
3. Визначити об'єм щебеню, що прибув в залізничному напіввагоні вантажопідйомністю 60 т , якщо насипна густина щебеню 1420 кг/м^3 .
4. Розрахувати середню густину в сухому і у вологому стані керамзитобетонної зовнішньої стінової панелі розміром $3,6 \times 2,9 \times 0,4 \text{ м}$ масою $4,5 \text{ т}$ при вологості 13% .

5. До цегельного стовпа перерізом 51×51 см прикладене вертикальне навантаження в 400 кН. Марка цегли 150 (середня межа міцності при стиску не менше 15 МПа), а гранично допустиме розрахункове навантаження на кожний квадратний сантиметр перерізу стовпа не повинен перевищувати 10% міцності цегли. Чи витримає цегляний стовп навантаження, знаходячись у воді, якщо коефіцієнт розм'якшення цегли 0,81?

ПРИРОДНІ БУДІВЕЛЬНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

1. Визначення і класифікація природних кам'яних матеріалів.
2. Основні особливості використання та добування природних кам'яних матеріалів і виробів.
3. Властивості природних кам'яних матеріалів.
4. Характеристики деяких природних кам'яних матеріалів.
5. Вплив високих температур на природні кам'яні матеріали.

2.1. Визначення і класифікація природних кам'яних матеріалів

Природні кам'яні матеріали широко використовуються в будівництві і слугують основною сировиною для отримання мінеральних в'язучих речовин і штучних кам'яних матеріалів.

Природними кам'яними матеріалами називають будівельні матеріали, які отримують з гірських порід з використанням лише механічної обробки (подрібнення, розпилювання, шліфування, поліровки і т. і.). В результаті такої обробки природні кам'яні матеріали зберігають фізико–механічні властивості гірської породи, з якої їх було отримано.

Гірські породи – природні агрегати мінералів більш–менш постійного складу, що утворюють самостійні геологічні тіла, що складають земну кору. *Мінерал* – природне тіло, приблизно однорідне за хімічним складом та фізичним властивостям, що утворилося в результаті різних фізико–хімічних процесів у земній корі. Кожен мінерал характеризується визначеними хімічним складом та фізико–хімічними властивостями.

Мономінеральні – гірські породи з одного мінералу.

Полімінеральні – породи із декількох мінералів.

Всі гірські породи в залежності від умов їх утворення поділяють на три основні групи, які в свою чергу поділяються на підгрупи.

1. *Вивержені (магматичні):*

1.1 масивні (граніт, лабрадорит, базальт, габро);

1.2 уламкові (вулканічна пемза, попіл, туф);

2. **Осадіві:**

2.1 механічні відкладення (пісок, гравій, піщаник);

2.2 хімічні осади (доломіт, магнезит, гіпс, вапняк, вапняний туф, мергель);

2.3 органогенні відкладення (вапняк – ракушняк, крейда)

3. **Метаморфічні:**

3.1 змінені вивержені (кварцит, мармур);

3.2 змінені осадові (глинисті сланці, гнейси).

Вивержені породи утворилися в результаті тривалого помірного застигання магми у земній корі. Мають повнокристалічну структуру та пористість близьку до 0. **Осадіві породи** утворилися на поверхні суші, на дні морів та річок за рахунок накопичення продуктів руйнування раніш існуючих порід і залишків організмів. **Метаморфічні породи** утворилися в результаті метаморфізму (перекристалізації під дією високих температур і тиску) осадових та магматичних порід.

2.2. **Основні особливості використання та добування природних кам'яних матеріалів і виробів**

Видобування природного каміння залежно від його міцності здійснюється в кар'єрах за допомогою екскаваторів (слабкі осадові породи) або буро–вибуховим способом для розробки масивних, щільних, міцних магматичних та метаморфічних порід. Залежно від місця та глибини залягання добувають відкритим, підводним та підземним способом.

Каміння із кар'єрів залежно від його призначення піддають подальшій обробці: подрібненню, розпиленню, сколюванню, шліфуванню та поліруванню.

Застосовують гірські породи як **нерудні, конструкційні, оздоблювальні будівельні матеріали та матеріали спеціального призначення (кислотостійкі, теплоізоляційні, акустичні).**

Нерудні будівельні матеріали. До них відносять неорганічні зернисті сипучі матеріали, як **щебінь, гравій, піщано–гравійна суміш, пісок.**

Застосовують як заповнювачі для бетонів і розчинів, ущільнюючий шар на покриттях автошляхів, баластний шар залізничної колії, спорудження, дамб, насипів, засипок при облаштуванні територій.

Щебінь – куски каміння розміром 5–70 мм (для гідротехнічного будівництва до 150 мм). Видобувають буро–вибуховим способом та подальшим дробленням бутового каміння, в декілька стадій. Зустрічається і природний щебінь, який утворюється при вивітрюванні гірських порід.

Гравій – продукт природного руйнування та переміщення скельних гірських порід, складається із обкатаних зерен розмірами 5–150 мм. Отримують просіюванням рихлих осадових порід, за необхідністю промиваються для видалення шкідливих домішок (глини, пилу). За походженням буває річний, озерний, морський.

Піщано-гравійна суміш складається із піску розміром до 5 мм та гравію (25...60%). Основну кількість видобувають із русел річок, застосовують для виготовлення цементних та асфальтових бетонів, при будівництві доріг.

Пісок складається із зерен різних мінералів (кварцу, польового шпату, слюди) з розмірами 0,14–5 мм. Застосовують природні та штучні дроблені піски. Залежно від призначення до піску ставляться вимоги щодо розмірів та хімічного складу. Застосовують на підприємствах з виробництва скла, будівельної кераміки, бетонів і розчинів, покрівельних та гідроізоляційних матеріалів.

Конструкційні матеріали. До них відносяться бутове каміння, каміння і блоки стінові, вироби для будівництва шляхів. **Бутове каміння** – куски каміння неправильної форми, розміром не більше 50 см. Може бути рваний та правильної форми. Розробку порід здійснюють вибуховим способом або відокремлюють екскаватором та розвалюють камнекольным інструментом. Належить до осадових (вапняки, доломіти, піщаники) та вивержених порід. Залежно від призначення до буту ставляться вимоги щодо міцності (не нижче 10 МПа), морозостійкості та водостійкості (коэф. розм'якшення не нижче 0,75). Із буту роблять греблі, дамби, інші гідротехнічні споруди (вага до декількох тонн), застосовують для підпірних стін, фундаментів, стін неопалюваних будівель (вага до 20 кг). Велика його кількість подрібнюється на щебінь. **Стінове**

каміння із гірських порід отримують методом розпилювання; застосовують для кладки зовнішніх стін і перегородок. Крупні блоки випилюють із масиву гірських порід у кар'єрах; нарізають із вже добутих блоків-заготовок; виготовляють методом кладки мілкового стінового каміння на будівельному розчині. Застосовують вапняк, туф, доломіт, піщаник густина 900...2200 кг/м³ та марки за міцністю не менше 25кгс/см².

Для будівництва шляхів застосовують **бортове каміння** пиляне або колоте – відділяє проїжджу частину вулиць від тротуарів. Колоті та тесані бруски **брущатки** застосовують для влаштування мостових, колоте **булижне каміння** застосовується для укріплення відкосів. Дані вироби повинні мати достатню міцність та морозостійкість. Отримують із щільних вивержених та осадових гірських порід (габро, вапняк).

Оздоблювальні пиляні матеріали у вигляді шліфованих та полірованих плит із граніту, лабрадориту, мармуру застосовують для внутрішнього і зовнішнього облицювання стін, покриття підлог, виготовлення сходів. Середній вихід при добуванні – 20 %, решта – некондиційні блоки і плити (застосовують при виготовленні штучних облицювальних матеріалів методом склеювання синтетичними смолами (епоксидною, поліефірною) або пресуванням із застосуванням цементу). Відходи мілкої фракції – для виконання монолітних мозаїчних підлог та виготовлення декоративних штукатурних розчинів.

Природні кам'яні матеріали, що застосовують при будівництві доріг, зведенні зовнішніх стін, облицюванні фасадів – піддаються руйнуванню під дією води, морозу, кислих оксидів з атмосфери промислових міст. Застосовують наступні способи захисту:

- конструктивний захист – надання відкритій частині будівлі (карнизу, парапету) укладистої форми, що забезпечить злив води;
- підвищення щільності і гладкості поверхневого шару виробу – шліфуванням, поліруванням;

- просочування поверхні виробу спеціальними ущільнювальними складами (флюатами), що затрудняють проникання води у пори матеріалу;
- нанесення на лицьову поверхню виробу гідрофобізуючих складів – надають матеріалу водовідштовхуючих властивостей;
- захист поверхні матеріалів плівкоутворюючими полімерними складами (прозорими або фарбованими).

Матеріали спеціального призначення. Це кислототривкі, теплоізоляційні та акустичні матеріали. Магматичні гірські породи (базальт, андезит, діабаз), метаморфічні (кварцит), мають високу кислотостійкість. З них виготовляють тесані плити, цеглу, бруски, фасонні вироби (для футерівки пром. установок); та захисту будівельних конструкцій, що працюють в умовах дії кислого середовища. Теплоізоляційні та акустичні вироби в основному отримують на основі мінеральної вати. **Мінеральна вата** – механічна суміш штучно отриманих коротких волокон. Внаслідок хаотичного розташування волокна утворюють високопористу структуру, яка забезпечує теплопровідність, звукоізоляцію та звукопоглинання. Мінеральна вата не горить, не гниє, малогіроскопічна, водостійка та термостійка. Вироби на її основі застосовують для теплоізоляції холодних та гарячих (до 400°C) поверхонь.

Мінеральні теплоізоляційні матеріали також отримують спучуванням природної сировини – перліту та вермикуліту. **Перліт** – гірська порода, що складається із вулканічного природного склосплаву, містить до 5% кристалізованої води. При швидкому нагріванні дробленого матеріалу до $T = 900...1200$ °C вода переходить у пару і спучує розм'якшену породу (збільшує в об'ємі до 10 разів), утворюючи сферичні зерна з пористістю до 90%, насипною густиною 75...500 кг/м³ та теплопровідністю 0,046...0,08 Вт/(м·К). Спучений **вермикуліт** отримують аналогічно – шляхом подрібнення та короткочасного (3–5 хв.) обпалювання у звішеному стані у шахтних печах природного вермикуліту, який складається із гідролуд, що містять кристалізаційну воду. Різке

випаровування води призводить до збільшення початкового об'єму у 15-20 разів.

2.3. Властивості природних кам'яних матеріалів

Природні кам'яні матеріали оцінюють за якістю і поділяють на марки за такими фізико-механічними властивостями:

- густина;
- межа міцності на стискання;
- морозостійкість;
- водостійкість.

За густиною в сухому стані кам'яні матеріали поділяють на:

- важкі (більше 1800 кг/м^3);
- легкі (менше 1800 кг/м^3).

За межею міцності при стисканні (кгс/см^2) встановлені наступні марки:

- для важких кам'яних матеріалів 100 – 1000 (відповідно 10 – 100 МПа);
- для легких кам'яних матеріалів 4 – 200 (відповідно 0,4 – 20 МПа).

За ступенем морозостійкості матеріали поділяють на марки F10 – 500.

За ступенем водостійкості (коефіцієнт розм'якшення) матеріали розділяють на: 0,6 ; 0, 75; 0,9; 1.

До кам'яних матеріалів, призначених для шляхових покриттів, підлог промислових будівель ставляться додаткові вимоги такі як висока стійкість до стирання, зношення і т. і.

Для природного каміння з якого виготовляють плити для облицювання, велике значення мають зовнішній вигляд, колір, текстура.

Вибирають гірські породи для кам'яних матеріалів і виробів на основі результатів випробування зразків, а також з урахуванням експлуатаційних вимог.

2.4. Характеристики деяких природних кам'яних матеріалів

Граніт – складається із кварцу, польового шпату (ортоклазу) і слюди. Колір – світло-сірий, сірий, рожевуватий, темно-червоний. Структура –

зернисто-кристалічна. Густина – 2700 кг/м³, пористість 0,5–1,5 %. Межа міцності на стискання 100–250 МПа. Має високу морозостійкість, низьке водопоглинання, високий опір вивітрюванню, добре обтесується, шліфується та полірується. Проте відрізняється крихкістю та невисокою вогнестійкістю.

Габро – найміцніша та найстійкіша гірська порода. Складається із польового шпату та темно кольорових мінералів (авгіту та олівіну). Колір темно-сірий, чорний, темно-зелений з відтінками, Густина 2800-3100 кг/м³, межа міцності на стискання 200-250 МПа. Має високу в'язкість та стійкість проти вивітрювання. Вироби із габро застосовують при будівництві шляхів.

Базальт – за хімічним складом аналог габро, має темно-сірий колір, приховано кристалічну структуру, високу густина (до 3300 кг/м³) та довговічність. Межа міцності на стискання досягає 400 МПа. Важко піддається обробці, але добре полірується. Застосовується у будівництві шляхів.

Вулканічний попіл – порошкоподібні частки вулканічної лави, що складаються в основному із аморфного кремнезему. Частки величиною до 5 мм – вулканічний пісок. Вулканічний попіл і пісок застосовують як активні домішки до цементу.

Вулканічний туф – пориста гірська порода. Складається із вулканічного попелу, ущільненого та зацементованого. Має різноманітний колір: рожевий, оранжевий, червоний, коричневий і т. і. Характеризується значною пористістю, малою густиною та теплопровідністю, добре обробляється. Застосовується для облицювання стін. Відходи добування та обробки використовують як заповнювачі легких бетонів.

Пісок – рихла суміш зерен різних порід величиною 0,14–5 мм. За складом може бути кварцовим, польовошпатовим, вапняковим, пемзовим, а за походженням – гірський схиловий, річковий, морський, дюнний. Використовується як заповнювач у розчинах і бетонах.

Гравій – суміш обкатаних уламків гірських порід розміром від 5 до 150 мм. Використовується як наповнювач для бетону.

Глинисті осадові породи – до них відносять тонко уламкові відкладення, що складаються із найдрібніших частинок каолініту, кварцу, слюди, польового

шпату та ін. Застосовують як сировину для керамічної та цементної промисловості.

Піщаники – щільна гірська порода. Складається із зерен кварцу, зцементованих різноманітними природними розчинами. В залежності від виду в'язучого розрізняють глинисті, вапнякові та кременисті. Колір жовтий, сірий та бурий. Найбільшу густину мають кременисті піщаники $2500\text{--}2600\text{ кг/м}^3$, межа міцності на стискання $150\text{--}250\text{ МПа}$. Має високу твердість та стійкість до витирання. Використовуються для виготовлення бутового каменя, плит для облаштування підлог промислових будівель та тротуарів, як заповнювач для бетонів.

Доломіт – щільна гірська порода. Складається із мінералів тієї ж назви. За зовнішнім виглядом та фізико-механічними властивостями схожий на щільний вапняк. Із нього виготовляють облицювальні плити, щебінь для бетону, вогнестійкі та в'язучі речовини.

Магнезит – складається в основному із мінералів тієї ж назви. Застосовують його для виробництва вогнестійких матеріалів та в'язучих речовин.

Гіпсовий камінь – щільна гірська порода. Складається із мінералів тієї ж назви. Є сировиною для виробництва будівельного гіпсу та гіпсових в'язучих.

Вапняк – широко розповсюджена гірська порода. Складається в основному із мінералу кальциту. Колір та багато властивостей залежать від присутності у ньому домішок (глини, кремнезему, оксидів заліза). Чистий – має білий колір, глинисті домішки дають йому жовтуватий відтінок. Буває щільним та пористим.

Вапняк – ракушняк – пориста гірська порода. Складається із раковин та уламків, зцементованих вапняковим в'язучим. Характеризується великою пористістю, низькою міцністю та малою теплопровідністю. Добре піддається розпилюванню. Має густину $800\text{--}1500\text{ кг/м}^3$, межа міцності на стискання $1\text{--}3\text{ МПа}$. Використовують у вигляді каміння і блоків правильної форми для укладення стін житлових будинків, а відходи – як заповнювач для легких бетонів.

Крейда – є слабоцементною гірською породою. Складається із мікроскопічних раковин. Білого кольору. Використовують як білий пігмент для приготування фарб, замазок, при виробництві вапна та портландцементу.

Гнейси – за мінеральним складом схожі з гранітами, із яких вони утворилися, але відрізняються від них сланцевуватою будовою. Фізико–механічні властивості схожі до граніту. Колір світлий або барвистий. В будівництві використовуються там, де й граніти.

Глинисті сланці – утворилися із глин в результаті сильного ущільнення та дії високих температур. Колір сірий або синьо–чорний. Не розмокають у воді, легко розколюються на пластинки товщиною 4–10 мм. Такі пластинки із щільного матеріалу – довговічний покрівельний матеріал (природний шифер).

Мармур – зернисто–кристалічна гірська порода, що утворилася в результаті перекристалізації вапняків та доломітів під впливом високих температур та тиску. Чистий – має білий колір, але в залежності від домішок його колір може бути рожевим, червоним, сірим і чорним. При нерівномірному розподілі домішок має барвистий колір із різноманітними візерунками, що надають каменю декоративність. Характеризується високою густиною – 2800 кг/м^3 та міцністю. Водопоглинання не перевищує 0,7%, межа міцності на стискання – 100–300 МПа. В зв'язку із невисокою твердістю порівняно легко розпилюється на тонкі плити, шліфується та полірується. Застосовують для внутрішнього облицювання стін, виготовлення сходів, підвіконь та ін. Із відходів виготовляють мозаїчні бетонні вироби. Не рекомендується застосовувати для зовнішнього облицювання споруд, тому що під впливом газів та вологи із повітря швидко втрачає свої декоративні якості.

Кварцит – метаморфічний різновид кременистих піщаників. Колір білий, червоний і темно–вишневий. Характеризується високою щільністю, крихкістю і твердістю, високою стійкістю до вивітрювання. Густина $2500\text{--}2700 \text{ кг/м}^3$, межа міцності на стискання досягає 400 МПа. Застосовують у вигляді тесаного каменя і плит для зовнішнього облицювання будівель і споруд, а також у вигляді щебня для бетону.

2.5. Вплив високих температур на природні кам'яні матеріали

Всі використовувані в будівництві природні кам'яні матеріали є негорючими, через що може скластися уявлення, що виконані з них будівельні конструкції будуть бездоганно поводитися в умовах пожежі. Проте це не так. Під впливом високих температур в кам'яних матеріалах відбуваються різні процеси, що призводять до зниження міцності і руйнування.

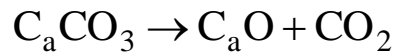
Оцінюючи поведінку окремих мінералів, що входять до складу гірських порід при дії на них високих температур, враховують не лише температуру розм'якшення чи плавлення, але й коефіцієнт теплового розширення (зміна об'єму з підвищенням температури). Мінерали, що мають низькі коефіцієнти теплового розширення та характеризуються монотонними кривими такого розширення, володіють позитивними якостями при нагріванні. Навпаки, нерівномірні температурні деформації мінералів та стрибкоподібні зміни їх об'ємів обумовлюють виникнення внутрішніх напружень, що призводить до несприятливої поведінки мінералів і гірських порід при дії на них високих температур: зменшується густина, з'являються тріщини, різко знижується міцність.

Найбільш типові риси поведінки природних кам'яних матеріалів в умовах високих температур розглянемо на прикладах двох широко застосовуваних в будівництві матеріалів.

Граніт. Одна з найпоширеніших в земній корі гірських порід, є полімінеральною. Вхідні в граніт мінерали мають різні коефіцієнти температурного розширення, що не може не призвести до виникнення при нагріванні внутрішніх напружень в камені і виникнення дефектів його внутрішньої структури. Мінерал кварц, що входить до складу гранітів, при температурі 575°C зазнає модифікаційного перетворення структури кристалічної ґратки, пов'язаного із стрибкоподібним збільшенням об'єму. Цей процес приводить до розтріскування моноліту і падіння міцності каменя.

Вапняк. На відміну від граніту є мономінеральною породою, що складається в основному з кальциту (CaCO_3). В порівнянні з полімінеральними породами та породами, що містять кварц, в діапазоні температур до 800°C ,

вапняк характеризується рівномірним і незначним температурним розширенням і зберігає свою міцність. При подальшому підвищенні температури відбувається термічна дисоціація мінералу із протіканням хімічної реакції:



При тривалому прогріванні цей процес буде перетікати з поверхні конструкції в її глибину. Слід зазначити, що утворений на поверхні конструкції шар CaO є пористим, володіє зниженою теплопровідністю і може, таким чином, виконувати функції свого роду термоізолюючого покриття, сповільнюючи прогрівання конструкції вглиб. При попаданні в цьому випадку на конструкцію води оксид кальцію, який є повітряним вапном, гаситься, переходить у гідратне вапно і обсіпається.

В умовах пожежі недопустимий полив водою будь-яких нагрітих кам'яних конструкцій, оскільки це завжди призводить до миттєвого їх руйнування якщо не з причини, описаної вище, то через великі температурні деформації, що виникають в результаті різкого охолодження.

Із всіх природних кам'яних матеріалів найбільші температурні деформації мають *піщаники, кварцити та інші мінерали, які складаються із кварцу*. Найменші температурні деформації мають *вапняки та базальти*. Відносно малими температурними деформаціями відзначаються *вулканічні пемзи, піски, туфи*.

Вважається, що гірські породи зберігають початкову міцність при нагріванні до таких температур:

- піщаник і серпентиніт – 500°C;
- граніт – 550–600°C;
- вапняк – 800°C.

Слід підкреслити, що всі кам'яні матеріали під впливом високих температур втрачають свої властивості незворотно, тому виконані з них конструкції (особливо несучі, хоча вони і не обрушилися) підлягають перевірці на міцність і подальшій заміні або підсиленні.

Більш стійкими при нагріванні є штучні кам'яні матеріали: цегла глиняна та вогнетривка (при їх виробництві застосовувались високі температури, тому дані матеріали володіють незначними температурними деформаціями за збереження початкової міцності).

Таким чином в бетонах та розчинах в умовах дії високих температур краще застосовувати штучні пористі заповнювачі – керамзит, шлакову пемзу, перліт, аглопорит, а з природних кам'яних матеріалів – пісок, пемзу, туф.

Для прогнозування поведінки будівельних конструкцій, виконаних з кам'яних матеріалів в умовах пожежі використовують і більш точні дані, які встановлюють механічні та теплотехнічні властивості у залежності від температури. Такі дані використовуються для розрахунку меж вогнестійкості з використанням математичного моделювання, що базується на рівняннях, що описують поля величин параметрів реакції елементів конструкцій на вогневу дію пожежі. Такими рівняннями є рівняння теплопровідності та рівняння напружено–деформованого стану елемента конструкції.

Питання для самоконтролю

1. Визначення і класифікація природних кам'яних матеріалів.
2. Поділ природних кам'яних матеріалів на марки в залежності від фізико–механічних властивостей.
3. Нерудні будівельні кам'яні матеріали. Представники, особливості добування та використання.
4. Конструкційні будівельні кам'яні матеріали. Представники, особливості добування та використання.
5. Оздоблювальні пиляні кам'яні матеріали. Представники, особливості добування та використання.
6. Кам'яні матеріали спеціального призначення. Представники, особливості добування та використання.
7. Способи захисту природних кам'яних матеріалів від агресивної дії води, морозу, кислотних оксидів з атмосфери промислових міст.
8. Навести короткі характеристики граніту, габро, базальту.

9. Навести короткі характеристики вулканічних туфу та попелу, піску, гравію.
10. Навести короткі характеристики вапняку, вапняку–ракушняку, крейди.
11. Навести короткі характеристики гнейсів, мармуру, кварцитів.
12. Дати основні характеристики впливу високих температур на природні кам'яні матеріали.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Кубічний зразок кам'яного матеріалу з розміром ребра $a=10$ см має у повітряно–сухому стані масу $m=2,2$ кг. Визначити орієнтовну теплопровідність і можливу назву матеріалу.
2. Використавши формулу В.П. Некрасова, визначити орієнтовну теплопровідність гірських порід: граніту із середньою густиною $\rho_o=2500$ кг/м³, піщаника – $\rho_o=1800$ кг/м³, вапняку–черепашнику – $\rho_o=1100$ кг/м³, туфу – $\rho_o=800$ кг/м³.
3. Визначити середню густину кам'яного зразка неправильної форми, якщо при його зважуванні на повітрі маса була $m_c=100$ г, а у воді $m_w=55$ г. До зважування у воді зразок парафінували. Маса парафінованого зразка $m_{п.з.}=101,1$ г. Густина парафіну $\rho_{п.}=0,93$ г/см³.
4. У повітряно–сухому стані межа міцності вапняку $R_c=9,5$ МПа, а коефіцієнт його розм'якшення $k_p=0,65$. Визначити міцність вапняку в насиченому водою стані.
5. Сухий зразок природного каменя масою 20 кг нагріли від 10°C до 50°C, витративши 461 кДж теплоти. Після охолодження камінь помістили у воду, маса каменя після насичення водою – 22 кг. Визначити граничну теплоємність каменя у насиченому водою стані.

РОЗДІЛ 3

МЕТАЛИ

1. Визначення, використання в будівництві і класифікація металів.
2. Основи технологій отримання чавуну та сталі.
3. Властивості і маркування металевих сплавів.
4. Вплив високих температур на властивості металів.
4. Вогнезахист металевих конструкцій.

3.1. Визначення, використання в будівництві і класифікація металів

Металами називають матеріали, які мають велику електро- і теплопровідність, непрозорі, здатні до значних пластичних деформацій. Металічний блиск і пластичність – це основні властивості, які притаманні всім металам. В твердому стані усі метали мають кристалічну будову. Розташування атомів у кристалічній речовині зображують у вигляді елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторення її відображає розташування атомів у об'ємі всієї речовини. Для металів існують три типи ґраток – ОЦК, ГЦК, ГЦУ (рис. 3.1).

Метали широко використовуються в будівництві:

- у вигляді сталевих прокату для зведення металевих каркасів промислових і громадських будівель;
- у залізобетоні – у вигляді арматури;
- для виробництва сталевих і чавунних труб;
- у вигляді покрівельної сталі;
- у вигляді легких будівельних конструкцій зі сплавів алюмінію.

Метали поділяють на дві основні групи:

1. Чорні – сплави заліза з вуглецем (C до 6,7 %):
 - сталь – залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю від 0 до 2,14 %;
 - чавун – залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю від 2,14 до 6,7 %.
2. Кольорові (Al, Cu, Ni, Ti, ...):

- легкі – отримують на основі алюмінію або магнію використовують для несучих і огорожуючих конструкцій.
- важкі – на основі міді, олова, цинку, свинцю (бронза, латунь) виготовляють архітектурні деталі, санітарно–технічну арматуру.

Найбільше розповсюдження в будівництві отримали сплави алюмінію.

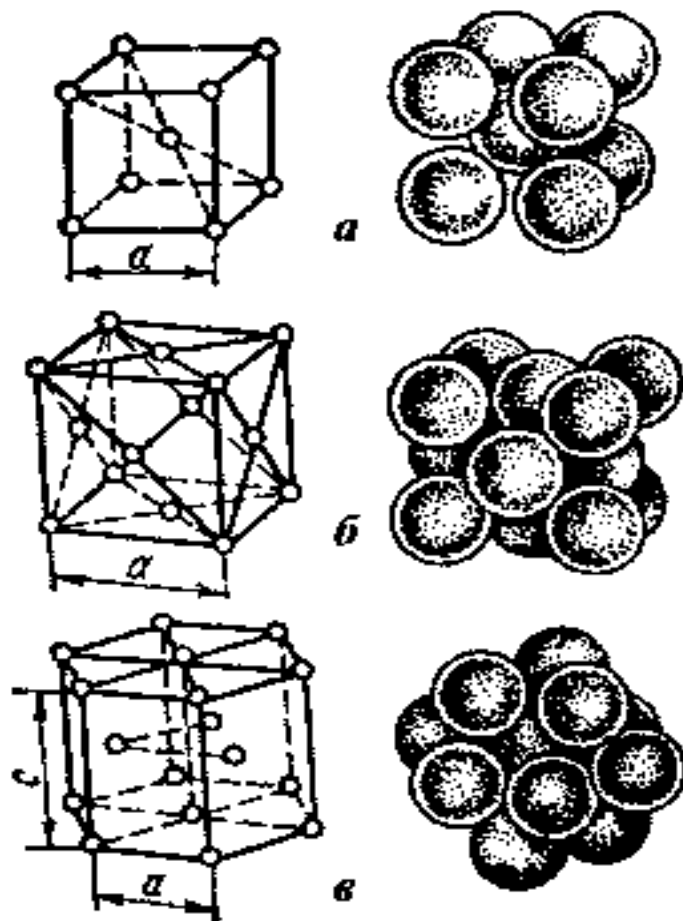


Рис. 3.1. Основні види елементарних комірок кристалічних ґраток металів: а – об’ємцентрична кубічна (ОЦК); б – гранецентрична кубічна (ГЦК); гексагональна щільноупакована (ГЦУ)

3.2. Основи технологій отримання чавуну та сталі

Виробництво чорних металів з залізної руди – складний технологічний процес, який умовно поділяється на дві стадії:

- виробництво чавуну;
- переробка чавуну в сталь.

Чавун виплавляють в доменних печах (шахта з вогнетривкої цегли) з:

- з попередньо збагаченої залізної руди (гірська порода з вмістом хімічних з'єднань заліза з киснем);
- палива;
- флюсу (вапняки, доломіти, піщаники, які використовують для зниження температури плавлення).

Сталь виробляють шляхом зменшення домішок (вуглецю, кремнію, марганцю, сірки, фосфору).

Способи виробництва сталі:

- конвертерний;
- мартенівський;
- електроплавильний (в електропечах).

Види термічної обробки:

- загартування – нагрівання сталі до 800–900⁰С і швидке охолодження її у воді або в маслі (підвищує міцність і твердість сталі);
- відпуск загартованої сталі – повільний прогрів до 200–350⁰С з охолодженням на повітрі (підвищує в'язкість)
- відпал – прогрів і повільне охолодження в печі (знімає внутрішні напруження).

3.3. Властивості і маркування металевих сплавів

3.3.1. Властивості і маркування чавунів

В залежності від складу домішок і швидкості охолодження отримують два види чавуну:

- **білий** – має високу твердість та крихкість і практично не обробляються ні різанням ні тиском. Через це даний чавун майже не використовують в будівництві, його переробляють на сталь та сірі чавуни.

- **сірий** – незважаючи на низькі механічні властивості має ряд позитивних якостей (висока корозійна стійкість, гарні антифрикційні та ливарні

властивості), що обумовлює його достатньо широке використання в будівництві.

Вироби з чавуну:

- санітарно-технічні вироби (радіатори для опалення, мийки, труби, вентилі);
- будівельні конструкції, які працюють на стиск (колони, арки, тубінги для метрополітену);
- пічні прибори;
- архітектурно–художні вироби.

Маркують чавуни літерами за якими вказують дві групи цифр. Першою позначено межу міцності на розтяг, другою – відносне видовження у процентах. Наприклад, ***СЧ 350 – 10*** – сірий чавун з межею міцності на розтяг 350 МПа та відносним видовженням 10 %.

3.3.2. Властивості і маркування сталей

Сталі для будівельних конструкцій поділяють на види і маркують умовними позначками, в яких відображають склад і призначення сталі, механічні і хімічні властивості, способи виготовлення і використання. Надійність і довговічність металевих конструкцій основному залежить від властивостей матеріалу (фізичних, механічних, хімічних).

Класифікація сталей:

1) За хімічним складом:

- а) вуглецеві (Fe + C і домішки P, S, Mn, Si);
- б) леговані (Fe + C + легуючі домішки).

2) За вмістом вуглецю вуглецеві сталі поділяють:

- а) низьковуглецеві (м'які, до 0.3% C);
- б) середньовуглецеві (середньої твердості, 0,3 – 0,6 % C);
- в) високовуглецеві (тверді, більше 0, 6 % C).

3) За якістю вуглецеві сталі поділяють залежно від вмісту шкідливих домішок сірки та фосфору):

- а) звичайної якості ($S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,04\%$);

б) якісні ($S \leq 0,04\%$, $P \leq 0,035...0,04\%$);

в) високоякісні ($S \leq 0,02\%$, $P \leq 0,03\%$).

Вуглецеві сталі повністю розкислені після виплавлення, називають *спокійними* (СП), розкислені частково – *напівспокійними* (НС) і *киплячими* (КП). Спокійні сталі твердіють без помітного виділення газів. Порівняно з напівспокійними та киячачими сталями їм притаманні кращі міцнісні властивості, але водночас менший вихід металу при прокатуванні й вища вартість.

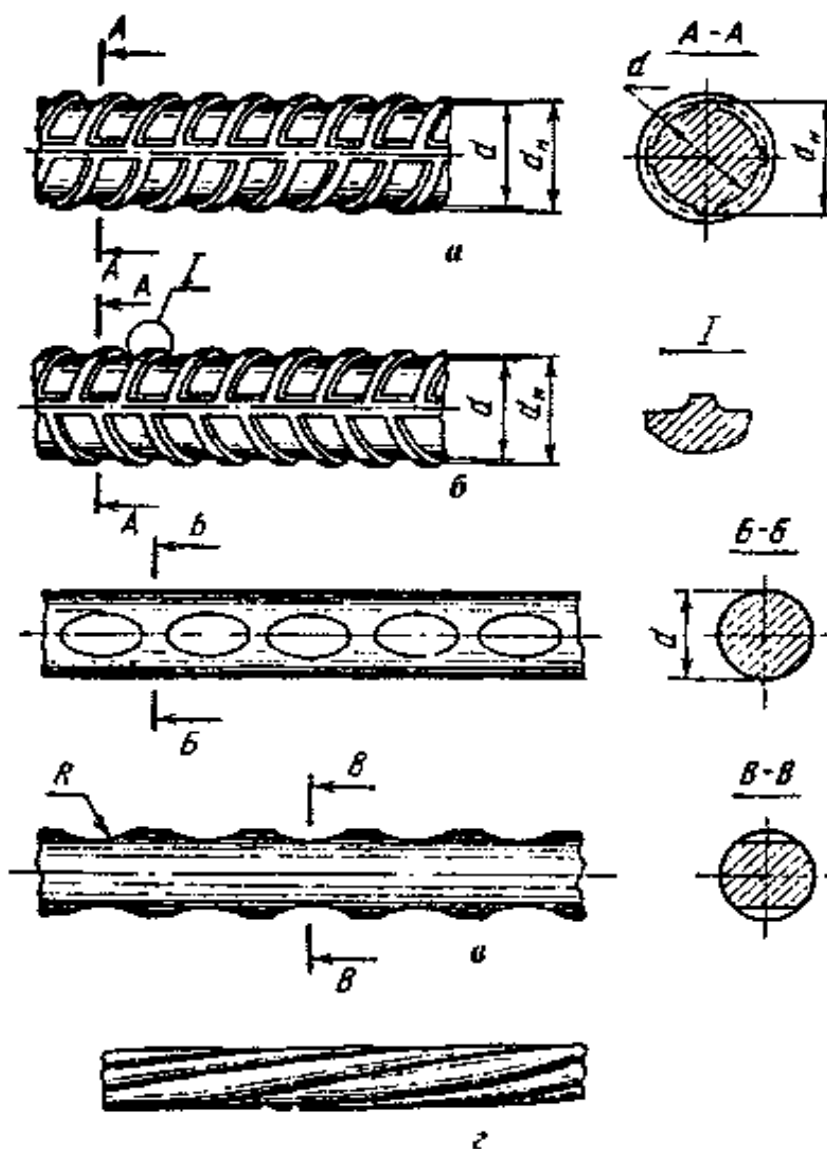


Рис. 3.2. Армура: *a* – прутки класу А – II, *б* – прутки класу А – III, *в* – дрiт перiодичного профiлю (B_p), *г* – канат.

Сталі звичайної якості найбільш дешеві, їх широко використовують в будівництві. Маркування таких сталей починається з літер Ст. (сталь), а далі

цифри від 0 до 6. ці цифри позначають умовний номер сталі, залежно від хімічного складу і механічних властивостей. Чим більша цифра, тим більше у складі сталі вуглецю і тим вища міцність. Для позначення ступеня розкислення сталі після цифри ставлять індекси: **кп** – кипляча; **сп** – спокійна; **нс** – напівспокійна. Сталі звичайної якості також поділяють на три групи: група **A** – з нормованим складом; **B** – нормованими властивостями; **B** – з нормованими механічними властивостями та хімічним складом. Сталь кожної групи в залежності від нормованих показників поділяють на категорії. Група A – має три категорії, група B – дві, група B – шість. Наприклад **ВСт3нс2** означає, що сталь марки **Ст3**, напівспокійна, групи **B**, другої категорії.

Основним видом прокату для будівництва є арматурна сталь (ДСТУ 3760–98) у вигляді стрижнів, гладкого та періодичного профілів, дроту та канатів (рис. 3.2). Розрізняють: стрижневу арматуру – клас A; дріт – клас B; арматурні канати – клас K.

З арматури класу A тільки арматуру класу A–I виготовляють круглого перерізу з гладкою поверхнею. Арматура інших класів має періодичний профіль. Арматура класу A періодичного профілю має вигляд круглих стрижнів з двома поздовжніми ребрами та поперечними виступами, що йдуть по трьохзахідній гвинтовій лінії. Використовують також арматуру з профілем «ялинка».

Арматурний дріт випускають діаметром 3...8 мм та поділяють за формою поперечного перерізу на дріт гладкого (B) та періодичного профілю (Bp).

Для несучих металевих конструкцій прокату сталь поставляють у вигляді стержнів стандартних профілів поперечного перерізу: швелерного, двотаврового, кутникового та ін. Вигляд профілів стандартного прокату показаний на рис. 3.3.

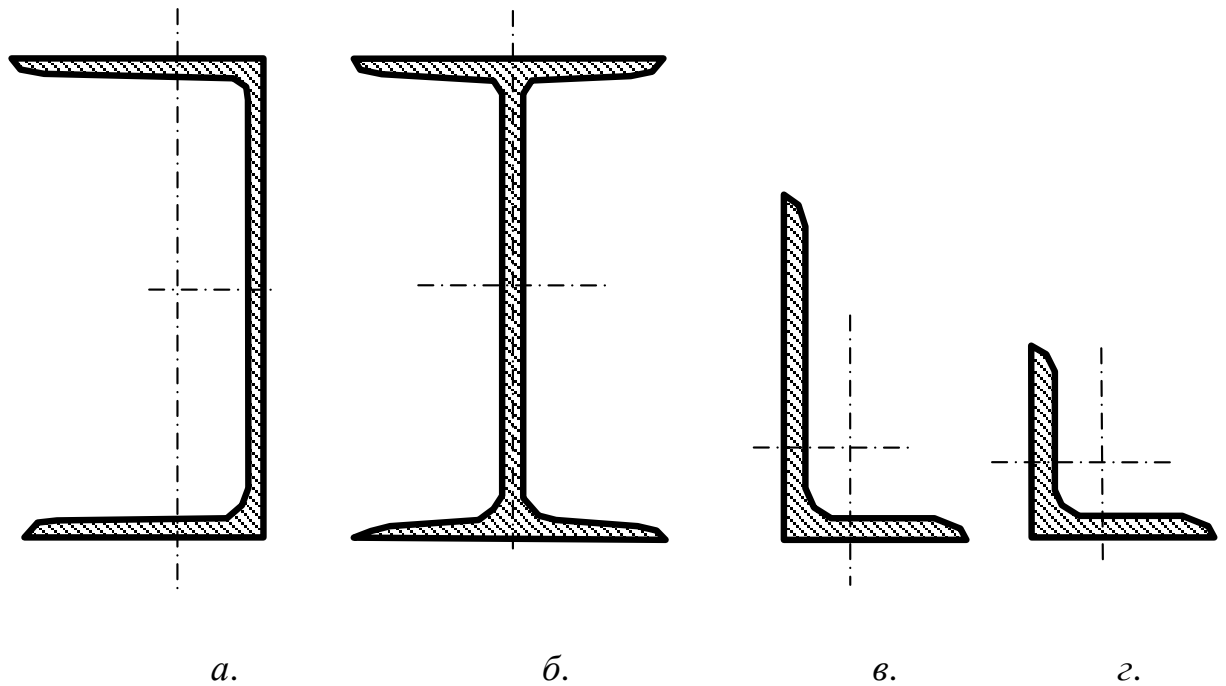


Рис. 3.3. Стандартні профілі сталевого прокату: *а* – швелерний, *б* – двотавровий, *в*, *г* – кутниковий.

Якісні та високоякісні вуглецеві сталі залежно від призначення поділяють на *конструкційні* та *інструментальні*. Конструкційні позначають двозначними цифрами, які вказують на вміст С в сотих долях відсотка. *Сталь 15* – (0,15 %), 20...80 – (0,2 ...0,8%), 85 – (0,85 %).

Інструментальні вуглецеві сталі маркують літерою У і цифрою, що вказує на вміст вуглецю в десятих частках процента: У7, У10, У11, У12.

Маркування легованих сталей передбачає використання наступних позначень: Х – хром, Н – нікель, Г – манган, С – силіцій, В – вольфрам, М – молібден, Ф – ванадій, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюміній, Д – мідь, Б – ніобій, Р – бор.

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

За призначенням леговані сталі поділяють на *конструкційні, інструментальні та сталі з особливими фізико-механічними властивостями* (нержавіючі, жаростійкі, кислотостійкі, криогенні).

Основними властивостями металів і їх сплавів, що використовуються будівельних конструкцій та забезпечують їх довготривалу нормальну експлуатацію в умовах статичного навантаження є механічні властивості.

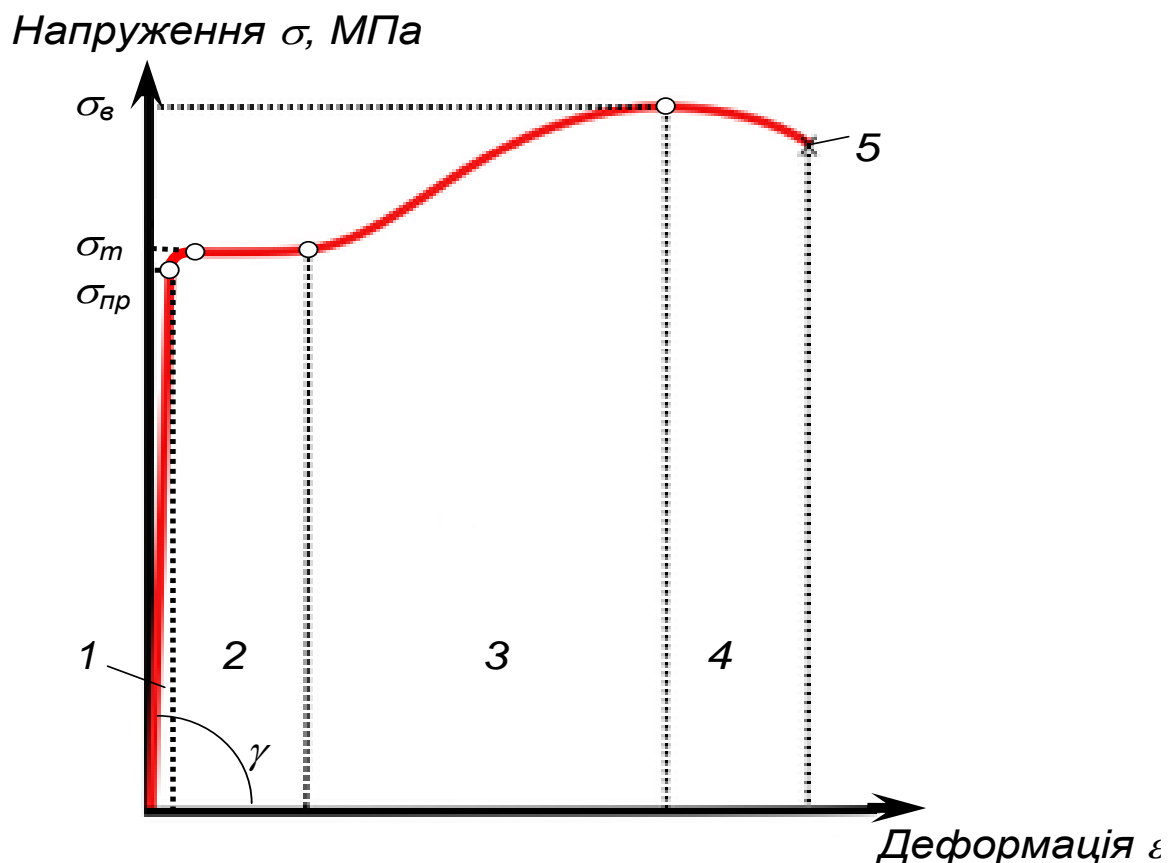


Рис. 3.4. Діаграма деформації сталі на розтяг: 1 – зона пружних деформацій, 2 – зона текучості, 3 – зона тимчасового опору, 4 – зона утворення локальних пластичних деформацій, 5 – точка руйнації зразка для випробувань.

Механічні характеристики визначають міцність та деформативність металів, а це дуже важливо для забезпечення надійної роботи будівельних конструкцій. Поведінка сталі в умовах механічних навантажень визначається за діаграмою, що встановлює залежність між внутрішніми напруженнями та деформацією, що їх викликає. Діаграма отримується шляхом проведення випробувань сталевого зразка на розтяг і вимірювання зусиль і деформацій, що

викликаються цими зусиллями. Типовий вигляд такої діаграми поданий на рис. 3.4.

До основних механічних характеристик сталі відноситься модуль пружності E (МПа), коефіцієнт Пуассона μ , межа пропорційності $\sigma_{пр}$ (МПа), межа текучості σ_m (МПа), межа тимчасового опору або межа міцності.

Модуль пружності визначає кут нахилу ділянки пропорційності між зусиллям та деформаціями $E = \operatorname{tg}\gamma$ (див. рис. 3.4). Для сталей він складає $2,1 \div 2,5 \times 10^5$ МПа. Коефіцієнт Пуассона визначає співвідношення між величинами поздовжньої та поперечної деформацій. Для сталей він складає близько $0,25 \div 0,3$. Межа пропорційності визначає максимальний рівень напружень, коли ще виконується пропорційна залежність між деформаціями та напруженнями, Межа текучості визначає настання ділянки текучості на діаграмі (див. рис. 3.4), коли деформації зростають при постійному значенні напружень. Межа тимчасового опору визначає максимальний рівень напружень, при якому матеріал ще здатен чинити опір діючим навантаженням.

3.3.3. Властивості і маркування кольорових металів, сплавів

Для виготовлення металевих конструкцій у будівництві в основному з усіх **кольорових металів** використовують сплави на основі **алюмінію**.

Переваги. Основними особливостями, які позитивно відрізняють сплави на основі алюмінію від сталей є:

- 1) Розповсюдженість Al в земній корі (1 місце серед металів) Al–8%, Fe–5% .
- 2) Мала маса (густина сплавів Al в 3 рази < ніж сталі).
- 3) Висока корозійна стійкість.
- 4) Здатність до значних деформацій (легко виготовляти профілі різного перерізу і форми за допомогою пресування і згинання листів).
- 5) Відсутність іскроутворювання.

Недоліки Al сплавів:

- 1) Малий модуль пружності E (в 3 рази < ніж у сталі).
- 2) Високий лінійний коефіцієнт термічного розширення.

3) Мала межа текучості.

4) Складність отримання зварного з'єднання рівноміцного основному металу.

Класифікація і маркування алюмінієвих сплавів

Al як метал в чистому вигляді для виготовлення металевих конструкцій непридатний. Для покращення його фізико–механічних властивостей до Al додають легуючі домішки: Mg, Mn, Cu, Zn, Si, Ni, Cr, Ti та інші. Їх вміст в сплавах досягає 20%. **Сплави Al поділяться на:**

1) **Ливарні** (для отримання виливок).

2) **Деформовані** (сплави, які обробляються тиском, для виготовлення листів, профілів, труб, дроту).

Ливарні алюмінієві сплави містять підвищену кількість кремнію, міді, магнію, цинку. Серед ливарних алюмінієвих сплавів найпоширеніші **силуміни** – сплави алюмінію з кремнієм (4... 13% Si). Ці сплави мають високі ливарні якості, малу усадку і пористість, тверді й міцні. Ливарні алюмінієві сплави маркують літерами **AL** (алюмінієвий ливарний) та цифрами (умовний номер), наприклад, **AL2, AL17, AL29**.

Деформовані сплави згідно легуючих домішок бувають:

- Al–Mn – **AMц**.
- Al–Mg – **AMг** – **магналій**.
- Al–Mg–Si – **AB** – **авіалі** (окрім AB маркуються буквами АД).
- Al–Cu–Mg – **Д** – **дюралюміні** (окрім Д маркуються буквами ВД, ВАД).
- Al–Zn–Mg – **В** – **висоміцні зварювані алюмінієві сплави (B92, B95 та інші)**.

Механічні властивості алюмінієвих сплавів дещо відрізняються за характером від властивостей сталей. Для даних сплавів немає, як правило, чітко вираженої зони текучості, як це видно на типовій діаграмі деформування для цих сплавів, що зображена на рис. 3.5. В якості характеристики, що встановлює початок настання зони інтенсивного нарощування пластичних деформацій використовують межу виникнення пластичних деформацій $\sigma_{0,2}$ (МПа). Ця межа відповідає рівню напружень, при якому спостерігається поява 0,02% пластичної

деформації від загальної величини деформації. Коефіцієнт Пуассона для дюралюмінію складає $\mu = 0,3$.

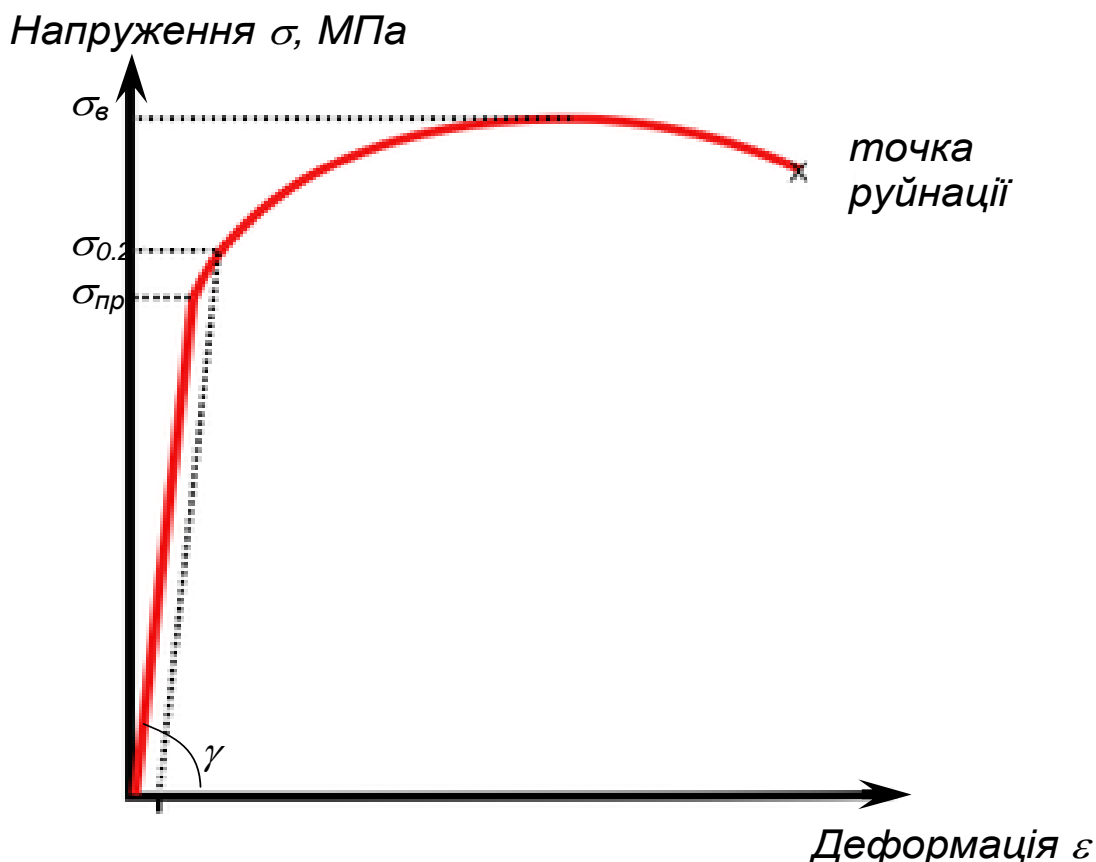


Рис. 3.5. Типова діаграма деформації алюмінієвих сплавів на розтяг.

Механічні властивості Al сплавів залежать від хімічного складу та виду термічної обробки. Сплави Al–Mn і Al–Mg поставляють без термічної обробки. Термічно оброблюваними є сплави: Al–Mg–Si, Al–Zn–Mg, Al–Cu–Mg. Межа міцності термічно зміцнених сплавів у 1.5–2 рази > ніж у термічно не зміцнених, але їх пластичні властивості погіршені.

За видом термічної та механічної обробки алюмінієві сплави умовно позначаються літерами: *М* – *відпалений* (м'який), *П* – *напівнагартований*, *Н* – *нагартований*, *Т* – *загартований*.

3.4. Вплив високих температур на властивості металів

Поведінка сталей при пожежі. Одна з самих характерних особливостей всіх металів – здатність розм'якшуватися при нагріванні і відновлювати свої фізико – механічні властивості після охолодження. Якби метали не володіли

цією дивною властивістю, вони б не змогли отримати такого широкого застосування у всіх областях техніки, оскільки можливості холодної обробки обмежені. Проте ця перевага металів стає недоліком у тому випадку, коли тепло впливає на виконані з них конструкції. При пожежі металеві конструкції дуже швидко прогриваються, втрачають міцність, деформуються і обрушуються.

Для розрахунку вогнестійкості сталевих і залізобетонних конструкцій по несучій здатності, необхідно знати характер зміни фізико – механічних властивостей будівельних сталей в умовах дії високих температур.

На рис. 3.6 представлені графіки зміни міцності найбільш поширених в будівництві сталей при дії на них високих температур. На графіках для зручності порівняння різних видів сталі представлені залежності не абсолютних, а відносних значень меж міцності сталей. Відношення межі міцності або межі текучості матеріалів при даній температурі до межі міцності або межі текучості в нормальних умовах прийнято називати температурним коефіцієнтом зміни міцності і позначати γ_t .

У зв'язку з тим що температура конструкції при пожежі змінюється в часі, змінюється також і значення коефіцієнта γ_t . Значення температурного коефіцієнта зміни міцності, при якій межа міцності матеріалу в нагрітому стані знижується до величини робочого напруження в конструкції, називається **критичним**, оскільки в цьому випадку станеться обрушення конструкції. Температура, яка відповідає втраті міцності і несучої здатності сталі називається **критичною температурою**.

З рис. 3.6 видно, що механічні властивості розглянутих сталей при нагріванні до 200–250⁰С практично не змінюються. Краще за всіх в умовах пожежі при $\gamma_t = 0,625$, що відповідає коефіцієнту запасу міцності 1,6, поводитиметься низьколегована сталь марки 25Г2С, з якої виготовляють гарячекатану арматуру класу А-Ш. Її критична температура становить 570 °С.

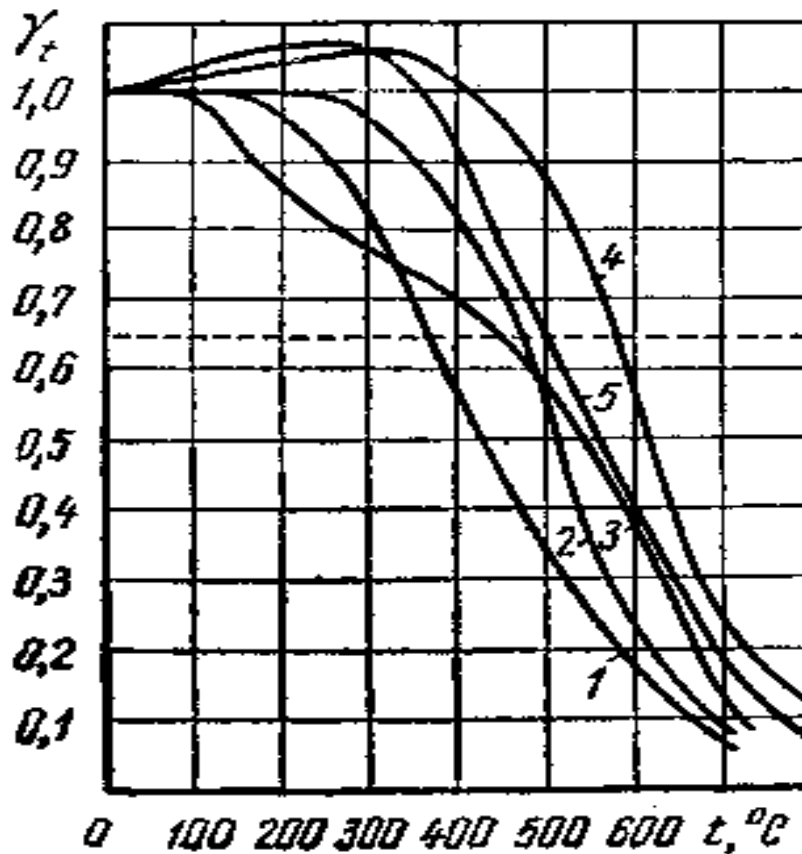


Рис. 3.6. Зміна міцності арматурних сталей при нагріванні: 1 – високоміцний холоднотягнутий дріт; 2 – звичайний холоднотягнутий низьковуглецевий дріт; 3 – гарячекатана сталь Ст3, Ст5; 4 – низьколегована сталь 25Г2С; 5 – низьколегована сталь 30ХГ2С

Гірше в умовах пожежі поводитимуться арматурні сталі, які отримали додаткове зміцнення методами термічної обробки або холодного протягування (наклепу). Причина цього явища полягає у тому, що додаткову міцність ці сталі отримують за рахунок спотворення кристалічної ґратки, а під дією нагрівання кристалічна ґратка повертається в рівноважний стан і надбавка міцності втрачається.

Слід враховувати ту обставину, що втрата ця може мати необоротний характер, тому існує небезпека того, що навіть якщо конструкція не обрушиться і не деформується, вона не буде забезпечувати запроектований запас міцності.

Розглянемо як ведуть себе вказані сталі і після охолодження (рис. 3.7).

Якщо холоднотягнуті сталі зберігають свою міцність при нагріванні в інтервалі температур 300–350⁰С то низьколегована сталь 25Г2С при температурі

до 600°C не тільки не втрачає міцності, але й при нагріванні до 500°C значно зміцнюється.

Для підвищення вогнестійкості з/б конструкцій в якості арматурної сталі потрібно використовувати низьколеговані сталі 25Г2С, 30ХГ2С, 35Г2С.

Важливою є інформація про залежність внутрішніх напружень від деформацій, що їх викликають за підвищених температур. Дослідження поведінки арматурної сталі в залежності від температури, показують, що крім міцності так само змінюється і характер діаграм деформування, як показано на рис. 3.8.

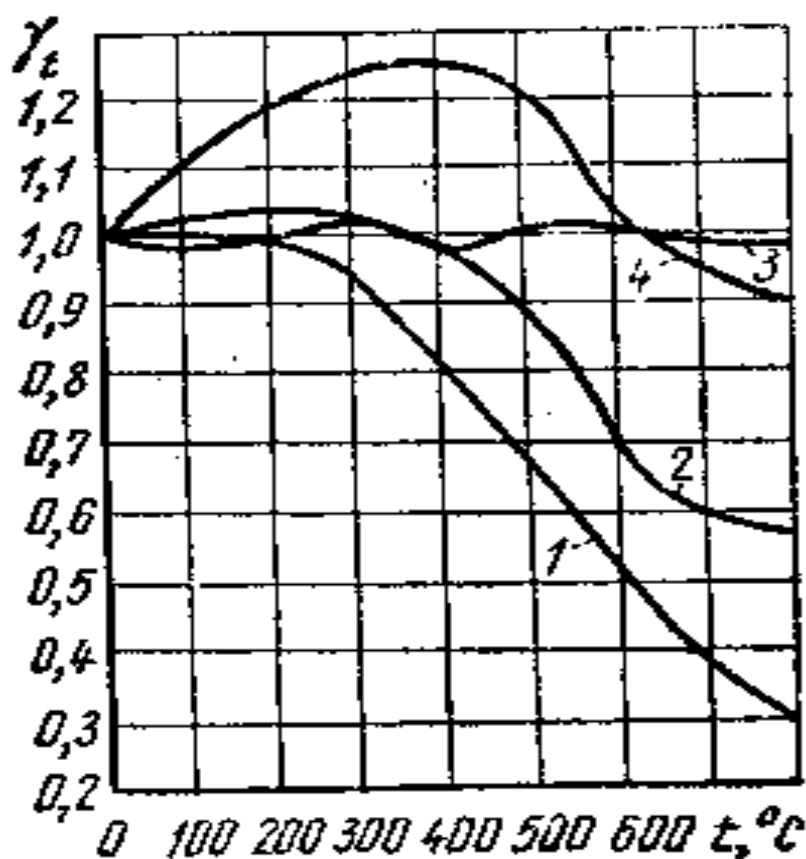


Рис. 3.7. Зміна міцності арматурних сталей при нагріванні та наступному охолодженні: 1 – високоміцний холоднотягнутий дрiт; 2 – звичайний холоднотягнутий низьковуглецевий дрiт; 3 – гарячекатана сталь Ст3, Ст5; 4 – низьколегована сталь 25Г2С

На рис. 3.8 величина R_s визначає рівень напружень що обумовлює міцність даної арматурної сталі. Межа міцності визначається настанням пластичних деформацій в сталі, тобто дорівнює межі текучості даної арматурної сталі $R_s =$

σ_m . Діаграму на рис. 3.8 зручно використовувати для визначення коефіцієнтів зниження міцності для різних арматурних сталей.

Важливою характеристикою поведінки при пожежі будівельних сталей є їхнє температурне розширення. Ця величина застосовується для розрахунків на вогнестійкість металевих та залізобетонних конструкцій. Температурна деформація для арматурних сталей у залежності від температури подана на рис. 3.9.

При нагріві незахищених несучих сталевих конструкцій: рам, каркасів, ферм, та інших вважається, що протягом 15 хв вони можуть зруйнуватись внаслідок великих швидкостей прогрівання і настанні стану текучості при досягненні температури близько 480–500°C. При досягненні даної температури в несучих елементах утворюються пластичні шарніри, які роблять статичну систему геометрично змінною і відбувається обвалення конструкції.

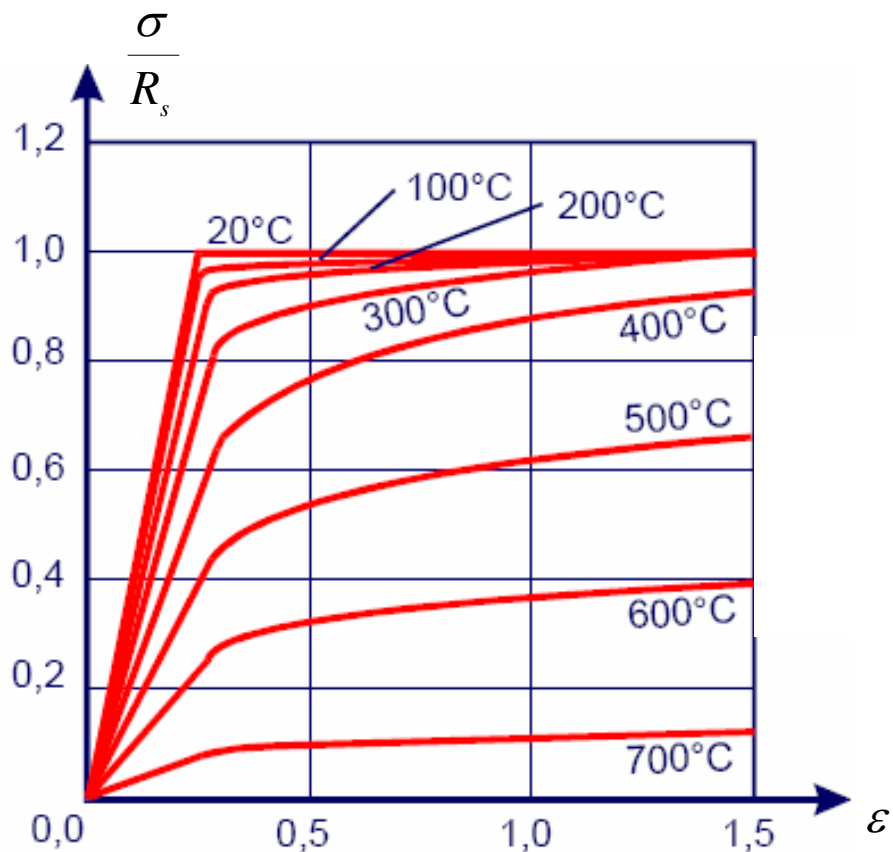


Рис. 3.8. Діаграми деформування звичайної холоднотягнутої арматурної сталі для різних температур нагріву.

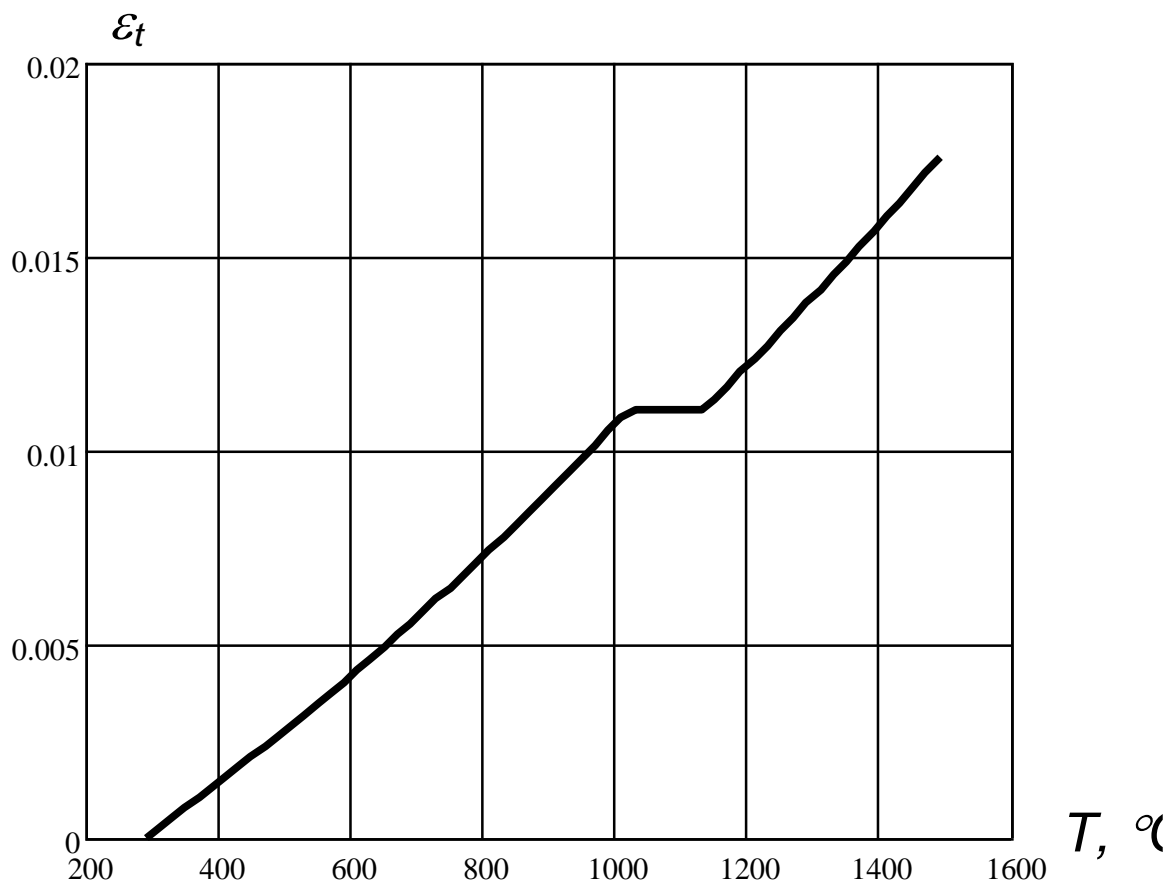


Рис. 3.9. Температурна деформація арматурної сталі

Тому для збільшення межі вогнестійкості потрібно виконувати вогнезахист таких конструкцій.

Алюмінієві сплави. Міцність Al-сплавів в інтервалі температур -65 °C $+50$ °C практично не змінюється. Значення температурного коефіцієнта зміни міцності m_t для основних алюмінієвих сплавів наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Зниження міцності алюмінієвих сплавів при нагріванні

Марка сплаву	Значення m_t при температурі металу °C				
	50	100	150	200	300
Амц	1,0	0,80	0,70	0,60	0,35
Амг, Амг-6, АВ	1,0	0,90	0,80	0,70	0,30
Д1,Д16	1,0	0,95	0,85	0,80	0,40
АД31	1,0	0,75	0,70	0,50	—
АД33	1,0	—	0,75	0,65	0,20
В92	1,0	0,75	0,65	0,55	0,25

Висновки:

1) Сплави на основі алюмінію втрачають несучу здатність при температурах 230–300 °С, при цьому їх відносне видовження збільшується в 2–5,6 разів залежно від хімічного складу сплаву. В умовах пожежі температура в об'ємі приміщення може досягти цих значень менш ніж через одну хвилину, тому розраховувати на істотну вогнестійкість несучих конструкцій з алюмінієвих сплавів, очевидно, не варто.

2) Використання Al сплавів для несучих конструкцій промислових будівель 1 та 2 ступеня вогнестійкості можливо лише при їх захисті теплоізоляційними матеріалами з метою доведення їх вогнестійкості до вогнестійкості сталевих незахищених конструкційно, яка дорівнює 0,25 год.

3.5. Вогнезахист металевих конструкцій

Для підвищення вогнестійкості металевих конструкцій їх покривають захисними матеріалами. Поведінку захисного облицювання під час пожежі визначають розрахунком, виходячи з теплотехнічних характеристик матеріалу облицювання. Захисні можливості матеріалів облицювання отримані експериментально:

- | | |
|--|---------|
| 1) Шар штукатурки товщиною 25мм по металевій сітці | - 50хв. |
| 2) Шар штукатурки товщиною 50мм по металевій сітці | - 2год. |
| 3) Облицювання цеглою в ¼ цеглини | - 2год. |
| 4) Облицювання цеглою в ½ цеглини | - 5год. |
| 5) Гіпсові плити товщиною 30мм з шаром штукатурки 20мм | - 2год. |

Значно важче захищати від дії пожежі сталеві балки і ферми. Облицювання поверхні таких металевих конструкцій плитами, цеглою і штукатуркою неможливо. Тому розробляють різноманітні розчини, які наносять шляхом розбризкування на поверхню металевої конструкції:

- 1) азбест, перліт, вермикуліт – 2 год;

2) облицювання товщиною 6 мм розчином: перліт, цемент, азбест, рідке скло – 3 год;

3) обмазки, які спучуються товщиною 2.5 – 3 мм – 1 год.

Новітні матеріали:

1) Протерм стил – 0.5–1 год (для мет. конструкцій).

2) Протерм СЕ – 1 год (для деревини).

3) Девиспрей – 1–3 год (для залізобетонних конструкцій).

4) Фибромін – 0.5–3 год (легке мікро волокнисте покриття – для повітроводів).

5) Ньюспрей – від 3 год (спучений вермикуліт для залізобетонних конструкцій).

Питання для самоконтролю

1. Metали. Загальні відомості та властивості.
2. Основні види елементарних комірок кристалічних ґраток металів.
3. Чорні метали. Загальні відомості.
4. Властивості і маркування чавунів.
5. Класифікація сталей.
6. Вироби та застосування сталі у будівництві.
7. Особливості арматури для залізобетонних виробів.
8. Застосування у будівництві алюмінію та його сплавів.
9. Застосування у будівництві міді та її сплавів.
10. Поведінка металів в умовах високих температур.
11. Вогнезахист металевих конструкцій.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Початкова довжина зразків із сталі з різним вмістом нікелю при

$t_1=20^\circ\text{C}$ була однакова – $l_0=500$ мм. Якщо врахувати, що коефіцієнти лінійного теплового розширення сталі α_t з 20% Ni – $11,5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, 30,4% Ni – $5,04 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$; 36,1% Ni – $0,9 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, якою стала довжина зразків при $t_2=300^\circ\text{C}$?

2. При визначенні модуля пружності сталі використали зразок з початковим діаметром $d = 10$ мм (початкова площа поперечного перерізу $S_0 = 78,5$ мм 2) і розрахунковою довжиною $l_0 = 100$ мм. Вимірювачем деформації служить тензومتر з ціною поділки 0,002 мм. Навантаження проводили ступенями $\Delta F = 5400$ Н до навантаження F , яке відповідає 70% очікуваної межі пропорційності ($F = 37800$ Н). При даному навантаженні за шкалою тензометра зафіксовано показник 105 поділок. Розрахувати модуль пружності сталі.

3. Механічні властивості конструкційної сталі визначаємо на циліндричних зразках з початковим діаметром $d_0=10$ мм, площею поперечного перерізу $S_0=78,5$ мм 2 і довжиною $l_0=100$ мм. Допустиме навантаження, пропорційне відносному видовженню зразка, $F_{n.n}=34$ кН. Навантаження, при якому досягається кінцеве видовження, рівне 0,05% початкової (розрахункової) довжини зразка, $F_{0,05} = 37,36$ кН. Навантаження, при якому кінцеве видовження складає 0,02% початкової довжини, $F_{0,2} = 41,5$ кН. Найбільше навантаження, яке передуює руйнуванню, $F = 68$ кН. Довжина робочої частини зразка після розриву $l_1=110$ мм. Діаметр шийки зразка після розриву $d_1 = 8,4$ мм. Визначити межу пропорційності, умовну межу текучості, тимчасовий опір сталі, відносне видовження і звуження.

4. Розрахувати подовження стержня з початковою довжиною 50 см, нагрітого від 20°C до 100°C і виготовленого із сталі та алюмінію. Коефіцієнти лінійного розширення ($\alpha_t \cdot 10^{-7}$) сталі – 117 град $^{-1}$; алюмінію – 235 град $^{-1}$.

5. Який діаметр повинен мати сталевий стержень довжиною $l_0 = 2,5$ м, якщо потрібно утримувати вантаж $m = 6$ т ($F = 60$ кН). Розрахувати абсолютне

граничне видовження стержня Δl . Допустиме напруження на розтяг для сталі $\sigma = 160$ МПа, модуль пружності $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

1. Визначення і класифікація неорганічних в'язучих матеріалів.
2. Повітряні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів.
3. Гідравлічні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів.

4.1. Визначення і класифікація неорганічних в'язучих матеріалів

Неорганічні в'язучі речовини – це матеріали, які при змішуванні з водою або розчинами солей, лугів та кислот утворюють пластичну тістоподібну речовину, яка з часом, в результаті фізико–хімічних процесів переходить у твердий стан. В'язуча речовина скріплює між собою камені, зерна піску, гравію, щебеня. Завдяки даній властивості, в'язучі речовини використовують для виготовлення бетонів, будівельних розчинів, а також штучних необпалених кам'яних матеріалів.

Різноманітність неорганічних в'язучих матеріалів створює певні труднощі при їх вивченні та класифікації. Найбільше визнання в світі має класифікація де неорганічні в'язучі речовини поділяються на:

- 1) Повітряні.
- 2) Гідравлічні .

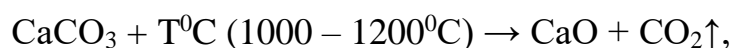
Повітряні в'язучі – це матеріали, які тверднуть і зберігають міцність тільки на повітрі (повітряне вапно, гіпс, рідке скло: калієве і натрієве – $K_2O \cdot n O_2$; $Na_2O \cdot n SiO_2$).

Гідравлічні в'язучі – це матеріали, які здатні тверднути і зберігати свою міцність не тільки на повітрі, а і у воді (портландцемент, шлаковий, пуцолановий, глиноземистий цемент).

Особливість в'язучих полягає в тому, що їх міцність набувається з часом: гіпс набуває міцності за 2 години, портландцемент за 28 діб, а повітряне вапно – десятиліттями може набувати міцності.

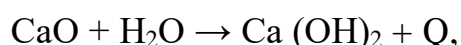
4.2. Повітряні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів

Повітряне вапно – є продуктом помірною обпалу вапняків, які вміщують в себе не більш ніж 6% домішок (доломіту, кварцу, глини, гіпсу). В результаті обпалу (при температурі 1000 – 1200⁰С) утворюється продукт білого кольору, який називається *негашене колове вапно*. Залежно від характеру подальшої обробки розрізняють такі види повітряного вапна: негашене мелене вапно, гашене (гідратне) вапно, вапнякове тісто, вапнякове молоко.



де CaO – негашене вапно, має пористу структуру.

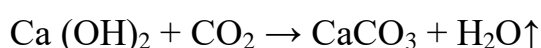
Мелене негашене вапно транспортують у герметично закритих металевих контейнерах або мішках. Зберігати його можна не більше як 15 діб на сухих складах, оскільки внаслідок поглинання вологи з повітря воно втрачає в'язучі властивості. При поливі водою відбувається гашення вапна за реакцією



де Ca(OH)₂ – гашене вапно.

Залежно від того, скільки води витрачається для гашення, отримують три різних продукти. Якщо кількість води становить біля 70% від маси вапна отримують *гідратне вапно (вапно–пушонку)*, яке збільшується в об'ємі в 2...3,5 рази і має насипну густину 400...450 кг/м³. Якщо кількість води при гашенні досягає 200...250% від маси вапна то утворюється *пластичне вапнякове тісто*. При витраті ще більшої кількості води утворюється *вапнякове молоко*.

Тверднення вапнякових розчинів обумовлюється випаровуванням води, а також карбонізацією поверхні розчину на деяку глибину



Вапно використовується для виготовлення будівельних розчинів в суміші з піском або іншими заповнювачами, т. я. чисте вапнякове тісто або молоко – залежно від кількості води, розтріскується внаслідок великої усадки.

Вапно, крім виготовлення будівельних розчинів використовується для виробництва силікатної цегли і силікатних бетонів і в якості в'язучого для вапняних фарб.

При дії високих температур на тверді вапнякові розчини відбувається їх дегідратація (відщеплення води) і дисоціація (розкладання) CaCO_3



CaO – речовина схильна до прискореної гідратації, при цьому збільшується її об'єм і руйнується вапняковий твердий розчин.

Висновок: Значне зниження міцності твердого вапнякового розчину спостерігається вже при температурі 500 – 600⁰С. При температурі 900⁰С розчин повністю втрачає міцність.

Будівельний гіпс – є повітряним в'язучим, яке отримують завдяки термічній обробці природного гіпсового каменю. Природній гіпсовий камінь складається із гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ і домішок кварцу, кальциту, каолініту (глини). Якість тим вища, чим менше домішок. Можуть застосовуватись в якості сировини також глинисто-гіпсові породи і сульфатні відходи хімічної промисловості.

При температурній обробці природній двоводний гіпс розпадається по реакції:



де $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ – будівельний гіпс.

Залежно від температури термічної обробки гіпсові в'язучі поділяють на низьковипалювальні (110...180 °С) і високовипалювальні (600...1200 С). При отриманні низьковипалювальних гіпсових в'язучих основним є процес часткової дегідратації гіпсу.

Марки гіпсових в'язучих

Марка в'язучого	Границя міцності балочок через 2 год твердіння не менше, МПа		Марка в'язучого	Границя міцності балочок через 2 год твердіння не менше, МПа	
	на стиск	на згин		на стиск	на згин
Г-2	2	1,2	Г-10	10	4,5
Г-3	3	1,8	Г-13	13	5,5
Г-4	4	2	Г-16	16	6
Г-5	5	2,5	Г-19	19	6,5
Г-6	6	3	Г-22	22	7
Г-7	7	3,5	Г-25	25	8

В умовних позначеннях вказується марка гіпсового в'язучого за міцністю, група по строкам тужавлення та тонкості помелу. Наприклад, Г-5 АІІ – гіпс марки Г5, швидкотвердіючий (А) середнього помелу (ІІ).

При змішуванні з водою (60 – 70%) утворюється гіпсове тісто, яке швидко твердне:

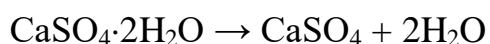


При висушуванні міцність гіпсу підвищується і може досягати 20 МПа. Сушать гіпсові вироби при температурі не більше 60–70°C. В перший період твердіння гіпс розширюється на 0,05...0,15 %, а при подальшому висиханні дає усадку. Здатність твердучого гіпсу збільшуватися в об'ємі використовується при отриманні виливок різних архітектурних деталей.

Для затверділого гіпсу характерні пластичні деформації під навантаженням (повзучість), особливо у зволоженому стані.

Будівельний гіпс застосовується для виробництва перегородкових плит і панелей, листів для обшивки стін і перекриттів (гіпсової сухої штукатурки), теплоізоляційних та звукоізоляційних плит, вентиляційних коробів, для штукатурних, ремонтних та опоряджувальних робіт і т.п. Гіпсові вироби можуть експлуатуватися при відносній вологості повітря не більше 60 %. Водостійкість гіпсових виробів підвищується з введенням 5...25 % вапна, гранульованого доменного шлаку, при додаванні деяких добавок, просоченні карбамідними смолами, кремнійорганічними рідинами і т. і.

При нагріванні, гіпсового каменя починається його дегідратація за реакцією:



з руйнацією структури та втратою міцності.

При 100°C міцність зменшується до 46% від початкової в гарячому стані і до 67% після охолодження. При підвищенні температури до 200°C міцність гіпсового каменя в гарячому стані знижується до 40% і в охолодженому до 51% від початкової. В інтервалі температур 200 – 300°C міцність гіпсу хоча і не змінюється проте з'являються в великих кількостях волосяні тріщини. При 400°C міцність складає 39% в гарячому та 23% після охолодження від початкової. При 700°C міцність знижується до 0 в гарячому та зростає до 17% після охолодження. Якщо температура і надалі зростатиме (близько 900 °C) відбувається розпад сульфату кальцію за реакцією:

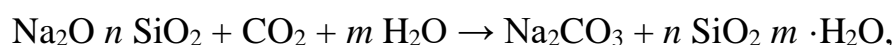


Утворений окис кальцію здатен до вторинної гідратації зі значним збільшенням об'єму, що і призводить до повного руйнування гіпсового каменя.

Висновок: Гіпс є дуже чутливим до нагрівання: при 100°C його міцність зменшується вдвічі. В той же час твердий гіпсовий камінь має дуже високі теплоізоляційні властивості.

Рідке скло – це розчинні у воді солі кремнієвої кислоти $\text{Na}_2\text{O } n \text{ SiO}_2$ і $\text{K}_2\text{O } n \text{ SiO}_2$ – натрієвий і калієвий силікати. Величина n називається силікатним модулем і змінюється в межах 2,5–3,5. В будівництві використовується головним чином більш дешевий силікат натрію.

Рідке скло отримують сплавленням кварцового піску з содою або сульфатом натрію при температурі 1300°C – 1400°C. Потім охолоджені шматки обробляють в автоклаві під тиском 6 – 8 атмосфер. В результаті отримують в'язку рідину, яку використовують в промисловості. Процес тверднення здійснюється тільки на повітрі під дією вуглекислого газу за такою хімічною реакцією:



де $n \text{ SiO}_2 \cdot m \cdot \text{H}_2\text{O}$ –аморфний кремнезем.

Суть процесу тверднення в таких умовах полягає в випаровуванні рідкої фази, підвищенні концентрації вільного колоїдного кремнезему, його наступної коагуляції та ущільнення.

Рідке скло використовують для отримання силікатних вогнезахисних фарб кислотостійкого цементу і жаростійкого бетону.

Кислотостійкий цемент отримують сумісним помелом суміші кварцового піску і кремній фтористого натрію, замішаних на рідкому склі. Такий цемент володіє високою стійкістю до дії ряду мінеральних та органічних кислот, але втрачає міцність в воді і руйнується при дії лугів та плавикової кислоти. Кислотостійкий цемент використовують для захисту хімічної апаратури і зведення споруд хімічної промисловості.

При дії високих температур рідке скло плавиться і спучується. В результаті цього утворюється стійкий піноподібний шар, який має малу теплопровідність. На цій властивості рідкого скла засновано використання силікатних вогнезахисних фарб.

4.3. Гідравлічні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів

Портландцемент – гідравлічне в'язуче, яке отримують завдяки сумісного тонкого подрібнення клінкера і необхідної кількості двоводного гіпсу (для регулювання терміну тужавіння й підвищення міцності).

Перший патент на спосіб виробництва штучного каменю під назвою портландський цемент було отримано у 1824 році Джозефом Аспдіном. За минулі роки середня міцність портландцементу виросла майже в у 10 разів, що є результатом не тільки модернізації технології, але й зміни складу шихти для отримання клінкеру. У практиці світового будівництва портландцемент є головним матеріалом для виробництва бетону, залізобетону та будівельних розчинів. Світове виробництво цементу перевищує 1,8 млрд. т. Портландцемент випускається без домішок і з активними мінеральними домішками (до 15%). Активні домішки – це речовини, які при змішуванні з вапном після затворення

водою утворюють тісто, схильне після затвердіння на повітрі продовжувати тверднути у воді. Активні мінеральні домішки бувають природні та штучні. До природних домішок відносять діатоміт, трепел, вулканічний попіл, пісок, пемзи, туфи. До штучних – доменні шлаки, золи та інші.

Для отримання портландцементу використовують природні суміші вапняку з глиною – мергелі. Хімічний склад даних гірських порід після відпалу близький до хімічного складу цементу. Однак в природі таких порід порівняно мало, тому для отримання заданого хімічного складу сировинну суміш складають з двох та більше компонентів. Крім мергелю в якості сировини для отримання цементу використовують усі види вапняків і крейди. Другим компонентом є глина (каолініт), що містить кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3) та оксид заліза (Fe_2O_3). Співвідношення між вапняком і глиною встановлюється розрахунком залежно від потрібного хімічного складу цементу і звичайно складає:

$$\text{CaCO}_3 - 75 - 78 \%$$

$$(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) - 25 - 22 \%$$

Процес отримання цементу складається з таких операцій:

- 1) Добування сировини.
- 2) Підготовка сировини до відпалу.
- 3) Відпал (отримання клінкеру).
- 4) Подрібнення клінкеру в тонкодисперсний порошок.
- 5) Вилежування цементу.

Можливі два основних способи виробництва портландцементу – мокрий і сухий. При найбільш поширеному в нашій країні мокрому способі в процесі подрібнення сировинних матеріалів вводиться вода, і сировинна суміш поступає на відпал у вигляді водяної суспензії – шламу вологістю 33...42 %. Введення води в сировинну суміш полегшує її помел, досягається висока однорідність, однак при цьому (в 1,5...2 рази) підвищується витрати палива. При сухому способі сировинні матеріали після подрібнення висушуються і поступають на відпал в порошкоподібному або гранульованому вигляді. Цей спосіб завдяки високим техніко–економічним показникам отримує все більше поширення.

Після складного процесу виробництва до складу портландцементу головним чином входять такі мінерали:

Аліт – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (трикальцієвий силікат з невеликою кількістю трикальцієвого алюмінату) – швидко тверднуче в'язуче високої міцності. Чим більше аліту – тим міцніше цемент.

Беліт – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ повільно тверднуча речовина середньої міцності.

Целіт – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ – найшвидше твердне, але має невисоку міцність.

Основну масу портландцементу складають зерна 5...40 мкм. При просіюванні через сито №008 повинно проходити не менше 85 % маси просіюваної проби. Більш загальним показником тонкості помелу є питома поверхня цементного порошку (як правило, вона складає 250...300 м²/кг), однак при тонкому помелі зростають витрати електроенергії. Для інтенсифікації помелу вводять спеціальні добавки, які не погіршують якість цементу.

Істинна густина портландцементу 3000...3200 кг/м³, насипна густина в розсипчастому стані складає 900...1100, а в ущільненому – 1400...1700 кг/м³.

При заповненні портландцементу водою утворюється пластичне цементне тісто, яке потім починає тверднути. Поступово тверднучий цементний камінь являє собою дуже складну речовину із кристалічних і мікрокристалічних гідратних утворень (гідросилікати кальцію, гідроалюмінати кальцію, гідросульфалюмінати кальцію, гідроксид кальцію), не прореагувавши ще з водою цементних зерен, тонкорозподілених води і повітря.

Основними фізико–механічними властивостями портландцементу є **водопотреба, строки тужавіння, рівномірність зміни об'єму і міцність.**

Водопотребу цементів оцінюють кількістю води замішування в процентах від маси цементу, необхідної для утворення тіста нормальної густоти. Нормальна густина цементного тіста – це така його консистенція, коли голка приладу Віка не доходить на 5...7 мм до пластини, на якій встановлено кільце, заповнене тістом. Нормальна густина портландцементу 24...29 %. Із збільшенням водопотреби цементу збільшується необхідна витрата води в

бетонних сумішах заданої рухливості, і в результаті росте витрата цементу, погіршуються якості бетону.

Тужавіння – це перша стадія твердіння цементного тіста. Вона характеризується початком – часом від моменту затворення водою до початку загустіння і кінцем – часом від моменту затворення водою до повної втрати цементним тістом пластичності. Строки тужавіння цементу нормуються у межах, зручних для виготовлення бетонів і розчинів і регулюються добавками, які містять двоводний гіпс.

Процес твердіння портландцементу супроводжується зміною об'єму в результаті деформацій усадки на повітрі чи набухання у воді. При цьому обов'язковою вимогою є **рівномірність зміни об'єму цементу**, яка визначається оглядом зразків з тіста нормальної густоти, що тверділи добу у ванні з гідравлічним затвором, а потім витриманих 3 год. в киплячій воді. На зразках не повинно бути тріщин, викривлень і інших ознак пошкодження. Нерівномірність зміни об'єму цементу може бути викликана напруженнями розширення в затверділому цементному камені при надлишку оксидів кальцію і магнію, сульфатів і інших шкідливих компонентів.

Важливою якістю цементу, яка визначає його придатність до виготовлення бетонів і розчинів, є **міцність**, яку визначають випробуванням зразків–балочок розміром 4×4×16 см на стиск. Зразки виготовляють вібрацією з розчинної суміші яка містить по масі одну частину цементу і три частини піску. Границя міцності при стиску зразків, які тверділи протягом 28 діб, називається активністю цементу, а значення активності, округлене в бік зменшення (визначене в кгс/см²), – маркою цементу. Згідно зі стандартами України встановлені марки портландцементу: М300, М400, М500, М550 і М600.

Згідно державного стандарту, який діє на Україні (ДСТУ Б В.2.7–46–96), цементи загальнобудівельного призначення поділяють на 5 типів за речовинним складом і міцністю на стиск в 28–добовому віці:

Тип I – портландцемент (від 0 до 5% мінеральних добавок), марки М300, М400, М500, М550, М600;

Тип II – портландцемент з добавками (від 6 до 35% мінеральних добавок), марки М300, М400, М500, М550, М600;

Тип III – шлакопортландцемент (від 36 до 80% доменного гранульованого шлаку), марки М300, М400, М500;

Тип IV – пуцолановий цемент (від 21 до 55% мінеральних добавок), марки М300, М400, М 500;

Тип V – композиційний цемент (від 36 до 80% мінеральних добавок), марки М300, М400, М500.

За міцністю в ранньому віці (після двох або семи діб тверднення) цементы марок М400 і М500 поділяють на два види: цемент із звичайною міцністю в ранньому віці і швидкотверднучий.

При умовному позначенні цементу вказують його тип і спеціальні ознаки (висока міцність в ранньому віці – Р; пластифікація і гідрофобізація – ПЛ, ГФ; нормованість мінералогії – Н). Наприклад, портландцемент марки 400 з добавкою до 20% шлаку, пластифікований, швидкотверднучий позначається ПЦ–II–Н–400Р–ПЛ ДСТУ Б В.2.7–46–96.

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

Нормальне протікання процесів твердіння можливе лише при достатній вологості середовища, підвищення температури не повинно супроводжуватися висиханням. Прискорення фізико–хімічних процесів твердіння портландцементу при тепловій обробці (пропарювання, електропрогрів та ін.) дозволяє отримувати в короткий строк бетонні і залізобетонні вироби з необхідною відпускнуою міцністю.

Твердий портландцемент в розчинах і бетонах під впливом агресивних факторів (розчинів, кислот, лугів) руйнується (кородує). Сутність цієї корозії полягає в тому, що структурні складові цементного каменю або розчиняються або вступають у хімічну взаємодію з солями і кислотами, які знаходяться у воді.

А нові хімічні з'єднання або легко розчиняються у воді або кристалізуються у капілярах цементного каменя зі значним збільшенням об'єму, що призводить до з'явлення внутрішніх напружень і до руйнування цементного каменя.

Сульфатостійкі цементи. До цієї групи цементів входять сульфатостійкий портландцемент та портландцемент з мінеральними добавками, пуцолановий портландцемент та сульфатостійкий шлакопортландцемент.

Сульфатостійкий портландцемент відрізняється від звичайного підвищеною стійкістю по відношенню до сульфатної агресії в умовах систематичного поперемінного заморожування та відтавання, або зволоження та висушування. Ця головна особливість сульфатостійкого портландцементу, що враховується при використанні його в бетонних та залізобетонних конструкціях, забезпечується застосуванням клінкеру нормованого мінералогічного складу з низьким вмістом трикальцієвого алюмінату.

Поряд з сульфатостійким портландцементом, до якого не дозволяється вводити мінеральні добавки, промисловість випускає **сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками**, котрими можуть виступати гранульовані доменні та електротермофосфорні шлаки (10...20% при вмісті Al_2O_3 до 8%) та осадові породи.

Пуцолановий портландцемент – гідравлічна в'язуча речовина, яку отримують шляхом сумісного тонкого подрібнення клінкеру, кислої активної мінеральної добавки (21...55%) та гіпсу (3...5%). Як активні мінеральні добавки використовують природні або штучні силікатні матеріали, які в тонкоподрібненому вигляді під час змішування з водою самотійно не тверднуть, але під час гідратації цементу здатні зв'язувати гідроксид кальцію у практично нерозчинні гідросилікати кальцію. Значна кількість активних мінеральних добавок у пуцолановому цементі підвищує водо– та сульфатостійкість. Понижена густина пуцоланового портландцементу (2,7...2,9 г/см³) призводить до підвищеного виходу з нього цементного тіста. Це, а також ущільнення цементного каменя внаслідок набухання добавок, забезпечує більш високу водонепроникність бетонів на пуцолановому портландцементі. По мірі

розбавлення цементів мінеральними добавками знижується їх тепловиділення при твердінні та тріщиноутворення в масивному гідротехнічному бетоні.

Пуцолановий портландцемент при звичайних і особливо при низьких температурах твердіє повільно. Ріст міцності цього цементу особливо сповільнюється при твердінні його на повітрі. При введенні до цементу деяких мінеральних добавок збільшуються витрати води і відповідно цементу у бетонних сумішах. Бетони та розчини на пуцолановому портландцементі неморозостійкі. Їх недоліками також є велика усадка, низька стійкість до поперемінного зволоження та висушування.

Найбільш раціональним є використання пуцоланового портландцементу для підземних та підводних конструкцій підвищеної водонепроникності та стійкості як у м'яких, так і у мінералізованих водах. Можна використовувати його і для наземних конструкцій, що знаходяться в умовах підвищеної вологості, але не зазнають заморожування та відтавання.

Сульфатостійкий шлакопортландцемент отримують змішуванням попередньо помелених компонентів або спільним помелом портландцементного клінкеру, гіпсу (до 5%) і гранульованого доменного шлаку (36...80%). Гранульований шлак має тонкозернисту склоподібну структуру, і так само як і добавки пуцоланових цементів взаємодіє з гідроксидом кальцію утворюючи нерозчинні гідросилікати та гідроалюмінати кальцію. Шлакопортландцемент відрізняється від пуцоланового помірною водопотребою, вищою повітро- і морозостійкістю. Використовується для зведення наземних, підземних та підводних частин споруд. Вартість такого цементу на 15...20% нижча за вартість звичайного цементу. Проміжне положення між шлакопортландцементами і пуцолановими цементами займають **композиційні цементами**, в які вводять композицію мінеральних добавок: доменний шлак і пуцолани.

Цементи з добавками поверхнево активних речовин (ПАР). До портландцементів різних видів та марок при подрібненні дозволяється вводити ПАР у кількості не більше 0,3% за масою. В процесі подрібнення цементу ПАР

адсорбуються на його зернах та надають йому ряд властивостей. Розрізняють **гідрофілізуючі та гідрофобізуєчі ПАР**.

Гідрофілізуючі ПАР поглинаються на поверхні зерен цементу та утворюють гідрофільні плівки, які сприяють кращому змочуванню частинок водою, зменшенню їх зчеплення та підвищенню пластичності цементного тіста. З гідрофілізуючих ПАР найширше використовують технічні лігносульфати (ЛСТ). При введенні цих, а також інших пластифікуючих добавок, як правило, у кількості 0,15...0,3% в процесі подрібнення отримують пластифікований портландцемент. Пластифікуючий ефект, який досягається при використанні такого цементу, дозволяє зменшити водоцементне відношення та підвищити густину, морозостійкість і водонепроникність, а отже і сульфатостійкість бетону. При використанні гідрофобізуєчих ПАР на поверхні цементних зерен утворюються мономолекулярні адсорбційні водовідштовхуючі плівки, які зменшують гігроскопічність матеріалу при його перевезенні та складуванні в умовах з підвищеною вологістю повітря без втрати активності.

Безусадочні, розширні та напружуючі цементи. Для звичайних цементів при твердінні на повітрі характерна усадка, яка викликає напруження розтягу в бетоні навіть до утворення тріщин. Для запобігання виникнення цих недоліків використовують багатокомпонентні в'язучі речовини спеціального призначення, що здатні до розширення. Вони складаються з основного в'язучого матеріалу і розширної добавки до складу якої може входити кілька компонентів.

Безусадочні цементи мають невелике розширення (до 0,1%), що компенсує їхню усадку під час висихання. Вони запобігають тріщиноутворенню при виникненні деформацій усадки. Ці цементи використовують у будівництві таких об'єктів як багатоповерхові стоянки автомобілів або резервуари для води, де має бути виключено її просочування.

Розширні цементи характеризуються збільшенням об'єму (понад 0,1%), що не компенсується усадкою. Такі цемент використовуються для омонолічування збірних залізобетонних конструкцій, ущільнення швів, спорудження доріг та аеродромів, виготовлення залізобетонних труб.

Напружувальні цементи мають велику енергію розширення і використовуються при виготовленні залізобетонних виробів з арматурою, напружувальна енергія якої розвивається при розширенні цементу в процесі його гідратації та твердіння. Максимальне напруження, що може бути досягнуто в таких цементах, становить 3,5...8 МПа. Таким чином створюють попередньо напружені залізобетонні конструкції. Залежно від енергії самонапруження, ці цементи поділяються на марки: НЦ–20, НЦ–40, НЦ–60 із напруженням відповідно 2, 4 та 6 МПа.

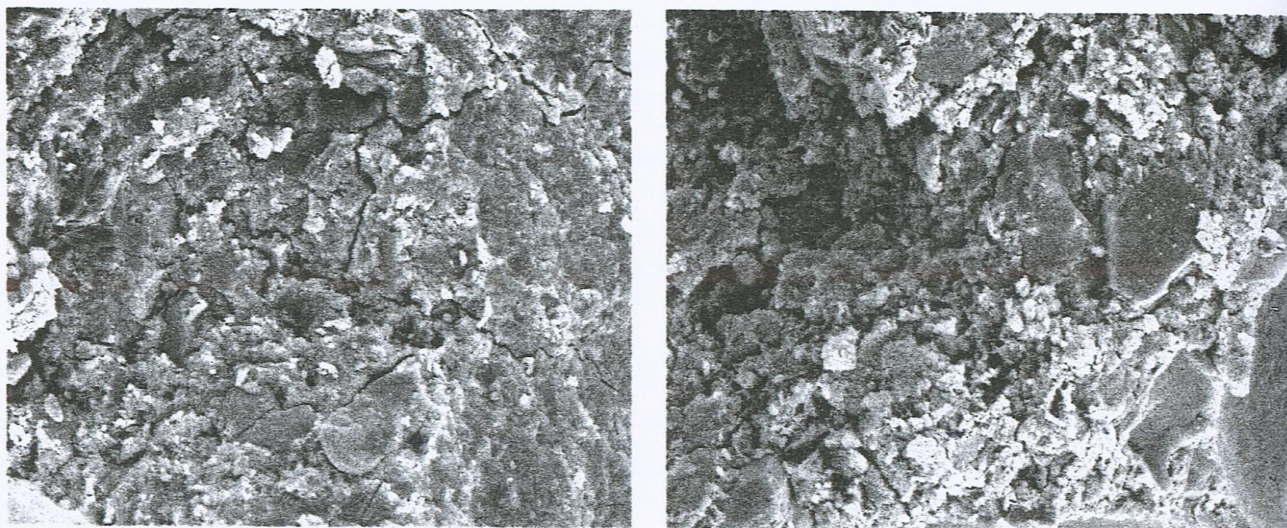
Глиноземистий цемент – швидкотвердіюча гідравлічна в'язуча речовина, яка отримується тонким помелом клінкеру, в якому переважають низькоосновні алюмінати кальцію. Щоб отримати потрібний мінералогічний склад глиноземистого цементу, необхідно в сировинній суміші забезпечити переважання оксидів Al_2O_3 (35...50 %) і CaO (30...45 %). З цією метою як вихідні матеріали застосовують високоглиноземисту сировину – боксити і вапняки. Подрібнюють глиноземистий цемент до проходження через сито №008 не менше 90 % маси проби. Водопотреба глиноземистого цементу така сама, як і в портландцементу (23...28 %), початок тужавіння настає не раніше 30 хв. Через 5...6 год. твердіння міцність глиноземистого цементу досягає 30 %, а в добовому віці – 80...90 % марочної. На відміну від портландцементу і його різновидів марочна міцність глиноземистого цементу визначається не у віці 28 діб, а через 3 доби з моменту виготовлення зразків. Марки його М400, М500 і М600.

Глиноземистий цемент використовують при аварійних, ремонтних і монтажних роботах на спорудах, які знаходяться під впливом дуже мінералізованих вод, для тампонування нафтових скважин, для отримання жаростійких бетонів.

При дії високих температур (при нагріванні) в цементному камені проходять процеси у двох напрямках:

1) Дегідратація кристалогідратів, тому виникає часткове руйнування, а потім і зниження міцності цементного каменю.

2) Дифузія, при якій можливості реакції в твердому стані з утворенням нових сполук.



a.

б.

Рис. 4.1. Мікрофотографії структури бетону до нагріву (*a*) та після нагріву до 600°C (*б*).

Однак дифузійні процеси в твердій фазі можуть проходити з достатньою швидкістю лише за високих температур, при яких атоми та атомні групи в кристалах отримують достатню рухомість. Як відомо, в силікатних системах дифузійні процеси в твердій фазі та реакції в твердому стані протікають тільки при температурі вище 700°C. Тим не менше, при температурі близько 500 °C можливе протікання хімічних реакцій, яке призводить до збільшення пор каркасу цементного каменю. Таке явище викликається температурним розкладанням клінкеру. На мікрофотографіях рис. 4.1 видно вихідну структуру цементного каменю і структуру отриману при його нагріванні до 600 °C, на яких видно, що збільшується об'єм пор та тріщин. Тому температура 500 °C вважається такою, що призводить до необоротних процесів втрати міцності цементним каменем.

Хімічні перетворення у клінкерних матеріалах приводять до часткових відшаровувань цементного каменю від мілкового та крупного заповнювачів, причому, дефекти структури є осередками де ці перетворення відбуваються.

На рис. 4.2 представлені криві зміни міцності та деформації затверділого портландцементу в залежності від температури.

Спираючись на отримані можливо описати поведінку цементного каменю в умовах нагрівання при пожежі. В цементному камені при нагріванні до 150–160°C відбувається розширення, за яким наступає усадка. Нагрівання до таких величин температури викликає деяке наростання міцності пов'язане з ущільненням структури через видалення води з гелю двохкальцієвого силікату та посиленої кристалізації гідроокису кальцію, який зміцнює цементний камінь. В інтервалі температур 280–300°C зразок цементного каменя приймає початкові розміри.

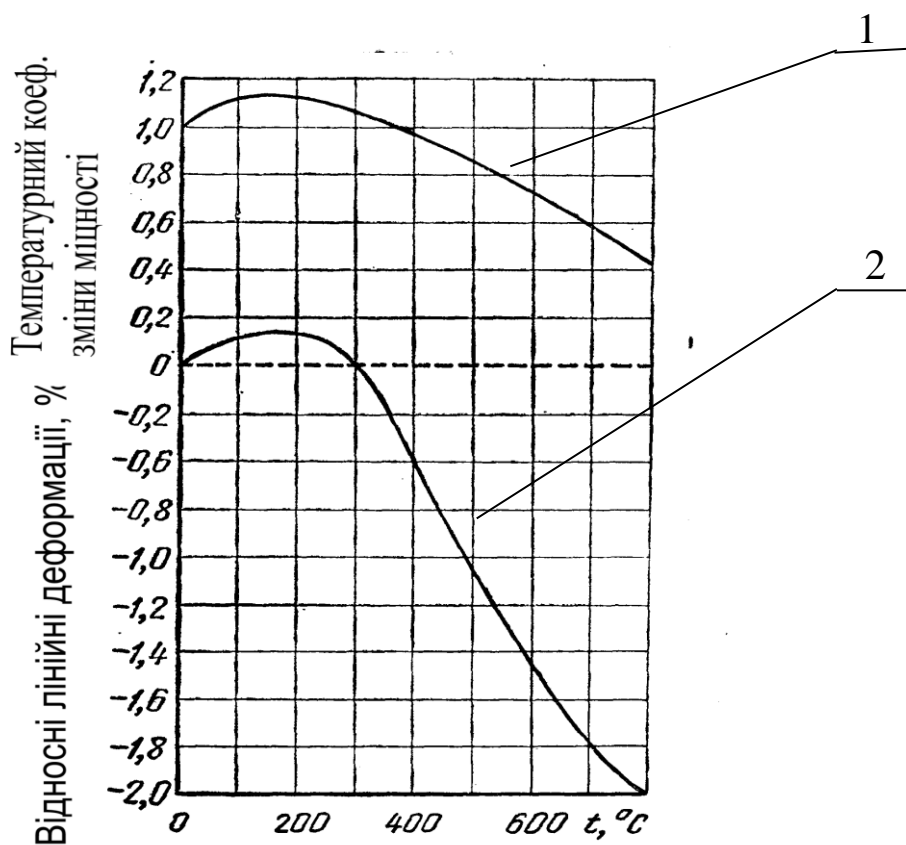


Рис. 4.2. Зміна міцності (1) та температурної усадки (2) цементного каменя при нагріванні

При цьому не спостерігається суттєвого зниження міцності. З подальшим нагріванням відбувається усадка, яка суттєво перевищує початкове розширення. Нагрівання до 400°C призводить до поступового зниження міцності через дегідратацію в основному алюмінатів кальцію. Подальше нагрівання до 550–

600°C викликає дегідратацію гідроокису кальцію і його термічне розкладання з утворенням окису кальцію. Це викликає порушення структури каменю і суттєве зниження міцності. Ще більше порушення структури та зниження міцності спостерігається при нагріванні до 800–900°C.

Питання для самоконтролю

1. Визначення і класифікація неорганічних в'язучих матеріалів.
2. Повітряні в'язучі матеріали. Повітряне вапно, визначення, технології виготовлення та застосування.
3. Вплив високих температур на тверді вапнякові будівельні розчини.
4. Повітряні в'язучі матеріали. Будівельний гіпс, визначення, технології виготовлення та застосування.
5. Вплив високих температур на властивості гіпсового каменя.
6. Рідке скло, визначення, технології виготовлення та застосування, вплив високих температур на властивості.
7. Гідравлічні в'язучі матеріали. Портландцемент. Визначення, сировина, технології виробництва, типовий мінеральний склад.
8. Основні фізико–механічні властивості портландцементу (водопотреба, терміни тужавіння, рівномірність зміни об'єму і міцність).
9. Корозія портландцементів. Сульфатостійкі цементи.
10. Цементи з добавками поверхнево активних речовин.
11. Безусадочні, розширні та напружуючі цементи.
12. Глиноземистий цемент.
13. Поведінка цементного каменя при дії високих температур.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Були виготовлені зразки розчинів із застосуванням трьох різновидностей гіпсових в'язучих: будівельного гіпсу, ангідритового цементу і гіпсоцементнопуцоланового в'язучого з межею міцності при стисненні відповідно 5,5; 4,5 і 3,5 МПа. В якому порядку за міцністю

розмістились зразки після витримування їх у воді, якщо врахувати, що коефіцієнт розм'якшення розчинів на будівельному гіпсі 0,35, на ангідритовому цементі – 0,5 і на гіпсоцементнопуцолановому в'язучому – 0,7?

2. При визначенні дійсної густини будівельного гіпсу була взята наважка $m_0=85$ г. В колбу Ле–Шательє була внесена частина цієї наважки, залишок склав $m_1=15,5$ г. При цьому рівень керосину у колбі підвищився від нульової відмітки до 25 см^3 . Розрахувати дійсну густину будівельного гіпсу.

3. В мірний скляний циліндр, що містить 35 см^3 керосину, всипали $30,5$ г портландцементу. На якій відмітці встановиться рівень керосину в циліндрі, якщо дійсна густина портландцементу $3,1 \text{ г/см}^3$?

4. Визначити діаметр циліндричного силосу для зберігання 100 т цементу висотою 10 м. Насипну густини цементу приймаємо 1300 кг/м^3 . Коефіцієнт заповнення силосу $0,9$.

5. Визначити добовий випуск бетонної суміші, якщо запас піску із розрахунку безперебійної роботи заводу протягом 10 діб складає 1500 м^3 в бункерах закритого складу. Середня густина піску 1600 кг/м^3 . Витрата піску на 1 м^3 бетонної суміші з врахуванням виробничих втрат 650 кг.

БЕТОНИ

1. Визначення та особливості формування структури бетонів.
2. Стандартизація та класифікація бетонів.
3. Основні властивості і класифікація важких бетонів.
4. Легкі бетони.
5. Спеціальні бетони.
6. Особливості сучасних технологій приготування, транспортування та укладання бетонних сумішей.
7. Поведінка бетонів за умов пожежі.

5.1. Визначення та особливості формування структури бетонів

Бетон – штучний кам'яний будівельний матеріал, який отримують в результаті твердіння раціонально підбраної, змішаної і ущільненої суміші з:

1. в'язучої речовини (портландцемент);
2. крупного заповнювача (гранітний щебінь, гравій, керамзит);
3. дрібного заповнювача (пісок);
4. води.

Цю суміш до початку твердіння називають **бетонною сумішшю**. Найактивнішою складовою бетону є цементний камінь, у процесі твердіння якого найбільша складова (мінеральний клей) перетворюється на полікристалічну структуру, яка надійно з'єднує крупний і мілкий заповнювачі в єдиний моноліт.

Міцність бетону залежить від складу бетону: якості та кількості цементу, розміру та якості заповнювачів, кількості та складу спеціальних добавок-модифікаторів, водоцементного відношення бетону, умов приготування, умов твердіння та віку бетону. Наприклад у разі природного твердіння у вологому середовищі міцність бетону зростає повільно і тільки через 7...14 днів набуває 60...80% марочної міцності. Через 3 місяці міцність зразків перевищує на 25%, а

після 1 року тверднення – на 75% міцність зразків у віці 28 діб. Якщо бетон твердне в сухому середовищі, у початковий період міцність зростає швидко, проте не досягає максимального значення.

5.2. Стандартизація та класифікація бетонів

Поділ бетонів (за українськими стандартами) може бути здійснений за такими ознаками, як основне призначення, середня густина, вид використаних в'язучих та заповнювачів, тип структури.

За основним призначенням бетони поділяють на *конструкційні* (для бетонних та залізобетонних несучих конструкцій) *та спеціальні* (гідротехнічні, дорожні, корозійностійкі, жаростійкі та вогнетривкі, декоративні, радіаційно–захисні тощо).

За середньою густиною у сухому стані бетони поділяють на:

- *особливо важкі* (ρ більше 2500 кг/м³), що отримують з використанням баритів, залізних руд тощо;
- *важкі* ($\rho = 2200...2500$ кг/м³) що передбачають використання заповнювачів із щільних гірських порід;
- *полегшені* ($\rho = 2000...2200$ кг/м³) виготовляють з використанням нещільних заповнювачів (вапняк–черепашиник, цегельний бій);
- *легкі* ($\rho = 500...2000$ кг/м³); виготовляють з використанням природних та штучних пористих заповнювачів (вулканічні та вапнякові туфи, пемза, керамзит);
- *особливо легкі* ($\rho < 500$ кг/м³) представлені насамперед ніздрюватими бетонами та бетонами на основі штучних пористих заповнювачів (спученого перліту та вермикуліту).

За видом в'язучої речовини:

- *портландцементні*;
- *силікатні автоклавного твердіння* (вапняково–піщані, вапняково–шлакові);
- *гіпсові*;
- *асфальтобетони* (бітумні в'язучі);

- *полімерні* (на синтетичних смолах).

За структурою:

- *щільні;*
- *пористі;*
- *ніздрюваті;*
- *крупнопористі.*

За розмірами крупного заповнювача розрізняють бетони:

- *крупнозернисті* (що містять заповнювач від 10 до 150 мм);
- *дрібнозернисті* (найбільший розмір заповнювача не перевищує 10 мм);
- *піщані* (розглядаються як різновид дрібнозернистих і містять пісок розміром до 5 мм).

5.3. Основні властивості і класифікація важких бетонів

Найбільш поширеним матеріалом для виготовлення конструкцій масового виробництва та монолітного будівництва є важкий бетон. Важкий бетон за своїм головним призначенням є конструкційним матеріалом і тому повинен відрізнятися поліфункціональними властивостями, в тому числі міцністю, відповідними деформаційними характеристиками та стійкістю в умовах експлуатації, тобто морозо– та корозійною стійкістю, водонепроникністю, тріщиностійкістю.

Міцність – це здатність бетону чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією навантажень або інших факторів. Бетон відносять до матеріалів, які добре працюють при стиску і у 5...50 разів гірше на зріз та при розтягу.

За нормативну характеристику вважається кубикова міцність при стиску, що визначається після 28 діб тверднення у нормальних умовах базових зразків–кубів з ребром 150 мм, а також призменна міцність за таких же умов базових зразків–призм розмірами 150×150×600 та зразків–циліндрів діаметром 150 мм і висотою 300 мм. Розміри зразків можуть бути іншими, і вибираються залежно від найбільшої крупності заповнювача, яка повинна бути приблизно в 3 рази

меншою, ніж ребро зразка. Якщо розмір ребра відрізняється від стандартного, то вводять відповідні масштабні коефіцієнти.

Основним показником міцності бетону, що подається в нормативних документах, є його клас, тобто міцність, яка приймається із гарантованою забезпеченістю 95%. Це означає, що межа міцності, яка відповідає класу, тобто **гарантована міцність** (МПа), досягається не менш ніж у 95 випадках із 100.

Інтервал часу, через який визначається клас бетону, залежить від виду бетону та умов його тверднення. Для більшості бетонів клас визначають через 28 діб тверднення при нормальних умовах, тобто при температурі $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості не менше 90%. В разі необхідності вік бетону (при визначенні класу) може бути збільшений до 90 або 180 діб (наприклад, для гідротехнічного бетону).

Для важкого бетону стандартизовані такі класи:

– **за міцністю при стиску**: B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B65; B70; B75; B80;

– **за міцністю при розтягу**: B_t0,4; B_t0,8; B_t1,2; B_t1,6; B_t2; B_t2,4; B_t2,8; B_t3,2; B_t3,6; B_t4,0;

– **за міцністю при згині**: B_{tb}0,4; B_{tb}0,8; B_{tb}1,2; B_{tb}1,6; B_{tb}2,0; B_{tb}2,4; B_{tb}2,8; B_{tb}3,2; B_{tb}3,6; B_{tb}4,0; B_{tb}4,4; B_{tb}4,8; B_{tb}5,2; B_{tb}5,6; B_{tb}6,0; B_{tb}6,4; B_{tb}6,8; B_{tb}7,2; B_{tb}8,0.

Зростання міцності при стиску супроводжується відповідним збільшенням значень міцності при розтягу, при цьому зазвичай міцність бетону на осьове розтягування становить 1/10...1/17 міцності при стиску, а міцність при згині - 1/6...1/10.

Деформації бетону визначаються його здатністю змінювати розміри під впливом процесів твердіння або під дією зовнішніх факторів.

Бетону притаманні як пружні, так і пластичні деформації. При невеликих навантаженнях (до 0,2 від міцності руйнування) для бетону характерні пружні деформації, однак при більших навантаженнях на поверхні бетону виникають мікротріщини, і має місце вже пластична деформація. Вигляд діаграми деформування бетону поданий на рис. 5.1.

Нелінійність деформацій при навантаженнях, більших ніж 0,3...0,4 від руйнуючих навантажень, пов'язана із процесом виникнення та розвитком у бетоні мікротріщин не тільки по поверхні, але й по усьому об'єму матеріалу.

В силу того, що на більшій частині діаграма деформування має нелінійний характер, модуль пружності визначається тільки на початковому етапі.

Початковий модуль пружності бетону при стиску E – це відношення нормального напруження до відносної деформації при напруженні, що дорівнює 0,2 від міцності бетону на стискання. Значення модуля пружності зростає зі збільшенням міцності при стиску і залежно від класу бетону знаходиться у межах $(9,5...40) \cdot 10^3$ МПа. Величина модуля пружності також залежить від загальної пористості бетону та використаних при його виготовленні заповнювачів. Зазвичай збільшення пористості бетону призводить до зменшення модуля пружності.

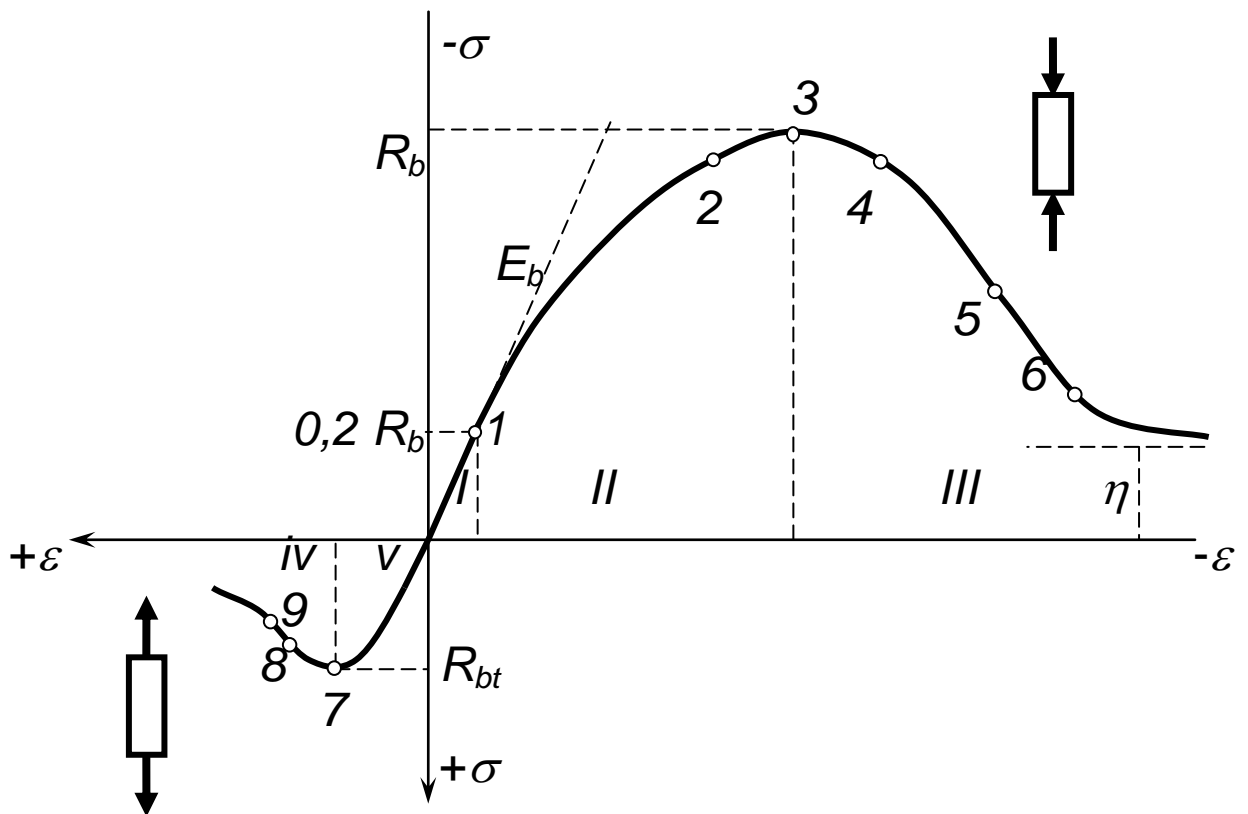


Рис. 5.1. Повна діаграма деформування бетону.

При дослідженні поведінки бетону в умовах його деформування існує два підходи. Перший підхід заснований на поступовому збільшенні навантажувальних напружень до повної руйнації зразку, яка настає в точці 3 гілки діаграми, відповідній стисканню, і в точці 7 гілки, відповідній розтягу. При цьому на гілці стискання виділяють зони I та II, а на гілці розтягу V.

Характер деформацій для стискання та розтягу дуже сильно відрізняються. При стисканні на початковому етапі (ділянка I) наявні тріщини закриваються і бетон поводить себе як пружний матеріал за рахунок пружних деформацій каркасу, зберігаючи при цьому пропорційну залежність між деформаціями та напруженнями. В точці 1 починається утворення нових тріщин і починається наступна ділянка II, для якої характерна поява псевдопластичних деформацій, зумовлених появою і розвитком нових тріщин. В точці 2 розпочинається утворення і розвиток нестійких тріщин. Точка 3 відповідає межі міцності бетону на стискання.

Характер деформацій при розтязі зумовлений тією обставиною, що розвиток тріщин на ділянці V жодної миті не припиняється і тому відповідна гілка діаграми не має лінійної ділянки. Точка 7 відповідає межі міцності бетону на розтяг.

Спадні гілки повної діаграми деформування досліджуються за іншого підходу до вимірювань при зменшенні напружень після досягнення межі міцності. Поведінка бетону на спадних гілках діаграми є дуже важливою для прогнозування роботи статично невизначених залізобетонних конструкцій, особливо при умовах прогресуючого руйнування під час пожеж та інших надзвичайних ситуацій. Точки 4, 5, 8, 9 встановлюють границі застосування спадних гілок діаграми для різних нормативів. Точка 6 визначає настання так названих магістральних тріщин, після чого деформуються окремі частини роздробленого бетону.

Усадка - це зменшення розмірів бетону при твердінні його в повітряно-сухих умовах, яке обумовлене зміною вологості бетону, контракцією цементного тіста та карбонізацією новоутворень. Величина усадки в першу чергу визначається змінами вологості, тобто переміщенням та випаровуванням

води, яка ще не увійшла до складу новоутворень. Усадка, що пов'язана із контракцією, є незначною і обумовлена тим, що об'єм новоутворень цементного каменю менший, ніж об'єм речовин, які вступають у реакцію. Карбонізаційна усадка пов'язана з наявністю вуглекислого газу у повітрі і відбувається у поверхневих шарах бетону, що твердіє.

Найбільшу усадку, величина якої може досягати 20 мм/м, має цементний камінь.

Шкідлива дія усадки пов'язана з виникненням тріщин по поверхні бетону, особливо в початкові терміни твердіння при низькій вологості оточуючого середовища. Негативні явища, пов'язані з усадкою можна попередити, забезпечуючи потрібні умови твердіння, а також вдаючись до конструктивних заходів, наприклад використовуючи усадочні шви.

Набухання - це явище протилежне усадці і полягає у збільшенні об'єму бетону при наперемінному зволоженні його поверхні або при постійній експлуатації у воді. Наявність набухання пов'язана з дією тих самих факторів, що й усадка, але її величина є значно нижчою.

Повзучість – це здатність бетону до збільшення деформацій при тривалій дії сталого навантаження. Ця характеристика залежить від виду цементу, природи заповнювачів, складу бетонної суміші (чим менша витрата цементу і нижче В/Ц відношення, тим меншою є повзучість). Деформації повзучості найінтенсивніше розвиваються з моменту прикладання навантаження і затухають лише через кілька років. Наслідком повзучості є **релаксація** – перерозподіл напружень та їх часткове зменшення.

З деформаційними характеристиками бетону пов'язана його **тріщиностійкість**, яка визначається міцністю бетону при розтягу, призмовою міцністю, модулем пружності та усадкою.

Залежно від умов експлуатації до бетону висувають спеціальні вимоги щодо їхньої морозостійкості, водонепроникності, водостійкості, зносостійкості, тріщиностійкості.

Морозостійкість бетону є непрямим показником його довговічності і характеризується найбільшим числом циклів наперемінного заморожування та

відтавання, що спроможні витримати зразки бетону (в насиченому водою або сольовим розчином стані) без зниження міцності більше 5% (для дорожнього бетону, крім втрати міцності, також регламентуються втрати маси до 3%).

Морозостійкість залежить від співвідношення у структурі бетону умовно–замкнених та відкритих (капілярних) пор. Умовно–замкнені пори (зазвичай заповнені повітрям) є резервними і послаблюють тиск льоду, що виникає при замерзанні води у порах. Морозостійкість бетону значно підвищується, якщо капілярна пористість не перевищує 7%.

За морозостійкістю важкий бетон поділяють на марки: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000.

Підвищення морозостійкості бетону досягається за рахунок зниження водоцементного відношення, використання гідрофобно–пластифікуючих та повітровтягувальних добавок, інтенсивного ущільнення бетонної суміші. Наприклад, залежно від умов роботи бетону при низьких температурах, рекомендовано для бетону F500 приймати В/Ц < 0,4; для F400 – В/Ц < 0,45; F300 – В/Ц < 0,5; F200 – В/Ц < 0,55.

Водонепроникність бетону пов'язана із щільністю його структури і залежить від виду використаних заповнювачів, в тому числі від їхньої щільності, гранулометричного складу та пустотності, пористості цементного каменю та міцності зчеплення його із заповнювачами.

Характеристикою водонепроникності бетону є його марка, що відповідає максимальному тиску (0,2...2 МПа), при якому ще не спостерігається фільтрація води крізь стандартний зразок. За водонепроникністю розрізняють такі марки бетону: W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20.

Підвищення водонепроникності досягається за рахунок зменшення В/Ц відношення, застосування пластифікованих, гідрофобних цементів та в'язучих речовин, здатних до розширення.

Теплофізичні властивості бетону оцінюються визначенням теплопровідності, теплоємності та лінійним коефіцієнтом температурного розширення.

Теплопровідність - найважливіша теплофізична характеристика бетону, що використовується для виготовлення огорожувальних конструкцій будівель. Теплопровідність важкого бетону у повітряно-сухому стані в середньому становить $1,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°К)}$, що у 2...4 рази більше за теплопровідність легкого бетону. Висока теплопровідність є недоліком важкого бетону, і тому панелі зовнішніх стін з важкого бетону виготовляють із внутрішнім шаром утеплювача. **Теплоємність** важкого бетону знаходиться у межах $0,75...0,92 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°К}$. **Температурний коефіцієнт лінійного розширення** важкого бетону становить $10\cdot 10^{-6} \text{ 1/°К}$, і тому при зростанні температури на 50°С розширення бетону досягає 50 мм/м .

Для уникнення розтріскування масивних будівель, конструкції поділяють спеціальними температурно-усадочними швами, а також в разі виникнення загрози температурних перепадів використовують окремі складові бетону з близькими коефіцієнтами температурного розширення.

5.4. Структура бетону

Характерною особливістю бетону є те, що це складний композиційний матеріал, в якому існує, принаймні, три компоненти на макрорівні – розчин, який подібний до бетону, якщо розглядати його як комбінацію фази цементного каменя та мілкого заповнювача, а також крупний заповнювач. Мікрорівень бетону при його затвердінні визначає набагато більшу кількість компонентів – негідратовані цементні ядра, гідратовані реакційні оболонки ядер, порові порожнини з вологою на поверхні. Якщо розглядати будову окремих компонентів, з'ясовується, що і вони мають складний фазовий склад. Зрозуміло, що така будова матеріалу обумовлює його складну поведінку в умовах, що комбінують напружено–деформований стан із дією високої температури пожежі.

З огляду на викладене, необхідно виділити основні властивості бетону. Якщо міцність будівельних конструкцій визначається несучою здатністю, тоді важливим буде комплекс властивостей матеріалу, які визначають його міцність та жорсткість у цих умовах. Фрагменти структури розчинної частини бетону

наведені на рис. 5.2. Хімічний склад основних структурних утворень і фаз бетону подано у табл. 5.1.

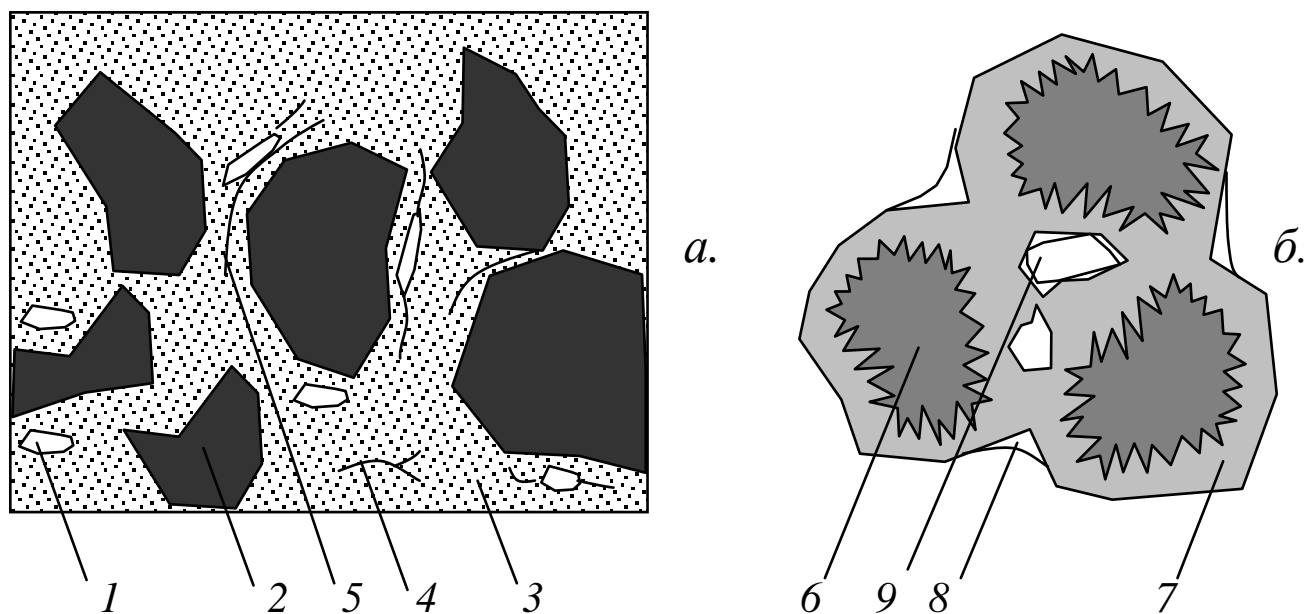


Рис. 5.2. Фрагменти структури розчинної частини бетону: а – макроструктура; б – мікроструктура; 1 – повітряні порожнини; 2 – мілкий заповнювач; 3 – цементуюча речовина; 4, 5 – усадочні тріщини у цементуючій рідині та контактній зоні; 6 – непрогідратоване цементне ядро; 7 – новоутворення; 8 – поверхнева волога; 9 – структурна пора.

Таблиця 5.1

Хімічний склад основних структурних утворень та фаз бетону

№, п/п	Структурне утворення, фаза важкого бетону	Речовина	Розміри структурних елементів	Хімічна формула
1.	Крупний заповнювач	Щебінь, (граніт)	5...70 мм	SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O}, \text{CaO}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6(2)\text{SiO}_2$
2.	Мілкий заповнювач	Пісок	1...3 мм	SiO_2
3.	Непрогідратоване цементне ядро	Портландцементний клінкер	0,1...10мкм	аліт – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\text{C}_3\text{S})$, беліт – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\text{C}_2\text{S})$, целіт – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\text{C}_3\text{A})$, целіт – $4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\text{C}_4\text{AF})$.
4.	Прогідратований портландцемент після затвердіння (новоутворення)	Прогідратований портландцементний клінкер	0,1...10мкм	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$ (31...32) H_2O , $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.
5.	Порожнини	Пори	0,001...2 мм	

Міцність важкого бетону та його окремих структурних утворень

№, п/п	Властивість бетону	Величина	Зміна властивостей під впливом пожежі
1.	Міцність зчеплення розчину з крупним заповнювачем	2–25 МПа	знижується
2.	Міцність розчину	22–45 МПа	до 300°C зростає, з подальшим нагрівом знижується
3.	Міцність цементного каменя	50–90 МПа	до 300°C зростає, з подальшим нагрівом знижується
4.	Міцність крупного заповнювача	20–140 МПа	до 200°C зростає, з подальшим нагрівом знижується, при 700°C на 20%
5.	Міцність мілкового заповнювача	$R_{cm\ n} = 350$ МПа	до 200°C зростає, а після знижується
		$R_{роз\ n} = 36$ МПа	
		$\sigma_m = 300–1400$ МПа	
6.	Міцність бетону (призменна)	$R_{28} = 20–60$ МПа	до 200°C зростає на 10-15%, з подальшим нагрівом знижується, при 300°C, 500°C, 800°C відповідно на 20, 40, 75 %

На міцність та жорсткість бетону впливають міцності зчеплення між розчином та крупним заповнювачем, між цементним каменем та дрібним заповнювачем, міцність цементного каменя, міцність заповнювача. Параметри міцності важкого бетону та його окремих структурних утворень подані у табл. 5.2.

5.5. Легкі бетони

Питання енергозбереження завжди тісно пов'язані з питаннями економіки, екології, конкурентоспроможності продукції, збереженням власних природних ресурсів та забезпеченням життєдіяльності майбутніх поколінь держави.

Будівельний комплекс України кожного року потребує приблизно 30% від загальної кількості енергії, що витрачається, а частка палива, що йде на опалення житлових і громадських будівель в цьому балансі становить 85%. Порівняно з європейськими країнами показники питомої витрати енергії в нашій

країні на опалення житла в 2...3 рази є вищими, що свідчить не про комфортність житла, а про значні втрати теплоти в будівлях. Так, в Україні термічний опір існуючих огорожувальних конструкцій знаходиться на рівні 0,6...1,2 (м²·°К)/Вт, в той час як в Канаді – 2,5...3,7, Норвегії та Швеції – 4 (м²·°К)/Вт.

Зростання цін на всі види енергоносіїв призводить до зростання витрат на будівництво і експлуатацію споруд. Виникає потреба в зниженні енерговитрат як у виробництві будівельних матеріалів, так і при експлуатації споруд.

Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є істотне (в деяких країнах до 3 разів) підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій нових і існуючих споруд, що може бути досягнуте, наприклад, за рахунок використання легких бетонів, в тому числі ніздрюватих.

До легких бетонів відносять бетони із середньою густиною не вище 2000 кг/м³. Порівняно низька середня густина легкого бетону позначається на його властивостях: міцності, теплопровідності, деформативності тощо. На відміну від важкого бетону на щільних заповнювачах, структура легких бетонів насичена повітряними порами та пустотами. Досягається це такими технологічними прийомами, як вилученням зі складу бетонної суміші дрібного заповнювача (піску), що збільшує об'єм міжзернових пустот; використанням легких пористих заповнювачів (природних чи штучних); поризацією сировинної суміші введенням піно– та газотвірних добавок. Можна також одержати легкий бетон на пористих заповнювачах із додатковою поризацією цементного каменю.

Відповідно до цього розрізняють *легкі щільні бетони на пористих заповнювачах, крупнопористі на пористих та щільних заповнювачах та поризовані* бетони. В окрему групу легких бетонів виділяють *ніздрюваті*, які поділяють на піно– та газобетони (рис. 5.3).

Легкі бетони на пористих заповнювачах мають різноманітні властивості, що змінюються в широких межах. Це робить їх конкурентноспроможними як важким конструкційним, так і спеціальним бетонам.

Бетони на пористих заповнювачах класифікують за такими ознаками:

- **за призначенням:** конструкційні, конструкційно–теплоізоляційні, теплоізоляційні та спеціальні (жаростійкі, хімічно стійкі та ін.);
- **за видом пористих заповнювачів:** керамзитобетон, керамзитоперлітобетон, шлакопемзобетон, перлітобетон, шлакобетон, золобетон, опокобетон, туфобетон та ін.;
- **за структурою:** щільні (суцільної структури), поризовані, крупнопористі;
- **за крупністю заповнювачів:** звичайні з максимальною крупністю заповнювачів 20 і 40 мм та дрібнозернисті з максимальною крупністю заповнювачів до 10 мм.

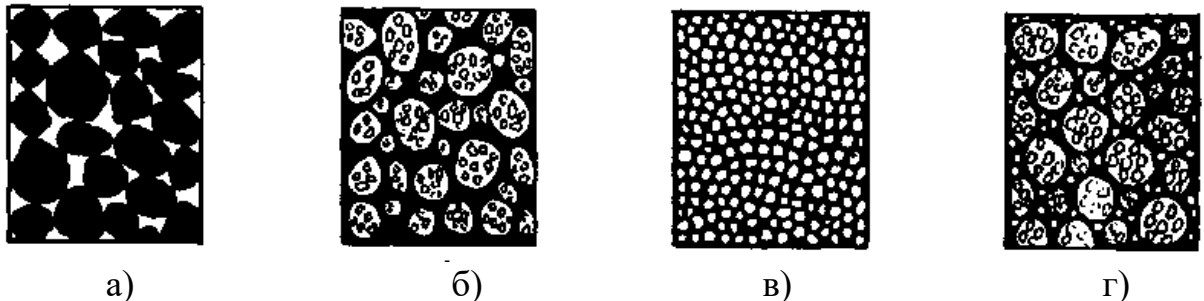


Рис.5.3. Структура легких бетонів: а – крупнопористого на щільних заповнювачах; б – щільного на пористих заповнювачах; в – ніздрюватого; г – поризованого

Властивості бетонів на пористих заповнювачах залежать в першу чергу від їхньої середньої густини, яка визначає такі характеристики, як міцність, теплопровідність, усадку, звукопроникність тощо.

Середня густина легких бетонів залежить головним чином від середньої густини заповнювачів. Легкі бетони за середньою густиною в сухому стані ($\text{кг}/\text{м}^3$) поділяють на марки від D300 до D2000. Зменшити середню густина легких бетонів можна завдяки додатковій поризації цементного каменю, що є найважчою складовою частиною легкого бетону. Використовуючи невеликі кількості піно– та газоутворювачів, досягають утворення в структурі цементного каменю дрібних закритих і рівномірно розподілених пор, які незначно знижують міцність, але істотно впливають на зменшення густини і теплопровідності легкого бетону.

Основним показником *міцності* легкого бетону є клас, який визначають за гарантованою міцністю при стиску (МПа). Згідно з ДСТУ Б В. 2.7-18-95 для конструкційних бетонів передбачені такі класи: В12,5; В15; В17; В20; В22; В25; В30; В35; В40; для конструкційно–теплоізоляційних – В1; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В13; для теплоізоляційних – В0,35; В0,75; В1; В2.

Визначаючи склад легкого бетону, слід прагнути максимального насичення його об'єму пористим заповнювачем, що дає змогу досягти оптимального поєднання основних властивостей бетону: середньої густини, міцності та теплопровідності при мінімальній витраті цементу.

Теплопровідність легких бетонів на пористих заповнювачах значно нижча, ніж важких. Вона залежить від теплофізичних властивостей пористого заповнювача, середньої густини та вологості бетону. Вимоги щодо теплопровідності легких бетонів визначаються стандартами, технічними умовами та проектною документацією на легкобетонні вироби й конструкції конкретних видів.

Теплопровідність легких бетонів знаходиться в межах від 0,09 до 0,66 Вт/(м·°К). Згідно з ДСТУ Б В.2.7–18–95, теплопровідність легких бетонів, що містять склофази менше 50% при середній густині D400...D700 , становить 0,11...0,66 Вт/(м·°К), а для бетонів, що містять більше 50% склофази при середній густині D300...D1700 – 0,09...0,46 Вт/(м·°К). Із збільшенням вологості коефіцієнт теплопровідності легких бетонів зростає, причому в діапазоні зміни вологості від нуля до максимальної сорбційної, цю залежність можна вважати лінійною.

За морозостійкістю конструкційні легкі бетони поділяють на марки від F15 до F500. Морозостійкість легких бетонів можна підвищити за рахунок використання повітровтягувальних, комплексних пластифікуючих повітровтягувальних (СДО, СНВ тощо), а також кремнієорганічних добавок (ГКЖ-10, ГКЖ-94 та ін.). Наявність у складі пористих заповнювачів слабовипалених зерен чи незгорілих вуглецевих залишків (наприклад, у золах ТЕС) знижує морозостійкість легких бетонів, особливо низькомарочних.

Водонепроникність легких бетонів забезпечується лише при наявності щільної структури з об'ємом міжзернових пустот не більш як 3%. За водонепроникністю конструкційні легкі бетони поділяють на марки W2; W4; W6; W8; W10; W12; (цифри відповідають гідростатичному тиску від 2 до 12 кгс/см²).

Деформативні властивості легких бетонів на пористих заповнювачах відрізняються від аналогічних властивостей важких бетонів. Так, при однаковій міцності гранична стискуваність легких бетонів щільної структури в 1,5...2 рази вища, ніж у важких, і становить 1,5...2,0 мм/м; гранична розтяжність також вища: 0,3...0,4 мм/м (для важкого бетону – 0,1 мм/м), внаслідок чого легкі бетони на пористих заповнювачах більш тріщиностійкі порівняно з важкими. В той же час деформації **усадки й повзучості** легких бетонів більші, ніж у важких, що потрібно враховувати при проектуванні конструкцій.

Легкі бетони, завдяки своїм перевагам, широко застосовуються у житловому, цивільному, промисловому, транспортному, сільському та інших видах будівництва для виготовлення монолітних та збірних конструкцій, в тому числі й армованих.

Легкі бетони, які відповідають вимогам щодо морозостійкості й водонепроникності, доцільно використовувати у зовнішніх огорожувальних конструкціях житлових та промислових будівель, у мостових конструкціях та гідротехнічних спорудах.

Застосування легких бетонів дозволяє зменшити масу будівельних виробів і конструкцій, знизити вартість транспортних та монтажних операцій, скоротити витрати на опалення (за рахунок поліпшення теплоізоляції), підвищити вогне-, морозо- та сейсмостійкість будівель і споруд. Крім того, відкривається можливість вирішення екологічних питань за рахунок використання супутніх продуктів промисловості й відходів сільського господарства як заповнювачів легких бетонів.

Крупнопористий бетон утворюється після затвердіння бетонної суміші, що складається з цементу, крупного заповнювача, пластифікуючих добавок та води. Структура такого бетону характеризується наявністю крупних пустот,

утворених за рахунок відсутності в його складі дрібного заповнювача, а міжзерновий простір заповнюється цементним тістом лише частково. Цей бетон відрізняється невеликою витратою цементу ($70\text{...}150 \text{ кг/м}^3$), кількість якого визначається мінімальним об'ємом цементного тіста, потрібного для того, щоб укрити тонким шаром кожне зерно заповнювача. При використанні пластифікуючих добавок можна знизити витрату цементу до 100 кг на 1 м^3 бетону.

Щоб досягти найбільшої міжзернової пустотності, слід застосовувати крупний заповнювач із зернами приблизно однакового розміру, тобто однієї фракції, наприклад $20\text{...}40$, $10\text{...}20$ або $5\text{...}10 \text{ мм}$. Заповнювач для крупнопористого бетону може бути у вигляді щебеню чи гравію. При цьому можна використовувати гравій, щебінь із щільних чи пористих гірських порід, штучні пористі заповнювачі, паливні шлаки, цегляний бій.

При застосуванні природного гравію або гранітного щебеню одержують крупнопористий бетон із середньою густиною $1700\text{...}1900 \text{ кг/м}^3$, а якщо скористатися пористими заповнювачами, то можна знизити середню густину до $500\text{...}700 \text{ кг/м}^3$. Крупнопористі бетонні суміші на легких пористих заповнювачах мають високу жорсткість, тому при застосуванні їх слід перевіряти на нерозшаровуваність.

Міцність крупнопористого бетону значною мірою залежить від міцності контактів між зернами крупного заповнювача та міцності в'язучої речовини. Залежно від границі міцності при стиску крупнопористі бетони поділяють на класи В1; В2; В2,5; В3,5; В5 і В7,5. Міцність крупнопористого бетону на розтяг не нормується.

Теплопровідність крупнопористого бетону залежить від його середньої густини й становить $0,30\text{...}0,98 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°К)}$.

Склад крупнопористого бетону зазвичай представляють у вигляді відношення (за об'ємом) цемент – заповнювач.

Крупнопористий бетон застосовують лише в конструкціях, які експлуатуються в умовах стиску, в тому числі для виготовлення монолітних або збірних стін опалюваних будівель заввишки до чотирьох поверхів. Оскільки

бетон має наскрізну пористість, то для уникнення продувності стін їх слід обштукатурювати з обох боків. Іноді можливе його використання при виготовленні тришарових огорожувальних конструкцій, наприклад у середньому шарі рекомендується застосовувати крупнопористий керамзитобетон із середньою густиною 550 кг/м^3 . При проектуванні стінових конструкцій з такого бетону потрібно вживати заходи, які запобігають утворенню конденсату в міжзерновому просторі, що призводить до виникнення „містків холоду”.

Крупнопористий бетон також використовують для виготовлення панелей із горизонтальною розрізкою стін.

При застосуванні легких пористих заповнювачів одержують теплоізоляційний крупнопористий бетон, з якого виготовляють плити для теплоізоляції стін та покриттів будівель. Крупнопористий бетон придатний також для виготовлення звукопоглинальних виробів у вигляді плит та блоків.

Поризований бетон є різновидом легких бетонів на пористих заповнювачах. Його отримують поризацією розчинової суміші або заміною її поризованим цементним тістом, виключивши із складу дрібний заповнювач. Для поризації таких бетонів застосовують невелику кількість піно- та газотвірних добавок. Залежно від виду використаного заповнювача та способу поризації, бетони дістають відповідну назву, наприклад керамзитопінобетон, керамзитогазобетон. Порівняно з легким бетоном щільної структури поризований бетон має відносно низькі середню густину й коефіцієнт теплопровідності.

Марки поризованих бетонів за середньою густиною становлять D800...D1400, класи за міцністю при стиску – B2,5...B7,5.

Поризовані бетони, які відрізняються покращеними теплофізичними характеристиками, доцільно використовувати для зовнішніх огорожень (стінові панелі, панелі покриттів).

Ніздрюватий бетон – це штучний пористий матеріал, структура якого характеризується наявністю рівномірно розподілених сферичних пор діаметром до 2 мм, заповнених повітрям або газом. Від величини пор та кількості їх в

одиниці об'єму залежать основні властивості бетону: середня густина, міцність, теплопровідність. Об'єм пор може досягати 85% загального об'єму ніздрюватого бетону.

У зв'язку з введенням нових нормативних показників теплозахисту будівель, їх спорудження із традиційних стінових матеріалів (цегла, керамзитобетонні панелі) стало економічно не вигідним внаслідок необхідності збільшення товщини стін до 1...1,5 м. Пристосування до нових вимог вимагає використання матеріалів із покращеними теплоізоляційними характеристиками, в тому числі ніздрюватих бетонів, вироби з яких характеризуються коефіцієнтом теплопровідності в 2...3 рази нижчим, ніж цегла або керамзитобетонні панелі, внаслідок чого стіни будівель із ніздрюватого бетону забезпечують необхідний термічний опір при зберіганні товщини стінових конструкцій в межах 400...600 мм.

Порівняння різних показників огорожувальних конструкцій свідчить, що лідером за техніко-економічними показниками є ніздрюватий бетон, різновиди якого представлені газо- та пінобетоном. Відомо, що ці два типи пористого бетону істотно відрізняються технологією виробництва, об'ємами капіталовкладень, технологією укладання, а також фізико-технічними показниками. Проте, внаслідок дефіциту теплоефективних матеріалів на будівельному ринку вони не є „конкурентами”, а скоріше „партнерами”, оскільки мають власні галузі раціонального і ефективного застосування.

Стіни, виконані із застосуванням ніздрюватого бетону, забезпечують комфортні умови завдяки особливостям пористої структури бетону. Сукупність фізичних та теплофізичних властивостей (висока відносна пористість бетону, теплопровідність, теплосасвоєння, достатня повітропроникність і паропроникність) забезпечує мінімальну величину коливань температури в середині приміщення при зміні температури зовнішнього повітря. Ніздрюватий бетон за рахунок власної високої повітро- і паропроникності, яку можна регулювати товщиною і властивостями оздоблювальних внутрішніх покриттів, забезпечує часткову інфільтрацію антропогенних (шкідливих речовин життєдіяльності людини) і дозволяє підтримувати високі комфортні умови в

приміщенні. Ці властивості ніздрюватого бетону обумовлюють зменшення кратності повітрообміну і, відповідно, зниження витрат на підтримування нормальної температури у приміщенні.

За екологічними показниками ніздрюватий бетон наближається до дерев'яних конструкцій. Будівлі з нього є практично вічними, причому міцнісні показники з часом дещо підвищуються, вони не гниють, на відміну від деревини, і не піддаються корозії, як вироби із металу.

Ніздрюватий бетон – екологічно чистий матеріал, він не виділяє токсичних сполук, рівень радіоактивності його нижче допустимих меж і не перевищує 350 Бк/кг. Крім того, для його виготовлення використовують розповсюджені місцеві матеріали: пісок, вапно, цемент, воду, причому при їхній переробці не утворюються відходи, які забруднюють повітря, воду та ґрунт. За даними Міністерства охорони здоров'я коефіцієнт екологічності, наприклад для стін із деревини становить 1,0; для ніздрюватого бетону – 2,0; керамічної цегли – 10,0; керамзитобетону – 20,0.

Теплоакумулюючі властивості ніздрюватого бетону забезпечують потрібний рівень комфортності проживання та зниження витрат на опалення будівель, а також гарантують вирівнювання температурних коливань не тільки влітку та взимку, але й при змінних коливаннях температури дня та ночі.

Завдяки наявності замкнутих пор у структурі ніздрюватого бетону, водопоглинання його нижче, ніж інших стінових матеріалів із капілярною структурою, і тому на цей час стінові вироби з ніздрюватого бетону застосовують також для підземних поверхів житлових будинків із відповідною зовнішньою ізоляцією.

Звукоізоляційні властивості стін із ніздрюватого бетону достатньо високі і визначаються їхньою здатністю затримувати звук, наприклад, при середній густині бетону 400...500 кг/м³ залежно від товщини матеріалу досягаються наступні показники звукоізоляції: при 100 мм – 35...37 дБ; 125 мм – 44...46 дБ; 150 мм – 55...57 дБ; 175 мм – 64...66 дБ.

Ніздрюватий бетон відносять до матеріалів пожежобезпечних. Він не горить і ефективно запобігає розповсюдженню вогню, а тому його можна

застосовувати для кладки стін всіх класів пожежної безпеки. Так, наприклад, границя вогнестійкості без руйнування структури матеріалу стіни, яка виконана з ніздрюватобетонних блоків товщиною 100 мм, становить 2 години, а границя розповсюдження вогню - 0 см.

Вироби з ніздрюватого бетону порівняно з іншими видами бетонів відрізняються кращою технологічністю при виконанні робіт, що дозволяє значно зменшити трудомісткість і вартість робіт при зведенні стін будівель.

Вироби з ніздрюватого бетону легко піддаються обробці різними інструментами, що дає змогу виготовляти будівельні конструкції різної конфігурації, прорізати канали і отвори під електричні кабелі або трубопроводи. Ніздрюватобетонні конструкції легко ґрунтуються і фарбуються або покриваються шпалерами.

Технічні характеристики ніздрюватих бетонів повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7–45–96. За показниками середньої густини встановлено марки ніздрюватого бетону від D300 до D1200.

Міцність ніздрюватого бетону залежить від його середньої густини, виду й властивостей вихідних матеріалів, режиму теплової обробки та вологості.

Залежно від гарантованої міцності на стиск розрізняють класи ніздрюватого бетону: B0,35; B0,5; B0,75; B1; B1,5; B2,0; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12.5; B13, а також від середньої міцності – марки від M5 до M 200.

За морозостійкістю ніздрюваті бетони поділяють на марки F15, F25, F35, F50, F75 і F100.

Вимоги до основних властивостей ніздрюватих бетонів встановлюють залежно від їхнього призначення. Наприклад, конструкційні ніздрюваті бетони повинні мати клас за міцністю на стиск не менше як B5 (марка не менша ніж M75) і марку за морозостійкістю не менше як F50.

Теплопровідність ніздрюватого бетону залежить здебільшого від його середньої густини та вологості і перебуває у межах 0,08...0,30 Вт/(м·°К); такий бетон має високі звукопоглинальні та звукоізоляційні властивості.

Усадка ніздрюватих бетонів при висиханні вища, ніж у важкого бетону, і становить 0,5...0,7 мм/м для автоклавного і до 3 мм/м – для безавтоклавного бетонів.

Ніздрюваті бетони мають високу повітропроникність, сорбційну вологість – 8...22%, паропроникність – 0,08...0,26 мг/м·год·Па залежно від виду кремнеземистого компонента та середньої густини.

Разом з тим, ніздрюватий бетон, поряд з високими теплоізоляційними показниками, характеризується недостатньо високою міцністю при стиску. Міцнісні характеристики споруд на його основі підвищують використовуючи різні конструктивно–технологічні рішення, наприклад, влаштування каркасних будівель із внутрішніми несучими стінами і колонами, монолітних поясів жорсткості, бетонних рамок, армованих панелей перекриттів, несучих перетинок та ін. Особливо ефективними є вироби з ніздрюватого бетону для малоповерхового будівництва (в індивідуальних будинках типу „котедж”) або багатоповерхового каркасного будівництва. У світовій практиці ніздрюватий бетон також широко використовується при реконструкції старих будівель, особливо при необхідності додаткового утеплення огорожувальних конструкцій та при збільшенні поверховості будівель із збереженням існуючого фундаменту.

Різновидом ніздрюватих бетонів є бетони так званої варіатропної будови, особливість яких полягає в тому, що середня густина бетону плавно змінюється від однієї поверхні виробу чи конструкції до іншої. Це забезпечує оптимальну роботу конструкцій: зовнішні шари виконують переважно конструкційні і захисні функції, а внутрішні – теплоізоляційні. Порівняно з різношаровими, такі конструкції мають певні переваги: відсутні зони концентрації напружень між різнорідними шарами і накопичення конденсату; крім того, зменшуються трудові і матеріальні витрати на їхнє виготовлення.

Автоклавні ніздрюваті бетони придатні для виготовлення широкої номенклатури виробів, неавтоклавні – переважно для отримання дрібних стінових блоків та теплоізоляції.

Враховуючи умови експлуатації, обмежується застосування виробів із ніздрюватого бетону для цоколів і стін підвалів, а також стін приміщень з мокрим режимом експлуатації.

За техніко–економічними показниками та основними будівельними властивостями ніздрюваті бетони вигідно відрізняються від інших видів легких бетонів. Стіни з ніздрюватого бетону в 1,3...2 рази легші, ніж стіни з керамзитобетонних панелей, вартість їх також менша. Питомі капітальні вкладення в будівництво заводів ніздрюватобетонних виробів на 30...40% нижчі, ніж заводів, що випускають аналогічні вироби з легкого бетону на пористих заповнювачах.

Особливо ефективним є використання ніздрюватого бетону при отриманні виробів повної заводської готовності. Застосування великорозмірних ніздрюватобетонних виробів дає змогу зменшити масу огорожувальних конструкцій, знизити витрати при зведенні будівель, скоротити строки будівництва.

Ніздрюваті бетони використовують для виготовлення армованих панелей зовнішніх стін та покриття будівель, неармованих стінових блоків і каменів, а також тепло–, звукоізоляційних і жаростійких виробів. Застосовують ніздрюватобетонні вироби у житлових, громадських, промислових та сільськогосподарських будівлях із відносною вологістю повітря не більше ніж 75%. Зовнішні поверхні огорожувальних конструкцій з ніздрюватого бетону захищають шаром облицювального розчину, подрібненими кам'яними матеріалами, керамічною плиткою, гідрофобними покриттями.

Важливим фактором ефективності використання різних стінових матеріалів, крім загальної техніко–економічної оцінки, є мікроклімат приміщення, який визначає комфортність проживання людини в будинках зі стінами з різних матеріалів.

Згідно з відомою класифікацією, що була запропонована на міжнародному симпозіумі з автоклавних будівельних матеріалів в Ганновері більш 20 років тому, перше місце за комфортністю належить будинкам зі стінами з деревини, на третьому–четвертому місцях – будинки з ніздрюватого бетону, на шостому –

десятому – стіни із керамічної та силікатної цегли, а стіни із керамзитобетону і звичайного залізобетону займають вісімнадцяте – двадцяте, тобто останнє місце.

5.6. Спеціальні бетони

Розширення галузей застосування будівельних композитів (при одночасному зростанні вимог споживачів щодо їхньої якості) сприяє створенню широкої гама бетонів зі спеціальними властивостями, в тому числі високоміцних, дорожніх, декоративних, жаростійких, корозійностійких тощо, які можуть бути використані замість дефіцитних керамічних, металевих, кам'яних та інших матеріалів.

Високоміцний бетон – визначають як бетон із міцністю на стиск не менш як **50 МПа**. На сьогоднішній день отримання бетонів міцністю до **100 МПа** вже не становить великої проблеми, а в наукових колах мова йде про можливість створення бетонів міцністю **400...800 МПа**.

Міжнародними організаціями з будівництва прийняті нові терміни і їх визначення щодо бетонів з підвищеною міцністю. **Високоміцний бетон (High Strength Concrete)** – це бетон, який характеризується міцністю при стиску зразків-циліндрів 60...130 МПа, або зразків-кубів 72...156 МПа. **Високоякісний бетон (High Performance Concrete)** - це бетон з високими експлуатаційними властивостями при водов'язучому відношенні менш як 0,4. Як переваги таких бетонів вважають поліпшену легкоукладність і міцність, що сприяє прискоренню будівництва і створенню більш економічних та довговічних конструкцій. Головними галузями використання високоякісних бетонів є висотне будівництво, атомні електростанції, морські гідротехнічні споруди, мости, різні інженерні споруди, дорожні покриття.

Піонерами практичного використання таких бетонів є будівельні фірми Франції, Японії, США, Норвегії.

Основними умовами отримання високоміцних бетонів є застосування високоактивних в'язучих речовин (портландцементи, лужні цементы, в'язучі речовини низької водопотреби (ВНВ), полімерні в'язучі речовини), крупних та дрібних заповнювачів відповідної якості та гранулометричного складу,

проектування жорстких бетонних сумішей, використання пластифікуючих добавок, в тому числі суперпластифікаторів, а також мікронаповнювачів. Впровадження високоміцних бетонів у будівництво дозволяє суттєво зменшити габарити конструкції, а відповідно, і об'єм бетону, скоротити витрати арматурної сталі у залізобетонних конструкціях. Зменшення розмірів перерізу дає можливість виготовляти конструкції під різні навантаження у формах одного типорозміру, що веде до скорочення парку форм.

Серед високоміцних бетонів останнього покоління найбільшу увагу привертають:

1) **бетони, отримані на основі портландцементу**, модифікація структури якого здійснена за рахунок використання суперпластифікаторів (для зниження водоцементного відношення) та мікронаповнювачів. Міцність при стиску таких матеріалів досягає **100 МПа**, а при гідротермальній обробці – **300...500 МПа**. У зарубіжній фаховій літературі такі бетони відомі під назвою **DSP (demystified small particles)**;

2) **портландцементні бетони, які містять у своєму складі водорозчинні полімери** (наприклад, гідроксиполімерцелюлозу та гідролізований поліхлоридвініл), що підвищують ступінь ковзання частинок і тому забезпечують щільне укладання їх. Ці композити відрізняються високою міцністю при стиску та згині (**до 150 МПа**), модуль Юнга дорівнює **40...50 ГПа**, опір утворенню тріщин **1 кДж·м²**. Вони можуть містити наповнювачі, що дозволяє отримувати матеріали зі спеціальними властивостями (підвищеною твердістю, електропровідністю, зносостійкістю). У зарубіжній літературі такі бетони відомі під назвою **MDF(macro defect free)**;

3) **бетонні полімерні композити**, які поділяють на три групи:

– **бетони полімерно–цементні (PCC — Polymer Cement Concrete)**;

– **бетони, що імпрегновані полімерами (PIC - Polymer Impregnated Concrete)**;

– **бетони полімерні (PC – Polymer Concrete)**.

У полімерно–цементних композитах (PCC) процес полімеризації полімерів відбувається або перед гідратацією цементу, або паралельно процесу гідратації.

Порівняно зі звичайними бетонами, РСС є стійкішими до дії динамічних сил, здатні до перетворення та розсіювання енергії, відрізняються більшими значеннями міцності при стиску, при згині, при розтягу, більшою адгезією та низькою водонепроникністю. Використовують такі композити для будівництва сходів, доріг, підлог, для ремонту та нарощування нового бетону на старий, для усунення тріщин, зміцнення перекриттів, антикорозійного захисту бетонів та як ущільнюючий матеріал.

Полімерні імпрегновані бетони отримують шляхом імпрегнації (просочування) бетонних конструкцій (в сухому стані) рідкими мономерами або полімерами з наступною полімеризацією їх в середині бетону внаслідок термічної, каталітичної або радіаційної обробки. Імпрегновані бетони, порівняно зі звичайними, характеризуються меншою пористістю, підвищеною стійкістю при дії агресивних середовищ, низькою повзучістю і відносно високими пружними властивостями. Використовують ці композити для гідротехнічного, в тому числі морського будівництва при спорудженні нафтових платформ у морі, для влаштування покриттів мостів, будівництва тунелів, корозійностійких підлог, контейнерів для радіоактивних відходів, труб, що працюють під тиском, зносостійких матеріалів.

Полімерні бетони отримують на основі синтетичних смол (полімерів або мономерів) та відповідних заповнювачів. Композити характеризуються високою міцністю при стиску, хімічною стійкістю, стійкістю до дії атмосферних факторів та добрим зчепленням. Використовують такі матеріали для виготовлення корозійностійких підлог, антикорозійного захисту матеріалів, фундаментів для станків. Швидке нарощування міцності дозволяє застосовувати їх для ремонту та відновлення автострад, при проведенні аварійних робіт на відповідальних об'єктах.

Фібробетону (FRC – Fiber Reinforced Concrete) — композити, в яких бетонна матриця армована волокнами з метою підвищення міцності при згині, тріщиностійкості, ударної в'язкості, зносо-, термо- та корозійної стійкості.

Армуючі матеріали представлені металевими, мінеральними і органічними волокнами у вигляді безперервних структур (сіток, тканин та інших подібних матеріалів) або коротких відрізків волокон – фібр.

Дорожній бетон відрізняється від звичайного високою міцністю при розтягу та стиску, підвищеною морозостійкістю, зносостійкістю та корозійною стійкістю. Вимоги до дорожнього бетону зумовлені складними умовами його експлуатації, в тому числі наявністю статичних та динамічних навантажень, дією змінної вологості та температури.

Залежно від призначення дорожній бетон поділяють на бетон для одно– та двошарових покриттів, а також для основ вдосконалених покриттів. Як дорожні бетони використовують бетони класів В5...В40 (за міцністю при стиску), для яких границя міцності при згині становить від 1,5 до 5,5 МПа. Бетон одношарового та верхнього шару двошарового покриттів повинен мати відповідну морозостійкість: F200 – для суворого, F150 – помірного та F100 – м'якого клімату.

Для одно– та двошарових покриттів доріг рекомендовано застосовувати портландцементи М500 (на основі клінкеру з нормованим мінералогічним складом за ГОСТ 10178), а для основ вдосконалених покриттів – портландцементи та шлакопортландцементи марок М300 та М400.

Для підвищення якості бетонної суміші та стійкості бетону проти спільної агресивної дії розчинів хлористих солей та морозу до складу бетонної суміші під час приготування додають поверхнево–активні добавки.

При обладнанні пішохідних переходів, паркових доріжок, а також при виготовленні елементів малої архітектури для міського благоустрою використовують **кольорові бетони**, їх отримують при введенні до бетонної суміші луго– та світлостійких пігментів у кількості 8...10% від маси цементу. В окремих випадках (для посилення декоративного ефекту) використовують заповнювачі, що мають потрібний колір, наприклад червоні кварцити, туфи, мармур.

Декоративний бетон застосовують для надання художньої виразності фасадам та інтер'єрам будівель, в тому числі при облицюванні стін та підлог. Ці

бетони готують з використанням білого та кольорових цементів, а також спеціально підібраних заповнювачів.

Декоративний ефект може досягатися за рахунок зміни кольору, фактури поверхні та форми виробу. На сьогодні найбільшого застосування набули декоративні бетони, що імітують природне каміння або деревину.

Для отримання кольорових бетонів як дрібні заповнювачі використовують чисті кварцові піски, а як крупні – вапняки та доломіти. Для імітації гірських порід застосовують відходи дроблення та пиляння каменю, щебінь і піски з мармуру, висівки граніту, базальту та інших гірських порід. Зазвичай крупний заповнювач не дає особливого забарвлення бетону. На його колір більше впливають дрібні частинки заповнювача, розмір яких не перевищує 0,3 мм.

Жаростійкий бетон використовують при зведенні промислових агрегатів та будівельних конструкцій, що експлуатуються при дії температур від 300 до 1800°C.

За призначенням жаростійкі бетони поділяють на конструкційні та теплоізоляційні, а за типом структури розрізняють щільні (важкі) та ніздрюваті (легкі).

Як в'язучі речовини для виготовлення жаростійких бетонів найчастіше застосовують портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий та високоглиноземистий цемент, рідке скло, лужні, фосфатні та алюмофосфатні в'язучі.

Для отримання тонкомелених добавок та заповнювачів придатні золошлакові суміші, керамзит, аглопорит, перліт, вермикуліт, шамот, кордієрит, магнезит, карборунд, мулітокорунд тощо.

Головними характеристиками жаростійкого бетону є міцність при стиску, максимально допустима температура використання, термостійкість, морозостійкість, водонепроникність, середня густина, усадка.

Для бетонів ненесучих конструкцій (ГОСТ 20910) клас бетону ІЗ, І6, І7, І8, І9, І10, І11, І12, І13, І14, І15, І16, І17, І18 встановлюється за максимально допустимою температурою застосування (від 300 до 1800°C), яка

визначається за значеннями залишкової міцності після випалювання та температурою деформації під навантаженням.

Бетони, призначені для використання в умовах змінних температурних режимів, повинні відрізнятися термостійкістю, яка визначається згідно з існуючими нормативними документами кількістю циклів водних або повітряних теплових змін. Термостійкі бетони поділяють на марки:

T₁₅, T₁₀, T₁₅, T₂₀, T₃₀, T₄₀ (водні теплові зміни);

T₂₁₀, T₂₁₅, T₂₂₀, T₂₂₅ (повітряні теплові зміни).

Для легкого жаростійкого бетону поділ на марки встановлено за середньою густиною у сухому стані – D300...D1800 (зміна марки через 100 кг/м³).

За видом заповнювачів жаростійкі бетони поділяють на кремнеземисті, алюмосилікатні і магнезіальні. В кремнеземистих бетонах заповнювачами й тонкомеленими добавками є кварцит і динас. В алюмосилікатних бетонах застосовують шамотні, муліто–кремнеземисті і мулітові заповнювачі, які забезпечують температуру експлуатації таких бетонів до 1600°C.

До магнезіальних бетонів відносять бетони, які включають як заповнювачі периклаз, магнезіально–шпинелевидні заповнювачі, а також магнезіально–силікатні (периклазофорстеритові, форстерито–хромітові, форстеритові та ін.).

Вибір в'язучої речовини для жаростійкого бетону залежить від умов його експлуатації. Так, портландцемент та шлакопортландцемент не можна використовувати для конструкцій, що експлуатуються у кислотному середовищі, наприклад, у димових трубах, де має місце дія сірчаного ангідриду. В цьому випадку краще застосовувати бетон на рідкому склі, але останній не бажано експлуатувати в умовах дії води або водяної пари.

На основі рідкого скла з добавками техногенної сировини, що містить силікати або алюмінати кальцію, розроблені лужні жаростійкі бетони з температурою застосування до 1600°C і стійкістю до дії різних середовищ. Ці бетони відрізняються також високою термостійкістю, водостійкістю, швидким набором міцності, стабільністю міцнісних характеристик і добрими експлуатаційними властивостями. Розроблені склади жаростійких бетонів знайшли використання як футерувальні матеріали для теплових агрегатів із

різними умовами і режимами роботи, в тому числі в агрегатах зі змінними температурними режимами, наприклад, у грубих пиловловлювачах мідеплавильного виробництва з трикратною зміною температури за добу від 200 до 800°C, з досить високим терміном придатності матеріалу (експлуатація без ремонту протягом 15 років), для футерування вагонеток тунельних печей, причому термостійкість бетону у 2 рази перевищує термостійкість вогнетривкої шамотної цегли.

Легкий жаростійкий бетон із середньою густиною до 2100 кг/м³ отримують на основі пористих заповнювачів, від яких обумовлює максимально допустиму температуру використання (700...1000)°C та забезпечує зниження теплопровідності у 1,5...2 рази порівняно з важким бетоном.

Збірні елементи з жаростійкого бетону та монолітні конструкції з нього широко застосовують у різноманітних галузях народного господарства: енергетичній, хімічній, нафтопереробній промисловості, чорній та кольоровій металургії, у промисловості будівельних матеріалів. Жаростійкі бетони успішно використовують замість напівкислих та шамотних виробів, що працюють в інтервалі температур 800...1400°C, та замість високовогнетривких виробів при температурах 1400...1700°C.

Корозійностійкий бетон застосовують при експлуатації промислових об'єктів та гідротехнічних споруд у агресивних середовищах, що представлені розчинами солей, кислот та лугів. Гідротехнічний бетон можна розглядати як різновид корозійностійкого бетону.

Стійкість бетону до дії агресивного середовища оцінюють коефіцієнтом хімічної стійкості K , що дорівнює відношенню міцності при стиску зразків після 360 діб експлуатації в агресивному середовищі до міцності при стиску контрольних зразків. За величиною коефіцієнта розрізняють: бетони високої стійкості ($K > 0,8$), стійкі ($K = 0,5 \dots 0,8$), відносно стійкі ($K = 0,3 \dots 0,5$) та нестійкі ($K < 0,3$).

Як в'язучі речовини застосовують рідке скло, поліефірну смолу, фурано-епоксидну смолу тощо. Заповнювачами є кварцовий пісок, щебінь із кварциту, андезиту, діабазу, базальту.

Корозійностійкі бетони залежно від виду використаної в'язучої речовини представлені полімербетонами, шлаколужними бетонами та бетонами на основі рідкого скла та сірки.

Бетон для захисту від радіації виготовляють за звичайною технологією та застосовують у спеціальних спорудах: ядерних реакторах, атомних електростанціях, рентген-кабінетах.

Захист від радіації, залежно від її джерела, досягається за рахунок використання щільних бетонів із високою густиною (в першу чергу при дії γ -випромінювання), та бетонів, що містять у складі легкі елементи, в тому числі гідроген у вигляді хімічно або фізично зв'язаної води (для захисту переважно від α -, β -випромінювання). Захисна здатність бетонів оцінюється товщиною шару, при якій потік радіоактивного випромінювання послаблюється вдвічі, порівняно із початковим.

Як в'язучі речовини використовують портландцемент та шлакопортландцемент, а також кальційалюмінатні та лужні цементи.

Як заповнювачі застосовують важкі природні або штучні матеріали (відходи чавунного та сталеливарного виробництва), в тому числі для особливо важкого бетону – залізні руди: магнетит (Fe_3O_4) та гематит (FeO) із вмістом заліза не менш як 60%, а також бурій залізняк $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (лимоніт), який дозволяє значно підвищити вміст зв'язаної води у бетоні, та баритові руди, що містять 80% сульфату барію.

Металевий крупний заповнювач може бути представлений чавунним скрапом, обрізками сталі та заліза. В разі використання металевого заповнювача середня густина бетону досягає 6000 кг/м^3 .

Для підвищення захисних властивостей бетонів до їхнього складу корисно вводити добавки, що містять легкі елементи (бор, літій, кадмій).

Бетон для захисту від радіації повинен мати відповідну міцність при стиску та відносно низький модуль пружності, що дозволяє знизити величину розтягувальних напружень у зовнішній зоні захисту. Такий бетон, крім стійкості до радіації, повинен також відрізнятися вогнестійкістю та жаростійкістю,

оскільки при роботі реактора в аварійному режимі не виключеним є підвищення температури.

Для бетонування масивних конструкцій краще застосовувати суміші з мінімальним теплом гідратації та мінімальною усадкою, а також невеликою величиною коефіцієнта температурного розширення. Особливо важкі бетони, отримані з використанням гематитового, лимонітового та баритового заповнювачів, мають подібні механічні властивості. Ці бетони поділяються за міцністю при стиску на марки М100, М200, М300.

5.7. Технологія приготування бетону

На відміну від інших матеріалів, які промисловість поставляє в готовому вигляді, бетон виготовляють безпосередньо на будівництві. При бетонуванні монолітних конструкцій бетонну суміш готують на бетонному заводі і транспортують на будівельний майданчик, де і проводять їх бетонування. При виробництві збірних залізобетонних виробів бетонну суміш готують на бетонозмішувальній ділянці заводу, потім транспортують у формувальні цехи, де укладають в спеціальні форми для виготовлення збірних виробів. Для прискорення твердіння бетону у виробках і конструкціях використовують різні види прогрівання бетонної суміші. Для покращення умов формування виробів з бетону застосовуються вібраційні пристрої.

Основними операціями в технології бетону є: приготування бетонної суміші, її транспортування і укладання у виріб або конструкцію, прискорення твердіння бетону (на заводах і при виробництві бетонних робіт в особливих умовах, наприклад, в зимовий час). Для покращення властивостей бетонної суміші тобто надання їй більшої рухомості, збільшення часу затвердіння, зменшення часу затвердіння, збільшення (зменшення) густини, стійкості суміші до низьких температур та ін. до складу бетону додають спеціальні добавки-модифікатори.

Приготування бетонної суміші полягає у дозуванні та поєднанні основних компонентів, а також їх ретельному перемішуванні. Данні операції відбуваються у спеціальних ємкостях, що називаються бетонозмішувачами.

Бетонну суміш перемішують тільки механізованим шляхом в бетонозмішувачах. Кожен бетонозмішувач обладнується дозувальним пристроєм. Точність дозування води та цементу складає до 1%, заповнювачів до 2%. Бетонозмішувачі поділяються на малі (100 – 250 л), середні (375 – 500 л) і великі (1200 – 2400 – 4500 л). Місткість бетонозмішувачів може визначатися не виходом готової бетонної суміші, а сумою об'ємів завантажуваних матеріалів. Поступаючи в бетонозмішувач, матеріали до перемішування займають об'єм, майже рівний сумі їх об'ємів окремо. При перемішуванні порожнини заповнюються і об'єм готової бетонної суміші буде менше суми об'ємів завантажуваних матеріалів. Коефіцієнт виходу бетону в середньому складає від 0,55 до 0,75 залежно від складу бетону. Бетонозмішувачі можуть працювати як у порційному, так і у безперервному режимі подачі готової бетонної суміші.

Залежно від конструкції розрізняють гравітаційні бетонозмішувачі і бетонозмішувачі примусової дії.

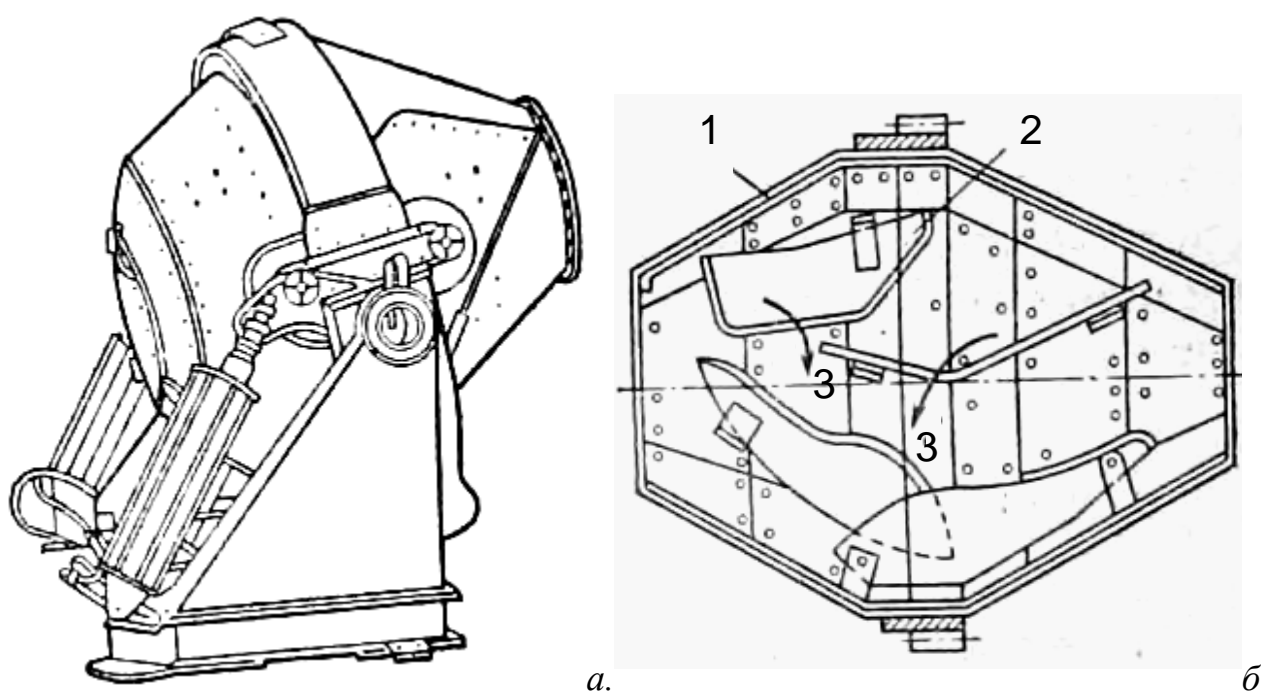


Рис.5.4. Гравітаційний бетонозмішувач: а – загальний вигляд; б – схема барабана, 1 – корпус; 2 – лопаті; 3 – напрямок переміщення бетонної суміші.

В змішувачах першого типу обертається барабан, на стінках якого всередині закріплені лопаті. Тут перемішування проводиться за принципом вільного падіння суміші. Ці змішувачі придатні тільки для рухомих бетонних сумішей. В машинах примусової дії усередині барабана обертається вал з лопатями, що перемішують бетонну суміш. Найбільш поширеними у промисловості є бетонозмішувачі першого типу (рис. 5.4).

На автоматизованих бетонних заводах застосовуються бетонозмішувачі безперервної дії, в яких бетонна суміш примусово перемішується у барабані, що обертається, або в спеціальному лотку шнеком, який одночасно переміщає її від завантажувального отвору до кінця змішувача, де відбувається вивантаження.

Тривалість перемішування суттєво впливає на однорідність і міцність бетону.

Сучасні технології забезпечують використання широкого спектру модифікуючих добавок для отримання необхідних властивостей бетону. Модифікуючі добавки застосовують для покращення реології розчинів, уповільнення або прискорення твердіння бетонних сумішей, поліпшенні міцнісних і деформаційних властивостей затверділого бетону, регулюванні його густини і т.д.

Модифікуючі добавки в складах промислових бетонів можна розділити на шість основних типів, що мають різне призначення і різну фізико-хімічну взаємодію з компонентами розчинів і твердих фаз затверділого бетону. В табл. 5.4 наведена структура основних типів добавок в бетони і механізми їх взаємодії з компонентами бетону.

З розглянутих найбільше поширення набули добавки, які підвищують рухомість бетонних сумішей, оскільки вони мають найбільший економічний ефект. Внаслідок цього практично все промислове виробництво бетону відбувається із застосуванням пластифікаторів, протиморозних добавок і суперпластифікаторів, які можуть об'єднувати в собі функції перших двох модифікуючих добавок. В табл. 5.4 показаний вплив, який чинять модифікуючі добавки на основні властивості бетону. Згідно даним табл. 5.4 модифікуючі

добавки в цілому покращують властивості готового бетону, особливо це стосується міцності, стійкості до корозії, сульфатостійкості і т. і.

Таблиця 5.3

Структура основних типів добавок та механізми їх взаємодії з фазами бетонних сумішей і затверділого бетону

№ п/п	Тип модифікатора	Активна речовина	Механізм взаємодії активної речовини з фазами бетонної суміші
1.	Добавки–регулятори реології бетонних сумішей: пластифікатори, суперпластифікатори і т.д.	ПАР на основі сірковмісних або хлоровмісних радикалів	Диспергування клінкерних частинок за рахунок дії на реологічні властивості при зміні їх електричних потенціалів. В затверділому бетоні радикали модифікатора містяться у фазі гелю між зернами цементного каменю (ЦК).
2.	Добавки–регулятори твердіння цементного тіста: сповільнювачі/ прискорювачі твердіння, протиморозні добавки	Сповільнювачі: техн. патока НТФ і ін. Прискорювачі: CaCl_2 , NaNO_2 і ін.	Уповільнення: скріплення вільн. вапна, перешкоджання коагуляції зерен ЦК і т.д. Прискорення і протиморозний ефект: диспергування клінкерних частинок, підвищення тепловиділення при твердінні, антифризна дія і т.д.
3.	Добавки–регулятори пористості бетону: повітрозалучувальні, газотвірні, ущільнюючі і т. і.	Полімеро–утворюючі смоли	Повітрозалучувальна, газоутворююча або газопоглинаюча дія за рахунок хімічного вивільнення, або скріплення адсорбованих газів.
4.	Добавки–модифікатори фаз затверділого бетону на макрорівні для отримання його особливих властивостей (міцнісно–деформативних, протиморозних, корозійностійких, бактерицидних та ін.).	Мінеральні добавки, що мають розміри заповн. з певними геометр., або внутрішніми властивостями	Поліпшення зчеплення між заповнювачами за рахунок проміжних частинок модифікатора з поліпшеними властивостями реологій і зменшення концентрації напруг. Поліпшення деформативних властивостей за рахунок пластифікуючої дії добавок

5.	Добавки–модифікатори фаз затверділого бетону на мікрорівні для отримання його особливих властивостей (міцнісно-деформативних, протиморозних, корозійностійких, бактерицидних та ін.).	Мінеральні полімерні мікро-нанопорошки, замітники наповнювачі в'язучих компонентів.	Поліпшення процесу гідrataції за рахунок утворення більшої кількості центрів утворення кристалогідратів і, як наслідок, їх поліпшена гомогенізація. Взаємопроникнення кристалогідратної і полімерної матриць і, як наслідок, поліпшення міцнісно-деформативних властивостей.
6.	Комплексні добавки, що складаються з комбінації різних типів модифікаторів.	Комбінація різних модифікуючих добавок	Комбінований механізм дії вищеперелічених добавок

Таблиця 5.4

Вплив модифікуючих добавок на основні властивості бетону

Модифікуюча добавка	Основні властивості бетону і залізобетону				
	Міцність	Модуль пружн.	Пористість	Короз. стійк.	Морозо-стійкість
Пластифікатор	Збільшує	Збільшує	Зменшує	Нейтр.	Нейтр.
Протиморозна добавка	Збільшує	Збільшує	Зменшує	Покращ.	Нейтр.
Суперпластифікатор	Збільшує	Збільшує	Зменшує	Покращ.	Нейтр.

5.8. Транспортування бетону та формування елементів конструкцій

При бетонуванні монолітних споруд бетонну суміш до місця укладання доставляють в автобетонозмішувачах, баддями, що перевозяться спеціалізованим транспортом, автосамоскидами, транспортерами.

Більш досконалими видами транспортування бетонної суміші є: перекачування поршневыми або іншими насосами по трубах; доставка з центральних бетонних заводів в автомобілях бетонозмішувачах, в яких перемішується бетонна суміш безпосередньо на будівництві.

Централізоване заводське виготовлення бетонних сумішей і доставка готових сумішей на будівництво має великі технічні і економічні переваги. Підвищується якість бетону, знижується його вартість, відпадає необхідність організації складного бетонного господарства на будівництвах.

При тривалому перевезенні готової бетонної суміші вона густіє: знижується її рухомість. Це пояснюється гідrataцією цементу, поглинанням води

заповнювачами, випаровуванням і іншими втратами води. Час перевезення готової бетонної суміші повинно бути не більше 1 год, а в жарку погоду – менше 30 хв, інакше цемент починає схоплюватися.

Суміш сухих компонентів бетону (з вологістю не більше 2%) можна перевозити протягом тривалого терміну, тому останнім часом розвивається приготування на центральному заводі і доставка на об'єкт сухих сумішей, які перемішуються безпосередньо біля робочого місця.

Завод на кожну партію бетонної суміші видає паспорт з вказівкою складу бетону і його марки, На додаток до паспорта одразу ж після випробування міцності бетонних зразків в заводській лабораторії результати посилають до забудовника. Забудовник, отримавши готові бетонні суміші, зобов'язаний негайно використовувати їх.

Для виробництва збірних конструкцій з бетону використовується його укладення у форми на спеціальних заводах. При цьому із ділянки приготування бетону він транспортується у формувальні цехи де відбувається його укладка та твердіння. В цьому випадку, як і при виробництві монолітних конструкцій для ущільнення бетонної суміші використовуються вібраційні пристрої. Вібраційні пристрої можуть бути стаціонарні (вібростоли) та ручні, що занурюються у бетонну суміш.

Сутність віброобробки полягає у передачі бетонній суміші вібропристроями коливань високої частоти (50–100 Гц) і малої амплітуди (0,2 – 0,5 мм), завдяки яким зменшується в'язкість суміші (знижується тертя між її складовими частинами). Бетонна суміш набуває властивостей важкої рідини і укладається найбільш щільно, добре заповнюючи опалубку. Вібрація дає можливість укладати малорухомі і навіть жорсткі бетонні суміші, а це дозволяє економити цемент та підвищує міцність бетону.

Для покращення якості бетону можна застосовувати вакуумування, при якому з бетонної суміші витягується частина надмірної води і повітря при створенні в камері з бетоном розрідженого тиску. Після цього під дією атмосферного тиску бетонна суміш ущільнюється, і бетон стає більш міцним, прискорюється також його твердіння. Гарні результати дає повторна

віброобробка після вакуумування, яка закриває дрібні пори, що утворилися при вакуумуванні, і бетонна суміш стає більш ущільненою.

Для отримання бетону високої якості необхідно забезпечити належний догляд за тверднучим бетоном, створюючи влітку вологе, а взимку тепле і вологе середовище для його твердіння. Після укладання бетонної суміші в літній час поверхня споруди повинна бути захищена від висихання, а в перші години твердіння і від дощу. Для цієї мети горизонтальні поверхні після закінчення бетонування покривають спеціальними паронепроникними плівками, наносять матеріали, які висихаючи утворюють плівку (наприклад, бітум, лак та ін.), посипають піском шаром 5 см, шлаком і іншими подібними матеріалами, весь час зволожуваними, створюють на них водні басейни. В перші дні вертикальні поверхні від висихання захищає опалубка, яку також слід зволожувати. Після зняття бічної опалубки вертикальні поверхні бетонних споруд поливають водою.

Поливання бетону при температурі повітря вище 15 °С продовжується не менше 15 днів, при температурі повітря 10 – 15 °С – 10 днів; при більш низькій температурі тривалість поливання бетону регламентується окремо в залежності від стану бетону. В першу третину обраного терміну бетон поливають 3 – 4 рази на добу, потім 2 рази на добу.

Повне розрахункове навантаження конструкції можна проводити тільки після випробування контрольних зразків бетону.

У наш час великого поширення набули монолітні конструкції з бетону. Монолітними називають конструкції, які зводяться безпосередньо на місці їх розташування. Зведення конструкцій включає установку опалубки, яка надає форму майбутній конструкції, установку арматури, бетонування конструкції, догляд за тверднучим бетоном. Монолітні конструкції споруджують в основному з важкого і легкого бетону на пористих заповнювачах. Монолітні бетонні і залізобетонні конструкції економічно доцільні при використанні індустріальних методів робіт. Вони передбачають широке вживання інвентарної металевої, дерев'яної, фанерної або дерев'яно–металевої опалубки. Залежно від

типу бетонованих конструкцій і їх конфігурації використовують різні види опалубки: розбірно–переставну, ковзаючу (що піднімається домкратами) та ін.

Передбачається автоматизація приготування бетонної суміші, комплексна механізація її транспортування і ущільнення. Бетонну суміш транспортують так, щоб вона не розшарувалася і не змінювала свій склад унаслідок попадання атмосферних опадів або надмірного випаровування води при дії вітру і сонячного проміння.

Бетонну суміш перевозять на будівельний майданчик частіше за все автосамоскидами або автобетонозмішувачами. Транспортування бетонних сумішей на будівельному майданчику здійснюють кранами, конвеєрами і по трубах за допомогою насосів або пневмонагнітачів. Пневматичний спосіб відрізняється простотою і дозволяє подавати бетонні суміші стиснутим повітрям по трубах на відстань до 150 м.

Бетонування монолітних конструкцій проводять безперервно або з перервами, тобто ділянками, або блоками. Безперервне укладання бетону здійснюють у тому випадку, коли потрібна підвищена монолітність і однорідність бетону, і тому небажана наявність робочих швів. Це відноситься і до попередньо напружених залізобетонних конструкцій, фундаментів, що сприймають динамічні зусилля, від устаткування і т.і. Конструкції великої протяжності, або великої площі (наприклад, залізобетонні перекриття) бетонують окремими ділянками, причому робочі шви між ними передбачають в місцях, де при експлуатації виникають мінімальні напруження.

Масивні споруди (дамби, шлюзи, масивні фундаменти і т. п.) в проекті розрізають робочими швами на блоки. Об'єм блоку встановлюють з урахуванням виникаючих в бетоні температурних і усадкових напружень. Для уникнення розшарування бетонну суміш подають до місця кладки по вертикальних рукавах, віброжолобах і похилими лотками, при цьому висота вільного падіння суміші не повинна перевищувати 2 м.

Бетонну суміш укладають шарами, товщину яких встановлюють з урахуванням її доброго ущільнення вібрацією.

Догляд за бетоном починають відразу після укладання і ущільнення бетонної суміші і продовжують протягом всього періоду витримки бетону до досягнення їм заданої міцності. Якість бетону залежить від догляду за ним, метою якого є створення і підтримка температуро–вологісних умов, сприятливих для гідратації цементу.

Розпалубування бетонних і залізобетонних конструкції проводять після досягнення бетоном встановленої міцності. Несучу опалубку знімають, коли бетон набирає 70 – 100 % проектної міцності. Повна міцність бетону необхідна у тому випадку, коли фактичне навантаження на розпалублену конструкцію перевищуватиме 70 % від розрахункового.

5.9. Поведінка бетонів за умов пожежі

Поведінка бетону при нагріванні обумовлена впливом високих температур на його основні складові компоненти: цементний камінь і заповнювачі.

Під впливом високих температур затверділий цементний камінь поступово втрачає всі види води яка в ньому містилася (вільної, фізично і хімічно зв'язаної), що призводить до порушення структури цементного каменя і до втрати ним міцності. Нагрівання до 400°C призводить до поступового зниження міцності через дегідратацію, в основному алюмінатів кальцію. При подальшому підвищенні температури до 550° відбувається дегідратація гідроокису кальцію з утворенням оксиду кальцію, що також приводить до зменшення міцності. При нагріванні цементного каменя до 900°C цементний камінь повністю втрачає міцність і руйнується. Підвищити стійкість цементного каменя до нагріву можна шляхом введення в портландцемент активних тонкомолотих домішок. Ці домішки (наприклад шамот, цем'янка і ін.) здатні вступати в реакцію в твердій фазі з дегідратованими під впливом тепла мінералами цементного каменя. При цьому утворюються нові безводні з'єднання такі, як $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (анортит), $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ (ранкініт) і ін. Кількість тонкомолотої добавки має бути не менше 30 % від ваги змішаного в'язучого.

Варто відмітити, що важливою особливістю бетону під час високотемпературного нагрівання є його схильність до крихкого руйнування.

Крихке руйнування відбувається якщо бетон має високу вологість, тобто його пори насичені вологою. Причиною крихкого руйнування є зростання тиску у порах каркасу цементного каменю в результаті швидкого випаровування наявної вільної води. При цьому вибухово відколюються великі шматки бетону, що призводить до його швидкого руйнування. Для уникнення таких явищ волога з пор каркасу цементного каменю повинна бути видалена шляхом висушування на повітрі протягом 28 діб.

Всі фізико-хімічні процеси впливають на густину бетону. В процесі нагрівання густина бетону зменшується, як це видно з рис. 5.5.

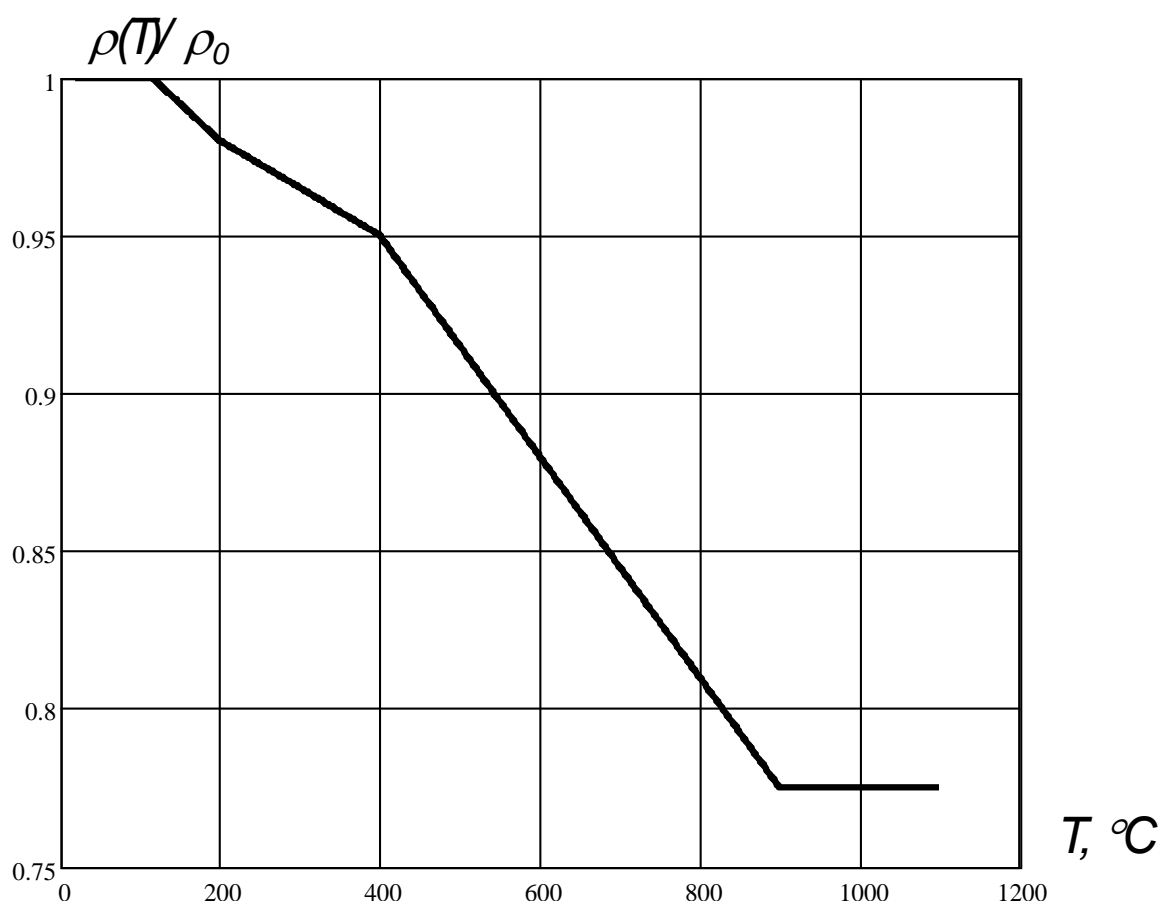


Рис. 5.5. Зміна густини бетону в залежності від температури нагріву.

Про характер поведінки при нагріванні заповнювачів в бетоні можна судити по поведінці тих кам'яних матеріалів, з яких ці заповнювачі отримані.

Як вже наголошувалося, цементний камінь при нагріванні дає усадку, а заповнювачі під впливом тепла розширюються. Чим вище коефіцієнт

температурного, розширення заповнювача, тим більші внутрішні напруження виникнуть в бетоні, що зумовить зниження, контактного зчеплення між цементним каменем і заповнювачем і приведе до втрати міцності. Найпоширенішими заповнювачами для бетону є гірські породи. Даючи порівняльну оцінку поведінки різних заповнювачів при нагріванні, варто відмітити, що найбільшими температурними деформаціями володіє щебінь з піщаників, граніту та кварциту (карбонатні гірські породи, що містять мінерал кварц). Меншими – вапняковий та базальтовий щебінь (силікатні гірські породи). Найбільш стійкими при нагріванні є штучні заповнювачі: шамот, доменний шлак, керамзит, шлакова пемза та ін.

Так при прогріванні бетону на гранітному заповнювачі до 200°C міцність його зростає, перевищуючи в 1,5 рази початкову (рис. 5.6). При подальшому підвищенні температури до 500°C міцність знижується до початкової. Перевищення температурою межі в 500°C призводить до різкого зниження міцності бетону. За температури 800°C міцність такого бетону становить лише 15% від початкової.

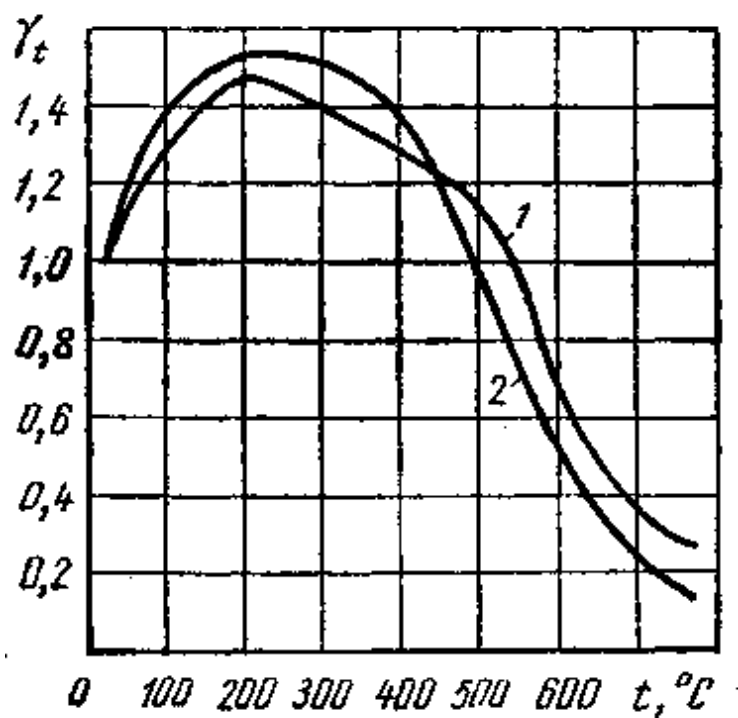


Рис. 5.6. Зміна міцності бетону на гранітних заповнювачах при нагріванні: 1 – тригодинне нагрівання; 2 – восьмигодинне нагрівання

Міцність бетону на вапнякових заповнювачах при прогріванні до 400°C зростає до 140% порівняно з початковою (рис. 5.7). Значна втрата міцності бетону відбувається при прогріванні його до температури 500°C, однак за температури 580°C міцність все ще дорівнює початковій. При 800°C міцність знижується до 30% від початкової. Наведені дані свідчать про більшу стійкість до нагрівання бетону на вапнякових заповнювачах порівняно з бетоном на гранітних заповнювачах. Ця обставина знайшла віддзеркалення в нормах. Відповідно до ДБН будівельні конструкції з бетонів на карбонатних заповнювачах мають нормовану межу вогнестійкості на 10% нижче, ніж конструкції з бетонів на силікатних заповнювачах.

Дещо по іншому ведуть себе при нагріванні бетони які знаходяться під навантаженням. Інтенсивність зниження міцності напруженого бетону ($\sigma_{ст}=0,3\sigma_{max}$) при нагріванні до 500 – 600°C приблизно на 20 – 30% менша, ніж зниження міцності ненапруженого бетону. Це відбувається тому, що обтискування бетону при нагріванні перешкоджає вільному розвитку деформацій та розкриттю тріщин в бетоні, чим сповільнює процес його руйнування.

При нагріві бетону під час пожежі змінюється не тільки його міцність, а й характер його деформації. На рис. 5.8 поданий характер зміни діаграми деформування залежно від температури нагріву.

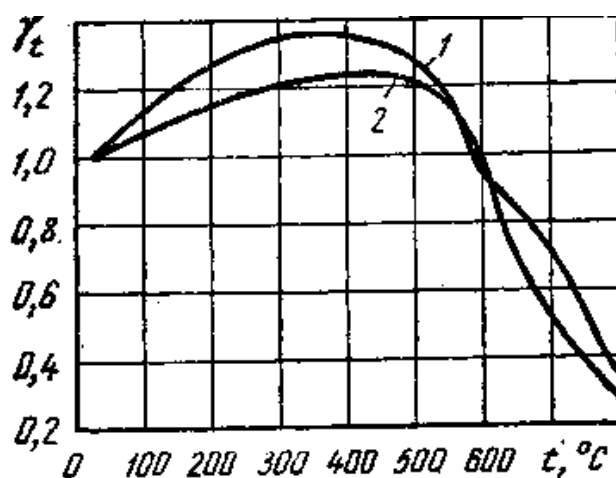


Рис. 5.7. Зміна міцності бетону на вапнякових заповнювачах при нагріванні: 1 – тригодинне нагрівання; 2 – восьмигодинне нагрівання

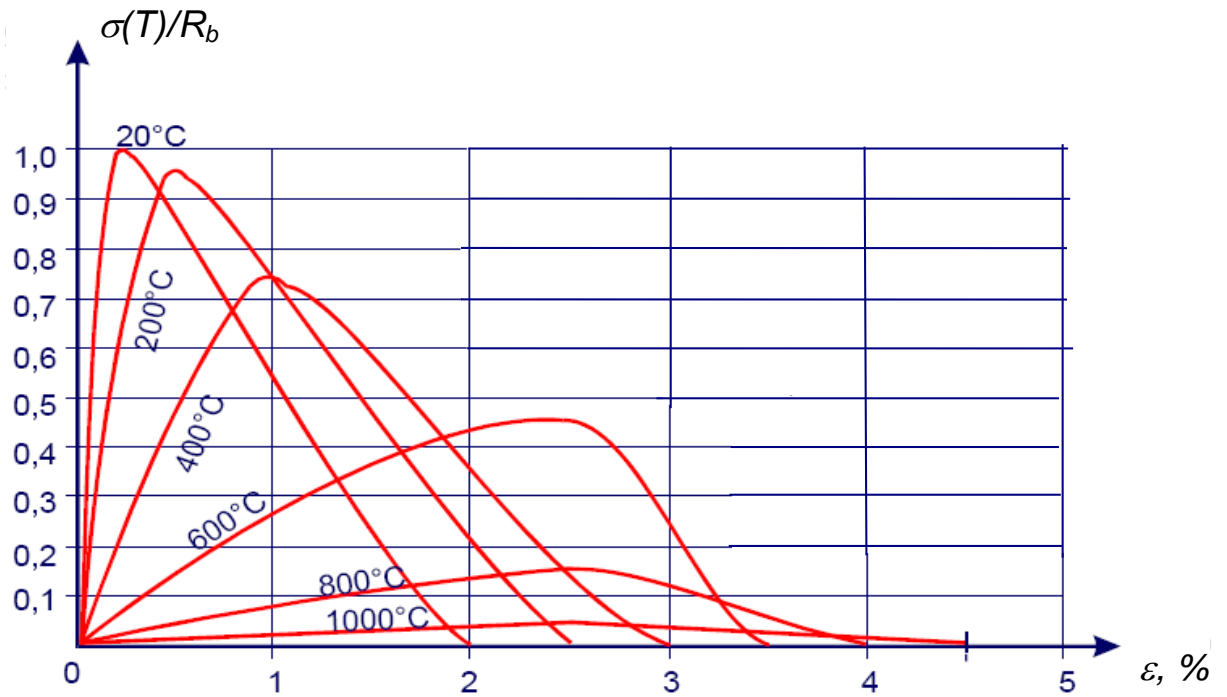


Рис. 5.8. Діаграми деформування бетону на стиск при різних температурах нагрівання.

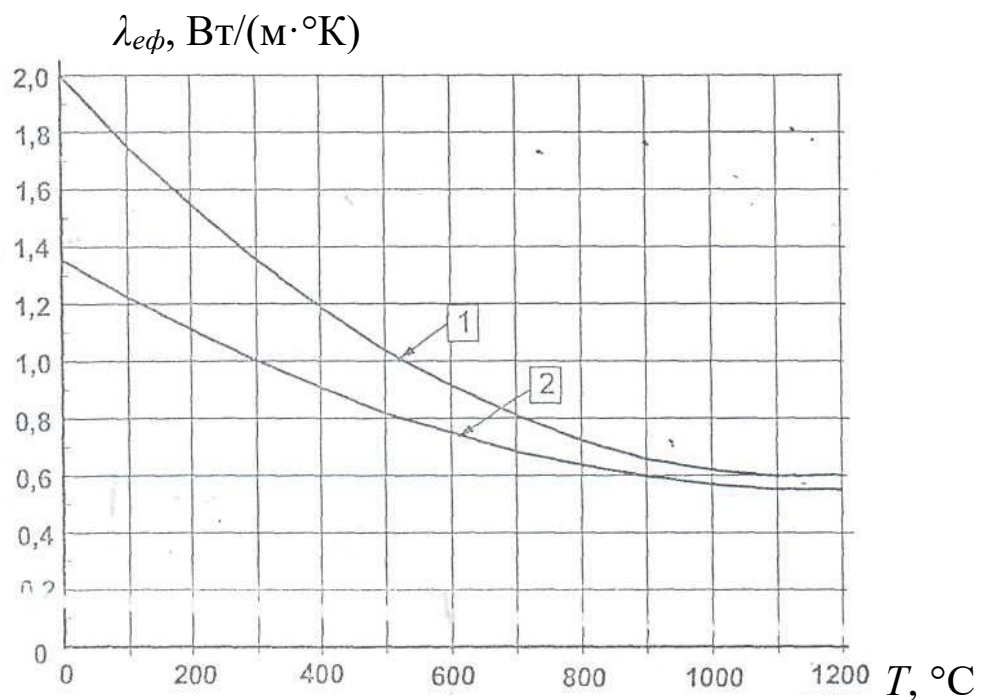


Рис. 5.9. Залежність ефективного коефіцієнту теплопровідності бетону від температури: 1 – верхня межа; 2 – нижня межа.

Характер даних діаграм дуже важливий для розрахунків бетонних та залізобетонних конструкцій на вогнестійкість.

Обов'язковому врахуванню підлягає зміна теплофізичних властивостей бетону, оскільки теплові процеси, які відбуваються під час його нагрівання

складні і суттєво впливають на прогрів внутрішніх шарів бетону в елементах будівельних конструкцій.

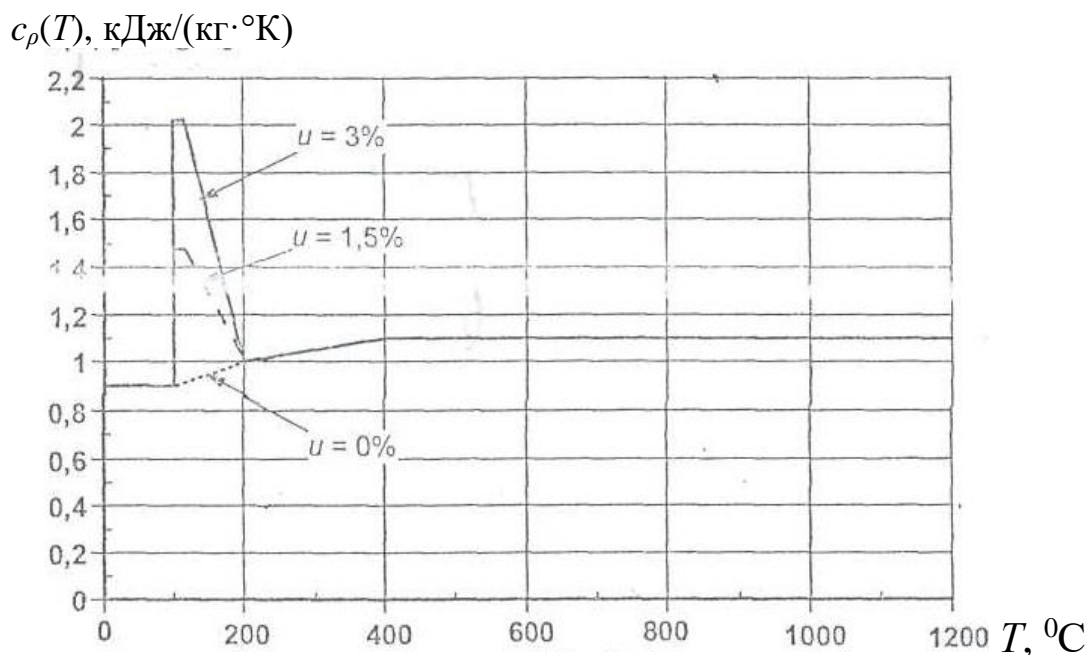


Рис. 5.10. Залежність ефективного питомої теплоємності бетону різної вологості U від температури.

Для більш адекватної оцінки параметрів теплових процесів вводять поняття ефективних теплофізичних характеристик – ефективного коефіцієнту теплопровідності (див. рис. 5.9), який змінюється у певних межах) та ефективного питомої теплоємності (див. рис. 5.10).

Також важливими характеристиками є величини температурних деформацій (температурного розширення). Характер температурних деформацій бетону та арматурної сталі наведено на рис. 5.11.

Характер зміни міцності при нагріванні різнотипних легких та ніздрюватих бетонів на портландцементі аналогічний зміні міцності важких бетонів. Але так як такі бетони володіють пониженою інтенсивністю прогріву при пожежі (приблизно на 30% менше, ніж інтенсивність прогріву важкого бетону), тому виготовлені з них конструкції мають підвищену (на 30%) вогнестійкість, порівняно з вогнестійкістю аналогічних конструкцій з важкого бетону.

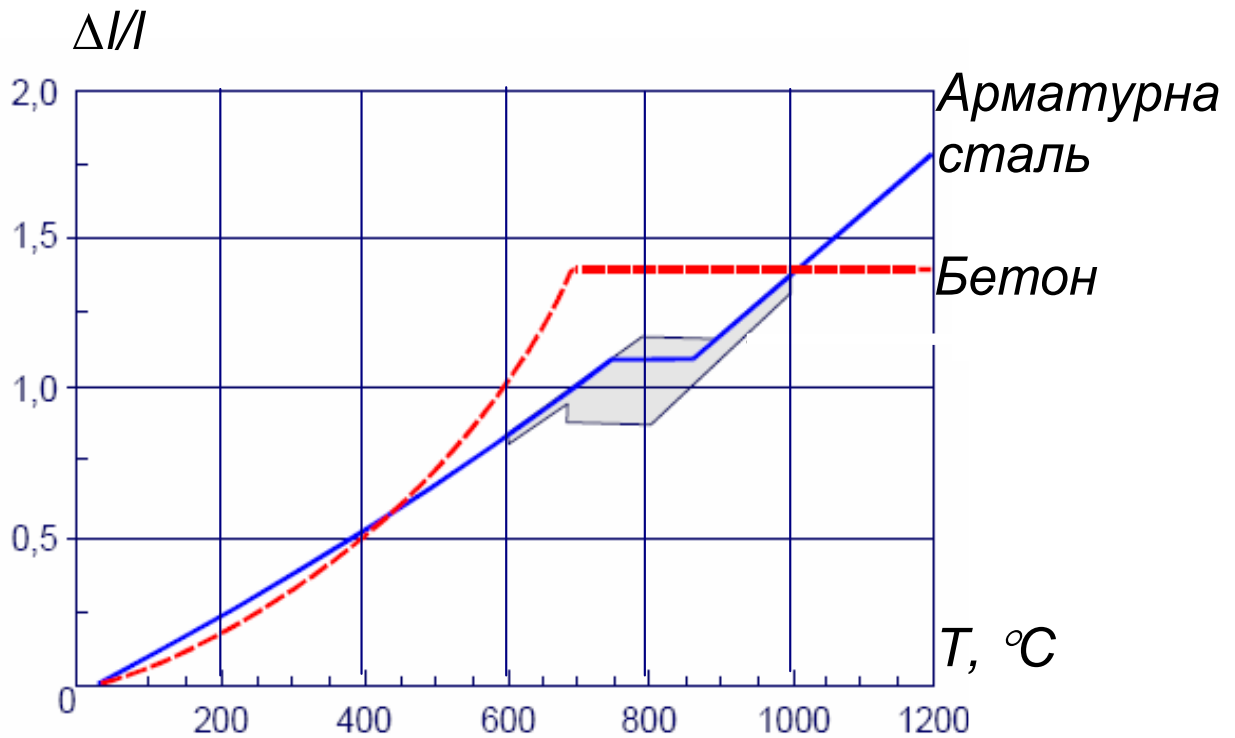


Рис. 5.11. Характер температурної деформації бетону та арматурної сталі.

Найбільш стійкими при короткочасному та тривалому впливі високих температур є жаростійкі бетони, склад яких підбирають з врахуванням відповідних вимог.

Питання для самоконтролю

1. Визначення та особливості формування структури бетонів.
2. Стандартизація та класифікація бетонів.
3. Основні механічні характеристики важких бетонів.
4. Стандартизовані за міцністю класи важкого бетону.
5. Класифікація важких бетонів за морозостійкістю та водопроникністю.
6. Теплофізичні властивості важких бетонів.
7. Визначення та особливості структури легких бетонів.
8. Класифікація та основні властивості легких бетонів.
9. Структура та основні властивості крупнопористих бетонів.
10. Структура та основні властивості поризованих бетонів.
11. Структура та технічні характеристики ніздрюватих бетонів.

12. Спеціальні бетони. Високоміцний бетон.
13. Спеціальні бетони. Дорожній бетон.
14. Спеціальні бетони. Декоративний бетон.
15. Спеціальні бетони. Жаростійкий бетон.
16. Спеціальні бетони. Корозійностійкий бетон.
17. Спеціальні бетони. Бетон для захисту від радіації.
18. Особливості сучасних технологій приготування бетонів.
19. Технологічні та організаційні особливості транспортування бетонних сумішей.
20. Сучасні технології укладання бетону.
21. Поведінка бетонів за умов пожежі.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Зовнішня стінова панель із газобетону має розміри $3,1 \times 2,9 \times 0,3$ м і масу $m_p = 2160$ кг. Визначити пористість газобетону, приймаючи значення дійсної густини $\rho = 2,81$ г/см³.
2. Зразок із газобетону з розміром ребер $a = 20$ см занурений у воду і плаває. Висота над рівнем води в перший момент складала $h = 6,5$ см. Визначити густину і пористість газобетону, приймаючи його дійсну густину $\rho = 2,79$ г/см³. Поглинанням води при цьому можна знехтувати.
3. Визначити межу міцності при розтягу сталюого стержня і зразка–призми із бетону. Руйнуюче навантаження F для зразків сталі і бетону 30 Кн. Розміри бетонної призми $10 \times 10 \times 80$ см. Розміри сталюого циліндра $d \times h$ (1×10 см).
4. Який об'єм пустот потрібно утворити в бетоні з дійсною густиною $2,4$ г/см³, щоб його середню густину зменшити з 2200 до 600 кг/см³?
5. Водопоглинання бетону за масою і об'ємом дорівнює відповідно $w_m = 4,2\%$; $w_o = 9,5\%$. Знайти загальну пористість бетону при його дійсній густині $\rho = 2,7$ г/см³.

ЗАЛІЗОБЕТОН

1. Передумови розвитку залізобетонних конструкцій.
2. Класифікація залізобетонних конструкцій.
3. Галузі застосування залізобетону.
4. Особливості залізобетону, як будівельного матеріалу.
5. Поведінка залізобетонних конструкцій за умов пожежі.

6.1. Передумови розвитку залізобетонних конструкцій

Залізобетон – основний будівельний матеріал сучасності має порівняно невелику історію застосування (близько 140 років).

Завдяки міцності бетону на стиск, довговічності, високій вогнестійкості, корисним технологічним властивостям, бетон широко застосовують в будівництві. Проте він не міг конкурувати з металом, який здатний сприймати великі зусилля на стиск і розтяг. Виникла ідея об'єднати для спільної роботи бетон і сталь в єдиний матеріал – залізобетон. У залізобетоні арматуру розміщують так, щоб вона сприймала розтягуючі зусилля, а стискальні зусилля передавалися на бетон. Сумісна робота бетону і арматури обумовлена великими силами зчеплення між ними при відносно близьких величинах температурних деформацій. При цьому арматура в бетоні досить добре (проте не ідеально) захищена від корозії.

Першою відомою конструкцією був човен, створений французом Ламбо в 1849 році, з дротяної сітки покритої цементним розчином.

Російські майстри ще в 1802 році застосовували армований бетон, однак не вважали, що отримали новий будівельний матеріал і не патентували.

В 1904 році в місті Миколаїв за проектом російських інженерів побудований перший маяк з монолітного залізобетону, висотою 36 м, товщиною стінок 10 см.

В 1965 році була побудована Останкінська телевежа, висотою 522 м з монолітного попередньо напруженого залізобетону.

6.2. Класифікація залізобетонних конструкцій

Залізобетонні конструкції за способом виготовлення поділяють на *монолітні та збірні*.

У повоєнний період найбільшого поширення набули збірні конструкції, оскільки потрібно було швидко відбудувувати зруйновані споруди. *Збірні залізобетонні конструкції* виготовляють на механізованих підприємствах. Перевага збірного залізобетону порівняно з монолітним – в істотному підвищенні продуктивності праці за рахунок випуску елементів підвищеної заводської готовності. Застосування збірних залізобетонних конструкцій в порівнянні з монолітними дозволяє скоротити витрату сталі і бетону, усунути нераціональне використання лісоматеріалів при облаштуванні опалубки і підтримуючих лісів, перенести з будівельного майданчика на завод велику частку робіт щодо зведення конструкцій. При цьому будівельний майданчик перетворюється на монтажний, значно скорочується трудомісткість робіт, підвищується їх якість, знижується вартість, різко прискорюються темпи будівництва.

В останні роки з'явилася тенденція до збільшення використання монолітного залізобетону з використанням ковзкої та переставної опалубки. *Монолітні залізобетонні конструкції* зводять безпосередньо на будівельних майданчиках. Звичайно їх застосовують в будівлях і спорудах, що важко піддаються роз'єму, при нестандартній і малій повторюваності елементів і при особливо великих навантаженнях (фундаменти, каркаси і перекриття багатоповерхових промислових будівель, гідротехнічні, транспортні і інші споруди). Недоліком монолітних залізобетонних споруд є те, що при їх зведенні витрачається велика кількість ручної праці і матеріалів на виготовлення опалубки, підмостків і так далі. Значні труднощі виникають при бетонуванні монолітних конструкцій в зимовий час.

Збірні залізобетонні вироби класифікують за видом армування, щільністю, видом бетону, внутрішньою будовою та призначенням.

За видом армування – зі *звичайним армуванням та попередньо напружені*.

Використання звичайного армування (укладання сталевих стержнів, сіток, каркасів у зоні розтягу) під час експлуатації не захищає від появи тріщин у зоні розтягнутого бетону. Утворення тріщин задовго до руйнування виробу може привести до корозії арматури під дією вологи та газів. Появу мікротріщин можна уникнути, якщо обтиснути бетон попередньо напруженою арматурою.

Попереднє натягування арматури можна виконувати до і після бетонування конструкцій.

У першому випадку арматуру попередньо розтягують, а після бетонування й затвердіння бетону її вивільнюють від натягу. Арматура, прагнучи повернутися в ненапружений стан (внаслідок пружності), оскільки вона міцно зчеплена з бетоном, обтискує його.

У другому випадку залізобетонні вироби виготовляють з повздовжніми каналами, у них пропускають арматуру, яку розтягують, і її кінці закріплюють спеціальними пристроями на торцях виробу. Після цього канали заповнюють цементним розчином, щоб захистити арматуру від корозії.

Використання попередньо напруженої арматури дає змогу не тільки попередити утворення тріщин, а й значно зекономити метал, скоротити витрату складових матеріалів у бетоні, зменшити масу конструкції, підвищити довговічність та знизити вартість будівництва.

Вироби можуть складатися з одного шару бетону (*одношарові*) та кількох шарів із різними видами бетону (*багатошарові*).

За призначенням збірні залізобетонні вироби поділяють на такі групи: для житлових, громадських, промислових, сільськогосподарських та для гідротехнічних споруд.

6.3. Галузі застосування залізобетону

1) Для спорудження одно– і багатоповерхових виробничих будівель із збірного залізобетону виготовляють плити покриття та перекриттів, стінові

панелі, балки, ферми, колони, підкранові балки, фундаменти. Зовнішні стіни великопанельних будівель монтують з керамзитобетонних панелей, а решту елементів – з важкого бетону.

2) Видовищні будівлі – театри, кінотеатри.

3) Спортивні споруди – палаци спорту, криті стадіони, плавальні басейни.

4) Залізобетонні попередньо напружені конструкції використовують для аркових, фермових, балконових мостів на залізничних та автомобільних магістралях.

5) З монолітного та збірно–монолітного залізобетону будують спеціальні інженерні споруди – бункери, резервуари для зберігання нафтопродуктів, телевізійні башти, лінії електропередач, атомні реактори.

6) Просторові конструкції – об'ємні елементи ліфтових шахт, кільця криниць, блок – кімнати санітарних кабін.

7) Будівництво гідротехнічних споруд – гребель, шлюзів, набережних, будівель ГЕС.

8) Транспортне будівництво – попередньо напружені шпали, естакади.

9) Зі збільшенням польотної маси літаків усі злітні та посадочні смуги будують з монолітного, часто попередньо напруженого залізобетону.

10) Для видобування нафти й газу споруджують плавучі або такі, що опускаються на дно, острови з монолітного залізобетону.

11) Використовують для будівництва плавучих доків, понтонів, причальних споруд.

12) Зростання міст зумовило розвиток підземного будівництва – транспортні та пішохідні тунелі, підземні гаражі, станцій метро, колектори.

6.4. Особливості залізобетону, як будівельного матеріалу

Розглянемо особливості залізобетону, як будівельного матеріалу на прикладі роботи балок на згин. Спочатку розглянемо роботу на згин бетонної балки (рис. 6.1).

Під дією навантаження F у початковий період напруження і деформації пов'язані лінійною залежністю за законом Гука. З подальшим збільшенням

навантаження з розтягнутій зоні виникають не пружні деформації. У момент виникання граничних напружень на розтяг σ_{\max}^p і граничних деформацій розтягу в бетоні утворюється перша тріщина, яка спричиняє швидке крихке руйнування балки. Дослідження показали, що міцність бетону на розтяг в 10 ...15 разів нижча, ніж на стиск. Наприклад – для класу В15 міцність на розтяг $\sigma_{\max}^p = 1,15$ МПа, а на стиск $\sigma_{\max}^c = 11$ МПа.

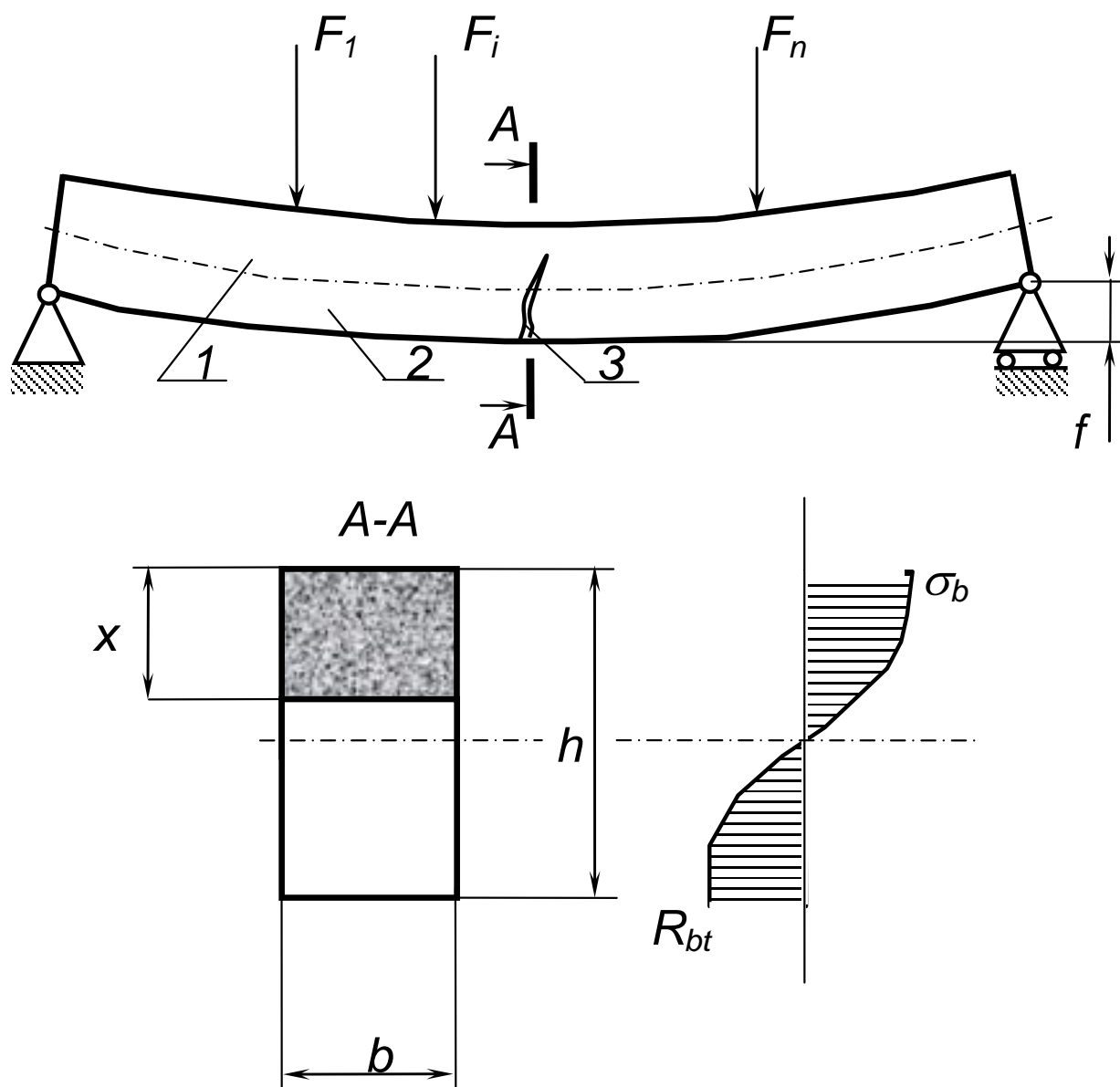


Рис. 6.1. Схема роботи бетонної балки на згин: 1 – стиснута зона; 2 – розтягнута зона; 3 – тріщина, що спричиняє руйнуванню балки; F – силоне навантаження; f – величина прогину балки

Отже, міцність стиснутої зони залишається невикористаною у зв'язку з незначною міцністю розтягнутої зони, і, як наслідок – невелика несуча здатність бетонної балки.

Якщо в розтягнуту зону помістити сталеві стержні, то характер роботи вже залізобетонної балки буде інший (рис. 6.2).

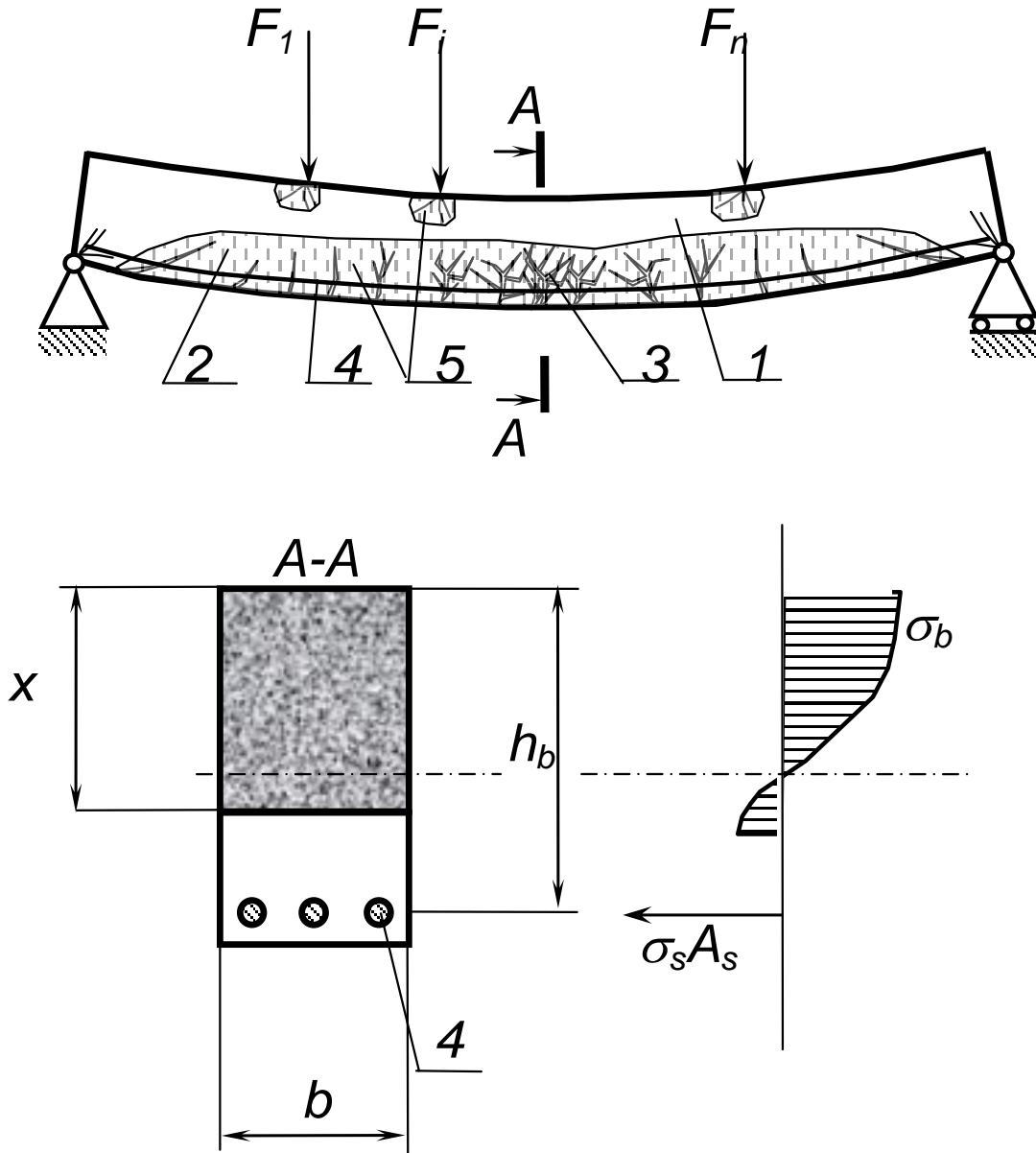


Рис. 6.2. Схема роботи залізобетонної балки на згин: 1 – стиснута зона; 2 – розтягнута зона; 3 – тріщини в розтягнутому бетоні; 4 – арматура. 5 – зона пошкоджень бетону; F – силове навантаження.

У початковий момент бетон і арматура працюють разом. Із збільшенням навантаження, коли в бетоні розтягнутої зони напруження і деформації досягають граничних значень, виникають перші тріщини. Навантаження в цей

момент становить 15 ...25% від руйнівного. Бетон в розтягнутій зоні виключається з роботи, і всі розтягуючі зусилля сприймає арматура. Подальше збільшення навантаження спричиняє збільшення ширини розкриття тріщин, розвиток їх по висоті, утворення нових. Руйнування настає тоді, коли напруження в арматурній сталі досягають границі текучості. Руйнування балки буде пластичним, з великими прогинами, і закінчиться роздробленням бетону стиснутої зони. Таким чином армування бетонної балки дає можливість використовувати міцність арматури на розтяг і міцність бетону на стиск. Несуча здатність залізобетонної балки може переважати несучу здатність бетонної, більш як у 10 разів.

На рис 6.3 показаний фрагмент залізобетонної балки після випробування її на згин. На даному рисунку видно розподілення тріщин у розтягненій зоні.

Звичайні залізобетонні конструкції мають істотні недоліки – тріщини в розтягнутій зоні, що не завжди припустиме для нормальної експлуатації.

Тому застосовують попередньо напружені конструкції, під час виготовлення яких створюється обтискування бетону розтягнутої зони. Цього досягають напруженням арматури. Обтискування бетону дає можливість не допускати утворення тріщин під час експлуатації або обмежити їх розкриття (рис. 6.4).



Рис. 6.3. фрагмент залізобетонної балки після випробування її на згин.

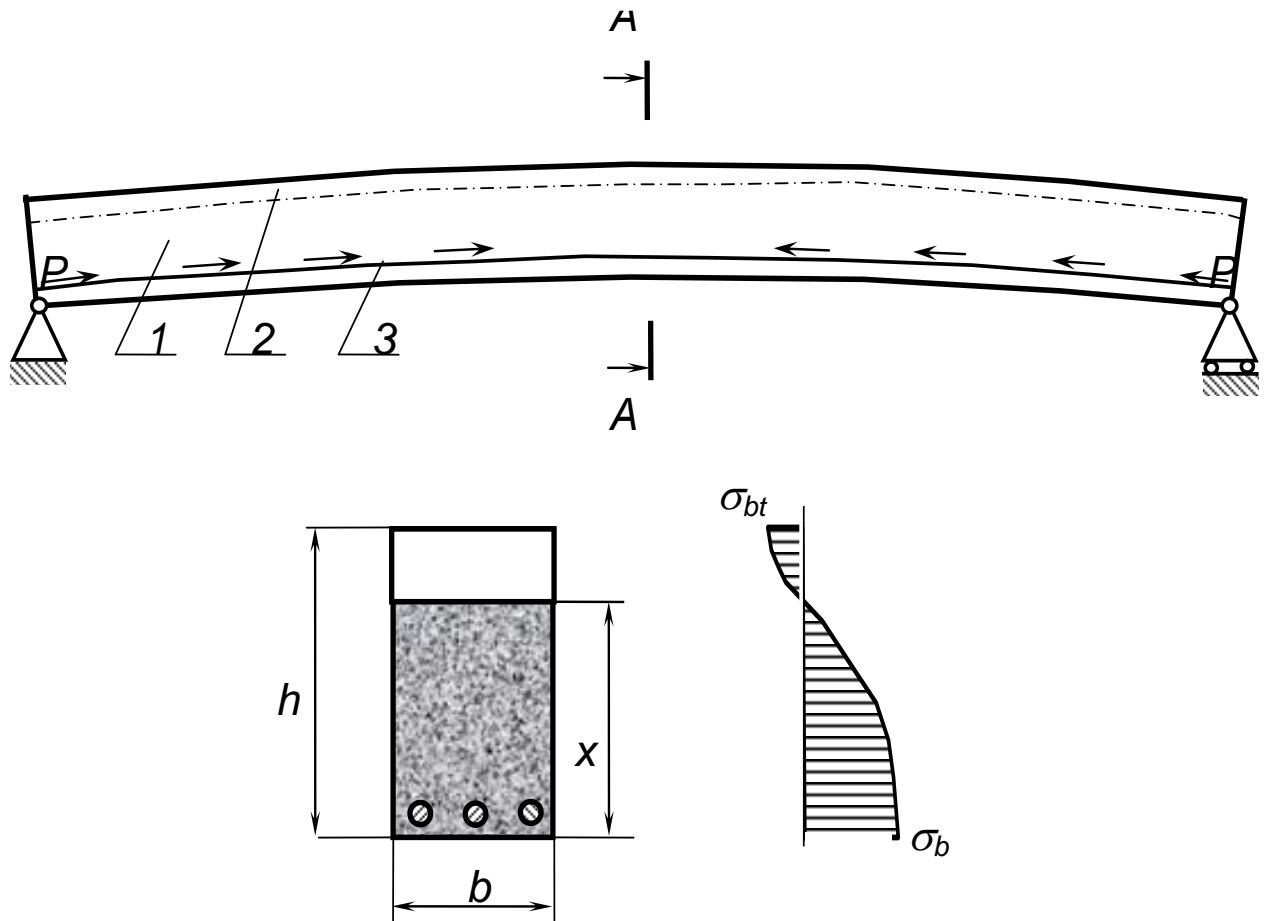


Рис. 6.4. Схема попередньо напруженої залізобетонної балки: 1 – стиснута зона; 2 – розтягнута зона; 3 – попередньо напружена арматура P – зусилля попереднього натягу.

У стиснутих конструкціях основне навантаження сприймає бетон, оскільки він добре чинить опір стисканню. Арматура сприймає частину стискальних зусиль, що дає можливість зменшити розміри поперечного перерізу елемента. Армування стиснутого бетону підвищує надійність залізобетонних конструкцій. Проте замінити бетон дорожчим матеріалом – сталлюю арматурою є економічно невигідно і арматуру ставлять у кількості 3% від площі перерізу бетону.

6.5. Поведінка залізобетонних конструкцій за умов пожежі

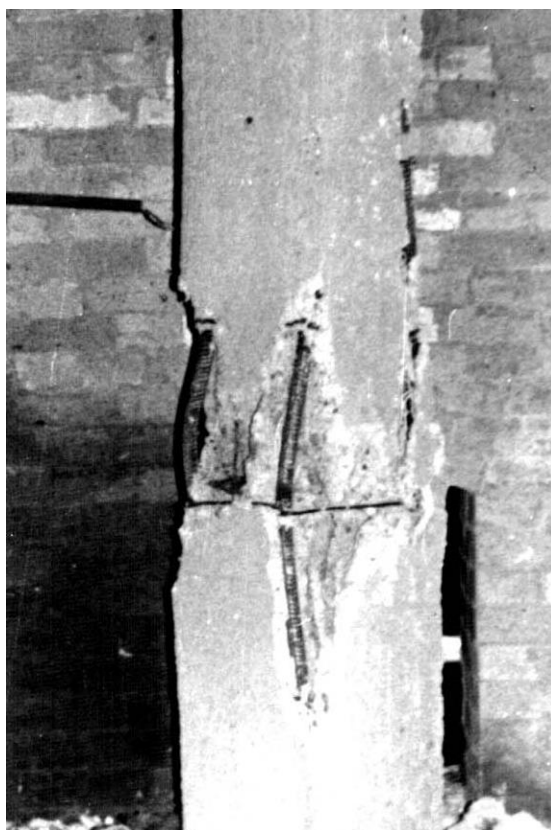
Вогнестійкість залізобетонних конструкцій визначається зміною міцності та пружно-пластичних властивостей бетону (див. розділ 5) та арматурної сталі в умовах короткочасної дії високих температур. Враховуючи наявність великої кількості специфічних особливостей поведінки залізобетону в умовах механічного навантаження та особливості, що з'являються під час його

нагрівання в тих же умовах, можна зазначити що руйнування має характер, зумовлений накопиченням ушкоджень у вигляді тріщин. Поява тріщин та їх розвиток спричиняє різний перерозподіл внутрішніх зусиль для різних функціональних елементів залізобетонних конструкцій. Умовно можна розділити на елементи, які працюють в умовах стискання (колони, стойки та ін.), елементи, які працюють на згин (балки, ригелі, плити перекриттів та ін.), елементи, які працюють в умовах сумісної дії деформацій (елементи каркасів, рам, ферм та ін.).

Для працюючих на згин вільно опертих по двох сторонах (статично визначених) залізобетонних елементів конструкцій вирішальним фактором, що визначає необоротне зниження їх міцності та жорсткості в умовах пожежі є поведінка за даних умов арматурних сталей. При вогневій дії пожежі на зігнутий елемент на початкових стадіях відбувається прогрівання внутрішніх шарів бетону, при цьому в цих шарах відбувається закриття тріщин за рахунок температурного розширення. Із зростанням температури у внутрішніх шарах відбувається нагрів арматури і при досягненні нею температури 450–500°C арматурна сталь набуває стану текучості, тобто зростання деформацій при сталих внутрішніх зусиллях. При цьому на фоні додаткового зменшення міцності бетону внаслідок нагрівання втрачається стійкість тріщин и вони починають розвиватись. При подальшому зростанні тріщин під вогневою дією пожежі найбільші з них розвиваються у магістральні. В місцях найбільших ушкоджень у стиснутій зоні зімкнуті береги магістральних тріщин обминаються і роздроблюються, а арматура ще більше пластично деформується при сталому зусиллі. У результаті утворюється локальна зона великих пластичних деформацій. Таке явище подібне до утворення пластичного шарніру у металевих конструкціях. Після цього відбувається обвалення елемента. В деяких випадках обвалення може спричинити розрив арматурних стержнів.

На рис. 6.5 показані елементи залізобетонних конструкцій після їхньої руйнації під вогневою дією пожежі.

Зважаючи на вищевказане, можна зазначити, що вогнестійкість зігнутих елементів (див. розділ 3), визначається часом прогріву робочої арматури до критичної температури, що відповідає тому моменту, коли опір арматури знижується до величини напружень, які виникають в ній від нормативного навантаження. Окрім того, велике значення для збереження монолітності залізобетону при нагріванні має величина зчеплення сталевोї арматури з бетоном. І нарешті суттєвий вплив на поведінку залізобетону при нагріванні має зниження модуля пружності сталі при нагріванні.



а.



б.

Рис. 6.5. Результат вогневої дії пожежі на: *а* – залізобетонну колону; *б* – залізобетонний ригель.

Варто відзначити, що зчеплення звичайного бетону з гладкою арматурою при нагріванні до 100°C зберігається на рівні 75% від початкової величини, а при 450°C це зчеплення практично повністю порушується. Для арматури періодичного профілю при температурі до 250°C зчеплення з бетоном не знижується, а при температурі 450°C воно складає близько 75% від початкової величини.

Для центрально та відцентрово стиснутих залізобетонних елементів втрата несучої здатності в умовах пожежі обумовлена нерівномірним по перетину елемента зниженням міцності і зростанням повзучості бетону при нагріванні. При вогневій дії пожежі на початкових стадіях пожежі в стиснутих елементах також відбувається закриття тріщин внаслідок температурного розширення. Після цього температурні напруження зростають і найбільш прогріті зовнішні шари накопичують ушкодження при зменшенні їхньої міцності. Це приводить до того, що для їх деформування потрібне набагато менше зусилля. Таким чином, основну частину навантаження сприймає менш ушкоджена внутрішня частина. При цьому стиснутий елемент може перейти до деформації поздовжнього згину. Подальше накопичення ушкоджень приводить до локального подрібнення бетону. В місці найбільшої кількості пошкоджень бетон випучується разом з арматурними стержнями і можна вважати, що в цьому місці утворюється пластичний шарнір. Після цього може відбутися обвалення стиснутого елемента.

Узагальнюючи вищезазначене, можливо стверджувати, що межа вогнестійкості наступає в зв'язку зі скороченням працездатного перетину бетону до величини, при якій виникає той чи інший граничний стан.

Питання для самоконтролю

1. Розвиток та застосування залізобетонних конструкцій.
2. Класифікація залізобетонних конструкцій.
3. Особливості технологій виготовлення збірного та монолітного залізобетону.
4. Галузі застосування залізобетону.

5. Типи армування залізобетонних виробів.
6. Схеми роботи бетонної та залізобетонної балок при експлуатаційних навантаженнях. Сформулювати основні відмінності.
7. Характер роботи попередньо напруженої залізобетонної балки.
8. Вогнестійкість залізобетонних конструкцій.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Яке навантаження на кожному з двох опор здійснює залізобетонна балка прямокутного перерізу розміром 60×14 см і довжиною $l=6,5$ м при середній густині залізобетону $\rho=2500$ кг/м³?
2. Шестипустотна залізобетонна панель, що має довжину 5,8 м, ширину 1,6 м і товщину 22 см, опирається на дві опори. Розрахувати навантаження на кожному опорі. Середню густину залізобетону прийняти 2500 кг/м³. Діаметр пустот 16,5 см.
3. Залізобетонна квадратна плита розміром $4 \times 4 \times 0,4$ м опирається по краях на чотири цегляні стовпи перерізом $0,51 \times 0,51$ м кожний. Висота стовпів $h=6,5$ м. На залізобетонну плиту по її центру поставили баддю з бетоном. Маса бадді без бетону $m_6=87$ кг, а об'єм бетону в бадді $v_{б.с.}=0,85$ м³. Визначити, який тиск на цегельні стовпи на рівні їх фундаменту. Середня густина цегляної кладки $\rho_{о.к}=750$ кг/м³; залізобетону $\rho_{о.з}=2500$ кг/м³; бетонної суміші $\rho_{о.б}=2400$ кг/м³.
4. Звичайний керамзитобетон на кварцовому піску має середню густину 1100 кг/м³, поризований на кварцовому піску – 1000 кг/м³ і поризований на керамзитовому піску – 900 кг/м³. Якої товщини потрібно виготовити стінові панелі із поризованого керамзитобетону, якщо рівноцінні по теплопровідності панелі із звичайного керамзитобетону мають товщину 400 мм?
5. Якою повинна бути товщина і маса суцільної зовнішньої одношарової панелі (без врахування арматури) розміром $3,1 \times 1,2$ м при використанні легких бетонів при густині 700; 900 і 1100 кг/м³ і теплопровідності

відповідно 0,28; 0,35 і 0,45 Вт/(м·°C)? Необхідний мінімальний термічний опір стіни $0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

СИЛІКАТНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

1. Силікатні матеріали, визначення, основи технології виготовлення.
2. Силікатна цегла. Основні характеристики, технології виробництва та використання.
3. Силікатний бетон. Основні характеристики, технології виробництва та використання.
4. Поведінка силікатних матеріалів при дії високих температур.

7.1. Силікатні матеріали, визначення, основи технології виготовлення

Силікатні матеріали – це безцементні вироби які виготовляють на основі вапняково-кремнеземистих, вапняково-шлакових і вапняково-зольних в'язучих автоклавним способом. Ці в'язучі отримують сумісним подрібненням вапна, кварцових пісків, шлаків і золи. В процесі тепло–вологої обробки в автоклавах вони утворюють високоміцний камінь, до складу цього каменя входять гідросилікати кальцію $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і інші. Крім силікатів кальцію присутні CaCO_3 і $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

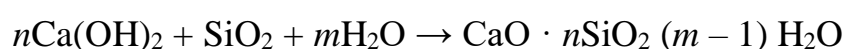
Виробництво силікатних виробів звичайно складається з наступних операцій: приготування вапняно–кремнеземної суміші, приготування і гомогенізації силікатобетонної суміші, формування виробів, тверднення виробів в автоклавах в середовищі насиченої водяної пари при тиску 0,9...1,6 МПа і температурі 175...200°C.

Шляхом автоклавної обробки отримують два види силікатних матеріалів:

- 1) **Щільні** $\rho=1800 - 2100 \text{ кг/м}^3$ і $\sigma=100-400 \text{ кг/см}^2$.
- 2) **Легкі та ніздрюваті** (піносилікат і газосилікат) $\rho=300-1800 \text{ кг/м}^3$ і $\sigma=25-200 \text{ кг/см}^2$.

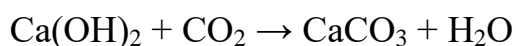
7.2. Силікатна цегла. Основні характеристики, технології виробництва та використання

Основний вид – вапняково – пісочний, при заміні піску на доменний шлак або золу отримують вапняково–шлаковий або вапняково–зольний. Отримують пресуванням суміші подрібненого вапняку (8-10%), піску (92-90%), і води (приблизно 7...9% від ваги сухої речовини), з подальшим запарюванням в автоклавах. Пресування цегли відбувається під тиском 15–20МПа. Відпресована цегла поступає в автоклав (рис. 7.1), де підлягає дії насиченого водяного пару під тиском 0,9–1,2 МПа та температурі 175–190⁰С. За таких умов утворюються низькоосновні гідросилікати кальцію за реакцією



В результаті синтезується цементуюча речовина (у вигляді гідросилікатів кальцію різного складу), що зв'язує зерна піску або іншого заповнювача у міцний і водостійкий кам'яний матеріал. Тривалість циклу запарювання складає 10...14 г.

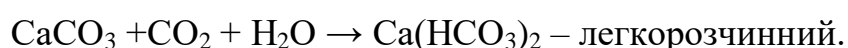
Зростання міцності силікатної цегли продовжується ще деякий час на відкритому повітрі за реакцією



Силікатна цеглина — світло–сіра, але може бути і кольоровою, якщо до складу суміші ввести лугостійкі пігменти. Цегла має розміри 250×120×65 (модульна 250×120×88).

Поділяється на марки залежно від міцності 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300. Має меншу морозостійкість ніж глиняна цегла. Марка морозостійкості не нижче F15 для звичайної цегли і не нижче F25–50 для облицювальної. Густина силікатної цеглини 1800...1900 кг/м³, а теплопровідність 0,82...0,87 Вт/(м °С), тобто дещо більше, ніж у керамічної цегли.

Силікатна цегла використовується в основному для кладки стін. Не допускається для викладанням фундаментів, цоколів будівель, кладки печей і димоходів (дуже чутна до ґрунтових і стічних вод, які вміщують в себе CO₂)



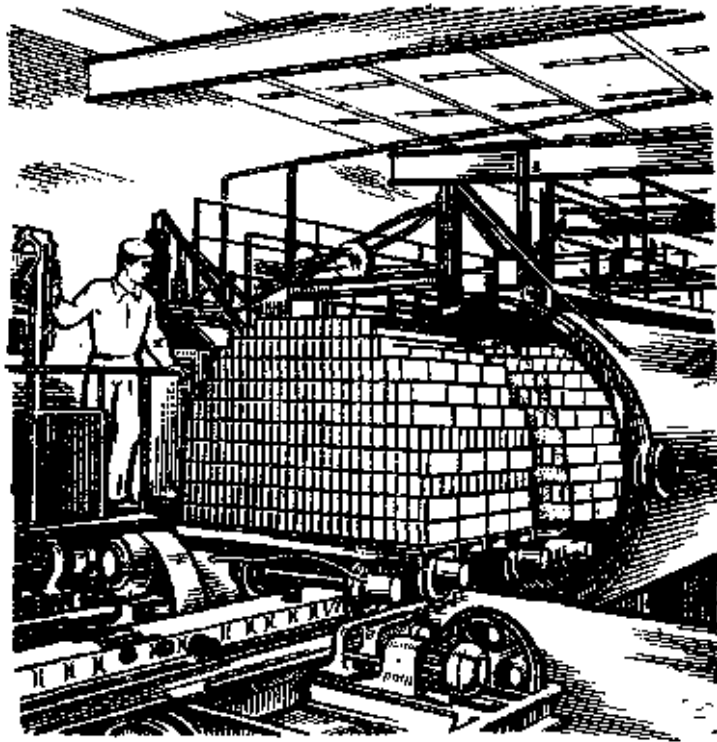


Рис. 7.1. Завантаження силікатної цегли в автоклав

При тривалій дії високих температур ($>500^{\circ}\text{C}$) втрачає значну частину міцності через модифікаційні перетворення кварцу, що супроводжуються стрибкоподібним зростанням об'єму.

Для отримання силікатної цеглини вимагає менше виробничих площ, ніж на заводах керамічної цегли, витрачається в 2 рази менше палива, в 3 рази менше електроенергії, в 2,5 рази нижче трудомісткість виробництва. В результаті собівартість силікатної цегли на 25...35 % нижче, ніж керамічної. Тому вона продовжує займати значну долю в загальному об'ємі випуску стінних матеріалів. При цьому зростає середня марка цеглини, збільшується випуск пустотілої силікатної цегли і пустотілих блоків, що дозволить понизити витрату матеріалів і вагу огорожуючих конструкцій, зменшити сумарні приведені витрати на 1 м^2 стіни.

7.3. Силікатний бетон. Основні характеристики, технології виробництва та використання

Силікатна цегла – дрібно штучний матеріал. Все ширше розповсюджується виготовлення і використання великогабаритних силікатних виробів. Цей

перспективний матеріал називають силікатним бетоном. Виготовлення армованого силікатобетону на 25–35% менше собівартості звичайного залізобетону.

Автоклавні вироби виготовляються як із щільного силікатного бетону та, так із легкого та ніздрюватого у вигляді піно– і газосилікату.

Щільні силікатобетонні вироби переважно виготовляють переважно з важких дрібнозернистих силікатних бетонів (на кварцовому піску без крупного заповнювача) густиною 1800...2300 кг/м³ і міцністю 10..50 МПа. Можна отримувати силікатний бетон і більшої міцності (до 100 МПа) при збільшенні дисперсності і кількості тонкомолотого кварцового піску в вапняково–кремнеземистій суміші, сильному її ущільненні і відповідному режимі автоклавної обробки.

Модуль пружності важкого силікатного бетону в 1,5...2,5 рази нижче цементного, тому його деформації при короткочасній дії навантаження більші. Проте максимальне значення характеристики повзучості силікатного бетону в 1,5...3 разу менше, ніж цементного. Сумарні деформації (короткочасні і тривалі) у обох видів бетонів практично однакові. Тому при заміні звичайного бетону щільним силікатним перетини конструкцій і їх армування не вимагають змін.

Водостійкість (коефіцієнт розм'якшення не менше 0,75) і морозостійкість (F50 і більш) силікатного бетону хоча і дещо нижчі, ніж у щільних цементних бетонів, але цілком достатні для забезпечення вимог до зовнішніх конструкцій цивільних і промислових будівель. При необхідності для підвищення міцності і морозостійкості силікатних виробів до складу вапняно–кремнеземної суміші додають невелику кількість портландцементу (10...15 %).

Корозійна стійкість арматури в конструкціях з важкого силікатного бетону надійно забезпечується в приміщеннях з вологістю повітря до 60 %. При вологому і змінному режимах експлуатації арматуру необхідно захищати антикорозійними обмазками.

Таким чином, за сукупністю властивостей щільні силікатобетонні вироби не поступаються цементно–бетонним, а собівартість їх менше.

З щільних силікатних бетонів виготовляють: панелі внутрішніх стін і перекриттів, балки, прогони і колони, карнизні плити і інші збірні деталі.

Легкобетонні силікатні вироби виготовляють з двох видів бетонів автоклавного тверднення – легкого силікатного бетону на пористих заповнювачах і ніздрюватих силікатних бетонів (піносилікат і газосилікат).

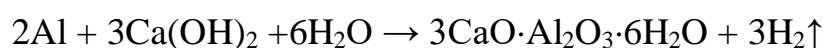
Легкі силікатні бетони на пористих заповнювачах готують на тих же в'язучих, що і щільні силікатні бетони. Пористими заповнювачами для них служать керамзит, спучений перліт, аглопорит, шлакова пемза і інші пористі матеріали у вигляді гравію і щебеня. Такі бетони мають міцність 3,5...20 Мпа, водопоглинання 12...30 % (за об'ємом), морозостійкість 15...50 циклів.

Конструкційні легкі силікатні бетони з щільністю 1400...1800 кг/м³ застосовують для виготовлення армованих силікатобетонних виробів і конструкцій. Конструкційно–теплоізоляційні бетони з щільністю 500...1400 кг/м³ і теплопровідністю до 0,58 Вт/(м·°С) використовують для виготовлення зовнішніх огорожуючих конструкцій (блоків і панелей стін, суміщеної кривлі і т. і.). З теплоізоляційних силікатних бетонів з щільністю менше 500 кг/м³ і теплопровідністю близько 0,18 Вт/(м·°С) виготовляють плити різних розмірів для теплової ізоляції покриттів і перекриттів промислових і житлових будівель.

Ніздрюваті бетони (піносилікат і газосилікат) – складаються із вапна, кремнеземистого компонента SiO₂ – піску, води, які змішані з піноутворюючими або газоутворюючими компонентами.

Піноутворюючі компоненти – клеєканіфольний, ГК (гідролізована кров), сапониновий і ряд сучасних синтетичних піноутворювачів.

Газоутворюючі компоненти – алюмінієва пудра (викликає спочування силікатної маси через виділення H₂↑).



З ніздрюватих силікатних бетонів можна виготовити вироби з густиною 300...1200 кг/м³ і міцністю 0,4... 20 МПа. Такі вироби мають дрібнопористу структуру, невелику теплопровідність 0,1...0,45 Вт/(м·°С) і характеризуються достатньою морозостійкістю (більше 15 циклів), що дозволяє використовувати

їх для зовнішніх конструктивних елементів в промисловому і цивільному будівництві. Ніздрюваті силікатні вироби (плити, оболонки) щільністю менше 500 кг/м^3 застосовують для утеплення як будівельних конструкцій (стін, покриттів), так і теплових установок (трубопроводів, котлів і т. і.). Ніздрюваті силікатні вироби щільністю $500\text{...}850 \text{ кг/м}^3$, міцністю $2,5\text{...} 7,5 \text{ Мпа}$ і теплопровідністю $0,22\text{...}0,29 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ успішно застосовують в конструкціях зовнішніх стін (панелі, крупні блоки). Зовнішні стіни з газосилікатних панелей на $25\text{...}30 \%$ дешевше великопанельних керамзитобетонних і залізобетонних стін з утеплювачем.

З газосилікату і піносилікату з щільністю $900\text{...} 1200 \text{ кг/м}^3$ і міцністю вище $7,5 \text{ Мпа}$ виготовляють конструкційні армовані вироби (панелі покриттів і перекриттів) за умови захисту арматури від корозії спеціальними обмазками.

7.4. Поведінка силікатних матеріалів при дії високих температур

Оскільки фізико–хімічні процеси твердіння силікатних виробів при обробці в автоклавах ще не завершилися, то будь-який тепловий вплив викликає стрибкоподібне підвищення або зниження міцності виробів.

Після випробувань на залежність міцності силікатної цегли від температури дійшли до такого висновку (рис.7.2):

При температурі 100°C – міцність знижується.

При температурі 300°C – міцність зростає.

При температурі 600°C – міцність близька до первісної.

При температурі більшій 600°C – міцність знижується знову.

При температурі 700°C – міцність зменшується у 2 рази.

При температурі 900°C – міцність зменшується у 5 разів.

При температурі 700 °C утворюються тріщини. Охолодження силікатної цегли водою викликає зниження міцності на 20% більше, ніж охолодження на повітрі.

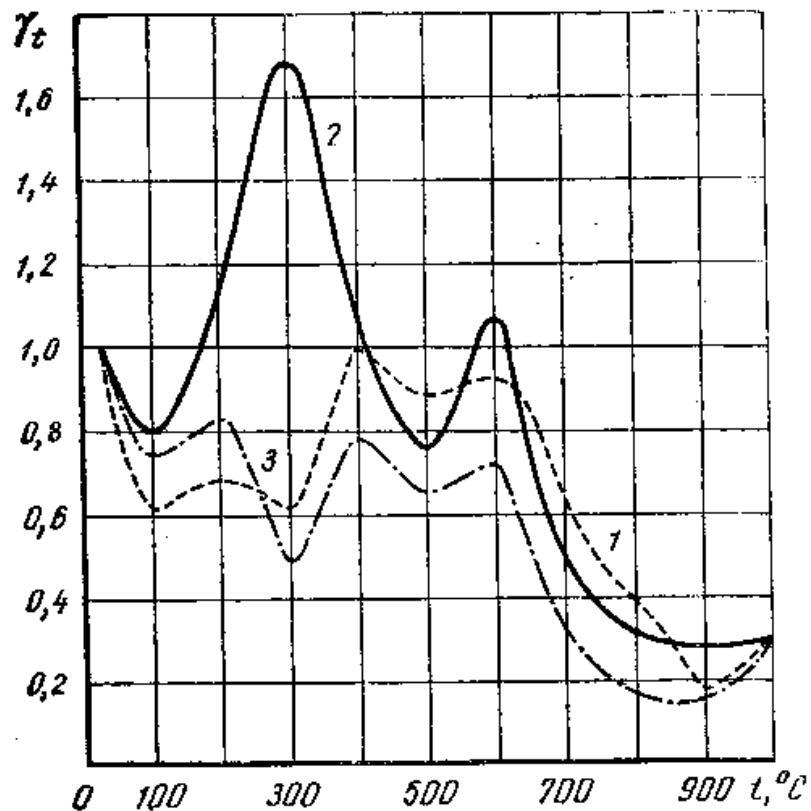


Рис. 7.2. Зміна міцності силікатної цегли в залежності від температури: 1 – в гарячому стані; 2 – при охолодженні на повітрі; 3 – при охолодженні водою

Силікатобетон схильний до крихкого руйнування. Так при випробуваннях на вогнестійкість армованих силікатобетонних колон виявили вибухоподібний характер їх руйнування. На 5–10 хвилині вогневого впливу відмічають руйнування силікатобетону з поверхні у вигляді виривання шматків бетону вибухоподібним чином. Через 20–30 хвилин дії вогню на багатьох ділянках колони спостерігають оголення робочої арматури. На цих ділянках арматура швидко нагрівалась до критичних температур і втрачала свою несучу здатність.

Вогневі випробування силікатобетонних плит показують, що конструкції з вологістю бетону більше 2% і густиною $\rho > 1700 \text{ кг/м}^3$, при впливі вогню, обвалюються передчасно через вибухоподібне руйнування бетону. Якщо силікатобетонні конструкції попередньо просушити при температурі 100–200°C, то процес руйнування при впливі вогню носить звичайний характер як у колон з важкого бетону на портландцементі. В момент, коли настає межа вогнестійкості такої колони, робоче навантаження сприймається лише нагрітою арматурою і ядром перерізу бетону.

Наведені дані свідчать про те, що силікатобетонні колони можуть (за відповідних умов) володіти достатньо високої вогнестійкістю, яка не поступається вогнестійкості колон зі звичайного бетону на портландцементі.

Питання для самоконтролю

1. Силікатні матеріали, визначення, основи технології виготовлення.
2. Силікатна цегла. Основні характеристики, технології виробництва та використання.
3. Силікатний бетон. Основні характеристики, технології виробництва та використання.
4. Основні властивості та застосування важких силікатних бетонів.
5. Основні властивості та застосування легких силікатних бетонів на пористих заповнювачах.
6. Основні властивості та застосування ніздрюватих силікатних бетонів (піносилікати і газосилікати).
7. Піно і газоутворюючі компоненти.
8. Поведінка силікатних матеріалів при дії високих температур.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Сорбційна вологість ніздрюватого бетону змінюється зі зміною відносної вологи повітря. При середній густині ніздрюватого бетону в сухому стані $\rho_{o.c.}=500 \text{ кг/м}^3$ сорбційна волога бетону по об'єму при відносній вологості повітря 40% складає $w_o=1,4\%$; 80% – 2,9 і 100% – 9,4%. Знайти середню густину ніздрюватого бетону при різній відносній вологості повітря.
2. Визначити коефіцієнт насичення пор цегли розмірами $250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$ з дійсною густиною $\rho=2,6 \text{ г/см}^3$ і масою в сухому стані $m=3,5 \text{ кг}$, якщо після витримання у воді маса цегли стала рівною $m_b=4 \text{ кг}$.
3. Через зовнішню стіну із цегли площиною $S=25,5 \text{ м}^2$ проходить за $\tau=24 \text{ год}$. $Q=76000 \text{ кДж}$ теплоти. Товщина стінки $\delta=51 \text{ см}$, температура

теплої поверхні стіни $t_1=15^\circ\text{C}$, холодної – $t_2=-12^\circ\text{C}$. Розрахувати теплопровідність цегляної кладки.

4. Зразок цегли при випробовуванні зруйнувався при показі манометра $P=40$ МПа. Коефіцієнт розм'якшення цегли $k_{\text{ц}}=0,9$. Площа зразка S_0 в два рази більша площі поршня гідравлічного преса $S_{\text{п}}$. Визначити межу міцності цегли на стиск в насиченому водою стані.

5. Допустимий термічний опір стін жилих будівель $0,95$ $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Якої товщини із теплотехнічних міркувань повинна бути стіна із застосуванням звичайної цегли з $\rho_0=1700$ $\text{кг}/\text{м}^3$, умовно ефективною цегли з $\rho_0=1550$ $\text{кг}/\text{м}^3$ і ефективною цегли з $\rho_0=1350$ $\text{кг}/\text{м}^3$.

КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

1. Визначення, сировина та історія створення і використання керамічних матеріалів та виробів.
2. Головні критерії класифікації керамічних матеріалів.
3. Особливості технології виготовлення керамічних виробів.
4. Поведінка керамічних матеріалів при дії високих температур

8.1. Визначення, сировина та історія створення і використання керамічних матеріалів та виробів

Керамічними називають матеріали і вироби, які отримують формуванням глини з мінеральними домішками або без них і подальшим їх обпаленням.

Сировиною для виробництва керамічних матеріалів і виробів є *глина* - тонко дисперсна фракція гірської породи, яка є природним водним алюмосилікатом, здібна утворювати з водою пластичне тісто, яке після висихання зберігає надану форму і після обпалення набуває міцності каменя. Для покращення фізико-механічних властивостей використовують пластифікуючі і вигоряючі домішки. В склад глин входять зерна польового шпату, вапняку, органічні речовини, які є шкідливими домішками і негативно впливають на якість виробів.

В залежності від вмісту глинистих часток розрізняють:

- важкі глини (більше 60 %);
- глини (30–60%);
- суглинки (10–30%);
- супісок (5–10%).

Для отримання технічної кераміки (електроніка, ракетобудування) використовують чисті оксиди алюмінію, кальцію, магнію, двооксиди цирконію, торію тощо.

До важливих *властивостей* глин відносять:

- **пластичність** – здатність глиняного тіста під дією зовнішніх сил приймати задану форму і зберігати її після зняття навантаження;
- **зв’язуюча здатність** – зусилля, необхідне для роз’єднання часток глини і для зв’язування часток непластичних матеріалів (піску) з утворенням при висиханні міцного виробу – **сирцю**.
- **повітряна усадка глини** – зміна лінійних розмірів свіже сформованого зразка в процесі сушіння. Виражають в відсотках від початкового розміру зразка – сирцю (3–10%);
- **вогнева усадка** – зміна лінійних розмірів повітряно–сухого зразка в процесі обпалення (2–8%);
- **повна усадка** – сума величин повітряної і вогневої усадок (5–18%);
- **вогнетривкість** – властивість глини витримувати дію високої температури не розплавляючись.

Глини по відношенню до дії високих температур поділяють на 3 групи:

- вогнетривкі з температурою розм’якшення вище 1580°С .
- тугоплавкі – 1580–1350°С.
- легкоплавкі – нижче 1350°С.

Домішки – це речовини, які використовують для зменшення усадки в процесі сушки і обпалення керамічних матеріалів, яка призводить до розтріскування виробів (пісок, шлак, зола, подрібнений керамзит, тирса, вугільний порошок, торф).

Керамічні матеріали – найдавніші з усіх штучних кам’яних матеріалів. Вік керамічної цегли становить понад 5000 років. Залишки будівель та споруд з керамічної цегли знайдені археологами на території Стародавнього Єгипту (III...I тисячоліття до н.е.). Керамічна цегла була відома також в Індії. У Китаї для покрівель використовували керамічну черепицю, а для оздоблення будівель – глазуровану кераміку, фарфор. У Стародавній Греції перший храм Гери в Олімпії (VI ст. до н.е.) мав дах з черепиці та прикраси з теракоти. З керамічної цегли у Стародавньому Римі будували 3...4–поверхові житлові будинки, а також арки і мости, деякі з них збереглися до нашого часу (на території Іспанії,

Франції, Великої Британії) і вражають гармонійністю та красою архітектурних вирішень.

На території України знайдені вироби з кераміки, що датуються 3...2 тис. р. до н.е. (трипільська культура), а також збереглися історичні пам'ятники Київської Русі X...XI ст. (залишки Десятинної церкви, Золотих воріт, Софійський собор), які були збудовані з використанням керамічної цегли та керамічних плиток для підлоги. В Київській Русі та Візантії основним матеріалом для зведення стін, арок, бань, склепінь (Софійський собор і церква Спаса на Берестові у Києві) була *плінфа*. Це – плоска випалена великорозмірна цегла, яка мала ширину 30...40 см, товщину 2,5...5 см.

Довговічність і простота виготовлення керамічних матеріалів забезпечили їм одне з перших місць серед інших будівельних матеріалів. Випуск керамічної цегли становить майже половину обсягу виробництва всіх стінових матеріалів. Керамічні облицювальні плитки й досі лишаються основними матеріалами для опорядження санітарних вузлів та багатьох інших приміщень. Не втратили свого значення й керамічні матеріали для зовнішнього облицювання будівель. Висока міцність, універсальність властивостей і широкий асортимент дають змогу використовувати керамічні вироби у найрізноманітніших конструкціях будівель і споруд: для теплових агрегатів; як облицювальні матеріали для підлог і стін; для мереж каналізації, як легкі пористі заповнювачі для бетонних і залізобетонних виробів тощо.

Поряд з позитивними якостями керамічні вироби мають і деякі недоліки, а саме: крихкість; крім того, їх виробництво є досить енергоємним і потребує використання спеціального сушильного та випалювального обладнання.

8.2. Головні критерії класифікації керамічних матеріалів

Керамічні матеріали і вироби класифікують за різними ознаками. Головними критеріями класифікації є характер будови черепка (матеріалу, з якого складається керамічний матеріал після випалювання), призначення, спосіб формування, характер поверхні.

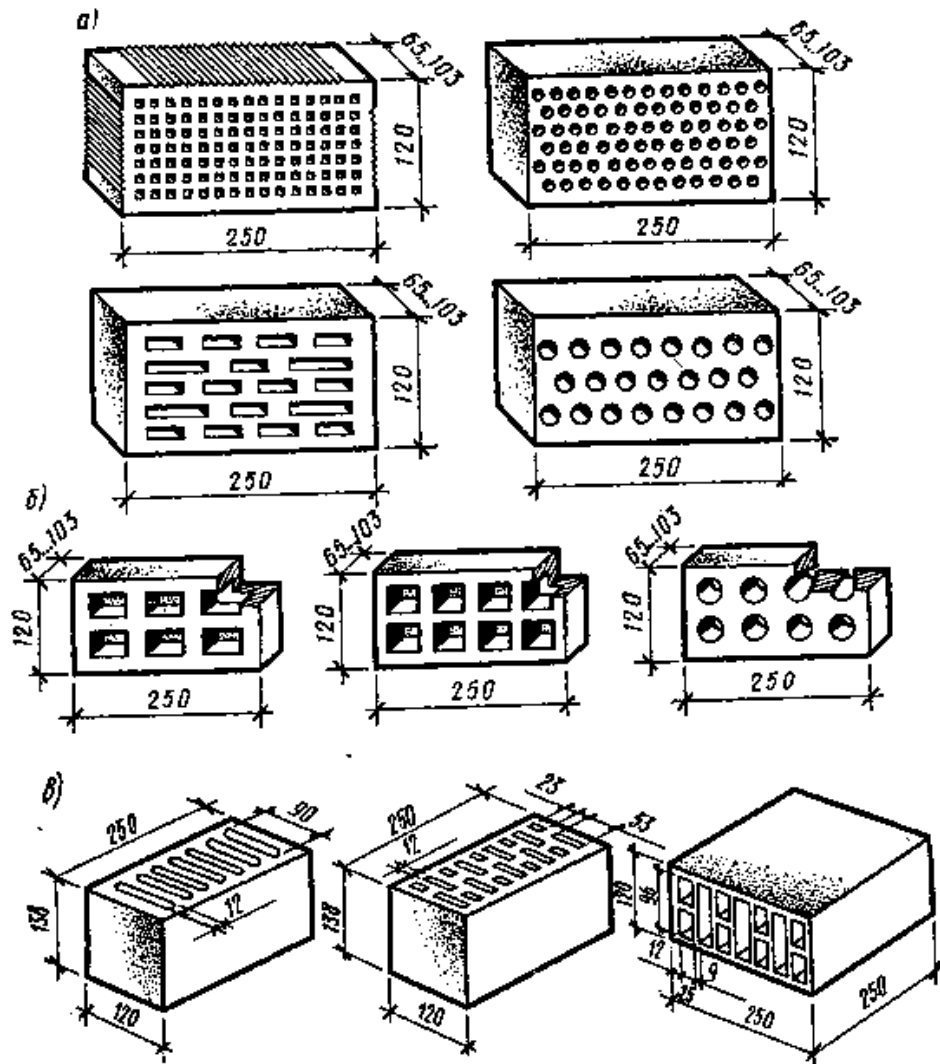


Рис. 8.1. Типи порожнистої цегли та керамічного каміння: а – цегла пластичного формування; б – цегла напівсухого пресування; в – каміння з вертикальними та горизонтальними порожнотами

За призначенням керамічні матеріали та вироби поділяють на такі види: стінові (цегла, порожнисті камені (рис.8.1)); покрівельні (черепиця (рис.8.2)); елементи перекриттів; вироби для облицювання фасадів (лицьові цегла і камені, плитки фасадні, килимово-мозаїчні плитки, архітектурно-художні деталі); вироби для внутрішнього облицювання (глазуровані плитки і фасонні деталі до них – карнизи, кутники, пояски); заповнювачі для бетонів (керамзит і його різновиди, аглопорит); теплоізоляційні вироби (діатомітові, трепельні, перлітобентонітові вироби, ніздрювата кераміка); вироби для підлог і дорожніх покриттів (плитки для підлог, дорожня (клинкерна) цегла); санітарно-технічні

вироби (умивальники, унітази, ванни, труби); кислототривкі вироби; вогнетривкі вироби.

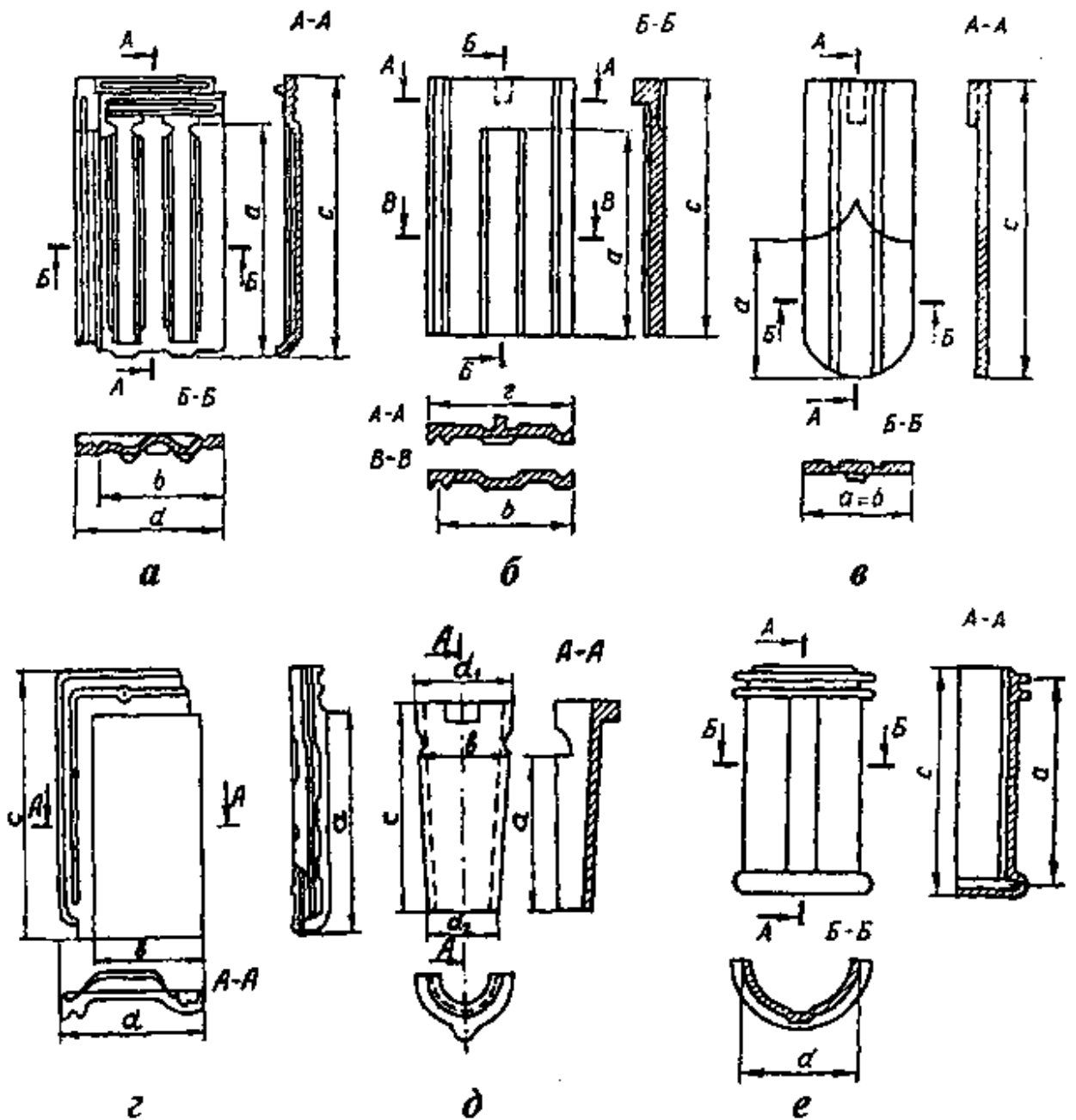


Рис. 8.2. Види керамічної черепиці: а – штампована пазова; б – стрічкова пазова; в – стрічкова плоска; г – штампована голландська; д – штампована мук; е – штампована гребенева звичайна

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

За структурою черепка керамічні матеріали і вироби поділяють на дві групи: пористі й щільні. До *пористих* умовно відносять матеріали і вироби з водопоглинанням більше 5% за масою. Це – стінові вироби, черепиця, облицювальні плитки для стін, заповнювачі для легких бетонів, теплоізоляційні вироби, фаянсові санітарно–технічні вироби тощо. В середньому вони мають водопоглинання за масою 8...20%, або 14...36% за об'ємом. На зломі – землистий вигляд, шорстку поверхню, непрозорі, при ударі видають глухий звук.

До *щільних* матеріалів відносять ті, що мають водопоглинання за масою менше 5%, або 4...8% за об'ємом. Це – плитки для підлог, клінкерна цегла, фарфорові санітарно-технічні вироби. Вони мають блискучий злом, гладеньку поверхню, при ударі видають чистий дзвінкий звук.

За будовою черепка, що характеризує його текстуру, розрізняють грубу (неоднорідну крупнозернисту) та тонку (однорідну дрібнозернисту) кераміку. Більшість будівельних керамічних матеріалів (цегла, камені, черепиця, дренажні труби) відносять до грубої пористої кераміки з водопоглинанням 5... 15%. Дорожню та кислототривку цеглу, каналізаційні труби можна віднести до грубої щільної кераміки з водопоглинанням не вище 10%. За тонку пористу кераміку вважають вироби із фаянсу і майоліки, за тонку щільну – вироби з фарфору і деякі вогнетривкі, кислототривкі і електроізоляційні керамічні матеріали. Треба зауважити, що такий поділ є умовним, оскільки він визначається, головним чином, особливостями технологічної переробки сировини в процесі виготовлення виробів різного призначення.

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

8.3. Особливості технології виготовлення керамічних виробів

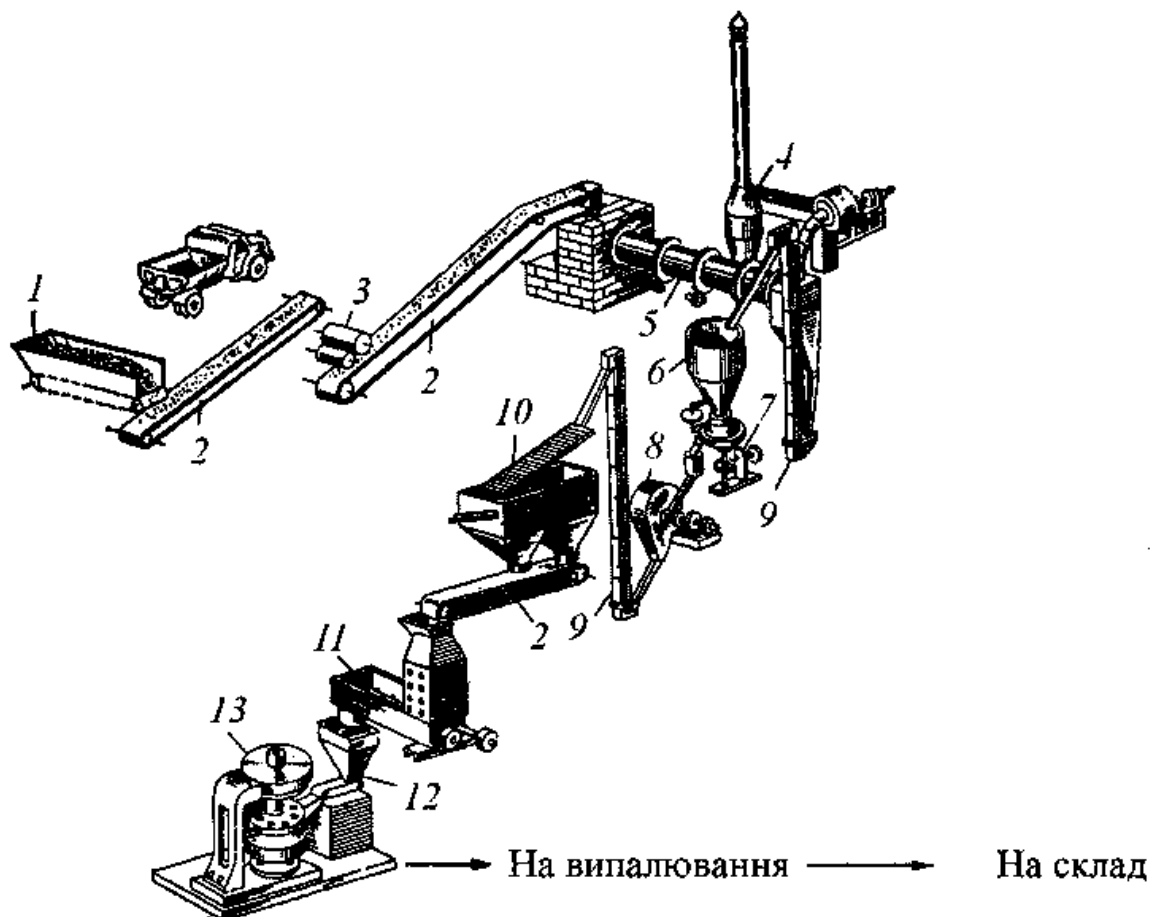
Керамічні матеріали і вироби мають різноманітні форму, розміри, фізико–механічні властивості, призначення, але основні етапи технологічного процесу виробництва однакові і складається з таких операцій:

- **Видобування сировини** – глину добувають в кар'єрах і доставляють автосамоскидами, транспортерами, вагонетками.
- **Підготовка глиняної суміші до формування**–видалення шкідливих домішок, подрібнення, зволоження, введення спеціальних добавок.
- **Формування виробів (сирців)** налічує 3 способи:

– **напівсухий спосіб** передбачає пресування виробів з сипких порошкоподібних мас при вологості 8–10 % (зменшує час сушки сирцю) під тиском 15–40 МПа (рис. 8.3). Пресування відбувається в пресформах на пресах різних конструкцій. Спосіб використовують при виробництві будівельної цегли, облицювальної плитки для стін і підлог

– **пластичний спосіб** – застосовують для виготовлення виробів із пластичних глиняних мас вологістю 20% на стрічкових пресах (рис. 8.4). З формувальної частини преса під тиском 1–1,5 МПа виходить безперервна керамічна маса певного профілю, яку розрізають автоматичним пристроєм на вироби потрібного розміру (цегла, черепиця, труби);

– **шлікерний (мокрый) спосіб** це лиття однорідної вологої маси – шлікера (вологість 45–60%) в спеціальні форми. Виготовляють складнопрофільні фарфорові і фаянсові вироби санітарно – технічного призначення.



i

Рис. 8.3. Технологічна схема виробництва цегли методом напівсухого пресування: 1 – ящиківий подавач; 2 – стрічкові конвеєри; 3 – дезінтеграторні вальці; 4 – циклон; 5 – сушильний барабан; 6 – бункер; 7 – тарілчастий живильник; 8 – дезінтегратор; 9 – елеватори; 10 – грохот; 11 – глинозмішувач з парозволожувачем; 12 – живильник; 13 – прес

- **Сушіння виробів** – використовується для зменшення вологості сирцю (до 8%). Сушіння – це складний теплофізичний процес, пов'язаний з тепло– і масообміном між вологим сирцем і зовнішнім середовищем. У процесі сушіння відбувається переміщення вологи з середини до поверхні сирцю (внутрішня дифузія) і випаровування вологи з поверхні сирцю у зовнішнє середовище (зовнішня дифузія). Сушіння відформованих виробів може бути природним (на відкритому повітрі) та штучним (у спеціальних пристроях–сушарках). Процес природного сушіння використовується рідко, оскільки має ряд недоліків, в тому числі є досить тривалим (до 20–ти діб), суттєво залежить від кліматичних умов, потребує значних сушильних площ і робочої сили

для обслуговування сушарок, важко піддається регулюванню, має обмежені можливості щодо механізації виробничих операцій. Штучне сушіння відбувається в сушарках періодичної або безперервної дії.

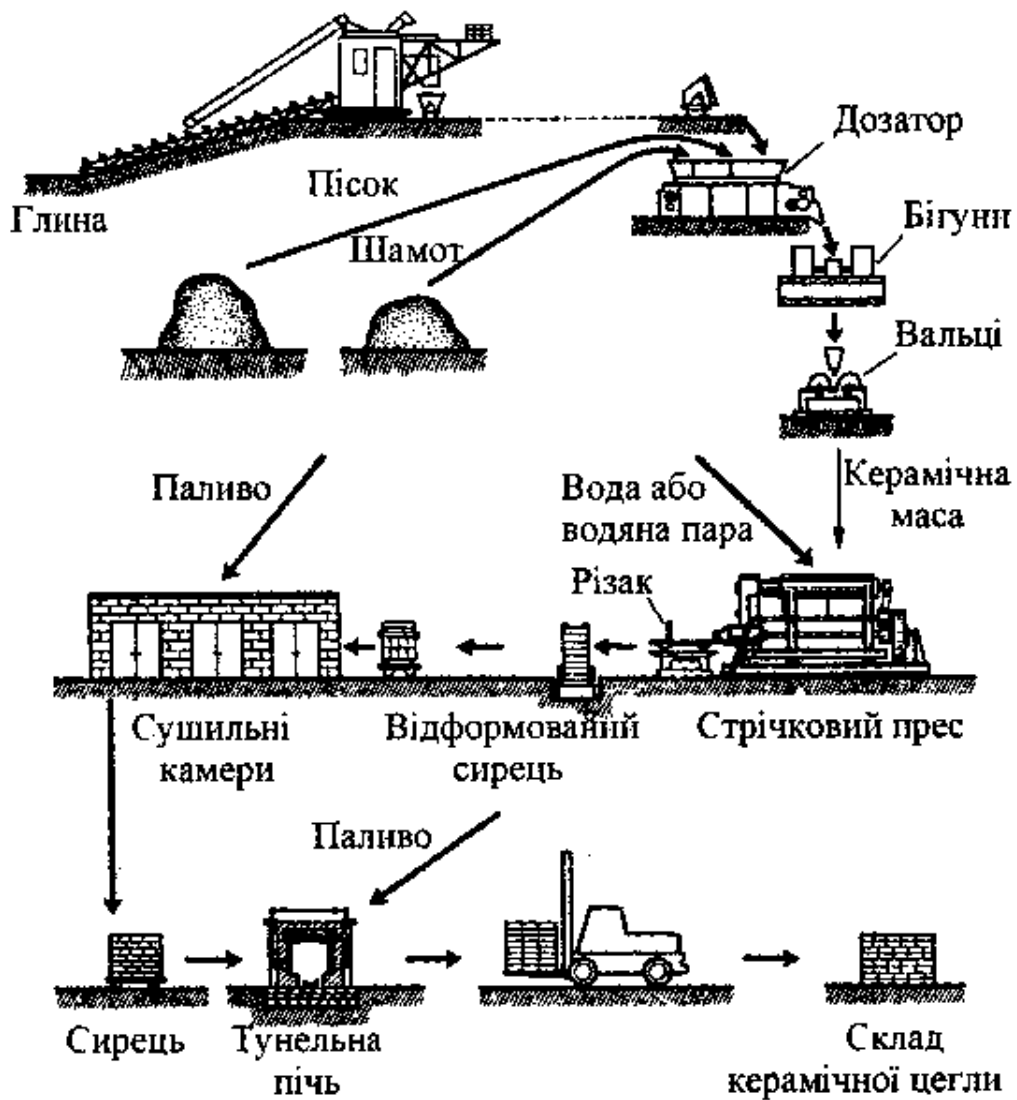


Рис. 8.4. Технологічна схема виробництва керамічної цегли пластичним способом

- **Випалювання** керамічних виробів є завершальною стадією виготовлення керамічних виробів, при якій формуються їхні основні властивості: густина, міцність, водо-, кислото- і морозостійкість тощо. Режиму випалювання треба приділяти особливу увагу, оскільки дефекти виробів, що виникають на цій стадії, є необоротними. Під час випалювання відбуваються тепло- і масообмінні процеси, а також складні фізико – хімічні процеси між складовими керамічної маси.

Процес випалювання поділяють умовно на три етапи: нагрівання до максимальної температури (800–1000°C), ізотермічна витримка та охолодження. Режим випалювання для кожного температурного інтервалу й виду виробів визначають розрахунково–експериментальним методом. Для випалювання керамічних виробів використовують спеціальні печі: кільцеві, тунельні, щілинні, роликові тощо. За принципом дії печі можуть бути неперервної та періодичної дії.

- **Сортування виробів** в залежності від ступеню обпалення, зовнішньому вигляду, формі, розмірів, та наявності дефектів.

8.4. Поведінка керамічних матеріалів при дії високих температур

Оскільки усі керамічні матеріали в процесі їх отримання підлягають випалу при високих температурах, то дія високих температур в умовах пожежі суттєво не впливає на фізико–механічні властивості цих матеріалів (якщо температура нижча за температуру розм'якшення). При дії температур пожежі варто чекати додаткової усадки стінових керамічних матеріалів, що призводить до деякого збільшення їх густини і відповідно міцності. Вважається, що межа міцності і модуль пружності нагрітої при пожежі звичайної глиняної цегли залишаються такими, якими були до пожежі.

Вплив високих температур на вироби зі щільної кераміки також практично не змінює їх фізико–механічні характеристики, оскільки випал цих виробів проводиться при температурі 1300°C, а температури при пожежах не перевищують температури випалу.

Висновок: Керамічні матеріали і вироби поведуть себе в умовах пожежі найбільш сприятливо порівняно з будівельними матеріалами, які отримані на основі різних в'язучих (гіпсу, цементу та інші).

Питання для самоконтролю

1. Визначення та історія створення і використання керамічних матеріалів та виробів.
2. Сировина для виробництва керамічних матеріалів і виробів.
3. Важливі властивості глин.
4. Головні критерії класифікації керамічних матеріалів.
5. Основні операції технологічного процесу виготовлення кераміки.
6. Способи формування виробів (сирцю).
7. Особливості технологічних процесів сушіння та випалу керамічних виробів.
8. Поведінка керамічних матеріалів при дії високих температур.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Керамічна каналізаційна труба зовнішнім діаметром $D_3=460$ мм, внутрішнім діаметром $D_B=400$ мм і довжиною $l=800$ мм знаходиться на випробуванні під гідравлічним тиском $P=0,3$ МПа. За добу крізь стінки труби просочилось $v_B=37$ см³ води. Розрахувати коефіцієнт фільтрації керамічної труби.
2. Порівняти теплопровідність звичайної керамічної цегли масою 3,41 кг, одинарної і потовщеної силікатної цегли масою відповідно 3,7 кг і 4,3 кг, а також пустотілого силікатного каменю масою 5,96 кг. Розміри звичайної керамічної і одинарної силікатної цегли $0,25 \times 0,12 \times 0,065$ м, потовщеної силікатної цегли – $0,25 \times 0,12 \times 0,088$ м і пустотілого силікатного каменю – $0,25 \times 0,12 \times 0,138$ м.
3. Склад керамічної маси на суху речовину, %: глина – 15, каолін – 35, кварц – 25, польовий шпат – 25. Розрахувати кількість матеріалів і води для отримання 100 кг маси із вологістю 22%.
4. Визначити за масою і об'ємом витрати глини, що необхідна для виготовлення 10000 шт. потовщеної цегли із середньою густиною

$\rho_{ок}=1400 \text{ кг/м}^3$, об'ємом порожнин $v_{п}=30\%$, якщо середня густина сирії глини $\rho_{ор}=1600 \text{ кг/м}^3$, вологість $w=15\%$. При випалі сирцю в печі втрати при прокалюванні (в.п.п.) складають 10% від маси сухої глини.

5. Скільки штук керамічних каменів розміром $250 \times 120 \times 138 \text{ мм}$ з порожнистістю $\Pi=33\%$ можна виготовити із 15 т глини з вологістю $w=12\%$, втратами при прокалюванні в.п.п.=8,5%. Середня густина звичайної цегли з цієї глини $\rho_o=1750 \text{ кг/м}^3$.

МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ З ДЕРЕВИНИ

1. Деревина як природний органічний композиційний матеріал. Загальні відомості.
2. Будова деревини. Макроструктура.
3. Мікроструктура та хімічний склад деревини.
4. Основні промислові породи деревини.
5. Основні властивості деревини.
6. Вади деревини.
7. Використання деревини в різних галузях економіки.
8. Проблеми довговічності. Захист деревини від гниття
9. Поведінка деревини при нагріванні.
10. Вогнезахист деревини.

9.1. Деревина як природний органічний композиційний матеріал.

Загальні відомості

Деревину з давніх часів широко застосовують у будівництві завдяки її великому поширенню та високим будівельно-технологічним властивостям: достатньо високій міцності при розтягу та стиску, невеликій густині, низькій теплопровідності, технологічності при обробці, гарному зовнішньому вигляду.

Деревина як будівельний матеріал має й ряд недоліків: неоднорідність будови і, відповідно, властивостей, гігроскопічність, займистість, здатність до гниття тощо. Частину цих недоліків можна подолати технічними заходами. Так, для підвищення гниlostійкості застосовують антисептики, а для підвищення вогнестійкості – антипірени. Виготовлення клеєних дерев'яних конструкцій зменшує чи повністю усуває усування й короблення деревини, підвищує гниlostійкість і зменшує займистість. Поліпшення властивостей деревини досягається просочуванням її полімерами. При цьому гігроскопічність і

водопоглинання значно зменшуються; така деревина не коробиться, не гниє, легко полірується, має гарний зовнішній вигляд.

Запаси деревини в Україні не дуже великі (лісовий фонд становить 10 млн. га, із них зайнято насадженнями 8,6 га), тому з метою збереження запасів ведеться планомірна робота щодо скорочення застосування її у будівництві. В останні роки бетон, скло, кераміка значною мірою замінили деревину. Важливим резервом економії деревини є використання відходів лісопиляння та обробки для виготовлення фанери, деревоволокнистих плит, клеєних дерев'яних конструкцій, арболіту, декоративних виробів. Крім деревини, у будівництві застосовуються матеріали з нелісової рослинної сировини: очерету, соломи, стебел соняшнику, костриці, бавовнику тощо.

9.2. Будова деревини. Макроструктура

Дерево складається з коріння, стовбура та крони. Стовбур є основною частиною дерева, саме від його будови залежить повноцінність деревини як будівельного матеріалу, із стовбура одержують 60...90% деревини. Верхня частина стовбура – вершина, нижня – окоренок.

Макроструктура – це будова деревини, що помітна неозброєним оком або при невеликому збільшенні. Вивчення макроструктури дає змогу встановити основні ознаки деревини, визначити її породу й прогнозувати фізико–механічні та інші властивості. Вивчають три основних розрізи стовбура (рис. 9.1): торцевий, або поперечний, перпендикулярний до осі стовбура; радіальний – уздовж стовбура і такий, що проходить через стрижень; тангенціальний – паралельний осі стовбура.

На поперечному розрізі стовбура видно кору, камбій, заболонь, ядро, стрижень, стрижневі промені та річні шари.

Кора захищає дерево від зовнішніх впливів і складається з кірки та лубу. Кора становить 6...25% об'єму дерева.

Камбій - це тонкий шар клітин, здатних до поділу та росту; більша частина їх відкладається в бік деревини, менша – у бік лубу.

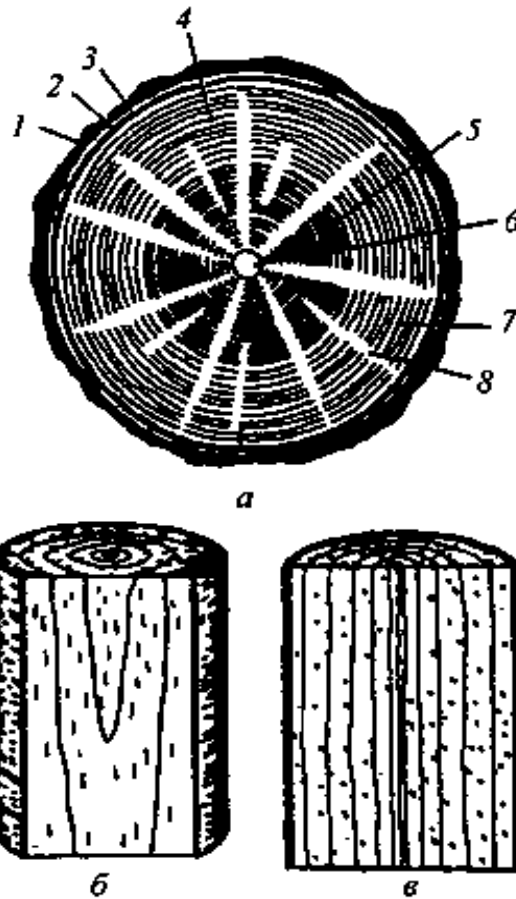


Рис. 9.1. Основні розрізи стовбура: а – торцевий; б – тангенціальний, в – радіальний; 1 – кора; 2 – луб; 3 – камбій; 4 – заболонь; 5 – ядро; 6 – стрижень; 7 – річні шари (кільця); 8 – стрижневі промені

У різні пори року камбій розвивається по-різному: влітку він утворює щільну деревину (пізня деревина), навесні – дірчасту (рання деревина). Чергуючись рання та пізня деревина створюють шарувату будову деревини.

Заболонь – це світла частина деревини, що складається з молодих клітин, по яких рухається волога з розчиненими в ній поживними речовинами. Заболонь у щойно зрубаному дереві має велику вологість, відносно легко загниває, має низьку міцність, велике усадки й схильність до короблення.

Ядро – це центральна, темніша частина деревини, яка складається з відмерлих клітин, просочених смолистими та дубильними речовинами. Ядро не містить живих клітин і не бере участі у фізіологічних процесах, але забезпечує міцність стовбура дерева. Ця частина дерева має меншу вологість, більшу стійкість щодо загнивання, вищу міцність та твердість.

Стрижень складається з великих та тонкостінних, слабо зв'язаних між собою дірчастих клітин. Стрижень і деревина, утворена в ранньому періоді, становлять стрижньову трубку. Ця частина стовбура є найслабшою, легко піддається загниванню. Розміри стрижня в листяних породах, як правило, більші, ніж у хвойних. У процесі росту дерева стінки клітин деревини внутрішньої частини стовбура, які прилягають до стрижня, постійно змінюють свій склад, дерев'яніють і просочуються у хвойних порід смолою, у листяних – дубильними речовинами. Рух вологи в цій частині стовбура припиняється, і вона стає міцною, твердою та стійкою до загнивання.

Стрижневі промені складаються з тонкостінних клітин, особливо помітних у дуба, бука, клена. Одні з них (первинні) починаються від стрижня і йдуть до кори, пронизуючи всю деревину в радіальному напрямі, інші (вторинні) виникають на різних відстанях від стрижня, але обов'язково доходять до кори. Стрижневі промені призначені для переміщення по них вологи та поживних речовин і створення запасу цих речовин на зимовий час. Стрижневі промені в листяних породах становлять майже 15%, у хвойних – майже 6% за об'ємом. Деревина легко розколюється по стрижневих променях, по них же вона розтріскується при висиханні.

Річні шари (кільця) утворюються в період росту. Клітини ранньої деревини (весняні) дірчасті, мають низьку механічну міцність, а клітини пізньої деревини (утвореної влітку) – більш щільні та міцні. Чим більше утворилося пізньої деревини, тим вища її механічна міцність.

Деревні породи поділяють на **ядрові** (сосна, дуб, модрина, ясеня) та **заболонні**, які не мають ядра (береза, осика, граб, вільха, липа). Деревні породи з однаковим забарвленням поперечного перерізу, які містять різну кількість вологи в центральній та периферійній частинах, називають **породами зі стиглою деревиною** (бук, ялина, ялиця).

9.3. Будова деревини. Мікроструктура

Деревина є продуктом рослинного походження і складається з живих та відмерлих клітин різної величини форми та призначення, що утворюють **мікроструктуру** деревини. Її видно тільки при великому збільшенні.

Живі клітини мають оболонку, в середині якої знаходиться протопласт, що складається з плазми та ядра. Оболонка клітини складається з целюлози, або клітковини. У процесі росту клітини оболонка змінюється – дерев'яніє, що пов'язано з появою лігніну, який надає деревині пружності та твердості.

Клітини деревини звичайно витягнуті у вертикальному напрямі, але деяка їх кількість – у горизонтальному. Клітини деревини розрізняють за формою та функціями.

За формою клітини поділяють на паренхімні (живі) – круглі, багатогранні чи витягнуті з протопластом, і прозенхімні – витягнуті у вигляді волокон із загостреними кінцями й переважно відмерлим протопластом.

За функціями, що виконують, клітини поділяють на **провідні, запасаючі та опорні**. Провідні клітини – це судини (трахеї) та трахеїди, які проводять воду та поживні речовини. Деревина хвойних порід не має судин і на 90...95% складається з трахеїд. Запасаючі клітини мають велику порожнину, де створюється запас поживних речовин. Стінки клітин тонкі. Опорні (механічні) клітини мають товсті стінки й невеликі порожнини. Роль опорних клітин у хвойних породах виконують трахеїди. Опорні клітини найстійкіші щодо загнивання.

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

Стінки клітини складені з органічних сполук, які у хвойних порід на 70%, а у листяних на 80% представлені вуглеводнями. Прикладом простих вуглеводнів є глюкоза. Молекули глюкози під впливом ферментів здатні об'єднуватися в більш складні сполуки: крохмаль та целюлозу. Більша частина вуглеводневої складової – це целюлоза та геміцелюлоза. Вони можуть бути видалені з деревини у вигляді волокнистого матеріалу шляхом обробки окислювачами (кислотами).

До 30% деревини складають речовини ароматичної природи, відомі як лігнін. Вуглеводні та лігнін – високомолекулярні сполуки, полімери з усіма притаманними їм характеристиками.

Незначна частка в складі деревини припадає на *екстрактивні речовини*, що відносяться до низькомолекулярних сполук (смоли, смоляні кислоти, ефірні масла, барвники тощо). Вони просочують стінки клітин та накопичуються у порожнинах міжклітинного простору, при цьому вони надають деревині колір, запах, смак, підвищують стійкість проти гниття та ураження грибами.

Целюлоза — це лінійний гетероланцюговий полімер, що має велику кількість гідроксильних груп, здатних до утворення водневого зв'язку. Цей тип хімічного зв'язку надає підвищеної жорсткості полімеру. Целюлоза, як основна речовина деревини, ступінь полімеризації якої досягає 300...600, утворює шарувату клітинну оболонку (стінку), здатну при механічній обробці розпадатися на тонкі волокна – фібрили, а при хімічній – мікрофібрили. Фібрили та мікрофібрили складаються з молекулярних кристалічних фаз, тобто регулярно розташованих молекул, але інколи ці зони перемішуються з аморфними, де має місце хаотичне розташування макромолекул та утворення *геміцелюлози*, ступінь полімеризації якої досить низький і становить 100...200.

Деревинні целюлозні волокна мають спіральну структуру і містять 55...65% кристалічної та 25...35% аморфної (геміцелюлозної) фаз, причому хвойні породи відрізняються меншим вмістом аморфної частини, а листяні – більшим.

Лігнін — природний полімер сітчастої структури, другий за вмістом структуротвірний компонент деревини, кількість якого у складі хвойних порід досягає 28...30%, а листяних – 18...24%. Лігнін це аморфна речовина, що відрізняється більшою реакційною здатністю та меншою хімічною стійкістю порівняно з целюлозою. Целюлоза та лігнін здатні до хімічної взаємодії між собою з утворенням лігнокарбонів (лігновуглецевих) комплексів, але деяка частина лігніну знаходиться у деревині у вільному стані.

Структура деревини утворюється за рахунок складної взаємодії целюлози (армуючого компонента) та лігніну (матриці). Волокна целюлози мають високу міцність на розтяг, але легко згинаються, а лігнін як зв'язуюча речовина поєднує їх в одне ціле за допомогою різних видів хімічного зв'язку та когезії.

Таким чином, *деревина – це природний органічний композиційний матеріал* із конгломератним типом структури, в якому матриця представлена

просторовою сіткою з лігніну, а армуючий компонент (наповнювач) – волокнами у вигляді целюлози. Характер структури деревини, в тому числі його кори, визначає експлуатаційні властивості отриманих виробів. Наприклад, кора пробкового дуба подібна стільникам, що містять маленькі комірки 14...16-гранної форми, стінки яких багат шарові і складаються з лігніну та целюлози. Пробка містить *суберин* – нерозчинний у воді та спирті сік клітини, який є сумішшю жиру, кислот та важких органічних спиртів. Ця речовина надає пробці непроникності для газів та рідин, а також робить її інертною до дії агресивних середовищ. Зазначені структура та склад кори пробкового дуба визначають її низьку тепло- та звукопроникність, еластичність, легкість, гідроізолюючі та антиконденсаційні властивості. Вона є антистатиком та гіпоалергентом.

9.4. Основні промислові породи деревини

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

Сосна – ядрова порода, яка має високу міцність і малу густину (середня густина – 470...540 кг/м³). Ядро у неї буро-червоного кольору, а заболонь – жовтого. Деревина сосни смолиста, важко піддається загниванню, її застосовують у вигляді кругляка та пиляних лісоматеріалів, а також для виготовлення столярних виробів та меблів.

Ялина – порода із стиглою деревиною, малосмолиста, має високі показники міцності, невелику середню густину (440...500 кг/м³), її застосовують для виготовлення будівельних конструкцій та столярних виробів. За якістю деревини ялина незначно поступається перед сосною. Внаслідок великої кількості сучків, ялину важко обробляти. Найкращі властивості має дерево, зрубане у віці 80...100 років.

Модрина – ядрова смолиста порода з підвищеними твердістю та середньою густиною (630...730 кг/м³), стійка проти загнивання, найкращі властивості має у віці 100...120 років. Ядро червонувато-бурого кольору, заболонь вузька й за забарвленням значно відрізняється від ядра. Застосовують її в будівництві

мостів, а також у гідротехнічному будівництві, для виготовлення шпал та рудникових стояків. Недолік деревини модрина – схильність до розтріскування.

Ялиця – порода без'ядрова, річні кільця широкі, не містять смоляних ходів. Деревина менш стійка порівняно з іншими хвойними породами, тому й не застосовується у вологих умовах експлуатації.

Кедр – ядрова порода, яка має невелику густину, її механічні властивості нижчі, ніж у сосни; застосовують як будівельний ліс, пиломатеріали, а також для виготовлення столярних виробів.

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

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

Дуб – ядрова порода, яка має високі механічну міцність, в'язкість та густину (середня густина – 720 кг/м³). Оптимальний час зрубання – 180 років. Ядро темно-бурого кольору, заболонь – жовтуватого. Має високу стійкість проти загнивання, гарну текстуру. Застосовують у відповідальних конструкціях, мостобудуванні, гідротехнічному будівництві, для виготовлення меблів, облицювальної фанери, столярних виробів та паркету. При тривалому перебуванні у воді деревина темнішає, поступово перетворюючись на морений дуб.

Бук – розсіяно-пориста стиглодеревна порода. Деревина тверда, щільна (середня густина – 650 кг/м³), пружна, білого з червоним відтінком кольору, малостійка проти загнивання, найкращі властивості має, якщо зрубана у віці 110 років. Застосовують для виготовлення меблів, столярних виробів та паркету.

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

Осика – заболонна стиглодеревна порода. Деревина легка (середня густина 420...500 кг/м³), м'яка, зеленуватого кольору. Застосовують її для виготовлення тари, фанери, щепи.

Береза – заболонна порода. Деревина щільна (середня густина – 650 кг/м³), має високі міцність, в'язкість; нестійка проти загнивання. Застосовують її для виготовлення фанери, паркету, столярних виробів, поручнів, опоряджувальних робіт.

Ясень – ядрова порода. Деревина має високі міцність і густину (середня густина – 660...740 кг/м³), пружність, гарну текстуру. У вологих умовах ясень швидко загниває. Застосовують його для виготовлення опоряджувальних покриттів, меблів, столярних виробів.

Липа – заболонна порода. Деревина легка, м'яка, нестійка у вологих умовах. Використовують для виготовлення меблів, фанери, тари.

Горіх – має деревину темно-коричневого кольору, гарну текстуру; застосовують для виготовлення декоративної фанери.

9.5. Основні властивості деревини

Фізичні властивості деревини: істинна та середня густина, вологість, усихання, розбухання, короблення, теплопровідність, пористість та ряд інших.

Істинна густина деревини приблизно однакова для різних порід і становить 1530...1550 кг/м³.

Середня густина деревини залежить від виду породи, вологості та пористості і може бути в межах 450...900 кг/м³.

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

Вологість деревини, що дорівнює 12%, умовно вважається **стандартною**. Результати визначення всіх фізичних властивостей деревини треба коригувати (перераховувати за відповідними формулами) з урахуванням цієї вологості.

Деревина, маючи волокнисту будову й високу пористість, легко поглинає водяні пари з повітря (є гігроскопічною). При тривалому перебуванні на повітрі при сталих умовах деревина набуває вологості, яку називають **рівноважною**. Стан деревини в момент, коли в її структурі відсутня вільна волога, називають

межею гігроскопічної вологості (для різних порід вона становить 23...35% відносно маси сухої деревини).

Усихання, розбухання, короблення деревини відбуваються зі зміною вологості. При висушуванні деревини до межі гігроскопічної вологості її лінійні розміри не змінюються. При подальшому висушуванні розміри деревини зменшуються: уздовж волокон на 0,1...0,4%; у радіальному напрямі на 3...6%; у тангенціальному на 6...12%. Зменшення лінійних розмірів та об'єму деревини при видаленні з неї гігроскопічної вологи називають *усиханням*.

Лінійне усихання визначають упоперек волокон у двох напрямках – тангенціальному та радіальному. Усихання вздовж волокон незначне, і його не визначають. Об'ємне усихання становить 12... 15%.

Усихання щільних (важких) порід більше, ніж усихання деревини м'яких (легких) порід.

Із зволоженням сухої деревини до досягнення нею границі гігроскопічності, стінки деревних клітин потовщуються, розбухають, що призводить до збільшення розмірів та об'єму виробів. Цей стан називають *розбуханням*.

Короблення деревини виникає внаслідок неоднакового усихання в різних напрямках. Широкі дошки дужче коробляться, ніж вузькі, а тому ширина дощок, які зазнають під час експлуатації наперемінного зволоження й висушування (підлоги, зовнішня обшивка будівель), не повинна перевищувати 12 см.

Щоб запобігти коробленню й розтріскуванню дерев'яних виробів, треба застосовувати деревину з такою вологістю, яка відповідала б умовам її експлуатації. У колодах тріщини усихання з'являються насамперед на торцях. Щоб зменшити розтріскування торців, їх зафарбовують сумішшю вапна та клею.

Теплопровідність деревини залежить від породи, напряму волокон та вологості. Так, при вологості 15% теплопровідність уздовж волокон у дуба дорівнює 0,45 Вт/(м·°К), у сосни 0,35 Вт/(м·°К), впоперек волокон відповідно 0,22 і 0,17 Вт/(м·°К). З підвищенням вологості теплопровідність деревини зростає. Теплопровідність також вища в радіальному напрямі, ніж у

тангенціальному. Теплозахисні властивості деревини широко використовують у будівництві.

Теплоємність сухої деревини різних порід знаходиться в межах 1,26...1,42 Дж/(кг·°К), при збільшенні вологості теплоємність зростає.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення деревини залежить від виду породи й напрямку волокон: вздовж волокон $0,2 \cdot 10^{-5} \dots 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, впоперек $-0,3 \cdot 10^{-4} \dots 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$.

Електропровідність сухої деревини досить незначна, вона є добрим ізолятором, має питомий електричний опір $10^{13} \dots 10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ і її відносять до полярних діелектриків.

Стійкість деревини до дії агресивних середовищ досить висока. Слаболужні розчини майже не руйнують деревини; у кислому середовищі руйнування починається при $\text{pH} < 2$. У морській воді деревина зберігається гірше ніж у прісній, наприклад, річковій або озерній.

Механічні властивості (міцність при стиску та розтягу, при згині та сколюванні). **Міцність** деревини характеризується здатністю чинити опір зовнішнім механічним впливам і залежить від деревної породи, вологості, наявності вад, місця в стовбурі, де її визначають, тощо.

Механічні властивості деревини визначають на зразках стандартних розмірів, які не мають вад, враховуючи рівень їхньої вологості.

Міцність при стиску деревини визначають уздовж та впоперек волокон на зразках–призмах перерізом $20 \times 20 \text{ мм}$ і завдовжки 30 мм . Міцність деревини на стиск уздовж волокон у 4... 6 разів більша за її міцність впоперек волокон. Міцність деревини зменшується зі збільшенням її вологості. **Міцність при розтягу** деревини вздовж волокон у 2...3 рази більша за міцність при стиску та у 20.. 30 разів вища за міцність при розтягу впоперек волокон. Для окремих порід границя міцності при розтягу досягає $100 \dots 200 \text{ МПа}$.

Питома міцність деревини при розтягу вздовж волокон порівнювальна з аналогічними показниками сталі та склопластиків. Проте цінні властивості

деревини реалізувати в конструкціях складно через наявність вад (сучки, тріщини тощо), які знижують її міцнісні властивості.

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

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

Міцність при сколюванні деревини вздовж волокон становить у середньому 3...13 МПа. Міцність при сколюванні впоперек волокон у 3...4 рази вища за міцність при сколюванні вздовж волокон (табл. 9.1), але чистого зрізу практично не буває, оскільки одночасно відбувається стиск і згин волокон.

Статична твердість деревини дорівнює навантаженню, потрібному для вдавлювання в поверхню зразка половини металевої кульки на глибину 5,64 мм (площа відбитка дорівнює 1 см²).

Таблиця 9.1

Середні показники механічних властивостей деревини (при 12% й вологості)

Деревна порода	Середня густина, кг/м ³	Границя міцності деревини, МПа				
		при стиску уздовж волокон	при згині	при розтягу K_p уздовж волокон	при сколюванні	
					у радіальному напрямі	У тангенціальному напрямі
Модрина	680	52	97	129	11,5	12,5
Сосна	530	44	79	115	7	7,5
Ялина	460	42	77,5	122	5	5
Кедр	440	35	64,5	78	5,5	6
Ялиця	390	33	58,5	84	6	6,5
Дуб	720	52	94	129	8,5	10,5
Бук	650	46	94	129	10	13
Береза	640	45	100	120	8,5	11
Липа	540	39	68	116	7	8
Осика	500	37	77	111	6	8

Твердість деревини у поперечному напрямі на 15... 50% вища, ніж у радіальному та тангенціальному.

За твердістю по торцю деревину поділяють на три групи: м'яка з твердістю 35...50 МПа (сосна, ялина, ялиця, вільха); тверда – 50...100 МПа (дуб, граб, ясень, клен, каштан, береза); дуже тверда – понад 100 МПа (самшит, кизил).

Тверді породи важко обробляються, але мають підвищену зносостійкість.

9.6. Вади деревини

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

Їх поділяють на такі групи: тріщини, сучки, пошкодження комахами, грибами, трухлявини, дефекти форми стовбура, вади будови деревини, рани, ненормальні відкладення в середині деревини, хімічні забарвлення. Вплив вад на придатність деревини для будівельних потреб залежить від їхнього місця розташування, виду, розмірів ураження, а також від призначення деревини.

Вищезазначені відхилення, як правило, знижують механічні властивості деревини, а тому її сортність встановлюють з урахуванням наявних вад. Їхнє походження може бути різним. Одні з них утворюються в період росту дерева, інші – у період зберігання та експлуатації.

Тріщини - це розриви деревини вздовж волокон. Залежно від часу появи та характеру пошкодження розрізняють такі тріщини: мітик, відлупина, морозні та висихання (рис. 9.2).

Мітик - це внутрішні поздовжні тріщини, які проходять через стрижень стовбура, але не доходять до його периферії. Вони виникають у дереві, що росте, і збільшуються в зрубаному дереві при його висиханні. Мітик порушує цілісність деревини й знижує її сортність.

Відлупина – внутрішня тріщина, що йде по річному шару й збільшується в зрубаному дереві при його висиханні. Відлупина, як правило, спричинюється морозом і найчастіше зустрічається в деревині дуба, осики, ялиці, ялини та тополі.

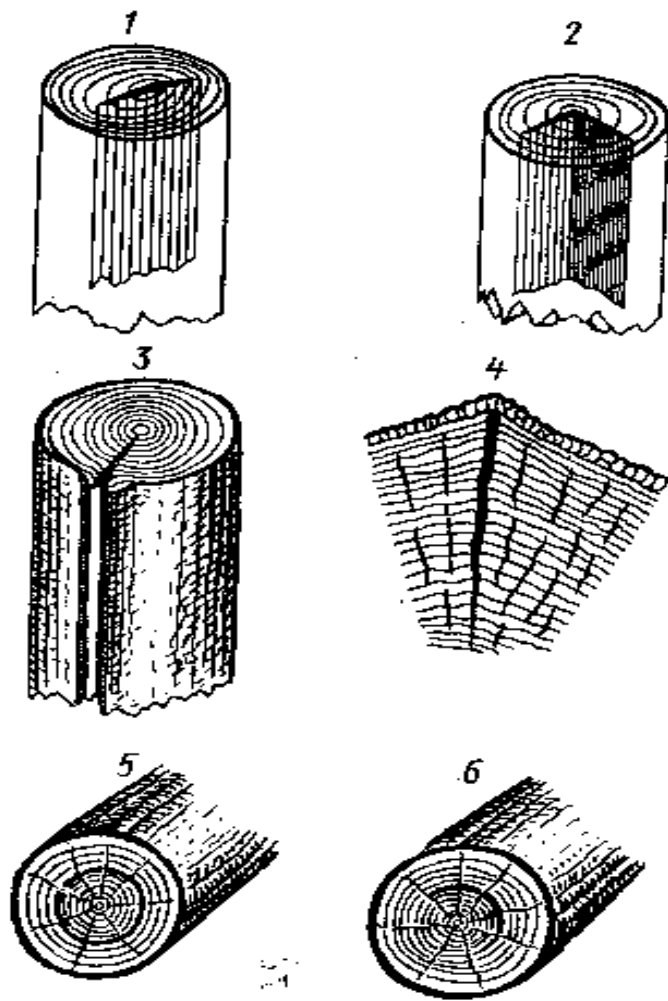


Рис. 9.2. Типи тріщин: 1, 2 – мітикові: проста та складна; 3, 4 – морозні: відкрита й закрита; 5, 6 – відлупні: кільцева й часткова.

Морозна тріщина (морозовина) – це зовнішня поздовжня тріщина, ширша на периферії стовбура і поступово звужується до центра. На поверхні стовбура морозовина має вигляд відкритої тріщини значної довжини з набряками по краях. Виникають такі тріщини взимку при різкому зниженні температури. Найчастіше вражають товсті стовбури листяних порід: дуба, бука, ясеня, горіха.

Тріщини усихання утворюються при висиханні деревини й поширюються від поверхні колоди всередину. Тріщини усихання порушують цілісність деревини, знижують її сорт, часто роблячи деревину непридатною для будівельних потреб.

Сучки – це частини гілок, що містяться в деревині живих чи відмерлих за життя дерев. Сучки – найпоширеніша й неминуча вада деревини. Вони

порушують її однорідність, ускладнюють обробку пиломатеріалів, знижують міцність.

Для виготовлення несучих дерев'яних конструкцій придатна деревина, яка має лише здорові зрощені сучки, число та розміри яких обмежені для кожного матеріалу.

Хімічні забарвлення виникають у деревині внаслідок хімічних та біохімічних процесів окислення дубильних речовин. Вони розміщуються переважно в поверхневих шарах і погіршують зовнішній вигляд деревини, але її фізико–механічних властивостей майже не змінюють.

На якість деревини особливо впливають грибні забарвлення та гнилизна. Вони виникають на мертвій та відмираючій деревині внаслідок біологічних процесів, спричинених життєдіяльністю найпростіших організмів – грибів. Одні гриби змінюють лише забарвлення деревини, майже не впливаючи на фізико–механічні властивості (дерезабарвлювальні), інші не лише змінюють колір, структуру та властивості деревини, а й руйнують її (дерезоруйнівні).

Дерезабарвлювальні гриби вражають переважно дерева, що ростуть, та свіжозрубану деревину під час її транспортування й зберігання.

Дерезоруйнівні гриби, що спричинюють гниття, виділяють фермент, який перетворює нерозчинну у воді целюлозу на розчинну глюкозу – поживне середовище для подальшого розвитку грибів. У тілі грибів глюкоза окислюється киснем повітря, утворюючи вуглекислий газ та воду. Деревина при цьому змінює забарвлення, маса її зменшується, вона вкривається сіткою поперечних та поздовжніх тріщин, втрачає міцність і розпадається.

Гриби розвиваються при наявності кисню повітря, температури середовища 20...70°C та вологості деревини не менш як 20%. Із зміною умов (відсутність кисню, дія від'ємних температур, зменшення вологості деревини) гниття деревини може припинитися, але гриби зберігають здатність до подальшого розвитку.

Сортність деревини з гнилизною залежно від розмірів ураження знижується аж до її повної технічної непридатності.

Пошкодження комахами (червоточина) – це ходи й отвори, пророблені в деревині комахами. На деревині червоточини можна побачити у вигляді невеличких отворів, борозенок, канавок. Основних руйнувань деревині завдають не дорослі комахи, а їхні личинки, які живляться корою чи деревиною. Найсприятливіші умови для розвитку та життєдіяльності комах створюються при теплій (18...24°C), сухій (з вологістю повітря 60...80%) погоді. Червоточина погіршує зовнішній вигляд деревини й знижує показники її механічних властивостей тим більше, чим вищий ступінь її ураження комахами.

За глибиною червоточини поділяють на поверхневі, неглибокі, глибокі й наскрізні, а за розмірами отворів – на дрібні (діаметр отвору менший ніж 3 мм) та крупні (діаметр отвору понад 3 мм).

Поверхнева червоточина не впливає на механічні властивості деревини й при розпилюванні йде в обидва боки та інші відходи, а тому є допустимою в пиломатеріалах та фанерній сировині. Інші види червоточин порушують цілісність деревини й знижують її механічні властивості, а також стійкість проти загнивання, оскільки комахи можуть занести спори грибів. Таку деревину не застосовують для виготовлення несучих конструкцій.

Якість деревини залежить також від вад будови деревини (рис. 9.3).

Нахил волокон – це відхилення напряму волокон від поздовжньої осі колоди чи пиломатеріалів. Ця вада знижує міцність пиломатеріалів, збільшує усихання вздовж волокон і призводить до крихкості при сушінні. Якість механічної обробки заготовок із деревини з нахилом волокон погіршується.

Завилькуватість – це звивисте чи безладне розміщення волокон. Завилькуватість знижує міцність при розтягу, стиску та згині й підвищує міцність при сколюванні та ударному згині. Вона створює гарну текстуру й високо цініться при декоративній обробці. Тому завилькуватість вважають умовною вагою.

Завиток – це місцеве викривлення волокон (найчастіше навколо сучків). Зниження міцності деревини залежить від розмірів та форми завитка.

Крен – це ненормальний підсилений розвиток пізньої зони деревини, притаманний похилим та викривленим деревам.

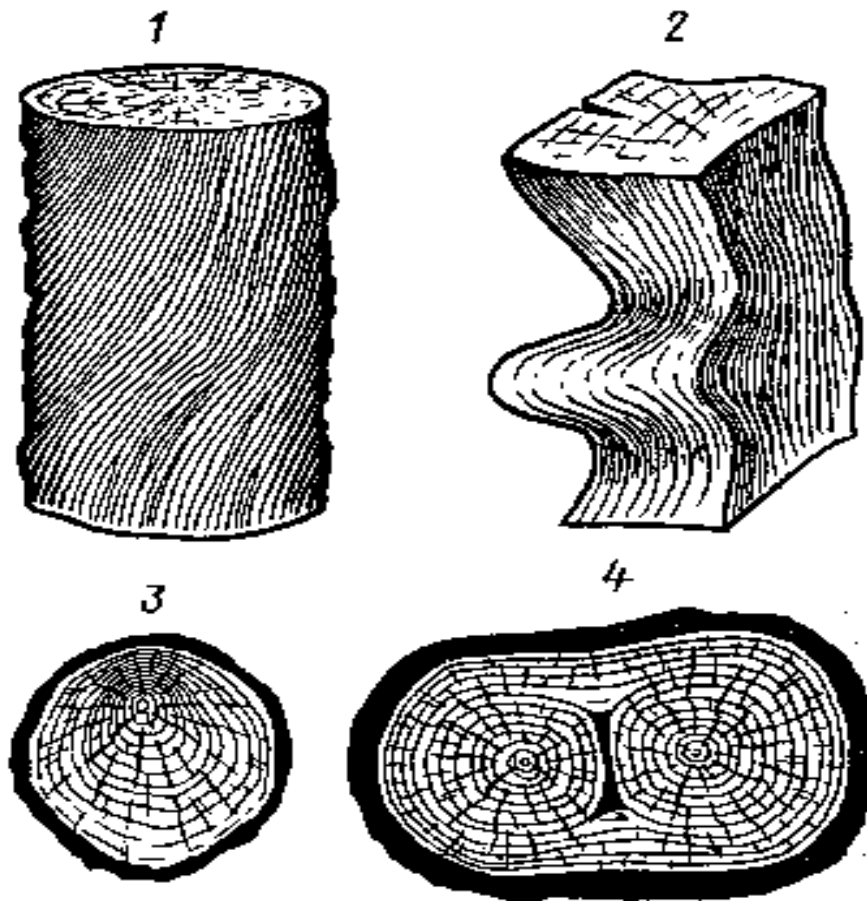


Рис. 9.3. Вади будови деревини: 1 – нахил волокон; 2 – завилькуватість; 3 – крен; 4 – подвійний стрижень

Засмолок — ділянка деревини, густо просочена смолою. Зазвичай засмолок утворюється внаслідок поранення стовбура хвойних порід деревини. Засмолена деревина стійкіша до загнивання, але гірше обробляється й склеюється.

Прорість – це омертвіла ділянка деревини чи кори, яка частково чи повністю заросла в стовбурі дерева. Прорість порушує цілісність деревини й супроводжується викривленням річних шарів.

Сухобокість – це зовнішнє однобічне омертвіння стовбура, яке утворюється внаслідок обдирання, удару чи пошкодження кори вогнем. Ця вада змінює правильну форму стовбура, знижує вихід пиломатеріалів і шпону.

До групи вад форми стовбура належать збіжистість, закомелистість, овальність, нарости та кривизна.

Збіжистість – це вада, при якій діаметр стовбура зменшується більше як на 1 см на кожному метрі висоти стовбура.

Закомелистість - це різке збільшення діаметра нижньої частини стовбура. Вона ускладнює використання матеріалу, збільшує кількість відходів, призводить до появи нахилу волокон у пиломатеріалах.

Овальність – це форма поперечного перерізу торця круглого лісоматеріалу, в якого більший діаметр не менше як у 1,5 рази перевищує менший. Овальність збільшує кількість відходів при пилянні.

Кривизна – це викривлення стовбура дерева по довжині. Вона зменшує корисний вихід пиломатеріалів та шпону.

9.7. Використання деревини в різних галузях економіки

Немає такої галузі народного господарства, де б не використовувалася деревина. Особливо велике застосування отримала деревина в будівництві. З деревини роблять конструкції будівель, що несуть: ферми, арки, балки, прогони, стропила, каркаси, а також огорожуючі елементи: стінні панелі, перегородки. З деревини також виготовляють столярні вироби: вікна, двері, підлоги, плінтуси, наличники. Деревина застосовується в будівництві у вигляді круглих лісоматеріалів (залежно від діаметру – колоди, жердини) або у вигляді пиломатеріалів (бруси, бруски, дошки і ін). Відходи деревини використовують для виробництва композиційних дерев'яних матеріалів (фанери, деревоволокнистих, деревостружкових плит, деревношаруватих пластиків, цементостружкових плит), різновидів легких бетонів (арболіту, фіброліту, ксилоліту). Останнім часом все більш широкого поширення набувають клеєні конструкції і деталі з деревини у вигляді балок прямокутного і таврового перетину, прогонів, елементів ферм і арок. Використання високоміцних водостійких фенолформальдегідних клеїв дає можливість застосовувати маломірний лісоматеріал і отримувати конструкції будь-яких розмірів і форми, що характеризуються високою міцністю і довговічністю. Крім того, клеєні конструкції легші і міцніші звичайних, надійніші в експлуатації. Клеєні

дерев'яні конструкції використовують для покриттів виробничих, сільськогосподарських будівель (зокрема з хімічно агресивною середою), зведення будівель і споруд на крайній півночі і в сейсмічних районах.

Значне поліпшення властивостей деревини досягається при її модифікації синтетичними полімерами. Суть модифікації полягає у тому, що натуральна деревина просочується мономером або низьков'язким полімером, які потім переводять у твердий стан під дією тепла, хімічних реагентів або іонізуючих випромінювань. Розрізняють термохімічний і радіаційно-хімічний методи модифікації деревини. Для модифікації деревини використовують фенольні, карбамідні, фуранові, поліефірні, поліакрилові та інші полімери (олігомери), а також деякі мономери – стирол, метилметакрилат, акрилонітрил.

Деревина та відходи її переробки є сировиною для лісохімічних підприємств. При хімічній обробці деревини отримують:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1) Целюлозу. | 6) Винний спирт. |
| 2) Виноградний цукор. | 7) Штучне волокно. |
| 3) Целофан. | 8) Вату, папір. |
| 4) Деревний спирт. | 9) Каніфоль. |
| 5) Оцтову кислоту. | 10) Штучну шкіру. |

Завдяки новим технологіям деревина сьогодні у багатьох областях може конкурувати з металом, полімерами і навіть з керамікою:

1) Українські вчені розробили і запатентували нову технологію отримання деревини високої густини (1 кг/дм^3) – це у два рази більше, ніж густина сухої ялини. Процес ущільнення деревини здійснюють при температурі 150°C гарячим пресуванням. Пустотні балки із ущільненої деревини мають також несучу здатність, що і сталіні (двотаврові).

2) Фахівці лазерного центру в Ганновері розробили спосіб лазерного зварювання деревини і полімерів (при випробуваннях на розрив, зразок руйнувався не в зоні зварювального з'єднання, а в товщі матеріалу).

9.8. Проблеми довговічності. Захист деревини від гниття

Деревина та вироби на її основі під час зберігання й експлуатації руйнуються під дією біологічних, хімічних та фізичних факторів.

Деревина різних порід залежно від хімічного складу та анатомічної будови має різну стійкість до гниття й займистості. Вітчизняні породи за стійкістю проти гниття поділяють на групи: найбільш стійкі (тис, кедр, дуб, карагач), середньостійкі (сосна, ялина, вільха) та малостійкі (береза, бук, осика, липа, клен).

Щоб запобігти *загниванню* деревини, вживають ряд конструктивних заходів, мета яких полягає у збереженні її від зволоження (деревину ізолюють від бетону, цегли, каменю, роблять отвори для провітрювання, захищають від атмосферних опадів). Якщо заходами конструктивного характеру не можна зберегти деревину від зволоження, її *просочують антисептиками* – хімічними речовинами, які вбивають грибні спори чи створюють середовище, в якому їхня життєдіяльність стає неможливою. До антисептиків ставиться ряд вимог, найголовнішими з яких є такі: вони мають знищувати грибні клітини, легко проникати в деревину, бути стійкими як з фізичного, так і з хімічного боку, безпечними в протипожежному плані й нешкідливими для здоров'я людини, не мати неприємного запаху, не знижувати сортність, міцність і якість деревини, бути дешевими й недефіцитними матеріалами.

Антисептики поділяють на розчинні й нерозчинні у воді. До водорозчинних антисептиків належать фторид натрію, кремнефторид натрію, динітрофенолят натрію, мідний купорос тощо. Як дезинфікуючі речовини використовують 15% розчин мідного купоросу, 10% розчин залізного купоросу, 5% розчин хлориду цинку, 10% розчини кухонної солі та хлорного вапна тощо.

До водонерозчинних належать маслянисті та кристалічні антисептики. Маслянисті антисептики добре вбивають гриби, глибоко проникають у деревину, довго зберігаються в ній і не вимиваються водою. Проте вони мають неприємний запах, а тому їх можна використовувати для просочування дерев'яних конструкцій, які перебувають на повітрі чи у воді (шпали, частини мостів, палі тощо). До маслянистих антисептиків належать креозотове та

антраценове масла, карболеніум, кам'яновугільна смола тощо. Кристалічні антисептики, нерозчинні у воді, розчиняються в гасі чи скипидарі й у вигляді таких розчинів застосовуються для просочування деревини. До кристалічних антисептиків належать технічний оксидифеніл, технічний пентохлорфенол тощо.

Деревину антисептують нанесенням на її поверхню антисептуючих розчинів чи паст, поверхневим випалюванням частини деталі, що антисептується, з наступним зануренням у відповідний розчин, послідовним наперемінним зануренням у гарячу та холодну ванну з антисептиками, просочуванням антисептуючою речовиною під деяким тиском. Спосіб антисептування вибирають залежно від зволоження дерев'яних виробів під час експлуатації (постійне чи змінне зволоження, глибоке чи поверхнєве), від температурних умов, в яких вони перебувають, від виду деревної породи.

9.9. Поведінка деревини при нагріванні

При нагріванні деревини в ній починають відбуватися такі процеси:

1) Температура, менша 110°C – висихання, початок виділення органічних речовин.

2) Температура $110 \dots 150^{\circ}\text{C}$ – жовтіння поверхні, посилення виділення летких органічних речовин.

3) Температура $150 \dots 250^{\circ}\text{C}$ – початок обуглювання, поява коричневого кольору поверхні, інтенсивне виділення летких органічних речовин.

4) Температура $250 \dots 300^{\circ}\text{C}$ – руйнування целюлози, інтенсивне обуглювання, поява чорного кольору поверхні, інтенсивне виділення летких органічних речовин, спалахування при наявності відкритого полум'я.

5) Температура $350 \dots 450^{\circ}\text{C}$ – самоспалахування.

Таким чином, термічний розпад деревини спостерігається в два етапи:

1) При температурах до $250 \dots 300^{\circ}\text{C}$ виділення летких горючих компонентів з поглинанням тепла.

2) Другий етап це власне процес горіння який проходить з виділенням тепла.

Другий етап (горіння деревини) в совою чергу підрозділяється на два періоди:

- 1) Поверхнєве горіння (горіння летких продуктів піролізу деревини).
- 2) Об'ємне горіння (горіння утвореного внаслідок піролізу вугілля).

Таким чином, поведінка деревини при нагріванні характеризується певною температурою, яка називається **критичною, або температурою спалахування**. Ця температура не є сталою. Критична температура залежить від породи деревини, її вологості, шорсткості поверхні, тривалості нагрівання та деяких інших факторів.

В деяких випадках користуватися критичною температурою незручно, тому використовують параметр часу спалахування при пожежі, який для незахищеної деревини складає 4 хв.

При пожежі дерев'яні елементи конструкцій після спалахування починають обуглюватись. Після того як площа неушкодженої деревини в перерізі елемента зменшується до розмірів, при яких він втрачає несучу здатність, конструкція обвалюється. Для прогнозування поведінки дерев'яних несучих конструкцій важливе значення має величина швидкості обуглювання. Для клеєної деревини швидкість обуглювання складає 0,6 – 0,7 мм/хв, цільної 0,8 – 1 мм/хв.

9.10. Вогнезахист деревини

У вогнезахисній техніці існує декілька способів вогнезахисту деревини, які відрізняються за механізмом вогнезахисного ефекту: **термоізолюючий одяг, вогнезахисні фарби і обмазки, вогнезахисне просочення**.

До термоізолюючого одягу відносяться покриття азбестоцементними листами, гіпсобетонними, асбестовермикулітовими, перлітовими плитами, асбестокартоном, матами з різних мінеральних волокон, штукатурками і іншими негорючими теплоізолюючими матеріалами. Суть вогнезахисного ефекту термоізолюючого одягу полягає в тому, що ці покриття на протязі певного часу,

обумовленого товщиною захисного шару, перешкоджають прогріванню дерев'яної конструкції до температури розкладання.

Найбільш доступним способом вогнезахисту дерев'яних конструкцій є покриття їх вогнезахисними фарбами і обмазками. Фарби і обмазки складаються зі в'язучої речовини, наповнювача і пігменту. Призначення в'язучого – забезпечувати твердіння суміші з утворенням твердої негорючої плівки; призначення наповнювача – підвищувати вогнезахисний ефект, зменшувати усадку; призначення пігменту – покращувати декоративні якості покриття. Обмазка від фарби відрізняється меншою міцністю плівки, більшою товщиною шару, що наноситься, грубішим помелом наповнювача і відсутністю пігменту.

В якості в'язучого для вогнезахисних фарб і обмазок застосовуються рідке скло, цемент, гіпс, вапно, глину і ін. Пігментами є літопон, цинкові білила, вохра, оксид хрому, залізний сурик і ін. Як наповнювачі застосовуються крейда, тальк, азбест, вермикуліт, зола–виніс ТЕЦ і ін.

Вогнезахисні покриття підрозділяються на атмосферостійкі, які використовуються для захисту зовнішніх поверхонь елементів будівель і споруд; вологостійкі, які використовуються для захисту конструкцій, працюючих в умовах підвищеної вологості повітря (61 – 75%), невологостійкі, які використовуються для вогнезахисної обробки конструкцій, працюючих в приміщеннях з вологістю повітря менше 60 %. Наносять покриття в кілька прийомів, щоб забезпечити необхідну витрату матеріалу покриття, причому кожен подальший шар наноситься після повного висихання попереднього.

Механізм вогнезахисного ефекту фарб і обмазок полягає в тому, що дерев'яні конструкції, покриті цими засобами, не можуть спалахнути під дією малопотужних джерел вогню, тобто стають здатними перешкоджати зародженню пожежі. При розвинутій пожежі в приміщенні вогнезахисне покриття конструкцій протягом невеликого часу стримує прогрівання конструкції, потім перешкоджає виходу горючих продуктів термічного розкладання деревини, а також розповсюдженню вогню по поверхні конструкції. Вогнезахисний ефект деяких покриттів (наприклад, фосфатних) посилюється тим, що при їх розкладанні виділяються газоподібні речовини, що

є інгібіторами процесу горіння; вони розбавляють концентрацію горючих продуктів розкладання, що виділяються, і роблять суміш негорючою. Додатковий вогнезахисний ефект може бути отриманий в тому випадку, якщо покриття під впливом високих температур не втрачає своїх фізико-механічних властивостей і утримує від осипання утворений під ним обвуглений шар деревини. В цьому випадку пористий шар вугілля виконує роль свого роду вогнезахисного одягу і процес обвуглення деревини углиб істотно сповільнюється.

Вельми ефективним способом вогнезахисної обробки деревини є просочення її розчинами антипіренів. До найбільш поширених антипіренів відносяться діамонійфосфат – $(\text{NH}_2)_2\text{HPO}_4$, моноамонійфосфат – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, сульфат амонію – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, бура – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, борна кислота – H_3BO_3 . Можуть застосовуватися розчини, що є сумішшю декількох солей. Для просочення під тиском в автоклавах найчастіше рекомендується вогнезахисний склад наступної рецептури: діамонійфосфат – 7,5 %, сульфат амонію – 7,5%, фтористий натрій (антисептик) – 2% і вода – 83%. Для отримання важкогорючої деревини необхідно забезпечити поглинання солей не менше 66 кг на 1 м³. Просоченню підлягає тільки цілком здорова деревина з вологістю не більше 25%. Для просочення антипіренами застосовується та ж апаратура, що і для просочення антисептиками. Лісоматеріали поміщають в автоклав, в якому створюється вакуум до 80 кПа для видалення повітря з пор деревини, а потім в автоклав закачується підігрітий до 55 – 60°C розчин антипіренів і підвищується до необхідної величини тиск, під яким деревина витримується протягом часу, достатнього для забезпечення поглинання необхідної кількості розчину. Технологічні параметри процесу встановлюються в залежності від породи деревини і розмірів деталей, що просочуються. Вони можуть коливатися в наступних межах: час витримки під розрідженням 0,5 – 1 г, час витримки під тиском 2–20 г, тиск 0,8–1,6 МПа

Ефективність глибокого просочення під тиском висока, але цей спосіб вимагає досить складного високовартісного устаткування.

Простішим способом глибокого просочення деревини є метод гарячо–холодних ванн. Може використовуватися розчин такої ж рецептури, як при просочуванні під тиском або з декілька іншим співвідношенням компонентів. Просочення проводять в металевих або дерев'яних ваннах, на дні яких прокладені змійовики для нагріву просочувального розчину. Дерев'яні деталі завантажують спочатку у ванну з гарячим розчином при 90°C і витримують в ній до 24 год. Після закінчення встановленого часу гарячий розчин відкачують і замість нього вводять холодний розчин. Час витримки деревини в холодному розчині не перевищує 24 год. Після цього деревину зважують для визначення кількості поглиненого розчину і відправляють на сушку. При такому способі вогнезахисної обробки деревина не може поглинути солей більше 50 кг на 1 м³. Цієї кількості недостатньо для того, щоб класифікувати деревину як *важкогорючу*, вона вважається *важкозаймистою*, проте якщо її після обробки в гарячо–холодних ваннах і сушки додатково покрити вогнезахисною фарбою, то сумарний вогнезахисний ефект може забезпечити отримання важкогорючої деревини.

В тому випадку, якщо потрібно обробити конструкції існуючої будівлі або споруди, може бути рекомендована поверхневе просочення розчином антипіренів. Для цієї мети зазвичай використовується розчин наступного складу, %: діамонійфосфат – 20, сульфат амонію – 5, гасовий контакт – 3, вода – 72. Приготовлений розчин наноситься на поверхню дерев'яного виробу кистю або фарбопультотом за два рази з перервою 12 г. Витрата сухих солей – не менше 100 грамів на 1 м² оброблюваної поверхні.

Вогнезахисний ефект просочення деревини розчинами вогнезахисних солей в основному визначається тим, що впроваджені в масу деревини солі під дією нагрівання розкладаються з виділенням інертних негорючих газів, що перешкоджають полум'яному горінню і тлінню захищеної деревини. Спостережуване при цьому обуглювання обмежується площею дії полум'я запалювального джерела.

Питання для самоконтролю

1. Деревина як природний органічний композиційний матеріал. Загальні відомості.
2. Будова деревини. Макроструктура.
3. Мікроструктура та хімічний склад деревини.
4. Основні промислові породи деревини.
5. Фізичні властивості деревини.
6. Механічні властивості деревини.
7. Вади деревини.
8. Використання деревини в різних галузях економіки.
9. Проблеми довговічності деревини.
10. Захист деревини від гниття. Антисептики.
11. Основи технології просочування деревини антисептиками
12. Поведінка деревини при нагріванні.
13. Вогнезахист деревини. Термоізолюючий одяг, сутність способу та вогнезахисного ефекту.
14. Вогнезахист деревини. Вогнезахисні фарби та обмазки, механізм вогнезахисного ефекту фарб і обмазок.
15. Антипірени. Технології просочування та механізм вогнезахисного ефекту.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Повітряно–суха деревина при вологості $w = 20\%$ має середню густину $\rho_{o.w.}=670 \text{ кг/м}^3$. При насиченні її під тиском середня густина збільшилась до $\rho_{o.w.}=1300 \text{ кг/м}^3$. Визначити відкриту пористість деревини.
2. Якою буде маса дерев'яної деталі у повітряно–сухому ($w=20\%$) і в насиченому водою стані ($w=120\%$), якщо при вологості 8% вона важить 18 кг ?

3. Яка швидкість розповсюдження температури в ніздрюватому бетоні і деревині з середньою густиною $\rho_0=600 \text{ кг/м}^3$? Теплопровідність ніздрюватого бетону, $\lambda_6=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, деревини $\lambda_d=0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, питома теплоємність бетону $C_6=0,838 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$, деревини $C_d=1,9 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$.
4. Розрахувати межу міцності на стиск зразків – призм із бетону і деревини (вздовж волокон). Розміри зразків бетону, см: $a=10$, $h=40$, деревини $a=2$, $h=3$. Показники манометра преса при випробуванні бетону 9, деревини – 0,15 МПа. Константа преса (площа поршня) 570 см^2 .
5. Сосновий брусок має розміри $25\times 30\times 400 \text{ мм}$ ($a\times b\times c$) при вологості $w=21\%$. Як зміняться розміри бруска після повного висушування, а потім зволоження до межі насичення? Коефіцієнт усушки сосни $k_y=0,44$.

ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ

1. Класифікація полімерних речовин та матеріалів на їхній основі.
2. Характеристика будівельних матеріалів на основі полімерних речовин.
3. Оцінка довговічності. Проблеми екології виробництва та застосування полімерних матеріалів.
4. Вплив високих температур на полімерні будівельні матеріали.
5. Технічні рішення по зниженню горючості полімерних будівельних матеріалів

10.1. Класифікація полімерних речовин та матеріалів на їхній основі

Полімерними речовинами (від грец. «полі» – багато, «мерос» частина, частка, *polymeres* - різноманітний) називають високомолекулярні сполуки, які складаються з елементарних (мономерних) ланок, об'єднаних у макромолекули різної будови.

Високомолекулярними сполуками вважають речовини з молекулярною масою понад 5000. Молекулярна маса *низькомолекулярних сполук* зазвичай не перевищує 500, а речовини, які мають проміжні значення молекулярної маси, називають *олігомерами*.

Макромолекула є основним структурним елементом полімерних речовин, хімічна будова якої практично відповідає хімічній будові головної структурної одиниці – мономеру.

Структура макромолекули відображає розташування у просторі окремих ланок, обумовлюється їхньою хімічною будовою, довжиною й розподілом за довжиною та молекулярними масами.

Головними критеріями класифікації полімерних речовин є *хімічна природа, походження, спосіб синтезу та тверднення, склад основного ланцюга*

макромолекул та характер їхньої будови, здатність до пластичних деформацій при циклічній дії температурного фактора.

За хімічною природою полімерні речовини поділяють на органічні та неорганічні. В неорганічних високомолекулярних сполуках (полімерах) атоми карбону відсутні, а в органічних – макромолекули складаються переважно з атомів карбону.

За походженням розрізняють полімерні матеріали природні та штучні. Природні полімери, прикладом яких є складові деревини (лігнін та целюлоза), розглянуті у розділі 9. До природних полімерів відносять також бавовну, вовну, шкіру, каучук тощо. Більш поширеними є штучні полімерні матеріали, які отримують шляхом синтезу з простих низькомолекулярних речовин, відомих як *мономери*.

За способом синтезу та тверднення органічні полімерні речовини поділяють на *полімеризаційні та поліконденсаційні*.

Полімеризація – це процес об'єднання молекул низькомолекулярної речовини (мономеру) без виділення будь-яких побічних продуктів. Властивості полімерів та сополімерів залежать від умов полімеризації, якості вихідних мономерів, застосованих каталізаторів (прискорювачів) та інших факторів. У промисловості зазвичай використовують чотири способи полімеризації: у блоці, розчині, емульсії та суспензії. При синтезі та твердненні органічних полімерних речовин полімеризація відбувається з розкриттям подвійного (потрійного) зв'язку з утворенням полімеру, елементарний склад якого не відрізняється від елементарного складу мономеру. До високомолекулярних сполук полімеризаційного типу відносяться поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид тощо.

Поліконденсація це процес одержання високомолекулярних сполук (поліконденсатів) з одночасним відщепленням низькомолекулярних продуктів реакції (води, хлороводню тощо).

Полімери *поліконденсаційного типу* отримують внаслідок взаємодії функціональних груп, що входять до складу мономеру, причому утворення полімеру супроводжується виділенням низькомолекулярного продукту і

елементарний склад полімеру відрізняється від елементарного складу вихідної речовини. Поряд з мономерами для синтезу полімерів широко використовують *олігомери*.

Поліконденсаційні речовини можна одержати чотирма способами: розплавленням, розчиненням, з використанням твердофазових реакцій та реакцій поліконденсації. До сполук поліконденсаційного типу відносять поліефіри, поліаміди, поліметиленфеноли, поліметиленсечовину тощо.

За складом основного ланцюга макромолекул полімерні речовини поділяють на карболанцюгові, гетероланцюгові та елементоорганічні. Карболанцюгові полімери характеризуються тим, що їхні молекулярні ланцюги цілком складені з атомів карбону. Гетероланцюгові сполуки в складі ланцюгів, крім атомів карбону, містять атоми деяких елементів, в тому числі гідрогену, нітрогену, сульфуру тощо.

Елементоорганічні полімери можуть містити в складі головного ланцюга атоми силіцію, алюмінію, титану та інших елементів, які зазвичай не входять до складу органічних сполук.

За характером будови макромолекул органічні полімери можуть бути лінійними, розгалуженими та гратчастими (тривимірними). При лінійній будові атоми мономеру зв'язуються між собою з утворенням витягнутого ланцюга. При розгалуженій будові утворюються макромолекули, що мають мономерні ланки, відгалужені від основного ланцюга. Сітчасті (просторові) макромолекули характеризуються хімічним «зшиттям» поперечними зв'язками окремих лінійних чи розгалужених ланцюгів полімеру (рис. 10.1).

За здатністю до пластичних деформацій при циклічній дії температурного фактора органічні полімери поділяють на термопластичні та термореактивні.

Термопластичні полімери (поліетилен, полістирол тощо), як полімеризаційного так і поліконденсаційного типу, спроможні до пластичних деформацій при підвищенні температури, тобто здатні при нагріванні розм'якшуватися й переходити до в'язкопружного стану. При охолодженні вони

твердіють, зберігаючи задану форму. Такі перетворення можуть повторюватися неодноразово.

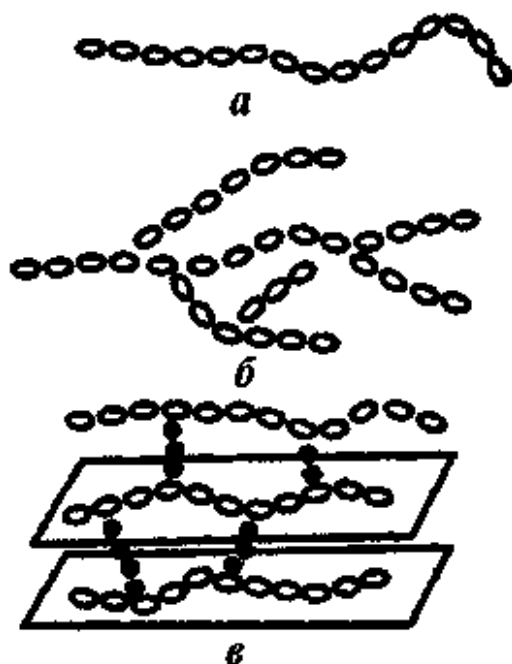


Рис. 10.1. Будова макромолекул полімерів: *a* – лінійна; *б* – розгалужена; *в* – просторова

Термопластичні властивості пояснюються лінійною або розгалуженою будовою молекул і невисокою міжмолекулярною взаємодією між ними. З цим пов'язана також здатність більшості термопластичних полімерів розчинятися у відповідних середовищах.

Термореактивні полімери (фенолформальдегідні, карбамідні та інші полімери) проходять стадію пластичного деформування при підвищенні температури, але при цьому після охолодження в їхній структурі відбуваються незворотні зміни, які призводять до неможливості переходу їх у пластичний стан при повторному нагріванні, тобто вони не можуть оборотно змінювати свої властивості і непридатні до повторного формування. Ці зміни структури пояснюються об'єднанням лінійних молекул у просторові сітки. З цієї ж причини термореактивні полімери здебільшого є більш теплостійкими, ніж термопластичні. Незворотні зміни в структурі термореактивних полімерів можуть бути викликані не тільки дією температурного фактора, але й хімічного реагенту (розчинника), ультрафіолетового чи γ -випромінювання.

Ця класифікаційна ознака покладена в основу вибору методу переробки полімерів при отриманні пластмасових виробів різного призначення.

Полімерними матеріалами, або пластичними масами, називають матеріали, які містять у своєму складі високомолекулярні органічні речовини – полімери і на певній стадії виробництва набирають пластичності, яка повністю або частково втрачається після затвердіння полімеру.

Розрізняють пластичні маси *прості*, що складаються лише з полімерної речовини, і *складні*, до складу яких, крім полімеру, входять і інші компоненти: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, отверджувачі, барвники тощо.

Складні полімерні органічні матеріали, відомі як *пластмаси*, можна розглядати як *композиційні*, що містять у своєму складі матрицю, утворену полімерними речовинами, та армуючий компонент, представлений наповнювачами різної дисперсності та добавками, призначеними для надання спеціальних властивостей.

Пластмаси, залежно від призначення їх у будівництві, поділяють на такі основні групи: матеріали огорожувальних і несучих конструкцій; покриття підлог та опорядження стін; гідроізоляційні, герметизуючі, покрівельні, тепло– та звукоізоляційні матеріали; труби та інші погонні вироби; санітарно–технічні вироби; лаки, фарби, клеї.

Залежно від фізичного стану при нормальній температурі та інших властивостей пластмаси поділяють на жорсткі (модуль пружності $E > 1$ ГПа), напівжорсткі ($1 > E > 0,4$ ГПа), м'які ($E = 0,02 \dots 0,4$ ГПа) та еластичні ($E < 0,02$ ГПа).

10.2. Характеристика будівельних матеріалів на основі полімерних речовин

Полімерні будівельні матеріали (ПБМ) появились порівняно недавно, але технологія їх виробництва швидко розвивається, сфера застосування розширюється завдяки цілому ряду переваг перед традиційними будівельними матеріалами. Постійний розвиток виробництва і застосування полімерних матеріалів є важливим напрямом технічного прогресу в будівництві. Застосування полімерних матеріалів дозволяє підвищити ступінь

індустріалізації будівництва, значно зменшити масу будівель і споруд, поліпшити якість робіт і обробки, скоротити об'єми перевезень і трудовитрати на монтажі, що дає значний економічний ефект. Використання ПБМ в будівельних конструкціях дозволяє також додати спорудам нові форми, значно покращити їх зовнішній вигляд.

Конструкційні матеріали. Основними представниками пластмас, вживаних для зведення несучих, огорожуючих і інших будівельних конструкцій є деревно–шаруваті пластики і склопластики, полімерні бетони.

Деревно–шаруваті пластики виготовляються у вигляді листів і плит гарячим пресуванням пакетів деревної шпони, просоченої полімером (фенолформальдегідними і іншими смолами). За основними фізико–механічними властивостям деревно–шаруваті пластики перевершують початкову деревину і використовуються для виготовлення несучих конструкцій, в якості конструкційно – облицювального матеріалу для облицювання стін і перегородок, підшивання стель.

Розширюється використання в різних конструкціях склопластиків – пластмас, що містять як зміцнюючі наповнювачі скловолкнисті матеріали. Цьому сприяє ряд цінних властивостей, таких, як висока міцність, невелика вага і ін. Використання легких конструкцій, виготовлених на основі склопластиків, дозволяє понизити вагу будівель в 16 разів в порівнянні з цегельними і в 8 разів в порівнянні з великопанельними залізобетонними будівлями. Склопластики в 1,5 рази легші за вироби з алюмінієвих сплавів, істотно перевищуючи при цьому останні за механічною міцністю. Вони значно легші і міцніші за звичайне скло, а за світлопропусканням в ультрафіолетовому спектрі перевищують його в десятки разів. У будівництві склопластики застосовують у вигляді плоских і хвилястих листів для облаштування світлопрозорої кривлі промислових будівель і споруд; теплиць і оранжерей; малих архітектурних форм; тришарових світлопрозорих і глухих панелей огорож і покриттів; оболонок і куполів; виробів коробчатого і трубчастого перерізів; віконних і дверних блоків; санітарно–технічних виробів і ін. Особливими властивостями володіє скловолкнистий анізотропний матеріал (СВАМ), що отримується на основі просторово

орієнтованих волокон. Так, якщо листові поліефірні склопластики на основі рубаного волокна мають межу міцності при розтягуванні 40–50 МПа, то межа міцності листів СВМ при розтягуванні досягає 1000 МПа

До конструкційних ПБМ відносяться також полімер–бетони – композиційні матеріали, що виготовляються на основі полімерного в'язучого, мінеральних заповнювачів і наповнювачів. Застосовуються вони в основному для споруди зносостійких покриттів дамб і портових споруд, для устрою хімічно стійкої підлоги виробничих будівель, стічних каналів, лотків і інших конструкцій, експлуатованих в умовах впливу агресивного середовища.

Оздоблювальні матеріали набули найбільш широкого поширення в будівництві. Для внутрішньої обробки стін будівель доцільно застосовувати великорозмірні листові матеріали, що володіють, високими декоративними і експлуатаційними якостями. Ці матеріали не вимагають спеціальної підготовки поверхні під облицювання, що знижує трудомісткість облицювальних робіт і скорочує терміни будівництва. Оздоблювальні ПБМ випускаються у вигляді листових, плиткових і рулонних матеріалів.

Декоративний паперово–шаруватий пластик – матеріал, що виготовляється методом гарячого пресування пакетів з декількох шарів паперу, просоченого синтетичними смолами. Верхній шар пластику виконується з декоративного паперу, що імітує цінні породи дерева, каменю або інші малюнки.

Облицювальні плитки з полістиролів виготовляють методом литва під тиском із забарвленого мінеральними пігментами полістиролу.

Рулонні полімерні матеріали для внутрішнього облицювання стін, стель і вбудованих меблів підрозділяються на плівкові, лінкрусти, текстурні, ворсисті і вологостійкі (що миються) шпалери. Їх ділять також на безпідосновні, на паперовій і тканинній підоснові.

Декоративно–обробні плівки виготовляють, головним чином, з полівінілхлориду. Промисловість випускає декілька видів декоративної полівінілхлоридної плівки.

«Ізоплен» – плівка на паперовій основі, «повінол» – плівка на тканинній основі, «віністен» – безпідосновна плівка.

Плівка, що самоклеїться – тришаровий рулонний матеріал, який складається з полівінілхлоридної плівки з печатним малюнком, що імітує різні породи деревини, природний камінь, керамічну плитку, тканину і ін. Шар клею, захищено від висихання шаром силіконізованої підкладки, яка перед приклеюванням видаляється.

Лінкруст – рулонний облицювальний матеріал, що складається з паперової основи, покритої шаром полімерної композиції у вигляді пасти. Поверхні покриття, звичайно надають рельєфний малюнок.

Текстовініт виготовляють шляхом нанесення пасти, що складається з полівінілхлориду, пластифікатора і мінеральних пігментів, на бавовняну тканину.

Матеріали для підлог. Низька зношуваність, гігієнічність, необхідні теплозвукоізоляційні властивості у поєднанні з можливістю індустріалізації будівельних робіт зумовили широке застосування полімерних матеріалів для покриття підлоги. Зі всього об'єму рулонних, плиткових, мастичних і погонних полімерних матеріалів для підлоги близько 70% припадає на долю полівінілхлоридного лінолеуму. Лінолеуми випускають без підоснови, а також на тканинній, повстяній і інших видах підоснови. Окрім полівінілхлоридного лінолеуму випускають гліфталевий, коллоксиліконовий і гумовий лінолеум.

Останніми роками в будівництві все ширше впроваджують синтетичні килимові матеріали, такі, як ворсолін, ворсоніт і ін. Їх підосною є полівінілхлорид, поліуретан або спінений латекс. Для верху килимів використовують ткани і неткани покриття з синтетичних волокон. Підлоги з синтетичних килимових матеріалів окрім зносостійкості відрізняються високими декоративно–художніми, теплотехнічними і акустичними властивостями.

Окрім рулонних матеріалів для підлог застосовують полімерні плитки, а також мастики для устрою безшовної підлоги.

До погонних будівельних виробів, що виготовляюся на основі полімерів, відносять плінтуси, поручні для сходів, балконів і інших огорож, накладки на проступи сходових маршів, рейки для облицювання стін, наличники дверні і

віконні. Виготовляють погонні вироби в основному методом екструзії з композицій на основі полівінілхлоридної смоли.

Гідроізоляційні, покрівельні та герметизуючі матеріали. Спільною ознакою гідроізоляційних, покрівельних та герметизуючих матеріалів є водо– та паронепроникність, тріщиностійкість, водо– та атмосферостійкість.

З полімерних матеріалів для гідроізоляції особливо широко застосовують плівки, мастики, герметики, лаки та фарби (ДСТУ Б А.1.1-29-94; ДСТУ Б В.2.7-77-98; ДСТУ Б В.2.7-78-98; ДСТУ Б В.2.7-79-98; ДСТУ Б В.2.7-106-2001).

Залежно від фізичного стану та відповідно технології застосування ділять на: рідкі, пастоподібні, пластично–в'язкі, тверді пружно–пластичні.

Рідкі гідроізоляційні матеріали: просочувальні та плівкоутворюючі.

Просочувальні матеріали – рідини, що проникають у пори поверхневих шарів матеріалу та утворюють там водонепроникні бар'єри або гідрофобізуючі поверхні пор.

Бітуми та дьогті, переведені у рідкий стан, – найпростіші просочувальні матеріали. Бітуми – надають шару, що просочується, водонепроникність, а дьогті – крім того, антисептують матеріал. Для переведення у рідкий стан дьогті та бітуми розплавляють, розчиняють у органічних розчинниках або готують з них емульсію.

Бітумні емульсії готують у гомогенізаторах (змішувачі з високими швидкостями). Просочення емульсіями доцільне для вологих матеріалів.

Просочення мономерами із їх наступною полімеризацією у порах забезпечує стабільну водонепроникність. Найперспективніші – акрилові полімери.

Кремнійорганічні рідини – ефективний просочувальний матеріал, що гідрофобізує (надає водовідштовхуючих властивостей) пористим матеріалам. Мають високо проникну властивість, атмосферостійкі та термостійкі. Рідини не мають запаху, кольору, не змінюють зовнішній вигляд просочуваного матеріалу. Після висихання на стінках пор та на самому матеріалі утворюється тонка гідрофобна плівка, міцно зчеплена з матеріалом.

Ін'єкційні матеріали – нагнітають у пори матеріалу під тиском. Застосовують не лише просочувальні, але й більш в'язкі рідини (епоксидні смоли, полімерні дисперсії). Примусове нагнітання матеріалу в конструкцію забезпечує більш високу водонепроникність утвореного захисного шару, ніж вільне просочення. Але його виконання складніше та дорожче.

Плівкоутворюючі матеріали – в'язкорідкі суміші, що після нанесення утворюють водонепроникну плівку, яка виникає в результаті звітрювання розчинника, або в результаті полімеризації. Серед них поширені: розріджені бітуми, бітумні емульсії, лаки, емалі.

Пастоутворюючі гідроізолюючі матеріали застосовують як обмазочні та ті, що приклеюються. Обмазочні матеріали – мастики і пасти. Вони при нанесенні на поверхню розріджуються, потім переходять у твердий стан.

Мастики отримують змішуванням органічних в'язучих з мінеральними наповнювачами та спеціальними домішками. За видом в'язучого: мастики бітумні, бітумно–полімерні, полімерні, або дьогтеві.

Найпоширеніші – мастики бітумні. Низька вартість, добра адгезія до більшості матеріалів. Випускають холодні та гарячі мастики. Поширення набувають полімербітумні та полімерні мастики на в'язучому синтетичному каучуку та еластомері. Полімерні мастики застосовують для антикорозійних покриттів на бетонних та металевих конструкціях, що працюють у агресивних середовищах.

Пасти отримують на основі бітумів та дьогтів із додаванням твердого емульгатора (глини, вапняку і т.п.).

Пасти добре змішуються із наповнювачами (піском) та легко наносяться на вологі поверхні; після висихання каплі бітуму зливаються і утворюється мастичне покриття.

Пружно–пластичні гідроізоляційні матеріали – рулонні матеріали (безосновні та на різних основах), аналогічні покрівельним.

Поширені рулонні – толь і руберойд. Їх довговічність обмежена низькою гниlostійкістю покрівельного картону. Толь більш довговічний за рахунок просочення дьогтем.

Сучасні рулонні гідроізоляційні матеріали – бітумні та полімер бітумні матеріали на не гниючих основах.

Гідросклоізол – бітумний гідроізоляційний матеріал, складається із скловолокнистої основи та нанесеного з двох сторін шару бітумного в'язучого (склад: бітум, мін. наповнювач, пластифікатор). Маса укладки складає близько 3 кг/м², матеріал кріпиться на ізолюєму поверхню шляхом оплавлення полум'ям газоповітряних горілок.

Гідросклоізол призначений для гідроізоляції тунелів метрополітену, пролітних споруд, шляхопроводів, підвалів, басейнів. Не рекомендується для покрівельних робіт.

Будівельними герметиками називають матеріали, основне призначення яких – ущільнення стиків між різними конструкціями та панелями будівель з метою надання їм водо-, паро- та повітронепроникності. Герметичність стиків забезпечується лише тоді, коли для їхнього ущільнення застосовано матеріали, здатні деформуватися разом з деформацією стику. Герметики повинні бути також тепло- та морозостійкими, зручними під час ущільнення стиків, мати здатність зберігати свої властивості протягом усього строку служби будівлі. Найкраще цим вимогам відповідають герметизуючі матеріали на основі полімерів. Залежно від способу ущільнення стику герметики можна поділити на пористі прокладки, профільовані ущільнювачі, мастики та обклеювальні плівки (ГОСТ 4.224; ГОСТ 24285; ГОСТ 10174).

Достатньо поширеними герметиками є силіконовий (кислотний, нейтральний), акриловий, поліуретановий, бітумний, каучуковий, полісульфідний, полібутановий. Кислотний і нейтральний силіконові герметики є діелектриками, що відрізняються від інших термостабільністю, високою адгезією та підвищеною хімічною стійкістю.

Кислотні силіконові герметики поділяють на універсальні та санітарні. Вони протягом тривалого часу зберігають еластичність, мають високу волого – і атмосферостійкість, витримують коливання температур від –60°С до +200°С, практично не мають усадки, стійки до дії ультрафіолетових променів. Герметики мають густину 1,033 г/см³, а їхня розтяжність (при розриванні)

становить 600%. Такі герметики мають високу адгезію до скла, керамічної плитки, емалі, деревини, фарбованих поверхонь. Санітарний герметик містить у своєму складі антисептик, і тому його доцільно використовувати у кухнях, сантехнічних приміщеннях, пральнях, складських приміщеннях.

Нейтральний силіконовий герметик має високу адгезію до непористих поверхонь, є безусадочним і його можна використовувати в будь-яких приміщеннях і на будь-яких поверхнях, крім мармуру. Він має густину $1,00 \text{ г/см}^3$, розтяжність при розриві – 350%, інтервал робочих температур – від -40°C до $+180^\circ\text{C}$, стійкий до дії ультрафіолетових променів. Такий герметик найчастіше застосовують при виготовленні склопакетів, для ремонту термошвів.

Акриловий герметик має густину $1,55 \text{ г/см}^3$, здатен надійно працювати в інтервалі температур від -20°C до $+75^\circ\text{C}$, добре піддається фарбуванню, має високу адгезію до різних будівельних матеріалів. Але йому властиві деякі недоліки, що обмежують галузі застосування. До них належать низька водостійкість, усадка від 1 до 15%, низька стійкість до дії ультрафіолетових променів. Тому його застосовують тільки для внутрішніх робіт.

Поліуретановий герметик характеризується високою міцністю, зносостійкістю, стійкістю до дії кислот, мастил, бензину, має високу адгезію до скла, металів, кераміки. Застосовують його у шляхобудуванні, для ущільнення стиків конструкцій підземних переходів, тунелів.

Бітумний герметик дуже еластичний, має високу водостійкість і водонепроникність та адгезію до бітумних матеріалів, бетону, каменю, деревини, металів, скла. Застосовується для потреб дорожнього будівництва, герметизації щілин і швів покрівлі.

Каучуковий герметик має високу еластичність, стійкий до розтягувальних напружень, дії ультрафіолетових променів та інших атмосферних факторів, в тому числі і коливань температури від -25°C до $+100^\circ\text{C}$. Після затвердіння його можна фарбувати. Крім того, такий герметик має високу адгезію до бетону, скла, кераміки, природного каменю, деревини. Тому його достатньо широко застосовують у будівництві крім випадків, коли з'єднані елементи знаходяться під постійним тиском води.

Теплоізоляційні матеріали. Полімерні теплоізоляційні матеріали класифікують за структурою, формою, видом основної сировини, середньою густиною, теплопровідністю та стискуваністю (ГОСТ 16381).

Полімерні матеріали, що мають ніздрювату структуру, яка може бути представлена системою ізольованих пор, називають *пінопластами*, сполучених пор – *поропластами*, а регулярно повторюваних порожнин – *сотопластами*. Такий поділ пористих пластмас є умовним, оскільки зазвичай не вдається одержати матеріали з одним типом пор.

Промисловість випускає різноманітні за формою теплоізоляційні матеріали: рулонні, штучні, сипкі та шнурові.

Полімерні теплоізоляційні матеріали поділяють також за жорсткістю (за стискуваністю під навантаженням 0,002 МПа) на м'які (понад 30%), напівжорсткі (6...30%) і жорсткі (до 6%).

Для будівельної теплоізоляції застосовують *жорсткі пластмаси*, які мають границю міцності при 50% деформації понад 0,15 МПа. їх одержують з термопластичних та термореактивних полімерів хімічними та фізичними способами (ДСТУ Б В.2.7-8-94).

До жорстких пластмас можна віднести теплоізоляційні плити, прикладом яких є плити «Піноплекс» довжиною від 1200 до 4500 мм та шириною 600 мм, виготовлені методом екструзії з пінополістиролу. Залежно від середньої густини, яка змінюється від 30 до 50 кг/м³, матеріал має міцність при стиску 0,25...0,5 МПа, водопоглинання 0,4...0,1%, коефіцієнт теплопровідності 0,028...0,03 Вт/(м·°К), діапазон робочих температур –50...+75°С. Застосовують плити «Піноплекс» для теплоізоляції підлог, стін громадських, житлових і промислових будівель.

За хімічним способом поризації структура ніздрюватою матеріалу утворюється при термічному розкладанні газотворювачів або взаємодії компонентів композиції, при фізичному – внаслідок інтенсивного розширення розчинних газів із зниженням тиску чи підвищенням температури, а також їхнього механічного диспергування.

Без спінювання одержують *сотопласти*. Їх виготовляють, склеюючи в блоки гофровані аркуші паперу чи шматки тканини, просочені полімером.

Густина *ніздрюватих пластмас* залежить від виду полімеру та вмісту газоутворювача. Середня густина теплоізоляційних пластмас становить 10...200 кг/м³. Теплопровідність пластмас, застосовуваних для теплоізоляції, нижча, ніж теплопровідність інших неорганічних та органічних теплоізоляційних матеріалів. Вона становить 0,026...0,045 Вт/(м·°К). При однаковій структурі матеріалу теплопровідність певною мірою залежить від величини пор.

Особливістю теплоізоляційних полімерних матеріалів є обмежена температуростійкість (60...70°C), яку потрібно враховувати при визначенні можливості їх застосування.

Полімерні вироби загальнотехнічного призначення. Труби з полімерних матеріалів мають ряд переваг порівняно з металевими: вони легші, стійкі до дії кислот та лугів, не піддаються електрохімічній корозії, гнучкі, мають менший опір руху рідин, низьку теплопровідність, прості щодо монтажу. Істотним недоліком полімерних труб є низька теплостійкість (60...70°C) і значне лінійне розширення.

Основні види полімерних труб, застосовуваних у будівництві: поліетиленові, поліпропіленові, полівінілхлоридні, з органічного скла та склопластикові (ГОСТ 28117; ГОСТ 29324; ГОСТ 29325; ГОСТ 19034; ГОСТ 18599).

Полімерні труби формують переважно способом екструзії чи відцентровим литтям. Діаметри полімерних труб: поліетиленових – 10...1200, поліпропіленових 50...80, полівінілхлоридних – 10...400, склопластикових – 30...300 мм. Поліетиленові та поліпропіленові труби з'єднують у трубопроводи контактним зварюванням, а полівінілхлоридні та склопластикові – склеюють.

Полімерні труби застосовують для влаштування систем водопостачання та каналізації, вентиляції, внутрішніх комунікацій хімічних та харчових виробництв, іригаційних трубопроводів та газопроводів.

Склопластикові труби застосовують у нафтовій, хімічній та гірничовидобувній промисловості.

Полімерні матеріали використовують також для виготовлення *великогабаритних виробів* (ванни, раковини тощо), які пресують з армованих термореактивних полімерів або виготовляють методом вакуумного формування з термопластичних полімерів. Ці вироби мають значно меншу масу, ніж металеві чи керамічні, високі експлуатаційні та естетичні властивості.

Полімерні клеї. Застосування синтетичних клеїв у будівництві є вигідним з багатьох точок зору, при цьому не лише знижується витрата традиційних матеріалів та затрати на будівництво, а й підвищуються техніко-економічні показники споруд.

Синтетичні клеї (ГОСТ 28780; ГОСТ 4.228) — це розчини, розплави чи дисперсії полімерів, а також оліго– та мономерів, здатних прилипати до поверхонь різних матеріалів і при твердінні з'єднувати ці матеріали.

Розрізняють клеї термопластичні і термореактивні, а також холодного і гарячого тверднення. Механізм тверднення може бути пов'язаний з охолодженням розплаву, випаровуванням розчинника, реакціями поліконденсації олігомерів та полімеризації мономерів.

На основі *термопластичних полімерів* виготовляють полівінілацетатні, перхлорвінілові, поліамідні, поліакрилові, каучукові клеї (ДСТУ Б В.2.7-103-2000; ГОСТ 12172; ГОСТ 22345; ГОСТ 24064). Їх використовують для кріплення опоряджувальних матеріалів, вбудованих меблів, склеювання піно– та поропластів.

Для силового склеювання (міцність при рівномірному відриванні понад 0,7 МПа) використовують клеї на основі *термореактивних полімерів*: епоксидних, фенолформальдегідних, карбамідних, поліефірних та поліуретанових. Ці клеї відрізняються високою адгезією, водостійкістю, стійкістю до вібраційних навантажень та теплостійкістю.

Недоліками деяких полімерних клеїв є висока токсичність у період виготовлення та склеювання (епоксидні клеї), а також під час експлуатації (фенолформальдегідні клеї).

Клеї на основі термореактивних полімерів застосовують при склеюванні алюмінію, сталі та інших металів, кераміки, скла, бетону, деревини.

10.3. Оцінка довговічності. Проблеми екології виробництва та застосування полімерних матеріалів

Широке застосування полімерних матеріалів у будівництві передбачає підвищені вимоги до довговічності їх та надійності при експлуатації.

Однією з найважливіших властивостей полімерних матеріалів є висока корозійна стійкість. Однак і полімерні матеріали не є універсальними. Ступінь їх корозійної стійкості залежить від властивостей, виду, хімічного складу агресивного середовища та умов його впливу.

Вплив агресивного середовища на полімерні матеріали може проявлятися у зміні їхньої структури та властивостей. При цьому матеріал в середині може руйнуватися, але зовні лишатися неушкодженим.

Корозія полімерів – результат подолання сил взаємодії між їх атомами чи молекулами, але може виникати також під впливом різних окислювальних агентів, термічного, радіаційного, механічного впливу та інших енергетичних факторів, а також при хімічній взаємодії з різними агресивними середовищами. При цьому в полімерах протікають різноманітні деструктивні процеси.

Окислювальна деструкція полімерів виникає під впливом кисню повітря чи озону. Крім того, у реальних умовах зберігання чи використання матеріалів на полімер впливають сонячні промені, волога, тепло. Зміни, які виникають під їхнім впливом, обумовлюють старіння матеріалів.

На початковій стадії окислювальної деструкції полімеру починається приєднання кисню до деяких ланок макромолекул. Швидкість цієї реакції визначається хімічним складом ланок, швидкістю дифузії кисню у товщу полімеру та співвідношенням площі поверхні виробу до його об'єму. Таке приєднання кисню викликає утворення різних функціональних груп, які обумовлюють збільшення полярності полімеру, що призводить до погіршення діелектричності, зменшення пружності та підвищення температури крихкості.

Утворення перекисних чи гідроперекисних груп прискорюється з підвищенням концентрації кисню в полімері та зі збільшенням температури. Опромінення світлом, особливо ультрафіолетовою частиною спектра, активізує цей процес. Такі групи легко розкладаються до вільних радикалів, які ініціюють процес окислення.

Подальші реакції радикалів можуть призвести до зниження молекулярної маси чи зшивання полімеру, що обумовить різку зміну властивостей і призведе до його деструкції.

Термічна деструкція виникає під дією тепла, а іноді при одночасній дії тепла та кисню може утворюватись термоокислювання.

Для протидії полімеру окислювальній чи термічній деструкції у його склад вводять добавки проти старіння (феноли, аміни) чи стабілізатори (солі свинцю, кадмію, барію, кальцію). Стабілізатори чи добавки проти старіння не повинні погіршувати фізико-механічні властивості полімеру, і тому їх вводять у кількості, що не перевищує 2%.

Радіаційна деструкція полімерів проходить під впливом випромінювання «високої енергії» чи «іонізуючого випромінювання» (рентгенівські промені, електрони, протони та ін.). Їх дія полягає у збудженні і іонізації окремих ланок макромолекул.

Збудження, тобто переведення електронів на більш високий рівень, а також іонізація, що зв'язана з «вириванням» електронів, надають макромолекулам сталість, полегшуючи деструкцію полімеру. Залежно від типу полімеру і тривалості опромінювання, деструкція супроводжується виділенням низькомолекулярних газоподібних речовин (водню, хлору, азоту, метану).

Механічна деструкція полімерів відбувається під дією механічних навантажень, що перевищують границю міцності матеріалів. Така деструкція в присутності кисню повітря може прискорюватися.

Біологічна деструкція – дія мікроорганізмів, комах на вироби з синтетичних полімерних матеріалів. Мікроорганізми знижують гігієнічність виробів та погіршують їхній зовнішній вигляд. Пігменти мікроорганізмів здатні перефарбовувати полімерні матеріали так, що навіть після видалення плісняви

на їхніх поверхнях залишаються плями сірого, зеленого, чорного, фіолетового чи рожевого кольорів.

Пліснява сприяє конденсації водяної пари і погіршує властивості матеріалу. Метаболіти, у тому числі ензими, можуть викликати деструкцію самого полімеру, що проявляється у втраті блиску чи «травленні» поверхні. Деякі види плісняви та бактерій використовують для себе як поживне середовище пластифікатори чи наповнювачі, що входять до складу полімерного матеріалу, і цим прискорюють старіння виробу. Іноді пліснява проростає навіть крізь плівки з полімерних матеріалів.

Більшість природних високомолекулярних сполук чи їхніх похідних – джерело харчування для мікроорганізмів. Навпаки, більшість синтетичних полімерних матеріалів не є поживним середовищем для мікроорганізмів і у присутності їх розмноження останніх пригнічується. Однак присутність у пластмасі наповнювачів, пластифікаторів, стабілізаторів, які є джерелами вуглецю, може спричиняти руйнування виробів, виготовлених навіть з достатньо стійких полімерів.

Хімічна деструкція полімерних матеріалів виникає при хімічній взаємодії їх з навколишнім середовищем.

Хімічні реакції макромолекулярних і органічних низькомолекулярних речовин підпорядковані однаковим закономірностям, але протікають по-різному.

Гетероланцюгові полімери (поліаміди, тіоколи, силоксани, поліефіри та ін.) порівняно легко розпадаються під дією гарячої води, кислот, лугів. Карболанцюгові полімери в цілому значно більш стійкі до агресивних середовищ.

Молекулярна гратка полімеру належить до найменш міцних, а енергія розриву зв'язків атомів у органічних вуглеводневих сполуках значно менша, ніж у молекулах більшості неорганічних речовин, широко застосовуваних у будівництві. Цим і обумовлені невисока робоча температура, при якій можлива експлуатація пластмас, а також їхня схильність до окислювальних процесів, які

призводять до зміни як фізико–хімічних, так і технічних показників властивостей полімерних матеріалів.

Особливо швидко ці процеси, які називають старінням, проходять при комбінованому впливі кисню повітря та ультрафіолетового випромінювання, а також при підвищенні температури навколишнього середовища. При цьому реакції можуть розвиватися у двох напрямках: перший з них пов'язаний з деструкцією, під якою розуміють сукупність процесів, які призводять до зменшення довжини молекул полімеру, тобто до їх руйнування; другий напрямок, навпаки, призводить до агрегування молекул чи до об'єднання ланок молекул, що обумовлює зменшення еластичності, підвищення жорсткості полімеру та збільшення не тільки міцності, але і крихкості виробів на його основі.

В матеріалах, що працюють під навантаженням, зазвичай виникає сітка мікротріщин та інших дефектів, які призводять практично до повної втрати структурно–механічних властивостей конструкції або споруди.

Механізм руйнування багатьох полімерів, так само як і процес їх утворення – ланцюговий. Це дозволяє пропонувати у якості ефективних способів гальмування процесів руйнації обрив ланцюгів, зменшення вірогідності їх зародження.

Практика показує, що велику роль при цьому мають наповнювачі, які перестають бути інертними матеріалами та приймають участь у хімічних процесах.

Деякі з них (наприклад сажа, яку вводять у поліетилен) блокують вільні зв'язки на кінцівках молекул полімеру і знижують таким чином його реакційну спроможність. Інші наповнювачі, не пропускаючи чи відбиваючи сонячні промені, зменшують вірогідність розвитку ланцюгових процесів. Деякі наповнювачі можуть виконувати функції антиокислювачів.

При введенні в полімери тих чи інших наповнювачів зазвичай враховують сукупність властивостей, які вони надають пластмасам. Наприклад, в разі використання різної кількості тонкодисперсних наповнювачів полімерні матеріали набувають більшої твердості та міцності.

З точки зору фізико–хімічних процесів, що обумовлюють такі зміни, розглядають взаємодію зв'язуючої речовини з наповнювачем, яка проходить на межі поділу фаз. При цьому необхідна спорідненість між наповнювачем і зв'язуючим компонентом для отримання міцної та довговічної пластмаси.

Таким чином, пластмаси, у яких зв'язуюча речовина поєднується з наповнювачами – порошкоподібними (тальк, кварцовий пісок), волокнистими (азбест, деревне волокно, костриця льону), застосовують у будівництві не тільки з метою підвищення хімічної стійкості, поліпшення механічних та деформативних показників конструкцій, а і для отримання значного економічного ефекту. Таким шляхом були створені різноманітні композиційні матеріали, в тому числі склопластики, яким притаманні високі показники коефіцієнта конструктивної якості.

Поєднання зв'язуючої речовини з наповнювачем у полімербетонах (пластбетонах) дозволяє знизити усадочні деформації органічного полімеру (що особливо важливо для підлог) і підвищити його міцність; в деревостружкових плитах – об'єднати у єдине природні й штучні органічні сполуки, утилізуючи відходи деревини; в полімерцементних композиціях – підвищити непроникність і еластичність. При цьому оптимальна міцність композита досягається при введенні певної кількості наповнювача, вид якого вибирається з урахуванням сили адгезійного зчеплення між компонентами.

Крім того, волокнисті і частково порошкоподібні наповнювачі здатні запобігати розвитку мікротріщин, які «обриваються» на границі поділу фаз.

За допомогою наповнювача можна надати пластмасам і додаткових спеціальних властивостей, необхідних, наприклад, для комбінованих виробів. Так, полімерні матеріали мають зазвичай відмінний від металів і бетону коефіцієнт термічного розширення. Введення у полімер наповнювача неорганічного походження, наприклад, кварцу, вапняку, цементу, графітового порошку, сприяє зближенню коефіцієнтів термічного розширення полімеру і неорганічної підкладки.

Для будівельних пластмас, які так само, як деякі інші органічні сполуки, експлуатують в умовах прямого впливу на них сонячних променів, особливе

значення набувають питання стабільності в часі. У подібних випадках введення одних тільки наповнювачів може бути недостатнім і тоді, крім вибору найбільш стійких, до таких полімерів (полістиролу, поліметилметакрилату) треба ще застосовувати інгібітори – речовини, здатні різко гальмувати ланцюгові процеси.

До ефективних інгібіторів відносять деревносмоляні антиокислювачі, збагачені фенолами, а також похідні бензофенолу, деякі аміни та стеарати свинцю, кальцію, барію.

Підвищення еластичності полімерів можна досягти шляхом внутрішньої чи зовнішньої пластифікації за рахунок використання «прищеплених» полімерів, вибору відповідних бокових ланцюгів і найбільш придатних мономерів, а також введенням нелетких висококиплячих органічних рідин, які викликають набухання полімеру.

Як пластифікатори застосовують фосфати, диметилфталат, бутилстеарат і деякі інші речовини.

Для підвищення негорючості будівельних пластмас застосовують галоїдопохідні (полівінілхлорид, хлорований парафін), кремнійорганічні сполуки (силікони), а також антипірени (фосфорнокислий амоній).

Іноді одна й та сама речовина у пластмасі може виконувати одночасно кілька функцій. Так, фосфати використовують одночасно як антипірени і пластифікатори. Наповнювачі можуть виконувати функції антиокислювача, пігменту, а також компонента, який підвищує непроникність матеріалу.

При виготовленні та застосуванні в будівництві пластмасових матеріалів, виробів та конструкцій потрібно брати до уваги те, що на стадії виготовлення та застосування деякі з них можуть мати **негативний вплив на навколишнє середовище**. Характер впливу синтетичних полімерів і пластмас на організм людини визначається їхньою хімічною будовою і фізико–хімічними властивостями. Різноманітні пластмаси і їхні низькомолекулярні леткі домішки, впливаючи на організм, можуть викликати будь–які біологічні реакції, в тому числі сенсibiliзуючого, мутагенного, канцерогенного та фіброгенного характеру.

Для існуючого асортименту пластмас, з урахуванням способів їх одержання і переробки, слід виділити окремі етапи виробництва (синтез полімерів, формування виробів та їх обробка), які потребують екологічного контролю.

Наприклад, на етапі синтезу полімерів основними причинами забруднення виробничого середовища шкідливими речовинами є періодичність процесів, відсутність комплексної механізації, дистанційного контролю і управління процесами, використання недосконалого обладнання, наявність ручних виробничих операцій, ручного відбору проб з необхідністю відкривання люків апаратів.

При цьому працівники можуть зазнавати комплексної (інгаляційна та через шкіру) дії незаполімеризованих вихідних продуктів синтезу смол (мономерів), побічних продуктів реакції поліконденсації (аміаку, хлористого водню), додаткових речовин (пластифікаторів, розчинників, каталізаторів тощо), які не вступають у міцний хімічний зв'язок з полімером, продуктів деполімеризації, смол (при ручних операціях).

Процеси формування виробів (екструзія, пресування, лиття під тиском тощо), при яких полімери піддають термічній обробці, характеризуються впливом на працівників складної суміші продуктів термоокислювальної деструкції. Поряд з такими продуктами при виготовленні виробів з пластмас у повітря виробничих приміщень можуть надходити і хімічні речовини, характерні для попереднього етапу технології.

Під час обробки виробів з пластмас (різання, шліфування, полірування) повітря виробничих приміщень забруднюється пилом та високодисперсними аерозолями.

Проектування і реалізація технологій виготовлення виробів з пластмас повинні передбачати необхідні правила охорони праці, техніки безпеки та заходи щодо захисту навколишнього середовища від забруднення.

10.4. Вплив високих температур на полімерні будівельні матеріали.

Одним з найслабкіших місць полімерів і пластмас як будівельних матеріалів є їх дуже низька стійкість до температурних дій. Здатність розм'якшуватися при нагріванні – властивість, яка зумовила високу технологічність переробки пластмас у виробі, тут виступає вже як недолік. Термостійкість різних полімерів різна. Наприклад, міцність поліметилметакрилату (оргскла) при 100°C знижується до нуля, кремнійорганічні полімери можуть зберігати значну частку початкової міцності при нагріванні вище 200°C. При пожежі, коли температура в об'ємі приміщення, що горить, вже через декілька хвилин підвищується до 500°C, такі відмінності мало істотні, і *говорити про вогнестійкість конструкцій, виконаних з яких-небудь полімерних будівельних матеріалів, в даний час, очевидно, немає підстав.*

Займистість, інтенсивність горіння, температури займання, самозаймання і спалаху, теплота згорання, здатність до димоутворення і термічного розкладання з виділенням токсичних продуктів характеризує пожежонебезпечні властивості будівельних матеріалів. Враховуючи ці характеристики, можна вважати, що полімери є в більшій або в меншій ступені пожежонебезпечними. Якщо порівнювати полімерні будівельні матеріали з таким традиційним горючим будівельним матеріалом, як деревина, то виявиться, що у більшості з них вище теплота згорання, димоутворююча здатність та інтенсивність горіння. Вони спалахують під впливом джерел тепла меншої потужності, мають менші температури займання. Багато видів полімерів під дією вогню розплавляються і розтікаються потоками, які горять, що в значній мірі ускладнює обстановку на пожежі.

Ще одним істотним недоліком полімерних будівельних матеріалів є те, що при термічному розкладанні і горінні вони виділяють токсичні продукти, здатні викликати подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів, порушення ритму дихання і параліч його, важке отруєння і смерть. Так, при піролізі поліетилену і пропилену виділяються складні суміші летких продуктів, що містять такі з'єднання, як формальдегід, ацетальдегід і ін. При розкладанні

фторопластів виділяються *фторфосген і фторхлорфосген*. Особливу небезпеку представляють продукти розкладання поліуретанових полімерів, у складі яких є велика кількість надзвичайно токсичного *ціаністого водню*. Поліуретанові полімери знайшли широке розповсюдження у вигляді пінополіуретану (поролону), що застосовується при виготовленні м'яких меблів.

Необхідно враховувати, що в початковій фазі пожежі, коли полімерні будівельні матеріали ще не горять, а тільки розкладаються під впливом високої температури, *продукти розкладання, що виділяються з них, значно токсичніші, ніж продукти горіння*.

10.5. Технічні рішення щодо зниження горючості полімерних будівельних матеріалів

Це питання доцільно розглянути на прикладах отримання вогнезахищених полімерних будівельних матеріалів, оскільки при їх розробці застосовують різноманітні методи: введення наповнювачів; введення антипіренів; хімічну модифікацію полімерів; вогнезахисні покриття.

Введення наповнювачів. Оскільки все полімери, як і інші органічні речовини, є горючими матеріалами, то знизити горючість зв'язаної ними композиції можна шляхом застосування негорючого (мінімального) наповнювача, який знижує вміст горючих компонентів, впливає на процес піролізу полімерів, змінює умови тепломасообміну при горінні. Горючість матеріалів значно знижується при великому вмісті високодисперсного мінерального наповнювача. Для виробництва вогнезахищених полімерних матеріалів використовують наповнювачі, що проявляють вогнегасні властивості: гідроксид алюмінію, гідрокарбонати кальцію і магнію, воду. Наприклад, пресматеріали на основі полієфіракрилатів з рівномірно розподіленими по всій масі дрібними крапельками, води або ті, що містять змочений водою мінеральний наповнювач, володіють не лише низькою горючістю, але і високою теплостійкістю і стійкістю до спалахування при підвищених температурах.

Слід мати на увазі, що в деяких випадках швидкість горіння ПБМ може зростати, наприклад при використанні скловолокна. Негативний ефект в цьому

випадку пояснюється вищою теплопровідністю скловолокно, відшаруванням в'язучого від волокна і, як наслідок, збільшенням площі поверхні контакту з киснем повітря.

Введення антипіренів. Найбільш поширеним, ефективним і економічним методом отримання вогнезахисних ПБМ є використання антипіренів – речовин, що знижують горючість. Антипірени діляться на два великі класи: механічно суміщені з полімерами і реактоздатні з'єднання, що включаються в процесі синтезу або переробки полімерних матеріалів в молекулярну структуру полімеру. В даний час існує декілька гіпотез, які пояснюють зниження горючості полімерних матеріалів у присутності антипіренів. Відповідно до цих гіпотез антипірени можна умовно розділити за механізмом їх дії на наступні групи:

- ті, що розкладаються з виділенням негорючих газів (горіння сповільнюється унаслідок підвищення нижньої концентраційної межі займання і зниження температури полум'я унаслідок розбавлення горючих продуктів піролізу негорючими);

- галоїдомістки, дія яких заснована на інгібуванні радикальних ланцюгових процесів в газовій фазі;

- ті, що утворюють захисні плівки і сприяють підвищенню коксоутворення (горючість ПБМ знижується унаслідок уповільнення тепло – і масообміну між полум'ям і поверхнею матеріалу).

Антипірени повинні задовольняти наступним вимогам: володіти високою ефективністю вогнегасної дії, добре поєднуватися з полімерами, не погіршувати фізико–механічні властивості ПБМ, а також бути нетоксичними, достатньо доступними і не надто дорогими.

Особливе положення займають речовини, які власне не є антипіренами, але підсилюють їх дію. Це так звані *синергісти* (у перекладі з грецького що «разом діють»). Типовим представником цієї групи з'єднань є триоксид сурми.

Хімічна модифікація полімерів. Цей напрям прийнято рахувати найбільш перспективним. Застосування реакційноздатних антипіренів, в принципі, можна розглядати як хімічне модифікування полімерів, оскільки змінюються хімічна

будова і властивості макромолекул. Проте хімічна модифікація полімерів – ширше поняття, під яким розуміють модифікацію полімерів з метою підвищення їх термічною і термоокислювальною стабільності. У цьому аспекті проблема зниження горючості ПБМ тісно пов'язана з проблемою створення термостійких полімерів. Перспективним напрямом на шляху вирішення цієї проблеми є синтез полімерів з мінімальним змістом органічної частки, а також термостійких полімерів, що виділяють при розкладанні негорючі і нетоксичні продукти.

Вогнезахисні покриття. Також для вогнезахисту ПБМ можуть бути застосовані покриття для вогнезахисної обробки дерев'яних конструкцій, але в більшості випадків це недоцільно з тієї причини, що це привело б до невиправданого погіршення декоративних якостей поверхонь, що захищаються. Частіш за все такі покриття застосовуються для вогнезахисту деревно–стружкових і деревно–волокнистих плит, причому наносяться вони, як правило, в процесі виготовлення, оскільки для цього не потрібно змінювати технологічний процес виробництва. Проте технологія виготовлення вогнезахисних ДСП із застосуванням вермикуліту, який запресовують на лицьову поверхню плити, одночасно покращує декоративні якості.

Будівельна індустрія постійно поповнюється новими ефективними матеріалами і конструкціями, На жаль, володіючи цілим рядом переваг, вони дуже часто мають набагато гірші в порівнянні з традиційними матеріалами пожежонебезпечні характеристики.

Вирішити виникаючі в зв'язку з цим проблеми забезпечення пожежної безпеки об'єктів, що будуються, повсюдною заборонаю застосування тих або інших матеріалів і конструкцій не вдасться. Пожежна охорона повинна разом з іншими організаціями і службами активно шукати і упроваджувати технічні рішення щодо зниження пожежної небезпеки об'єктів, що зводяться із застосуванням нових ефективних матеріалів.

Питання для самоконтролю

1. Класифікація полімерних речовин та матеріалів на їхній основі.
- 2.. Конструкційні ПБМ.
3. Оздоблювальні ПБМ.
4. ПБМ для підлог.
5. Гідроізоляційні, покрівельні та герметизуючі ПБМ.
6. Теплоізоляційні ПБМ.
7. Полімерні вироби загальнотехнічного призначення.
8. Полімерні клеї.
9. Оцінка довговічності ПБМ. Окислювальна деструкція.
10. Оцінка довговічності ПБМ. Термічна, радіаційна та механічна деструкція.
11. Оцінка довговічності ПБМ. Біологічна та хімічна деструкції.
12. Методи гальмування старіння ПБМ.
13. Негативний вплив ПБМ на навколишнє середовище та людину.
14. Вплив високих температур на ПБМ.
15. Технічні рішення щодо зниження горючості ПБМ. Введення наповнювачів.
16. Технічні рішення щодо зниження горючості ПБМ. Введення антипіренів.
17. Технічні рішення щодо зниження горючості ПБМ. Хімічна модифікація полімерів.
18. Технічні рішення щодо зниження горючості ПБМ. Вогнезахисні покриття.

Задачі для самостійного розв'язування

1. Плита з пінополістиролу довжиною 2400 мм, шириною 1600 мм, товщиною 70 мм при середній густині у повітряно–сухому стані 60 кг/м^3

після витримування протягом 24 год у воді мала водопоглинання за об'ємом 5%. Визначити масу плити після витримки у воді.

2. Плита із пінопласту на основі полівінілхлориду має розміри $600 \times 600 \times 50$ мм. Середня густина 115 кг/м^3 . Водопоглинання за 24 год $0,25 \text{ кг/м}^2$. Розрахувати вологість плити після насичення її водою, загальну пористість і коефіцієнт насичення пор водою. Дійсна густина полівінілхлориду $1,40 \text{ г/см}^3$.

3. Блок із теплоізоляційної пластмаси–міпори має довжину 1000, ширину 500, висоту 300 мм і масу 3 кг. При його збереженні на відкритому повітрі 28 діб гігроскопічна вологість по масі склала 85%. Визначити теплопровідність вологої міпори, якщо теплопровідність її в сухому стані $0,029 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

4. До якої температури потрібно нагріти зразок матеріалу діаметром 250 мм і висотою 50 мм, теплопровідністю $0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, з його початковою температурою 20°C , щоб протягом 1 години через нього пройшло в напрямку, перпендикулярному до його поверхні, 20 кДж теплоти?

5. Спучений вермикуліт, перлітові і совелітові вироби при 0°C мають однакову теплопровідність – $0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Яку теплопровідність будуть мати ці матеріали при 500°C , якщо значення коефіцієнта β для них в залежності $\lambda_t = \lambda_o + \beta \cdot t_{cp}$ будуть відповідно $0,00027$; $0,00019$ і $0,00015$?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зенков Н.И. Строительные материалы и их поведение в условиях пожара. М., ВИПТШ, 1974.
2. Попов Л.Н. Строительные материалы и детали. М., Стройиздат, 1986.
3. Строительные материалы. Справочник. М., Стройиздат, 1989.
4. Соломотаев В.И., Бобрышев А.Н., Химлер Н.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М, Стройиздат, 1988.
5. Попов Л.Н. Лабораторный практикум по предмету "Строительные материалы и детали". М, Стройиздат, 1988.
6. Романенков И.Г., Зингерн–Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. М., Стройиздат, 1984.
7. Баратов А.Н. и др., Пожарная опасность строительных материалов. М., Стройиздат, 1988.
8. Горчаков Г.И. Строительные материалы. М., Высшая школа, 1981.
10. Баратов А.И. и др. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник. М, Химия. 1987.
11. Чехов А.П., Сергеев А.М. Справочник по бетонам и растворам. Киев, Будівельник, 1972.
12. Нациевский Ю.П., Хоменко В.П., Беглицов В.В. Справочник по строительным материалам и изделиям. Цемент, заполнители, бетон, силикаты, гипс. Киев, Будівельник, 1989.
13. Буга П.Г. Гражданские, промышленные и сельскохозяйственные здания. Москва, Высшая школа, 1983.
14. Микульский В.Г. Строительные материалы. Москва, ИАСВ, 2004.
15. Айрапетов Г.А. Строительные материалы. Ростов-на-Дону, Феникс, 2004.
16. А.Я. Корольченко, Д.В.Трушкин. Пожарная опасность строительных материалов, Москва, Изд. «Пожнаука», 2005.
17. Ю.И. Киреева. Строительные материалы, Минск, ООО "Новое знание", 2005 .

18. ДСТУ Б В. 1.1 - 4 - 98. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.
19. ДСТУ Б В. 1.1 - 2 - 97 [ГОСТ 30402 - 96]. Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість.
20. ДСТУ Б В.2.7 - 19 - 95 [ГОСТ 30244 - 94]. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість.
21. ДСТУ Б В.2.7 - 70-98 [ГОСТ 30444 - 97]. Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я.
22. ДБН В 1.1-7-2002 Пожежна небезпека об'єктів будівництва.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
РОЗДІЛ 1 БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ В СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ, СИСТЕМИ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ, ПОКАЗНИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТА ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ.....	4
1.1. Змісті задачі дисципліни.....	4
1.2. Застосування БМ у будівельних конструкціях.....	6
1.3. Класифікація будівельних матеріалів.....	7
1.4. Вогнестійкість будівельних конструкцій.....	10
1.5. Фізичні властивості матеріалів.....	11
1.6. Гідрофізичні властивості матеріалів.....	12
1.7. Теплофізичні властивості матеріалів.....	16
1.8. Акустичні властивості матеріалів.....	18
1.9. Радіаційні властивості матеріалів.....	18
1.10. Хімічні властивості матеріалів.....	21
1.11. Механічні властивості матеріалів.....	23
РОЗДІЛ 2 ПРИРОДНІ БУДІВЕЛЬНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ	29
2.1. Визначення і класифікація природних кам'яних матеріалів.....	29
2.2. Основні особливості використання та добування природних кам'яних матеріалів і виробів.....	30
2.3. Властивості природних кам'яних матеріалів.....	34
2.4. Характеристики деяких природних кам'яних матеріалів.....	34
2.5. Вплив високих температур на природні кам'яні матеріали.....	38
РОЗДІЛ 3 МЕТАЛИ	42
3.1. Визначення, використання в будівництві і класифікація металів.....	42
3.2. Основи технологій отримання чавуну та сталі.....	43
3.3. Властивості і маркування металевих сплавів.....	44

3.3.1. Властивості і маркування чавунів.....	44
3.3.2. Властивості і маркування сталей.....	45
3.3.3. Властивості і маркування кольорових металів, сплавів.....	50
3.4. Вплив високих температур на властивості металів.....	52
3.5. Вогнезахист металевих конструкцій.....	58
РОЗДІЛ 4 НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ	62
4.1. Визначення і класифікація неорганічних в'язучих матеріалів.....	62
4.2. Повітряні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів..	63
4.3. Гідравлічні в'язучі матеріали. Технологія виготовлення, вплив високих температур на властивості твердих будівельних розчинів.	67
РОЗДІЛ 5 БЕТОНИ	80
5.1. Визначення та особливості формування структури бетонів.....	80
5.2. Стандартизація та класифікація бетонів.....	81
5.3. Основні властивості і класифікація важких бетонів.....	82
5.4. Структура бетону.....	88
5.5. Легкі бетони.....	90
5.6. Спеціальні бетони.....	102
5.7. Технологія приготування бетону.....	110
5.8. Транспортування бетону та формування елементів конструкцій.....	114
5.9. Поведінка бетонів за умов пожежі.....	118
РОЗДІЛ 6 ЗАЛІЗОБЕТОН	126
6.1. Передумови розвитку залізобетонних конструкцій.	126
6.2. Класифікація залізобетонних конструкцій.....	127
6.3. Галузі застосування залізобетону.....	128
6.4. Особливості залізобетону, як будівельного матеріалу.....	129
6.5. Поведінка залізобетонних конструкцій за умов пожежі.....	133
РОЗДІЛ 7 СИЛІКАТНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ.....	139
7.1. Силікатні матеріали, визначення, основи технології виготовлення.	139

7.2. Силікатна цегла. Основні характеристики, технології виробництва та використання.....	140
7.3. Силікатний бетон. Основні характеристики, технології виробництва та використання.....	141
7.4. Поведінка силікатних матеріалів при дії високих температур.....	144
РОЗДІЛ 8 КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ.....	148
8.1. Визначення, сировина та історія створення і використання керамічних матеріалів та виробів.....	148
8.2. Головні критерії класифікації керамічних матеріалів.....	150
8.3. Особливості технології виготовлення керамічних виробів.....	154
8.4. Поведінка керамічних матеріалів при дії високих температур.....	157
РОЗДІЛ 9 МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ З ДЕРЕВИНИ	160
9.1. Деревина як природний органічний композиційний матеріал. Загальні відомості.....	160
9.2. Будова деревини. Макроструктура.....	161
9.3. Будова деревини. Мікроструктура.....	163
9.4. Основні промислові породи деревини.....	166
9.5. Основні властивості деревини.....	168
9.6. Вади деревини.....	172
9.7. Використання деревини в різних галузях економіки.....	177
9.8. Проблеми довговічності. Захист деревини від гниття.....	179
9.9. Поведінка деревини при нагріванні.....	180
9.10. Вогнезахист деревини.....	181
РОЗДІЛ 10 ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ	187
10.1. Класифікація полімерних речовин та матеріалів на їхній основі.....	187
10.2. Характеристика будівельних матеріалів на основі полімерних речовин.....	191
10.3. Оцінка довговічності. Проблеми екології виробництва та застосування полімерних матеріалів.....	202
10.4. Вплив високих температур на полімерні будівельні матеріали.....	209

10.5. Технічні рішення щодо зниження горючості полімерних будівельних матеріалів.....	210
Список рекомендованої літератури.....	215