

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**О. В. КОНДРАЩЕНКО**

**БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**  
**ДЛЯ СУЧАСНОГО БУДІВНИЦТВА**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2019**

УДК 691(075.8)

К64

*Автор*

**Кондращенко Олена Володимирівна**, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рецензенти:*

**Плугін Дмитро Аркадієвич**, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту;

**Толмачев Сергій Миколайович**, доктор технічних наук, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

*Рекомендовано до видання  
Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,  
(протокол № 14 від 02.07.2019)*

**Кондращенко О. В.**

К64 Будівельне матеріалознавство для сучасного будівництва : навч. посібник / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 208 с.

У посібнику наведено взаємозв'язок структури та властивостей будівельних матеріалів та основні відомості про традиційні та сучасні композиційні будівельні матеріали одержані за новітніми технологіями та показані сфери їх використання у будівництві.

Навчальний посібник призначено для бакалаврів, магістрів та пошукачів ступеня доктора філософії закладів вищої освіти будівельних факультетів та будівельних спеціальностей.

**УДК 691(075.8)**

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 КЛАСИФІКАЦІЯ, СТРУКТУРА ТА РІЗНОВИДИ КОМПОЗИЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	10
1.1 Класифікація сучасних будівельних матеріалів та виробів.....	10
1.2 Вимоги до вибору будівельних матеріалів.....	16
1.3 Особливості структури композиційних матеріалів.....	29
1.4 Методи оцінки складу й структури композиційних матеріалів.....	41
1.5 Різновиди сучасних композиційних матеріалів.....	54
2 БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ОДЕРЖАНІ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	60
2.1 Будівельна кераміка.....	61
2.2 Композиційні матеріали із мінеральних розплавів.....	71
2.2.1 Будівельне скло.....	71
2.2.2 Склокристалічні композити.....	75
2.3 Метали, сплави та вироби на їх основі.....	81
2.3.1 Чорні метали у сучасному будівництві.....	82
2.3.2 Кольорові метали та вироби з них.....	89
3 БЕЗВИПАЛЬНІ СУЧАСНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	93
3.1 Склад та властивості бетонів.....	93
3.1.1 Класифікація та характеристика заповнювачів.....	107
3.1.2 Додатки до бетонів.....	117
3.2 Види сучасних бетонів та їх властивості.....	126
4 БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ.....	140
4.1 Характеристика сухих будівельних сумішей.....	146
4.2 Композиційні матеріали «сухого» будівництва.....	152
5. ЛАКОФАРБОВІ СУЧАСНІ КОМПОЗИТИ.....	161
6. ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	173
6.1 Класифікація та характеристика полімерних матеріалів.....	173
6.2 Різновиди сучасних полімерних матеріалів.....	180
6.3 Клеєна деревина та сфери її використання.....	190
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	207

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КМ – композиційні матеріали

ПШТП – понадшвидкотверднучий цемент

ОШТП – швидкотверднучий високоміцний портландцемент

ПАР – поверхнево-активна речовина

ЛСТ – лігносульфонат кальцію

МК – мікрокремнезем

СП – суперпластифікатор

ПФМ – поліфункційний модифікатор

СБС – суха будівельна суміш

НЦ – напружувальний цемент

## ВСТУП

Ефективне функціонування підприємств будівельної індустрії багато в чому залежить від технічного рівня виробництва, процесу оновлення основних виробничих фондів і, як наслідок, від можливості створення конкурентоспроможної продукції на ринку будівельних матеріалів.

У процесі проектування будь-якого будівельного об'єкта необхідно визначитися з будівельними матеріалами. Насамперед, потрібно звертати увагу на те, скільки поверхів має будівля, бо від цього буде залежати вага всієї споруди. При виборі будівельних матеріалів потрібно враховувати їхні властивості та функції в конструктивному рішенні будівлі. Має значення клас будівлі за капітальністю, який регламентує вимоги до ступеня вогнестійкості й довговічності, що може обмежити їх застосування. Також враховуються вимоги, пов'язані з умовами експлуатації об'єкта – кліматом, вітровими, сейсмічними й іншими навантаженнями, можливістю хімічної та інших видів агресії, з температурно-вологісним режимом приміщень. Безумовно, вибір будівельних матеріалів пов'язаний і з економічними міркуваннями, з обов'язковим урахуванням місцевої будівельної бази тощо.

**Композиційні будівельні матеріали** – це багатофазні системи, що складаються з двох або більше мономатеріалів із різними властивостями. Унаслідок раціонального поєднання декількох вихідних компонентів утворюються нові матеріали із заданими властивостями, що не були притаманні вихідним компонентам, але зберегли індивідуальні особливості кожного з них.

**Мета** створення композиційних будівельних матеріалів – поліпшення тих чи інших властивостей (механічні, теплофізичні, хімічна стійкість, довговічність тощо), порівняно з такими властивостями вихідних компонентів, або зниження собівартості матеріалів, зокрема й шляхом застосування різних відходів.

Серед композиційних будівельних матеріалів можна виокремити розчини, бетони, залізобетон, кераміку, лакофарбові матеріали, склопластики та інші штучні багатокомпонентні матеріали.

Після того як сучасна фізика металів дала детальне пояснення причини їхньої пластичності, міцності та її збільшення, почалася інтенсивна систематична розробка нових матеріалів. Це шлях до створення матеріалів із міцністю, що у багато разів перевищує її значення у звичайних відомих сьогодні сплавів. При цьому велика увага буде приділятися вже відомим механізмам загартування сталі та старіння алюмінієвих сплавів, комбінацій цих відомих механізмів із процесами формування та численними можливостями створення комбінованих матеріалів. Два перспективних шляхи відкривають

комбіновані матеріали, посилені або волокнами, або дисперговані твердими частинками.

У перших у неорганічну металеву або органічну полімерну матрицю введені найтонші високоміцні волокна зі скла, вуглецю, бору, берилію, сталі або ниткоподібні монокристали. Унаслідок такого комбінування максимальна міцність поєднується з високим модулем пружності й невеликою густиною.

Композиційний матеріал – конструкційний (металевий або неметалевий) матеріал, у якому є підсилюючі його елементи у вигляді ниток, волокон або пластівців міцнішого матеріалу. Приклади композиційних матеріалів: пластик, армований борними, вуглецевими, скляними волокнами, джгутами або тканинами на їх основі; алюміній, армований нитками сталі, берилію.

Комбінуючи об'ємний вміст компонентів, можна отримувати композиційні матеріали з необхідними значеннями міцності, жароміцності, модуля пружності, абразивної стійкості, а також створювати композиції з необхідними магнітними, діелектричними, радіопоглинальними й іншими спеціальними властивостями.

За структурою композити поділяють на кілька основних класів: волокнисті, шаруваті, дисперснозміцнені, зміцнені частинками та наноккомпозити.

Волокнисті композити армовані волокнами або ниткоподібними кристалами – цеглини з соломою та пап'є-маше можна віднести якраз до цього класу композитів. Вже невеликий вміст наповнювача в композитах такого типу призводить до появи якісно нових механічних властивостей матеріалу. Широко варіювати властивості матеріалу дає змогу також зміна орієнтації розміру й концентрації волокон. Крім того, армування волокнами додає матеріалу анізотропію властивостей (відмінність властивостей у різних напрямках), а шляхом додавання волокон провідників можна додати матеріалу електропровідність уздовж заданої осі.

У шаруватих композиційних матеріалах матриця та наповнювач розташовані шарами, як, наприклад, в особливо міцному склі, армованому декількома шарами полімерних плівок або клеєна деревина (фанера, клеєний брус тощо).

Мікроструктура інших класів композиційних матеріалів характеризується тим, що матрицю наповнюють частками армувальної речовини, а розрізняються вони розмірами частинок. У композитах, зміцнених частинками, їхній розмір перевищує 1 мкм, а вміст становить 20–25 % (за обсягом), тоді як дисперснозміцнені композити вміщують від 1 % до 15 % (за обсягом) частинок розміром від 0,01 мкм до 0,1 мкм. Розміри частинок, що входять до складу

нанокомпозитів – нового класу композиційних матеріалів – ще менше та становлять 10–100 нм.

За характером розподілу армувального матеріалу композити можна розподілити на два основні класи:

- композити з упорядкованим армуванням;
- композити з неврегульованим армуванням.

У першому випадку розробник матеріалу заздалегідь задається конфігурацією, тобто геометричною структурою розподілу арматури в матриці. У другому випадку розподіл арматури має випадковий, хаотичний характер.

Композиційні матеріали обох класів можна розподілити ще на кшталт матеріалів, використовуваних як матриці, і армувальних матеріалів. І ті, й інші матеріали можуть бути:

- а) полімерами;
- б) керамікою;
- в) металами.

Зрозуміло, армування короткими волокнами й частинками іншої форми гірше, ніж армування довгими безперервними волокнами. У разі використання довгих волокон виникає явище синергізму.

Синергетика – це наука, що вивчає саморегуляцію в системах з внутрішніми зворотними зв'язками. У разі композита – це вплив волокна на матрицю та матриці на волокно. При розтягуванні пучка волокон без матриці розрив волокна зменшує їхню кількість, і питоме навантаження на решту волокна збільшується. Якщо волокна містяться в пружній або пластичній матриці, то при розриві волокна його частинки у разі розтягування витягуються з матриці. Пружна деформація матриці, або її пластична плинність здавлює розірвані частини волокна, і воно ще якоюсь мірою продовжує діяти подібно коротким волокнам.

Отже, головна мета побудови конструкційного композита – збереження міцності волокон у його матриці.

#### *Принципи вибору матеріалів матриць і волокон*

Одна з вимог, яку висувають до матеріалу матриці, це її пластичність. Але головним є забезпечення працездатності в області високих температур, для яких призначений композит. Для виготовлення композитів, які працюють в області температур до 200 °С, застосовують полімерні матриці. Саме до цієї групи належить більшість композитів.

1. Склопластик – короткі скляні волокна в матриці з поліефірної смоли. Цей композит застосовується для виготовлення корпусів автомобілів, човнів, різних побутових приладів.

2. Термореактивні пластики – полімери, в яких поперечні зв'язки між ланцюгами утворюють молекулярну структуру з жорсткою тривимірної сіткою. «Зшивання» зв'язків у поперечному напрямку забезпечує більш високу термостійкість. Такими полімерами є епоксидні смоли, але останнім часом стали використовувати полімерні смоли, що витримують нагрівання до 350 °С.

Для більш високих температур застосовуються металеві матриці. При цьому розробникам доводиться зважати на велику масу деталей із композита, навіть якщо застосовувати метали з малою густиною – алюміній, магній, титан.

Матеріал, крім теплостійкості, має й міцність, яку доповнює міцність волокон, а пластичність металу надає композиту в'язкість. Нарешті, для дуже високих температур застосовують керамічні матриці. Недоліки кераміки – відсутність пластичності, волокна якраз і гальмують поширення тріщин у кераміці.

Композиційні матеріали стали невід'ємною частиною цієї сфери, зараз вже важко уявити масштабні будівельні роботи без використання композитів. Сійкі, легкі й міцні, вони мають значні переваги перед природними матеріалами.

Існують різні типи композиційних матеріалів, вони розрізняються за своїм складом і властивостями. Найпоширеніші в будівництві, наприклад, такі види, як сендвіч-панелі, вуглепластикові панелі, шаруваті матеріали, текстоліти, склопластики. Усі вони мають високі експлуатаційні характеристики й декоративний ефект.

Композити застосовують не тільки для зведення житлових об'єктів. Важко уявити міст або греблю, де б не використовувалися вуглепластикові панелі. Різні архітектурні елементи, такі як арки або купола, теж часто створюють із композиційних матеріалів. Це вигідно для забудовників, оскільки забезпечує їм значну економію на зведенні конструкцій, монтажі, зберіганні та перевезенні матеріалу, і при цьому надійність, якість та інші експлуатаційні характеристики майбутньої будівлі не страждають.

Дизайнери використовують композити в моделізмі. З такими матеріалами можна створювати дійсно незвичайні архітектурні споруди, які будуть ще й надійними й довговічними.

Переваги використання композиційних матеріалів:

- зниження собівартості конструкцій та виробів;
- збільшення міцності й механічних характеристик;
- збільшення терміну експлуатації;
- зменшення маси матеріалу;



– висока стійкість до дії агресивного середовища, їх можна використовувати для зовнішніх конструкцій, відкритих впливу сонячних променів, опадів і різкої зміни температур.

– хімічна стійкість;

– пожежобезпечні (завдяки новим технологіям, сучасні композити не дозволяють полум'ю поширюватися, практично не димлять і не виділяють небезпечних отруйних речовин).

Завдяки цим перевагам, композитні матеріали все більше застосовуються.

Але у композитів є не тільки переваги, а й недоліки, які стримують їх поширення на будівельному ринку:

– висока вартість – основна проблема композиційних матеріалів. Для їх виготовлення необхідно спеціальна сировина й сучасне обладнання;

– матеріали є гігроскопічними, що приводить до руйнування, тому їх необхідно додатково обробляти вологостійкими захисними засобами;

– деякі композиційні матеріали мають низьку ремонтпридатність, що підвищує вартість їх експлуатації.

Тому використання композитів залежить від конкретних цілей, умов, загального бюджету. Сучасні технології дають змогу винаходити нові форми і види таких матеріалів, тому в майбутньому вони набудуть ще більше поліпшених характеристик.

# І КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВИМОГИ ДО ВИБОРУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1 Класифікація сучасних будівельних матеріалів та виробів

Передумови становлення, стан та перспективи розвитку будівельного матеріалознавства (далі БМ) складаються з чотирьох умовних етапів, які визначаються змінами в розвитку суспільства. На сьогодні ми перебуваємо в кінці III-го етапу, що визначається науково-технічною революцією XIX-XX ст., так званий постіндустріальний період, і стоїмо біля витоків IV-го етапу – інформаційних технологій, початок якого припадає приблизно на 2010 р.

Щоб дати класифікацію будівельних матеріалів, потрібно розглянути як об'єкти багатоповерховий житловий будинок (рис. 1.1) і одноповерхову промислову будівлю (рис. 1.2) [1].

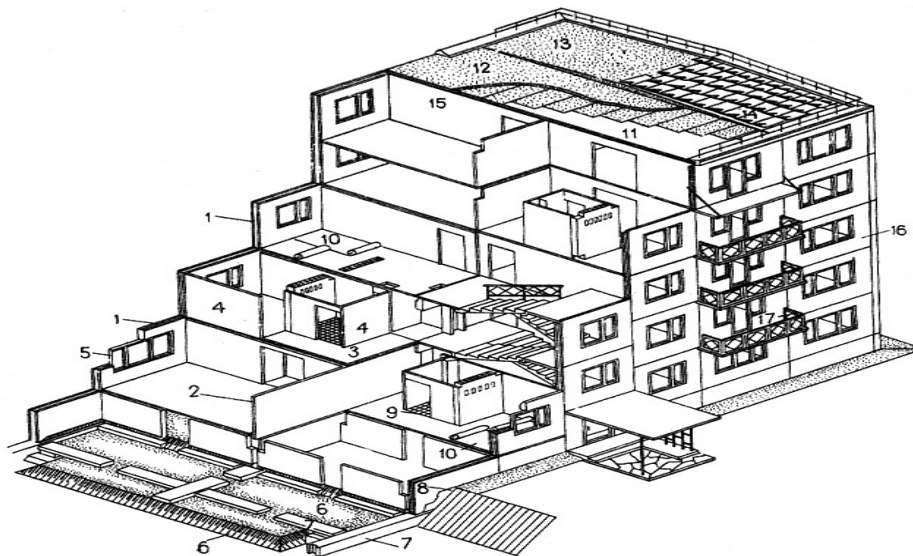


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема багатоповерхового житлового будинку з переліком виробів та матеріалів:

1 – зовнішня несуча стіна (легкий бетон); 2 – та сама внутрішня (важкий бетон); 3 – міжповерхове перекриття (попередньо-напружений залізобетон); 4 – перегородка (гіпсобетон); 5 – віконний блок (дерево, полімер); 6 – основа (піщаний ґрунт); 7 – фундамент (залізобетон); 8 – гідроізоляція (бітумна мастика); 9, 10 – покриття підлог (керамічна плитка та теплозвукоізоляційний лінолеум); 11 – пароізоляція (полімерна плівка); 12 – теплоізоляція (мінеральна вата); 13 – стяжка (цементний розчин); 14 – м'яка покрівля (руберойд); 15 – внутрішнє оздоблення стін (паперові шпалери); 16 – те саме зовнішнє (кремнійорганічна фарба); 17 – огорожа балкона (листовий азбестоцемент)

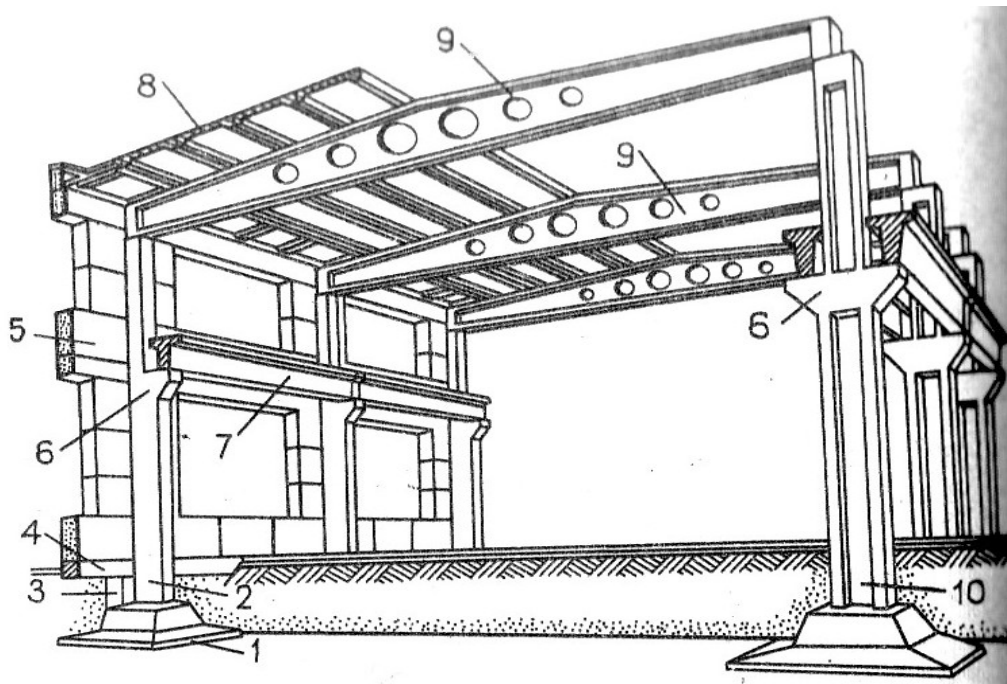


Рисунок 1.2 – Фрагмент одноповерхової промислової будівлі з каркасом зі збірних залізобетонних виробів:

- 1 – фундаменти під колони; 2 – колони зовнішнього ряду; 3 – підкладка;  
 4 – фундаментна балка; 5 – стінові панелі; 6 – консолі колон; 7 – підкранова балка; 8 – плити покриття; 9 – балки покриття; 10 – внутрішні колони

Щоб вибір матеріалів зробити доступнішим, використовують їх класифікацію. Класифікація – система супідрядних понять, які використовуються як засіб для встановлення зв'язків між цими поняттями та класами об'єктів, що визначає місце об'єкта в системі, яке вказує на його властивості.

Існують поняття *матеріал*, *виріб* та *конструкція*. Їх потрібно відрізнити та грамотно застосовувати. Під *виробом* мають на увазі все, що при застосуванні в будівництві не змінює початкової геометричної форми, інакше це буде *матеріал*.

Простий *виріб* у низці випадків називають *конструкцією*, а складний (що складається із одного, але унікального виробу або безлічі, але простих) – *будівлею* або *спорудою*. Для отримання будівельних матеріалів і виробів використовують сировину (синонім – сировинні матеріали) і напівфабрикати – продукція інших виробництв.

На сьогодні відсутня загально визнана (подібно до таблиці Менделєєва) класифікація будівельних матеріалів, яку доцільно проводити залежно від поставленої мети. Зручно поділяти всі матеріали та вироби, одержувані на їх основі, за двома ознаками – за походженням і призначенням.

Класифікація будівельних матеріалів за походженням наведена на рисунку 1.3. За походженням будівельні матеріали поділяють на природні та штучні.

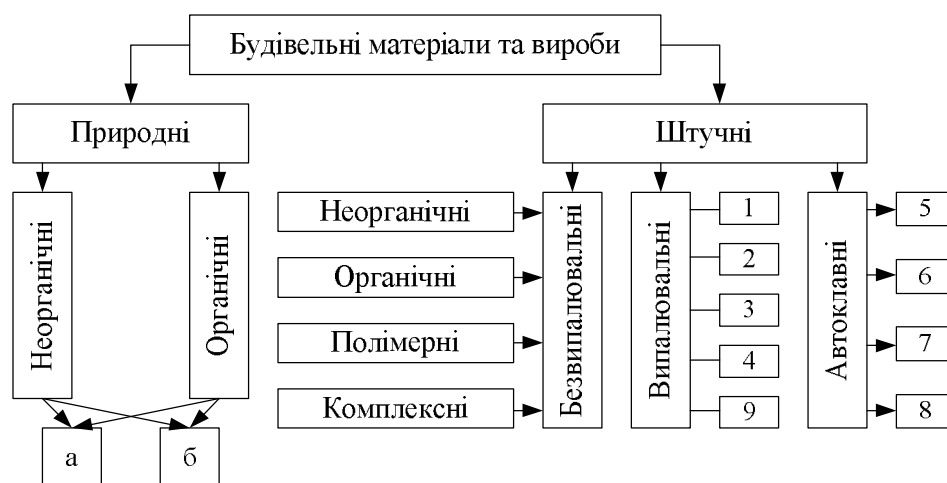


Рисунок 1.3 – Схема класифікації будівельних матеріалів за походженням:  
 1 – кераміка; 2 – скло; 3 – шлаки; 4 – кам’яні розплави; 5 – цегла; 6 – бетони;  
 7 – азбестоцементні вироби; 8 – інші вироби; 9 – футеровочні матеріали  
 а – матеріали; б – вироби

Природні матеріали утворюються в природних умовах і їх отримують безпосередньо із земних надр і лісових масивів у готовому вигляді (наприклад, природні бітуми й асфальти, очерет, солома тощо), шляхом зміни стану (наприклад, шляхом дроблення отримують щебінь, деревну тріску) або наданням раціональних розмірів (наприклад, пилянням – камінь, дошки). При цьому зберігаються їхня початкова будова та хімічний склад.

Штучні отримують із природної сировини шляхом цілеспрямованої зміни їх первісного будови та складу.

Будівельні вироби як природного, так і штучного походження можуть бути неорганічними й органічними.

Неорганічні матеріали – це сполуки, що утворюються всіма хімічними елементами за винятком органічних сполук вуглецю.

Органічні матеріали – це більшість хімічних сполук вуглецю з іншими елементами, переважно воднем.

Полімерами (органічними й неорганічними) називаються речовини з великою молекулярною масою ( $\geq 10^4$ ), у яких молекули складаються з однакових груп атомів – ланок.

Крім того, залежно від температурної обробки матеріали поділяють так:

– безвипалювальні ( $t \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 \text{ атм}$ ) і автоклавні ( $100 < t \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P > 1 \text{ атм}$ ) – їх затвердіння відбувається внаслідок фізико-хімічних перетворень в'язучого;

– випалювальні, які отримують видаленням хімічно зв'язаної води ( $200 < t \leq 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 \text{ атм}$ ) або в процесі охолодження рідких розплавів ( $t > 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 \text{ атм}$ ).

За призначенням будівельні матеріали підрозділяються на конструкційні, конструкційно-оздоблювальні та оздоблювальні (рис. 1.4) [1].



Рисунок 1.4 – Класифікація будівельних матеріалів за призначенням

Класифікація архітектурно-будівельних функцій сучасних будівельних матеріалів та виробів на їх основі наведена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Класифікація архітектурно-будівельних функцій виробів

Наведені вимоги поділяються на три групи: функціональні, естетичні й економічні.

Зі свого боку серед *функціональних* можна виокремити групи:

- загально-будівельні вимоги (визначаються зручністю транспортування, зберігання, технологічністю застосування тощо);
- експлуатаційні вимоги (визначають придатність виробів до застосування в конкретних умовах експлуатації);
- санітарно-гігієнічні вимоги (визначаються насамперед екологічністю як у нормальних, так і екстремальних умовах експлуатації, наприклад, під час пожежі).

*Естетичні* вимоги висувають до форми, кольору, малюнку й фактури поверхні виробів, які також визначаються їхнім призначенням і сферою застосування. Дотримання таких вимог дає змогу гармонійно виконати інтер'єр, створити в ньому сприятливі світлотехнічні умови для відпочинку та роботи.

*Економічні* вимоги визначають техніко-економічну ефективність розробки, виробництва та застосування тих чи інших будівельних виробів. У проектній практиці головним документом, який регламентує економічний аспект є кошторис, що складається за архітектурно-будівельним проектом. Кошторис є невід'ємним документом будь-якого бізнес-плану на будівництво того чи іншого об'єкта.

*Технічний* аспект – визначається довговічністю будівельних об'єктів, що залежить від стійкості будівельних матеріалів, що застосовуються в конкретних умовах експлуатації (до дії вологи, низьких температур, вогню тощо). Необхідно призначати раціональні показники стійкості – властивостей матеріалів та виробів, бо їх зниження призведе згодом до витрат на ремонт будівельних об'єктів, а завищення – до невиправданих витрат на їх виготовлення.

Під довговічністю розуміють властивість будівельного об'єкта (будівлі, споруди або їхніх окремих елементів) зберігати працездатність при встановленій системі технічного обслуговування й ремонтів до настання граничного стану, після якого подальша його експлуатація вже неможлива або економічно недоцільна .

Варто пам'ятати, що довговічність пов'язана з об'єктом, а не з окремим матеріалом. Принципова різниця полягає в тому, що об'єкт експлуатується в різних, зазвичай, нестаціонарних умовах, а матеріал піддається дії строго регламентованих впливів, обумовлених стандартами на методи випробування (ДСТУ і ТУ).

Тому матеріал характеризується стійкістю до будь-яких окремих впливів – вологи, морозу, тепла тощо, і характеризується матеріал своїми

властивостями, такими як вологостійкість, морозостійкість, вогнестійкість тощо.

Показником довговічності є термін служби в роках від початку експлуатації будівельного об'єкта (з урахуванням ремонтів) до настання його граничного стану. Тому Будівельне матеріалознавство вивчає саме властивості матеріалів і виробів, а властивості конструкцій і споруд вивчаються іншими дисциплінами.

Властивість – характеристика матеріалу (виробу), що виявляється в процесі його переробки, застосування або експлуатації. Властивості матеріалу (виробу) поділяють так:

- прості (вони не підлягають подальшому дробленню на ще більш прості, наприклад, маса виробу, його довжина та ін.);
- складні (підлягають подальшому підрозділу на ще більш прості, наприклад, серед експлуатаційних властивостей можна вказати не тільки ряд фізичних властивостей, але і кольорову гаму).

Важливо також розрізняти такі поняття, як:

- *якість* – є сукупністю всіх функціональних і естетичних властивостей матеріалу (виробу), які обумовлюють його здатність задовольняти певним вимогам відповідно до його призначення;
- *інтегральна якість* – найскладніша властивість матеріалу (виробу), яка визначається сукупністю його якості та економічністю.

Наведені поняття дозволяють якість будь-якого матеріалу або виробу, що характеризуються сукупністю окремих властивостей, подати у вигляді багаторівневої структури (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Структура властивостей матеріалів та виробів

Рівні узагальнення властивостей матеріалів (виробів)			
Якість	Функціональність	Технологічність	Способи обробки, ергономічність
		Експлуатаційна зручність	
		Надійність	
	Естетичність	Естетичність самого матеріалу	Форма, пропорції, колір, рисунок, текстура
		Естетична сумісність із іншими матеріалами	
		Естетична сумісність із докільям	
	Економічність		Доцільність

Галузь виробництва будівельних матеріалів та виробів не є відокремленою галуззю знань, а перебуває в тісному зв'язку з соціально-економічним рівнем суспільного ладу, ступенем розвитку науки, техніки, архітектури й фундаментальної науки (рис. 1.6) [1].

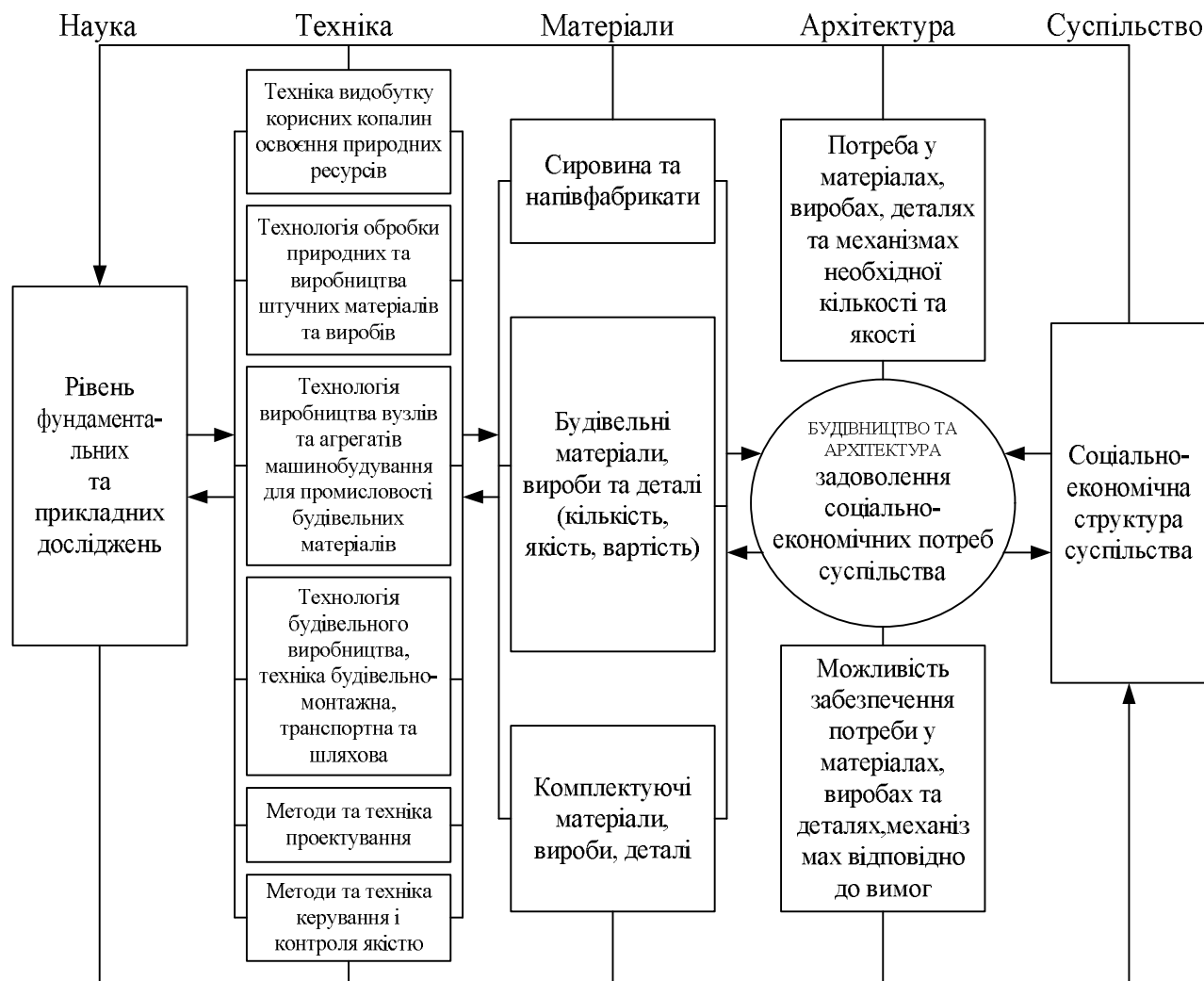


Рисунок 1.6 – Блок-схема взаємозв'язку будівельних матеріалів та виробів з наукою, технікою, архітектурою та суспільством

## 1.2 Вимоги до вибору будівельних матеріалів

Властивості будівельних виробів визначають сферу їх застосування, однак умови експлуатації будівель і споруд та навіть окремих приміщень, формують вимоги до застосовуваних матеріалів. У наслідок цього формується складний комплекс архітектурно-будівельних вимог, які висуває замовник (в особі архітектора).



### Фізичні властивості

*Густина* – властивість матеріалу, яка кількісно характеризує його масу стосовно його об'єму.

Густину пористих матеріалів  $\rho_0$  ще називають об'ємною масою, а сипких – насипною густиною. Крім того, для сипких і волокнистих матеріалів і виробів відношення об'єму порожнеч до загального об'єму матеріалу або виробу називають пустотністю. Приклади значень  $\rho$  і  $\rho_0$  для деяких будівельних матеріалів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення густини для деяких будівельних матеріалів

Матеріали	Істинна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Середня густина $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>
Граніт	2,65–2,8	2,65
Дуб	1,54	0,72
Смерека	1,54	0,46
Цегла (керамічна, щільна)	2,5–2,6	1,6–2,0
Будівельна сталь	7,86	7,86
Керамзит	2,5–2,6	0,4–0,6
Мінеральна вата	2,8	0,075–0,4
Пінопласт (міпора)	1,5	0,02–0,1

Ступінь заповнення об'єму матеріалу твердою речовиною називається *відносною густиною*  $d$ :

$$d = \rho_0 / \rho \quad (1.1)$$

Для щільних матеріалів  $d = 1$  (табл. 1.1).

За величиною  $r_{cp}$  пори поділяються так:

- а) мікрокапіляри з  $r_{cp} < 50$  (ангстрем =  $10^{-10}$  м);
- б) перехідні капіляри  $50 < r_{cp} \leq 1\ 000$ ;
- в) макрокапіляри  $1\ 000 < r_{cp} \leq 10\ 000$ ;
- г) некапілярні пори  $10\ 000 < r_{cp}$ .

Пори можуть заповнюватися водою, але за різних умов. Мікро- й близькі до них за розмірами перехідні капіляри можуть заповнюватися водою з вологи повітря, макро- й близькі до них за розмірами перехідні капіляри – при контакті з рідиною (під дією капілярного тиску), а некапілярні пори – тільки при зануренні матеріалу в рідину. Залежно до поведінки матеріалів до впливу води або вологи повітря розрізняють їхні такі властивості.

*Гігроскопічність* – здатність капілярно-пористого матеріалу поглинати водяні пари з вологого повітря. При цьому, на відміну від сухого стану (для

цього матеріал висушується при температурі  $\approx 105$  °С до постійної маси), матеріал буде перебувати в повітряно-сухому стані. Тому важливо знати наявність у структурі матеріалу мікро- та близьких до них за розмірами перехідних каплярів, які й визначають його гігроскопічну вологість.

Фізико-хімічний процес поглинання пористим матеріалом водяної пари з повітря називається сорбцією, а зворотній йому процес – десорбцією.

Величина *гігроскопічності* матеріалу ( $W_2$ ) дорівнює відношенню маси поглинутої вологи з повітря до маси сухого матеріалу (при даній температурі й вологості).

Максимальна величина  $W_2$  досягається при  $\varphi = 100$  %.

Чим вище мікрокапілярна пористість будівельних матеріалів, тим вище  $W_2$ . Підвищена гігроскопічність може значно погіршувати їхні властивості – знижувати міцність, підвищувати теплопровідність, але вона важлива для адсорбентів, призначених для зниження вологості повітря. Так, ця властивість була втілена в ідею водозабезпечення в пустелі шляхом сорбції папером вологи повітря вночі та її випаровуванням днем у замкненому просторі, наприклад, піраміді з прозорими стінками).

Міцність, теплопровідність і низка інших властивостей одного й того самого пористого матеріалу змінюються залежно від його вологості, що характеризує стан матеріалу.

Вологість матеріалу визначається вмістом у ньому вологи, стосовно до маси матеріалу в сухому стані. Вологість матеріалу  $W$  розраховують за формулою (%)

$$W = (m_2 - m_1 / m_1) \cdot 100, \quad (1.2)$$

де  $m_2$  – маса вологого зразка;  $m_1$  – маса сухого зразка.

Відомі й інші способи визначення вологості матеріалу, наприклад, шляхом вимірювання електроопору й електроємності вологого матеріалу.

*Водопоглинанням* називають здатність матеріалу поглинати й утримувати воду.

Об'ємне водопоглинання  $W_V$  характеризує інтегральну (уявну) пористість матеріалу  $\Pi_a$  і пов'язане з водопоглинанням за масою  $W_m$  залежно:

$$W_V = \rho_o W_m, \quad (1.3)$$

де  $\rho_o$  – середня густина матеріалу.

При зволоженні пористого матеріалу змінюються деякі його властивості і, насамперед, зменшується міцність. Ступінь зниження міцності матеріалу при граничному його водопоглинанні називається водостійкістю.

Водостійкість матеріалу чисельно характеризується коефіцієнтом розм'якшення  $K_{розм}$ , що визначається за формулою:

$$K_{розм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}, \quad (1.4)$$

де  $R_{нас}$  – межа міцності при стисненні матеріалу в насиченому стані;  $R_{сух}$  – межа міцності при стисненні сухого матеріалу.

Зниження міцності матеріалу при його зволоженні може бути спричинено: дією адсорбційно-активного середовища (ефект Ребіндера); розчиненням метастабільних контактів зрощення кристалів, із яких складний матеріал; набуханням складових компонентів матеріалу, наприклад, глинистих мінералів тощо.

Будівельні матеріали внаслідок відмінності в щільності, структурі, матеріальному складі характеризуються різною водостійкістю. Такі матеріали, як скло, фарфор, сталь, мають коефіцієнт розм'якшення, що дорівнює одиниці; деякі ж природні кам'яні матеріали, що містять у своєму складі значну кількість глини, можуть повністю руйнуватися при насиченні водою.

Водонепроникністю називають здатність матеріалу не пропускати через себе воду.

Підвищені вимоги щодо водонепроникності висуваються до матеріалів для гідротехнічних споруд, труб, резервуарів.

Щільні матеріали з відносною густиною  $d$ , близькою до одиниці, такі, як скло, сталь, фарфор, поліетилен тощо, практично водонепроникні. Тому їхня водонепроникність характеризується маркою за водонепроникністю W2, W4 тощо, у якій цифра показує, при якому тиску води в  $\text{кг}/\text{см}^2$  бетон залишається для неї непроникний. Наприклад, бетон марки за водонепроникністю W4 не пропускає воду при тиску 0,4 МПа.

Водопроникність нещільних матеріалів характеризують коефіцієнтом проникності (фільтрації), що визначається за формулою:

$$k_{np.} = \frac{B}{St(P_2 - P_1)}, \quad (1.5)$$

де  $B$  – кількість води, яка пройшла за одиницю часу  $t$  через одиницю площі зразка  $S$  при заданому перепаді тиску  $(P_1 - P_2)$ .

Фільтрація води через пористий матеріал зазвичай відбувається по наскрізним капілярам і пустотам. Водопроникність пористих матеріалів тим

вище, чим більше уявна пористість і крупніше капіляри. Водночас, якщо з часом спостерігається зменшення розмірів капілярів, наприклад, при твердінні бетону, то його водонепроникність підвищується.

Морозостійкість – це здатність матеріалу у водонасиченому стані витримувати необхідне за умовами довговічності або терміну служби споруди число циклів заморожування та відтавання.

Залежно від кількості циклів заморожування та відтавання  $n$ , які витримав матеріал, встановлюється його марка за морозостійкістю. Цикл випробування включає заморожування зразка, попередньо насиченого водою, в морозильній камері при температурі мінус 15–20 °С і подальше відтавання у воді кімнатної температури. Після певної кількості циклів заморожування та відтавання визначають зміна міцності матеріалу при стисненні:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{Мрз.}} - R_{\text{нас.}}}{R_{\text{нас.}}} 100 \quad (1.6)$$

і його маси:

$$\Delta m = \frac{m_{\text{Мрз.}} - m_{\text{нас.}}}{m_{\text{нас.}}} 100, \quad (1.7)$$

де  $R_{\text{Мрз}}$  і  $m_{\text{Мрз}}$  – міцність і маса зразків, які пройшли  $n$  циклів поперемінного заморожування та відтавання;  $R_{\text{нас}}$  і  $m_{\text{нас}}$  – міцність і маса зразків водонасичених зразків до заморожування.

При цьому допускається зниження міцності матеріалу не більше ніж на 15 % і втрата по масі не більше ніж на 5 %. При цьому потрібно зважати на те, що на результати, одержувані при визначенні морозостійкості одного й того самого матеріалу, істотно впливає швидкість промерзання, яка залежить від форми і розмірів зразків і температури в морозильній камері. Тому для отримання порівнянних результатів потрібно суворо дотримуватися вимог ДСТУ.

Напруження, що виникають при заморожуванні насиченого водою зразка, обумовлюються як одностороннім тиском зростаючих кристалів льоду в порах матеріалу, так і всебічним гідростатичним тиском води, що викликаний збільшенням об'єму при утворенні льоду приблизно на 9 %. Останнє пояснюється тим, що густина води дорівнює одиниці, а густина льоду 0,917 г/см<sup>3</sup>. Гідростатичний тиск при цьому може досягати 200 МПа.

Очевидно, що при повному заповненні всіх капілярів і пустот пористого матеріалу водою руйнування настане при першому ж циклі заморожування. Здатність пористих матеріалів у насиченому водою стані протистояти багаторазовому заморожуванню та відтаванню обумовлюється тим, що частина

порового простору матеріалу залишається не заповнена водою. У разі насичення пористого матеріалу шляхом занурення у воду переважно заповнюються макрокапіляри; мікрокапіляри при цьому заповнюються водою частково та слугують резервними порами, куди віджимається вода з макрокапілярів у процесі заморожування. Під час роботи пористого матеріалу в атмосферних умовах (у наземних конструкціях) водою заповнюються переважно мікрокапіляри за рахунок сорбції водяної пари з навколишнього повітря; великі ж пори й макрокапіляри є резервними, і в них віджимається вода при заморожуванні.

Отже, морозостійкість пористих матеріалів з однією й тією самою інтегральною (відкритою) пористістю визначається характером структурної пористості й умовами експлуатації конструкцій. Морозостійкість пористих матеріалів тим вище, чим менше їх водопоглинання і чим більша міцність при розтягуванні.

Термічні властивості матеріалу виявляються під впливом температурного чинника. До них належать *теплопровідність, теплоємність, термічна стійкість, жаростійкість, вогнестійкість, вогнетривкість*.

*Теплопровідність* – це здатність матеріалу передавати теплоту від однієї поверхні до іншої за наявності різниці температур на цих поверхнях.

Така здатність характеризується коефіцієнтом теплопровідності, який визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (1.8)$$

де  $Q$  – кількість тепла, Дж;  $\delta$  – товщина зразка, м;  $(t_1 - t_2)$  – різниця температур поверхонь, К;  $F$  – площа зразка, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – час, с.

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  – кількість тепла, яке проходить через зразок матеріалу товщиною 1 м, площею 1 м<sup>2</sup> за 1 с при різниці температур на протилежних сторонах зразка в один градус.

Значення теплопровідності залежать від ступеня пористості та характеру пір, структури, вологості, температури, а також від виду матеріалу.

Найбільший вплив на теплопровідність має пористість. З теплопровідністю пов'язана така важлива характеристика матеріалів, які використовують для зовнішніх огорожувальних конструкцій, як термічний опір  $R_\delta$ , який є величиною, зворотною  $\lambda$ :

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

де  $R_\delta$  – термічний опір одношарової огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $\delta$  – товщина матеріалу стіни, м;  $\lambda$  – теплопровідність матеріалу стіни, Вт/(м·К).

*Теплоємність* – це здатність матеріалу при нагріванні поглинати теплоту. Вона характеризується питомою теплоємністю (коефіцієнтом теплоємності), тобто кількістю теплоти, необхідної для нагрівання одиниці маси на 1 градус, Дж/(кг·К):

$$C = \frac{Q}{(t_2 - t_1)m}, \quad (1.10)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу, Дж;  $m$  – маса матеріалу, кг;  $t_2, t_1$  – відповідно кінцева і початкова температури нагрівання, К.

Теплоємність матеріалів має велике значення в тих випадках, коли потрібно враховувати акумуляцію теплоти огорожувальними конструкціями з метою збереження температури без різких коливань у приміщенні або в тепловому промисловому агрегаті при зміні теплового режиму.

Зі зволоженням питома теплоємність матеріалу збільшується, оскільки теплоємність води велика та становить 4,2 кДж/(кг·К).

*Теплостійкість* – це здатність матеріалу витримувати нагрівання до певної температури (нижче температури плавлення) без переходу в пластичний стан.

Деякі будівельні матеріали мають низьку теплостійкість. Наприклад, бітуми розм'якшуються при температурі 45–90 °С, а полімерні матеріали – при 80–180 °С.

Знання теплостійкості необхідно для визначення температурних режимів експлуатації будівельних матеріалів.

*Термічна стійкість* – це здатність матеріалу витримувати поперемінне нагрівання та охолодження без руйнування.

Вона залежить від ступеня однорідності матеріалу, його походження й величини температурного коефіцієнта лінійного розширення, до того ж, чим менше величина останнього, тим вище термічна стійкість матеріалу. Стійкими до різких змін температур повинні бути матеріали для футерування пічних агрегатів.

До термічно стійких матеріалів належать такі, як шамот, динас, базальт, клінкер. До термічно нестійких – кварц, граніт, скло.

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

Наприклад, для жаростійких бетонів цей інтервал температур становить 300–1 800 °С. До жаростійких матеріалів належать жаростійкий бетон, різні види вогнетривів.

*Вогнестійкість* – це здатність матеріалу витримувати без руйнування дію високих температур або вогню та води (під час пожежі).

За ступенем вогнестійкості будівельні матеріали поділяють на три групи: вогнетривкі, вогнестійкі й такі, що згорають.

*Вогнетривкі* – це матеріали, які під дією вогню або високих температур не горять, не тліють і не обвуглюються. Однак деякі вогнетривкі матеріали можуть значно деформуватися (сталь) або руйнуватися при розтріскуванні (кварцит, граніт та інші породи, які містять кварц). В останньому випадку руйнування відбувається в наслідок модифікаційних перетворень кварцу. До групи негорючих належать мінеральні матеріали.

*Важкоспалимі* – це матеріали, які під дією вогню або високих температур злегка спалахують, тліють або обвуглюються, а при усуненні джерела вогню ці процеси припиняються.

До вогнестійких матеріалів належать композити, які поєднують у собі мінеральні та органічні компоненти (гідроізол, фіброліт, асфальтобетон).

Спалимі – це матеріали, які під дією вогню або високої температури спалахують або тліють, і цей процес триває після усунення джерела вогню.

Зазвичай, це матеріали органічного походження, не просочені спеціальними захисними речовинами (деревина, бітуми, полімерні матеріали).

*Вогнетривкість* – це властивість матеріалу протистояти, чи не розплавляється, дії високих температур.

Вона характеризується температурою, під впливом якої випробовуваний зразок у вигляді усіченої тригранної піраміди (піроскопа) розм'якшується та деформується так, що його вершина торкається вогнетривкої підставки (рис. 1.7).

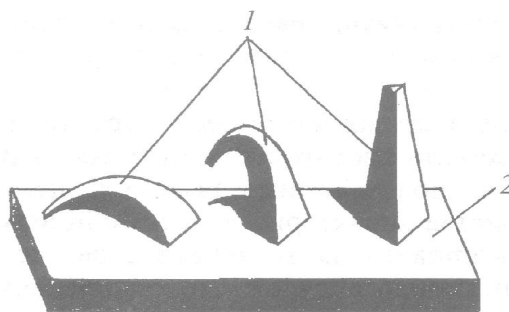


Рисунок 1.7 – Визначення температури плавлення матеріалів за допомогою піроскопа:

1 – піроскопи; 2 – вогнетривка підставка

За ступенем вогнетривкості матеріали поділяють на *власне вогнетривкі*, які витримують тривалу дію температури 1 580 °С і вище (наприклад, шамот,

динас, хромомагnezіт); *тугоплавкі*, які витримують температуру 1 350–1 580 °С; легкоплавкі – з вогнетривкістю менше 1 350 °С (наприклад, звичайна керамічна цегла).

Усі матеріали під дією температурного фактору в процесі експлуатації змінюють свої розміри (розширюються при нагріванні та стискаються при охолодженні). Відносне подовження матеріалу при нагріванні характеризується температурним коефіцієнтом лінійного розширення (далі ТКЛР),  $\alpha_p$ ,  $K^{-1}$ , що розраховується за формулою:

$$\alpha_p = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}, \quad (1.11)$$

де  $l_1$  і  $l_2$  – довжини зразка до й після нагрівання, м;  $t_2$ ,  $t_1$  – кінцева та початкова температури нагрівання, К.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення має важливе значення для тих матеріалів, які під час експлуатації зазнають нагрівання та охолодження. Оскільки деформації матеріалу в конструкціях при розширенні можуть бути досить значними, у спорудах великої протяжності (мости, рейки) потрібно передбачати деформаційні шви.

Для порівняння наведемо показники ТКЛР деяких будівельних матеріалів,  $K^{-1}$ : алюміній –  $25,5 \cdot 10^{-6}$ ; сталь –  $(11-11,9) \cdot 10^{-6}$ ; бетон –  $(10-14) \cdot 10^{-6}$ ; граніт –  $(8-10) \cdot 10^{-6}$ ; скло –  $(8,5-9,7) \cdot 10^{-6}$ .

Деяким силікатним матеріалам властива вогнева усадка – здатність змінювати свої розміри й об'єм в унаслідок спікання або оплавлення частинок під дією високих температур.

*Акустичні властивості* характеризують здатність матеріалу у визначений спосіб реагувати на вплив звукових хвиль різної частоти й сили.

При взаємодії з огорожувальною конструкцією звукова енергія частково відбивається від її поверхні, частково поглинається та частково проходить крізь неї. Співвідношення між окремими частинами звукової енергії визначається характером поверхні, а також ступенем пружності й масою матеріалу конструкції.

*Акустичними* називають будівельні матеріали, здатні поглинати звукову енергію, а також знижувати рівень сили й гучності звуків. Їх поділяють на *звукопоглинальні* та *звукоізоляційні*.

*Звукопоглинальні матеріали* здебільшого призначені для гасіння повітряного шуму, а *звукоізоляційні* – для послаблення ударного шуму при проходженні звукових хвиль крізь конструкцію.



Основною величиною, за якою оцінюють ефективність звукопоглинальних матеріалів, є коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha$ , який вираховується за формулою:

$$\alpha = E_{\text{погл.}} / E_{\text{пад}}, \quad (1.12)$$

де  $E_{\text{погл.}}$ ,  $E_{\text{пад}}$  – кількість відповідно поглиненої та падаючої на матеріал звукової енергії за одиницю часу.

За величиною цього коефіцієнта звукопоглинальні матеріали підрозділяють на три групи: I –  $\alpha > 0,81$ ; II –  $0,41 < \alpha < 0,8$ ; III –  $0,21 < \alpha < 0,4$ .

Найпоширенішими звукопоглинальними матеріалами є такі: мінераловатні плити ( $\alpha = 0,50\text{--}0,95$ ); піноскло ( $\alpha = 0,3\text{--}0,5$ ); деревоволокнисті плити ( $\alpha = 0,75\text{--}0,80$ ); фібролітові плити ( $\alpha = 0,45\text{--}0,50$ ); гіпсові перфоровані плити ( $\alpha = 0,9$ ).

Головною характеристикою, яка оцінює якість звукоізоляційних матеріалів, є величина динамічного модуля пружності  $E_d$ , Н/м<sup>2</sup>, чим менше цей показник, тим ефективніший матеріал.

Динамічний модуль пружності  $E_d$  визначається за ДСТУ В.2.7-183:2009 при поздовжніх коливаннях навантаженого зразка за величиною частоти коливань, при якій амплітуда прискорення (або швидкості, або зсуву) стає найбільшою (резонанс).

Для оцінки ефективності акустичних матеріалів для звукоізоляції внутрішніх огорожувальних конструкцій використовують також індекс ізоляції повітряного шуму огорожувальних конструкцій  $R_w$ , а також індекс наведеного рівня ударного шуму  $L_{nw}$  (для перекриттів), які виражаються в децибелах (дБ). Їхні нормовані значення наведені в ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013.

*Екологічні властивості* матеріалів характеризують ступінь їхнього впливу не тільки на навколишнє середовище, але й на живі організми.

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

Такими речовинами можуть бути фенольні сполуки, що містяться в дорожніх дьогтях, деревостружкових плитах, а також ксилол, ацетон, метанол, які використовують як розчинники в лакофарбових матеріалах. Полімерні будівельні матеріали під час пожежі виділяють отруйні речовини, наприклад, вироби з полівінілхлориду при згорянні виділяють діоксин, а вироби з поліетилену, поліпропілену, полістиролу – бензопірен.

Деякі будівельні матеріали не дозволяється використовувати, наприклад, у житлових приміщеннях і дошкільних установах. Зокрема, це стосується

матеріалів, виготовлених на основі синтетичних смол (полімерів), а також пігментів, які містять сполуки свинцю, міді, миш'яку, цинку.

Для екологічної оцінки якості будівельних матеріалів використовують гранично допустимі концентрації (далі ГДК) речовин, що забруднюють навколишнє середовище. Прийнято вважати, що якщо концентрації токсичних речовин, що виділяються матеріалом, не перевищують значень ГДК, то він є екологічно чистим.

Радіоактивність будівельних матеріалів обумовлена природними довгоживучими радіонуклідами, переважно радієм-226, торієм-232 і калієм-40. Ці радіоактивні елементи присутні практично у всіх гірських породах, які використовуються як мінеральна сировина для виготовлення більшості неорганічних будівельних матеріалів.

Головною характеристикою радіоактивності будівельних матеріалів є ефективна сумарна питома активність природних радіонуклідів (далі ПРН). Її величину  $A_{ef}$ , Бк/кг (Бк – одиниця, що характеризує 1 розпад радіонукліда в 1 с, була названа на честь французького фізика А. Беккереля – Беккерель), визначають як зважену суму питомої активності радію-226 ( $A_{Ra}$ ), торію-232 ( $A_{Th}$ ) і калію-40 ( $A_k$ ) за формулою:

$$A_{ef} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_k,$$

де 1,31 і 0,085 – відповідно розрахункові коефіцієнти активності торія-232 і калію-40 щодо радію-226.

За величиною сумарної питомої активності  $A_{ef}$  будівельні матеріали поділяють на класи, за якими визначають можливі сфери їх використання (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Класифікація будівельних матеріалів за величиною  $A$

Клас	$A_{ef}$ , Бк/кг	Сфери використання
I	Не більше 370	Для всіх видів будівництва без обмеження
II	370–740	Для об'єктів дорожнього та промислового будівництва
III	740–1350	Для об'єктів промислового призначення, де виключено перебування людей; дорожнього призначення за межами та в межах населених пунктів за умови покриття їх шаром ґрунту або іншого матеріалу завтовшки не менше 0,5 м

Будівельні об'єкти поділяють на дві категорії: обов'язкового і рекомендованого радіаційного контролю.

Обов'язковому радіаційному контролю підлягають деякі види матеріалів: природного походження (пісок, глина, гравій, крейда, сланці, технічна вода) і

штучного (наповнювачі всіх видів, зокрема щебінь; в'язучі речовини), арматура й конструкційна сталь; відходи промислового виробництва (зола, шлак, порожня порода тощо).

До об'єктів рекомендованого радіаційного контролю належать будівельні вироби й конструкції, оздоблювальні матеріали та вироби (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Середня радіоактивність будматеріалів

Будматеріал	Радіоактивність, Бк/кг
Деревина	1–3
Пісок, гіпс, гравій	20–35
Портландцемент	40–50
Граніт	100–200
Зола	300–400
Фосфогіпс	500–600
Металургійні шлаки	2 000 і більше

БЕР – біологічний еквівалент рентгена, тобто в берах вимірюється потужність випромінювання: один Бер – це випромінювання в 1 Дж на 1 кг живої тканини. Нижній рівень розвитку легкої форми променевої хвороби виникає при еквівалентній дозі опромінення приблизно 100 Бер.

Однак, як впливає з таблиці 1.4, найбільший вплив на організм людини надає не матеріал, а радон у повітрі будівель, особливо в підвалах і перших поверхах.

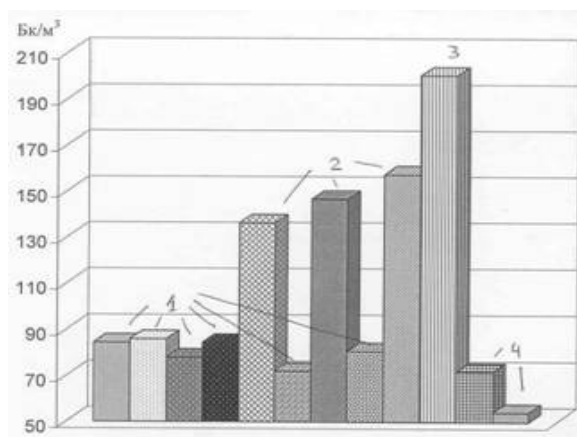


Рисунок 1.8 – Вимірювання рівня присутності радону в повітрі деяких житлових приміщень: 1 – квартири на других поверхах 5–9-типоверхових будинків; 2 – квартири на перших поверхах 5–9-типоверхових будинків; 3 – приватний житловий будинок із підвалом; 4 – квартира на другому поверсі без провітрювання (стовпчик зліва й після провітрювання 1 ч (стовпчик праворуч))

*Естетичні властивості* характеризують рівень художньої виразності матеріалу. Для більшості будівельних матеріалів естетичні властивості оцінюють за показниками їхньої декоративності, серед яких виокремлюють форму, колір, фактуру, малюнок, текстуру тощо.

Форма будівельного матеріалу та його лицьової поверхні характеризується геометричними параметрами та пропорціями.

*Форма* може бути представлена кубом, циліндром тощо, а в разі формоутворення в площині – квадратом, прямокутником, трикутником, колом тощо.

*Колір* матеріалу – зорове відчуття, що виникає під дією на сітківку ока людини електромагнітних коливань, відбитих від лицьової поверхні внаслідок дії світла.

Кольори поділяють на дві групи: ахроматичні (білі, чорні й сірі всіх відтінків) і хроматичні (червоні, помаранчеві, жовті, зелені, блакитні, сині, фіолетові з усіма проміжними відтінками).

*Фактура* будівельних матеріалів – видима будова поверхні, яку можна створити або змінити.

Фактура визначається характером рельєфу та блиском.

За характером рельєфу розрізняють гладкі, шорсткі (висота рельєфу до 5 мм) і рельєфні (висота рельєфу перевищує 5 мм) поверхні. За ступенем блиску розрізняють блискучі й матові фактури. При виборі фактури враховується комплекс чинників, зокрема колір матеріалу, його освітленість, відстань, з якого вона розглядається та ін.

*Малюнок* характеризує взаємне розташування елементів на лицьовій поверхні матеріалу.

Малюнок може бути обумовлений природою будівельного матеріалу або штучно створеним людиною. Якщо згадані елементи створила природа, то малюнок називають текстурою (особливості природної будови поверхні). Штучно створений малюнок включає фарбування поверхні, створення орнаменту, візерунка тощо.

Орнамент може бути геометричний, рослинний, слабо або чітко виражений, великий або дрібномасштабний. Малюнок (текстура), як і інші естетичні характеристики, впливає на своєрідність зовнішнього та внутрішнього оздоблення будівель і споруд та на формоутворення архітектурного середовища. Найчастіше естетичні властивості оцінюють візуально, зазвичай шляхом порівняння зразків досліджуваного матеріалу з затвердженими зразками.

*Технологічні* властивості характеризують здатність матеріалів до сприйняття певних технологічних операцій, що виконуються з метою зміни їхньої форми, розмірів, характеру поверхні, щільності і тощо.

Ці властивості проявляються в процесі виробництва та експлуатації матеріалів і виробів на їх основі. Технологічні властивості будівельних матеріалів оцінюють візуально або за допомогою спеціальних приладів і методів випробувань. До них належать здатність до формування, подрібнення, розпилювання, полірування, проходження цвяхів крізь матеріал та їх утримання при особливих умовах видалення тощо.

Так здатність до формування характеризує можливості матеріалу приймати певну форму внаслідок різних механічних впливів (вібрація, пресування, видавлювання, прокатування).

*Подрібнюваність* – здатність матеріалу до диспергації внаслідок механічної дії переважно ударних навантажень, що призводять до утворення зернистого матеріалу у вигляді щебеню та піску.

*Розпилювання* – здатність матеріалу розпилюватися без істотного порушення структури. Прикладами матеріалів, які розпилюються, є деревина й вироби з неї, м'які гірські породи і тощо.

*Поліруємість* – здатність матеріалу при обробці абразивами набувати гладку блискучу поверхню, що значно покращує його декоративні властивості.

Найчастіше поліруються природні кам'яні матеріали (мармур, граніт, кварцит тощо) при виготовленні виробів для оздоблення.

### **1.3 Особливості структури композиційних матеріалів**

Фахівці, що розробляють сучасні технології для створення композиційних будівельних матеріалів, з обліком всіх технічних переваг, які дає наукова база теоретичного й комп'ютерного матеріалознавства, дотримуються відомої концепції «рівномірного або постійного розвитку». Ця концепція передбачає поєднання економічних, екологічних, соціальних і ергономічних аспектів життєдіяльності людства й функціонування виробництва, зокрема [2]:

- енергозбереження на всіх етапах виготовлення й застосування матеріалу;
- можливість рециркуляції й реновації (відновлення матеріалу);
- повторне використання компонентів, які входять до складу матеріалу;
- екологічність заради збереження довкілля;
- безпеку матеріалів і технологій для здоров'я людини;
- комфортність застосування та висока якість матеріалу.

Дотримання цих принципів забезпечує постійний розвиток науки й технології, вирішення екологічних питань і є гарантом існування та прогресивного розвитку людства.

Структуру композиційних матеріалів можна визначити як певне розміщення в просторі окремих структурних елементів (кристалів-новоутворень, пор, наповнювачів і заповнювачів) відповідно до їхнього кількісного співвідношення й характеру взаємодії між ними. Цілісність композита та його властивостей забезпечують завдяки взаємодії складників його структурних елементів різного масштабного рівня.

При аналізі структур будівельних матеріалів відповідно до масштабного фактору, їх умовно розподіляють на мікро-, мезо- й макроструктури. Структурними елементами можуть бути атоми, іони, молекули, тверді часточки різних розмірів (дисперсності), агрегати частинок, пори, тобто порожнечі між часточками, заповнені рідкою або газоподібною фазою.

Частинки – це найменші кількості речовини, які можна одержувати механічним шляхом (шляхом диспергування) або фізико-хімічними засобами. Агрегати часточок утворюються внаслідок їхнього злипання, зокрема зі зростанням дисперсності й збільшенням поверхневої енергії, а також зрощування, наприклад, у процесі кристалізації.

Структуру матеріалів, зокрема й композиційних, їхні загальні ознаки й особливості можна розглядати на різних рівнях, залежно від розмірів структурних елементів ( $l$ ). Виокремлюють чотири рівні структури будівельних матеріалів:

- атомно-молекулярний ( $l < 10^{-9}$  м);
- субмікроскопічний ( $l = 10^{-9} \dots 10^{-7}$  м);
- мікроскопічний ( $l = 10^{-7} \dots 10^{-4}$  м);
- макроскопічний ( $l > 10^{-4}$  м).

На **атомно-молекулярному рівні** вивчають:

– для кристалічних матеріалів – особливості будови елементарних осередків;

– для аморфних – особливості агрегатів молекул, атомів або іонів, які не утворюють упорядковані ґрати.

Найстійкішою є кристалічна структура, оскільки енергія матеріалу при цьому мінімальна. Енергія іонних кристалічних ґрат дорівнює сумі енергій окремих іонів, що її становлять (за О. Є. Ферманом).

Елементарні осередки кристалів поділяють на примітивні й складні. У примітивних осередках на всіх вершинах ґратки розташовані іони або атоми. У складних елементарних осередках розташовані ще й додаткові іони або атоми на середині ребер або граней. Теорію побудови просторових ґрат кристалів у

1890 р. заснував Є. З. Федоров, він установив 230 варіантів комбінацій у просторі елементів симетрії просторових ґрат або груп.

Мінерали, що входять до складу будівельних матеріалів, утворюють певні типи кристалічних ґрат, установлення параметрів яких – один із головних шляхів їхньої ідентифікації (рис. 1.9).

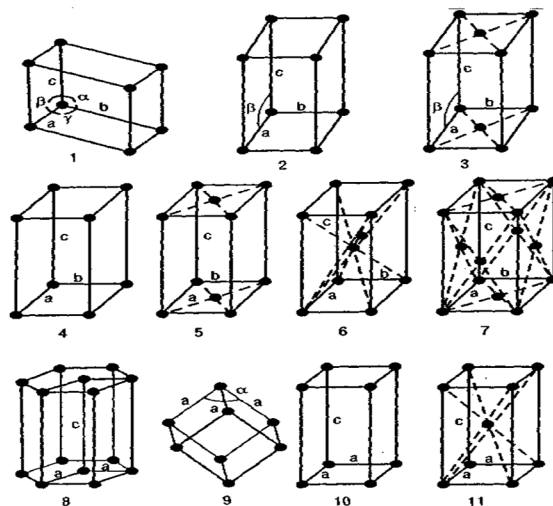


Рисунок 1.9 – Види елементарних осередків

Існують певні характеристики елементарних осередків, так відстані між центрами сусідніх атомів в елементарному осередку називають *періодами ґрат* і вимірюють у нанометрах ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Щільність кристалічних ґрат характеризують *координаційним числом*, під яким розуміють кількість атомів, найближче розташованих до певного атома. Половину найменшої відстані між атомами або іонами в кристалічних ґратах називають *атомним (іонним) радіусом*. Зі зростанням координаційного числа атомний радіус зменшується, оскільки збільшується відстань.

Найбільше щільні ґрати – гексагонального й гранецентрованого типу з координаційним числом 12, коефіцієнтом компактності 74 % (відношення обсягу атомів до обсягу осередку).

Найстійкіший стан кристалічної структури речовини досягається, якщо катіон контактує з усіма аніонами, які його оточують. В інших випадках елементи ґрат перегруповуються, утворюючи нестабільну структуру зі зменшеним координаційним числом. Нестабільні структури з низьким координаційним числом мають при цьому більшу хімічну активність. Структури кристалів за характеристикою міжатомних відстаней поділяють на п'ять класів: координаційні, острівні, ланцюгові, шаруваті й каркасні.

Через неоднакову щільність іонів або атомів на різних площинах і напрямках властивості кристалів (залежно від напрямку) неоднакові. Цю

особливість кристалічних тіл називають *анізотропією*. Вона невластива аморфним тілам (скло, полімери і т. п.). Виражена анізотропія проявляється в ланцюгових і шаруватих структурах.

Будівельні матеріали мінерального походження й метали здебільшого перебувають у стані полікристалів, до складу яких входить значна кількість нечітко орієнтованих кристалів, що зменшує анізотропію. Деякі способи обробки можуть супроводжуватися просторовою орієнтацією кристалів і слугувати причиною анізотропії властивостей таких матеріалів.

Залежно від типу хімічного зв'язку, між структурними елементами розрізняють іонні, атомні (ковалентні), металеві, молекулярні зв'язки й кристали з водневим зв'язком (рис. 1.10).

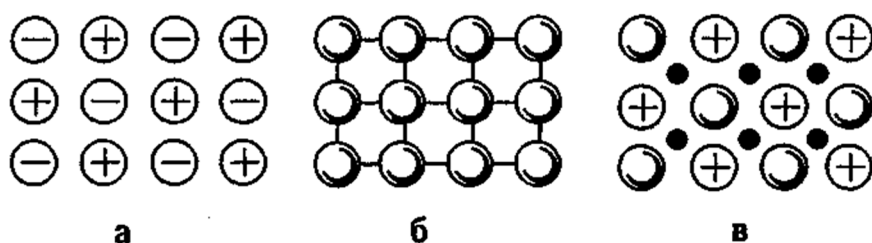


Рисунок 1.10 – Схематичне зображення хімічних зв'язок:

а) іонної; б) атомної; в) металеві

*Іонний зв'язок* характерний для кристалів, які значно відрізняються за електронегативністю їхніх структурних елементів.

Більшість катіонів має менший розмір, ніж аніони, і кристалічні ґрати іонних сполук утворюються за рахунок розміщення катіонів у порожнечах між аніонами. Характерними властивостями іонних кристалів є низька електропровідність, теплопровідність, крихкість і висока температура плавлення.

Більш міцним є ковалентний зв'язок, коли у вузлах *атомних* кристалічних ґрат містяться нейтральні атом. Речовини, які мають такі ґрати – тверді, тугоплавкі й практично нерозчинні (алмаз, кремній, сполуки деяких елементів з вуглецем і кремнієм – карбіди й силіциди). Ковалентні кристали утворюються із атомів, що мають близькі значення електронегативності. Якщо збільшується різниця в електронегативності елементів, то зростає ступінь переходу ковалентного зв'язку в іонний. Для силікатів характерні хімічні зв'язки проміжного типу – іонно-ковалентні. Кристали з переважною кількістю ковалентних зв'язків мають підвищену твердість у порівнянні із кристалами з перевагою іонних зв'язків.



У металевих кристалах визначальна роль належить електронам. Вони вільно переміщуються між атомами. У вузлах таких кристалів коливаються позитивні іони металу, а валентні електрони можуть пересуватися в різних напрямках. Сукупність вільних електронів іноді називають електронним газом. Така будова ґрат визначає високі тепло- і електропровідність і пластичні властивості металів. Механічне деформування кристалічних ґрат у певних межах не викликає руйнування кристалів, оскільки іони, які входять до їхнього складу, начебто плавають у хмарі електронного газу.

У вузлах молекулярних кристалічних ґрат розміщені групи атомів або молекули, зв'язані між собою Ван-Дер-Ваальсовими силами й дипольною взаємодією. Сили Ван-Дер-Ваальса зростають у випадках, якщо збільшується кількість атомів у молекулі та їхня полярність. Молекулярні сили порівняно слабкі, тому молекулярні кристали, властиві низці органічних речовин, легкоплавкі, летючі й мають низьку твердість.

Розповсюджений тип зв'язку в кристалах неорганічних речовин – зв'язок через іон водню, що розміщений між двома аніонами й міцно зв'язує їх. Утворення водневого зв'язку має велике значення в структурах води й багатьох інших сполук, до складу яких входять водень і кисень. Утворенням водневого зв'язку пояснюють наявність у воді асоційованих молекул  $(\text{H}_2\text{O})_n$ . Найбільшу стійкість мають подвоєні молекули  $(\text{H}_2\text{O})_2$ , утворення яких супроводжується виникнення двох водневих зв'язків. Водневим зв'язком значною мірою пояснюють аномальні властивості води, такі як: висока діелектрична постійна, поверхневий натяг, здатність до змочування й розчинення багатьох речовин. Водневі зв'язки визначають полімеризацію деяких органічних кислот і сприяє утворенню багатьох неорганічних полімерів. Виникнення водневого зв'язку частково визначає гідратацію полярних груп, а також гідрофільність відповідних поверхонь матеріалів.

Для порівняння енергії ковалентного, іонного й металевого зв'язку перебувають у межах 126...420 кДж/моль, молекулярного – не перевищує 42 кДж/моль, водневого – 8,4...42 кДж/моль. У більшості кристалів одночасно діє кілька типів зв'язків, відповідно до характеру яких оцінюють їхню теоретичну міцність та інші властивості.

Варто зважати на те, що в реальних матеріалах завжди є різні дефекти кристалічних ґрат. За геометричними ознаками їх розділяють: на крапкові, лінійні, площинні й об'ємні.

*Крапкові дефекти* можуть бути обумовлені тепловими коливаннями у вузлах ґрат, впливом радіації й електромагнітних хвиль (енергетичні дефекти), зсувом атомів від середнього положення, наявністю домішкових атомів, незайнятих вузлів – вакансій (атомні дефекти).

Сторонні атоми проникають до ґрат основного кристала двома шляхами:

- 1) займають «вузлові» атоми кристалічних ґрат, заміщаючи часточки основного компонента (тверді розчини заміщення);
- 2) розміщуються в міжвузлів'ях кристалічних ґрат (тверді розчини укорінення).

Здатність атомів, іонів або молекул заміщати один одного в кристалічних структурах і створювати при цьому гомогенні фази змінного складу, називають *ізоморфізмом*. Останній спостерігається, якщо атоми мають однакові координаційні числа, а також близькі розміри іонів, які можуть взаємозаміщуватися. Утворення твердих розчинів заміщення відбувається у разі одержання багатьох керамічних матеріалів, цементного клінкеру тощо.

Основними видами лінійних дефектів кристалів є дислокації, вздовж і поблизу яких порушується порядок у розташуванні атомних площин. Розрізняють крайові й гвинтові дислокації.

Крайова дислокація – локалізоване перекручування кристалічних ґрат унаслідок наявності в них «зайвої» атомної напівплощини (екстра-площини).

Гвинтова дислокація – лінія, утворена атомними площинами у вигляді гвинтової поверхні.

Дислокація утворюється внаслідок зрушення частин кристала вздовж площини ковзання, паралельної однієї із площин кристалічних ґрат. Дислокація є крайовою, якщо вона паралельна напрямку ковзання. Під дією дотичних напруг дислокації можуть рухатися, завдяки чому кристалах виникають пластичні деформації. Дислокації є джерелами внутрішніх напружень, ділянки кристала біля них перебувають у пружно-напруженому стані. Навіть незначна кількість дислокацій може знизити міцність матеріалів на кілька порядків.

Дуже високу міцність, що наближається до теоретичної, мають нитковидні кристали, які (завдяки такій структурі) мають невелику кількість дислокацій. Ці кристали можуть бути ефективними мікроармувальними матеріалами для вогнестійких та інших виробів спеціального призначення. У деяких випадках зміцнення матеріалів досягають введенням легувальних добавок, які запобігають руху дислокацій.

Структуру *аморфних* матеріалів (як і структуру рідин) характеризує так званий ближній порядок, коли впорядкований стан спостерігається тільки між сусідніми частинками матеріалу. Головними відмінними рисами аморфних (зокрема – склоподібних структур) є ізотропність властивостей і відсутність постійної температури плавлення. Відсутність кристалічних ґрат веде до плавної зміни властивостей аморфних матеріалів при переході їх, наприклад, із твердого стану в рідкий. Аморфні тіла можна розглядати як переохоложені

рідини. На відміну від рідин, у них не відбувається швидкого обміну місцями між сусідніми часточками, що визначає їхню високу в'язкість.

На *субмікроскопічному рівні* розглядають структуру матеріалів, що утворена частинками колоїдних розмірів ( $1 = 10^{-9} \dots 10^{-7}$  м), які можна розрізнити за допомогою звичайного світлового мікроскопу. Більшість будівельних матеріалів є гетерогенними дисперсними системами, які складаються із двох і більше фаз. У дисперсних системах одна або кілька речовин (дисперсна фаза) є дрібними часточками або порами, розподіленими в навколишньому дисперсійному середовищі.

Розрізняють мікрогетерогенні системи, в яких дисперсна фаза містить часточки розміром понад  $10^{-7}$  м, колоїдні системи з розміром часточок дисперсної фази  $10^{-9} \dots 10^{-7}$  м. Дисперсні системи розділяють на три основні групи, які відрізняються фазовим складом дисперсійного середовища (тверді, рідкі або газоподібні). Крім того, дисперсна фаза в системі кожної групи також може перебувати в трьох агрегатних станах.

У будівельних матеріалах, які належать до дисперсних систем, дисперсною фазою найчастіше є тверді часточки. Це різноманітні порошки, суспензії, пасти, в'язучі речовини, пластмаси, лакофарбові матеріали, керамічні маси, розчини й бетонні суміші, розплави склоподібних речовин тощо. У деяких матеріалах дисперсна фаза може бути рідкою (полімерні емульсії) або газоподібною («ніздрюваті» бетони, піноскло, пінопласти і тощо).

Усі колоїдні системи є седиментаційно стійкими, оскільки сила ваги в них урівноважується дифузиею. Оскільки розміри колоїдних часточок менші, ніж довжина хвиль видимого спектра, то світло вони не відбивають, а розсіюють.

Молекули поверхневого шару перебувають під дією молекулярного тиску, тому на поверхні розділу фаз є надлишок вільної енергії. Роботу, витрачену на утворення  $1 \text{ см}^2$  поверхні розділу фаз називають *поверхневим натягом*  $\sigma$  [Дж/см<sup>2</sup>].

Мінімізація вільної енергії й перехід системи в термодинамічно стійкий стан стають можливими внаслідок зменшення поверхні розділу фаз, що досягається мимовільною коагуляцією або злипанням часточок у колоїдних системах. Вільна енергія може зменшуватися внаслідок зниження поверхневого натягу при поглинанні активних речовин на поверхні розділу фаз – *адсорбції*.

Колоїдні часточки характеризуються наявністю певного заряду й переміщуються в електричному полі до протилежно зарядженого електроду (*електрофорез*). унаслідок різниці потенціалів рідка фаза в колоїдній системі здатна переміщатися щодо нерухливого твердого пористого середовища (*електроосмос*).

Колоїдні часточки можуть зчіплюватися між собою, міцність цих контактів обумовлена слабкими Ван-Дер-Ваальсовими молекулярними силами крізь найтонші прошарки дисперсійного середовища. Коагуляційні структури іноді називають гелями. Коагуляцію викликають електроліти, при цьому сила іонів, що коагулюють, пов'язана з їхнім зарядом. Для одновалентного катіона вона приблизно в 350 разів слабкіша, ніж для тривалентного. Поріг коагуляції – це найменша кількість електроліту, яка потрібна для початку коагуляції.

Процес зворотний коагуляції, тобто перехід агрегованих часточок у вихідний колоїдний стан, називають *пептизацією*. Він може відбуватися під впливом речовин-пептизаторів, що сприяють деагрегації, наприклад, добавки електролітів, поверхнево-активні речовини (далі ПАВ).

Коагуляційні структури можуть розріджуватися також під дією механічних сил при змішуванні, струшуванні або вібруванні. Цей ізотермічний процес називають *тиксотропією*. Після припинення механічних впливів зв'язки, зруйновані в коагуляційній структурі, відновлюються. Тиксотропію широко використовують у технологіях будівельних матеріалів (наприклад, для вібраційного ущільнення бетонних сумішей).

Властивості колоїдних розчинів можна зв'язати також із їхньою міцелярною будовою. Вплив міцелярної будови відчутно позначається на властивостях будівельних матеріалів. Міцела – це найменша кількість колоїдної речовини, в якій часточки дисперсної фази (ядро) перебувають у певному фізико-хімічному зв'язку з розчином через подвійний електричний шар іонів (рис. 1.11).

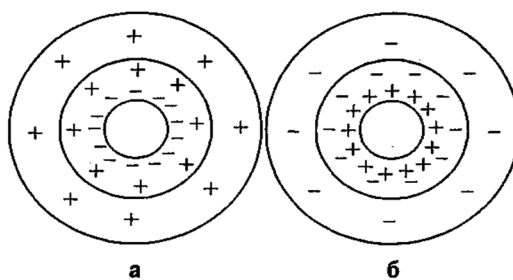


Рисунок 1.11 – Будова міцели:

*а* – з негативно зарядженою часточкою; *б* – з позитивно зарядженою часточкою.

Коагуляційні структури для багатьох композиційних будівельних матеріалів, зокрема на основі в'язучих речовин, є первинними. Вони із часом переходять у конденсаційно-кристалізаційні (за класифікацією П. А.

Рейндера). Конденсаційно-кристалізаційні структури з характерними необоротними контактами мають високу міцність, низьку пластичність і не відновлюються після механічного руйнування.

Поряд з коагуляційними й конденсаційно-кристалізаційними структурами можливі й структури проміжного типу. Якщо міцність коагуляційної структури перевищує деяку величину, то її механічне руйнування стає необоротним. Серед таких об'єктів, наприклад, висушені керамічні пасти, відпресовані напівсухим способом порошки. У таких випадках в утворених структурах виявляються точкові або псевдокоагуляційні контакти середньої міцності, отже їм властивий коагуляційно-конденсаційний характер.

На *мікрорівні* вивчають такі елементи структур матеріалів, які можна виявити за допомогою оптичного або електронного мікроскопа. Вони властиві елементам мікрогетерогенних систем. Для бетонів – це елементи структури цементного каменю й контактного шару, кераміки – кристалічні й склоподібні фази.

До типових мікрогетерогенних систем належать порошки, суспензії, емульсії й піни. Мікрогетерогенним системам, на відміну від колоїдних, броуновський рух не є властивим. Часточки в таких системах переміщуються під впливом ваги, тому вони седиментаційно нестійкі.

*Порошок* можна розглядати як дисперсну систему, дисперсійним середовищем у якій слугує повітря. Зменшення розмірів зерен у порошок нижче критичного рівня, спричиняє його злипання й гранулювання. Гранулювання порошоків відбувається завдяки зменшенню поверхневої енергії системи при злипанні часточок. Активізації цього процесу сприяє змочування поверхні твердої фази рідиною. Це забезпечує утворення на межі розділу фаз прошарку з підвищеною в'язкістю, що збільшує адгезійну взаємодію.

За формою в порошкоподібних матеріалах розрізняють ізометричні (кулясті, багатогранні) і неізометричні (волокнисті або у вигляді голок, пластинчасті тощо) зерна. Існує багато перехідних форм зерен. Неізометричність зерен впливає на їхнє розташування в просторі й призводить до анізотропності властивостей порошоків.

Важливе практичне значення мають особливості поверхні зерен, які визначаються способами й умовами їхнього одержання. У реальних порошках загальна пористість у вільно насипному стані, зокрема власна пористість зерен, становить зазвичай 50...80 %.

*Суспензія й емульсія* – це мікрогетерогенні системи, в яких тверда або рідка дисперсна фаза розподілена в рідкому дисперсному середовищі. У виробництві будівельних матеріалів суспензії широко використовують при

одержанні сировинних шламів, шлікерів, розчинів. Концентровану суспензію називають *пастою*. Емульсії застосовують зокрема як лакофарбові матеріали.

Для забезпечення агрегативної стійкості суспензій і емульсій, тобто запобігання коагуляції (злипання крапель емульсії називають *коалесценцією*), потрібно, щоб їхні часточки були покриті оболонками з молекул дисперсійного середовища (сольватними оболонками). Змочуваність можна поліпшити завдяки добавки поверхнево-активної речовини (далі ПАР). Стабілізації системи сприяє утворення навколо мінеральних часточок подвійного електричного шару іонів.

На практиці в деяких випадках необхідно викликати прискорений розпад емульсії. Із цією метою використовують речовини, які мають високу поверхневу активність, але при цьому не утворюють міцних плівок в адсорбційних шарах (деемульгатори). Як будівельний матеріал широко застосовують емульсії на основі органічних в'язучих речовин – бітуму, дьогтю, полімерів тощо.

До *піни* належать висококонцентрована система, в якій дисперсна фаза – газ, а дисперсійне середовище – рідина. Для одержання стійкої піни використовують піноутворювачі – високомолекулярні речовини, мило та інші сполуки, які мають високу поверхневу активність. Основні показники піни: кратність, дисперсність і стійкість.

*Кратність піни* – це відношення її об'єму до об'єму рідкої або твердої фази, що утворює стінки пухирців. У будівельних матеріалах використовують піни із кратністю 5...10. Для іншої мети (наприклад, для гасіння пожежі), використовують піни із кратністю 90 і більше.

*Стійкість піни* вимірюють строком її існування й залежить від міцності плівок.

Піну, як і інші дисперсні системи, можна одержати двома шляхами: конденсаційним – шляхом об'єднання дуже дрібних пухирців у більші, та дисперсійним – шляхом здрібнювання великих пухирців і газових включень.

На мікроструктурному рівні вивчають також в'язучу частину різних конгломератів. Цементувальні речовини, які тверднуть завдяки хімічній взаємодії з водою або водяними розчинами, представлені гідратними новоутвореннями, а синтетичних в'язучих на органічній основі – отверділими полімерами. Гідратні сполуки цементного каменю, залежно від їхньої дисперсності, можна розподілити на три групи: колоїдні – менше ніж  $10^{-6}$  м (тоберморітовий гель); субмікрокристалічні –  $10^{-6}$ ... $10^{-5}$  м (до складу яких входять  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ); мікрокристалічні – понад  $10^{-5}$  м (представлені переважно  $Ca(OH)_2$ ). Субмікрокристалічні й мікрокристалічні гідратні новоутворення становлять кристалічний зросток. Мікрофотографії цементного

каменю доводять, що кристалічний зросток заповнюється гелеподібними продуктами гідратації. Особливості мікроструктури матеріалів істотно залежать від кількості наповнювачів, їхньої дисперсності, фізико-хімічної активності поверхні.

*Наповнювачі* – це високодисперсні компоненти матеріалів, які самостійно не утворюють структуру твердіння, але активно впливають на її формування разом із цементувальними речовинами. Для композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих наповнювачі утворюють первинні адгезійні контакти на стадії формування коагуляційної структури, які переходять у необоротні контакти зрощення. Наповнювачі, зменшуючи енергію на поверхні розділу фаз, прискорюють у такий спосіб кристалізацію новоутворень. Вони також можуть вступати в хімічну взаємодію із продуктами гідратації в'язучого й збільшувати в такий спосіб обсяг новотворів. Перехід в'язучих речовин у наповнених системах від об'ємного стану до тонкоплівкового дає можливість істотно поліпшити їхні технічні властивості й зменшити витрати.

Мікроструктурам конгломератних матеріалів властива значна неоднорідність. Часточки в'язучого й наповнювачів утворюють агрегати – кластери різних розмірів. При оптимальних розмірах зерен і їхньому співвідношенні відбувається взаємопроникнення кластерів і їхнє зрощення, унаслідок чого міцність структури зростає.

Найважливішими елементами мікроструктури матеріалів, що визначають їхні властивості, є пори. Найдрібніші пори (ультрамікропори) виникають унаслідок анізотропії властивостей кристалів і часточок конденсаційних структур, а також їхньої випадкової орієнтації в просторі в процесі росту. Прикладами таких пор є пори в часточках гідратованого цементу (так звані гелеві пори), розмір яких становить  $(15...30) \cdot 10^{-8}$  м. Вода в них перебуває під сильним впливом поля сил стінок пор. З цієї причини багато її властивостей (густина, в'язкість, теплопровідність тощо) мають аномальний характер. Крупніші пори синтетичних матеріалів можуть мати різне походження. Вони виникають унаслідок нещільної укладки суміші, защемлення повітря, випару залишкової води, деструктивних процесів вилуговування, дегідратації, вивітрювання і тощо.

Існує низка методів визначення пористості й структури порового простору. Для визначення ультрамікропор застосовують, наприклад, метод адсорбції гелію, мікропор – методи електронної мікроскопії, адсорбції азоту й метанолу, макропор – ртутну порометрію.

На *макроскопічному рівні* структуру матеріалів розглядають, якщо розміри часточок становлять понад  $10^{-4}$  м. Такий тип структури вивчають

неозброєним оком або при незначному збільшенні. При цьому можна визначити особливості дефектів матеріалів, обумовлених процесами їх формування, виробництва й експлуатації, наприклад, дефекти ливарного походження в металах, пороки деревини, пухирці й сторонні включення в склі, тріщини й раковини в бетоні. Вивчення макроструктури композиційних матеріалів конгломератного типу дає можливість визначати відносну кількість в'язучого та заповнювачів, їхній розподіл, а іноді й мінералогічний склад, розмір і форму зерен, характер поверхні, форму й кількість макропор тощо.

У низці випадків складні багатокомпонентні структури можна звести на макрорівні до двокомпонентних. Наприклад, макроструктуру бетону можна розглядати як систему «цементний камінь – заповнювач» (іноді під макроструктурою бетону розуміють систему «цементно-піщаний розчин – щебінь»), а макроструктуру ситалів – як систему «склоподібне в'язуче – кристалічний наповнювач». Конгломератні двокомпонентні структури, за даними І. М. Грушко, розподіляють на три групи залежно від ступеня розсунення зерен заповнювача (рис. 1.12).

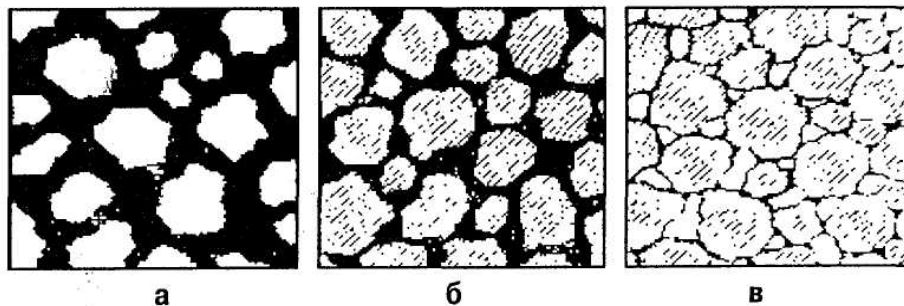


Рисунок 1.12 – Схеми макроструктур конгломератного типу:  
*а* – із базальною цементацією; *б* – порова; *в* – контактна

Якщо структура матеріалу з базальтовою цементацією, то зерна заповнювача не утворюють контакти між собою, вони як би плавають у масі в'язучого. Властивості матеріалу за такої макроструктури обумовлені переважно властивостями матричної частини. Заповнювачі ж, діючи як концентратори напруги, можуть погіршувати механічні властивості всього конгломерату.

У процесі насичення структури зернами заповнювача утворюється щільний каркас, склеєний тонким прошарком штучного або природного в'язучого. Таку структуру називають поровою. Вона сприятлива як з погляду витрати в'язучої речовини, так і забезпечення конгломерату необхідних технічних властивостей.



Контактна структура характеризується максимальним насиченням матеріалу заповнювачем, коли в'язучого недостатньо для заповнення порожнеч між зернами заповнювача і навіть (у низці випадків) для утворення суцільної оболонки на їхній поверхні.

За ступенем рівномірності розподілу зерен виокремлюють рівномірно- й нерівномірно зернисті структури. Типовими різновидами нерівномірно зернистих структур є порфірові структури, які характеризуються наявністю в матеріалі склоподібної або тонкозернистої основної маси, в якій розсіяні окремі великі кристали.

Структура композиційних будівельних матеріалів із часом змінюється під впливом процесів, обумовлених як внутрішньою їхньою природою, так і навколишнім середовищем. Ці процеси можуть бути конструктивними, що поліпшують структуру й властивості матеріалу, і деструктивними. Так, розвиток новотворів у процесі гідратації підвищує міцність бетонів, поліпшує ряд інших властивостей, але водночас під впливом агресивних факторів навколишнього середовища відбуваються корозійні процеси, які мають руйнівний характер. На розвиток деструктивних процесів впливають дефекти структури матеріалів – відкриті великі пори, тріщини тощо. Найнебезпечнішими порами є капіляри, заповнені водою.

Крім пор, важливими структурними елементами бетону, що визначають його фізико-механічні властивості, є тріщини. Тріщини мають внутрішні поверхні розділу. У реальному матеріалі завжди є велика кількість мікротріщин, що виникають унаслідок технологічних або експлуатаційних причин. Тріщини характеризуються довжиною, шириною розкриття, радіусом устя, фронтом, морфологією площин, що їх утворюють. Тріщини виникають унаслідок механічної, електрохімічної, термічної або іншої обробки матеріалу. За походженням тріщини розділяють: на силові, усадочні, температурні, корозійні. Тріщини істотно знижують міцність матеріалів і сприяють проникненню агресивних агентів. Особливо небезпечні тріщини в крихких матеріалах і в конструкціях, що піддаються циклічному навантаженню.

#### **1.4 Методи оцінки складу й структури композиційних матеріалів**

Залежно від складності структури речовини, стану, в якому вона перебуває, і відповідного рівня технології, методи, які використовують при цьому, розділяють так:

- хімічні;
- структурно-механічні;

– фізико-хімічні, зокрема *електрохімічні* (потенціометрія, кондуктометрія); *термоаналітичні* (диференціальний термічний аналіз, калориметрія); *рентгенівські* (рентгеноструктурний і рентгенофазовий); *спектральні* (молекулярна спектроскопія, фотоелектричний метод, фотометрія полум'я, спектрофотометрія електронного та ядерного магнітного резонансу, інфрачервона й ультрафіолетова спектроскопія); *оптичні* (світлова мікроскопія, мікроскопія у відбитому світлі, рефрактометрія, електронна й растрова мікроскопія).

*Хімічні методи* (зокрема методи аналітичної хімії) відіграють важливу роль у дослідженні будівельних матеріалів. Оцінку хімічного складу речовин виконують на основі повного хімічного аналізу й передбачає встановлення кількості оксидів кремнію, алюмінію, заліза, магнію, кальцію та інших складових елементів.

*Структурно-механічні методи* використовують на різних стадіях виготовлення в'язучих речовин, коли виникає потреба визначення властивостей пластично-грудких тіл (рідко- або твердоподібних), які займають проміжне місце між рідиною й твердим тілом. Подібні тіла мають здатність до структуроутворення й залежно від ступеня розвитку й міцності структури, наближаються за своїми властивостями до твердих або рідких тіл.

Для визначення структурно-механічних властивостей структурованих систем використовують методи пластометрії й віскозиметрії.

Пластометрію використовують для дослідження пластичної міцності. Використання пластометрів різної конструкції дає змогу реєструвати структурно-механічні характеристики речовин у широкому діапазоні зміни їхньої в'язкості. Використовуючи пластометрію під час дослідження, наприклад, процесу твердіння, можна спостерігати процеси переходу коагуляційної структури до коагуляційно-кристалізаційної та кристалізаційної, яким відповідають сингулярні точки на кінетичних кривих зміни пластометричної міцності (пластограма). Аналіз цих кривих дає змогу вибирати час для проведення відповідних технологічних операцій з метою одержання оптимальної структури матеріалу.

На основі даних структурної в'язкості й граничної напруги зрушення суспензій і шламів можна робити висновки щодо їхньої стабільності, схильності до розшарування й придатності до тривалого транспортування.

Віскозиметрія передбачає дослідження в'язкості розплавів, розчинів і дисперсій різної концентрації й виконується за допомогою віскозиметрів, з яких найпоширенішими є капілярні й ротаційні.

## *Фізико-хімічні методи*

*Електрохімічні методи* набувають все більшого значення в дослідженні будівельних матеріалів. Ці методи ґрунтуються на електрофізичних і електрохімічних явищах у відновному середовищі або на міжфазових межах розділу, які виникають унаслідок зміни хімічного складу, концентрації або структури речовин.

*Потенціометричний метод* базується на вимірі різниці напруги, що виникає під час занурення електродів у розчин. За допомогою потенціометрії можна вивчати корозію арматури в залізобетоні, але найчастіше цей метод використовують для вивчення величини рН як суспензій, так і цементних паст. Реєстрація зміни величини рН дає змогу визначати час тужавлення в'язучих речовин, спостерігати за процесом гідратації, оцінювати корозійну стійкість цементів в агресивному середовищі і швидкість корозії арматури й заповнювачів.

*Кондуктометричний метод* – це метод визначення електропровідності електролітів (систем з іонним типом провідності, які представлені водними й неводними розчинами, колоїдними системами, суспензіями, пастами, розплавами). Кондуктометричний аналіз дає змогу не тільки визначати електропровідність колоїдних систем (наприклад, в'язучих речовин, скла, шламів), але може бути використаний під час вивчення ступеня насичення капілярно-пористих тіл або кінетики процесів гідролізу, гідратації й розчинення, які мають місце при твердінні в'язучих речовин. Вимірюючи електропровідність, можна контролювати процеси прискореного твердіння будівельних матеріалів (наприклад, під час пропарювання або автоклавної обробки).

*Потенціостатичний метод* використовують для дослідження корозії металів (наприклад, корозії сталі у залізобетоні). Під час проведення потенціостатичного аналізу використовують триелектродний електрохімічний вимірювальний осередок, у якому досліджуваний об'єкт є робочим електродом. Як додатковий використовують пластиковий електрод, за допомогою якого на робочий електрод подається розгорнення за заданим законом. Як електрод порівняння використовують насичений хлорсрібний або каломельний електроди. Швидкість корозії визначають за густиною анодного струму при розгорненні потенціалу на дослідженому робочому електроді. На базі цього методу розроблено кількісний метод визначення корозійної стійкості арматурної сталі в залізобетоні, при якому можна одержати лінійну швидкість зношування (корозії) матеріалу (у мм/год), а також питому вагову швидкість корозії (у мг/м<sup>2</sup>·год). Об'єктами потенціостатичних досліджень можуть бути не

тільки електропровідні будівельні матеріали, але й капілярно-пористі, які здатні поглинати електроліти.

*Електрокінетичний метод* дослідження будівельних матеріалів пов'язаний із визначенням величини потенціалу й аналізом характеру його зміни. За результатами цього аналізу можна робити висновок щодо рухливості й пластичності цементних паст, що твердіють, про періоди коагуляції й тужавлення, про дифузійну проникність цементного каменю й механізм його розширення, про реологію в'язучих речовин.

#### *Термоаналітичні методи*

Фізико-хімічні процеси, які відбуваються під час виготовлення й експлуатації будівельних матеріалів, супроводжуються виділенням або поглинанням тепла. Виділення тепла (екзотермічний ефект) спостерігається при перетворенні нестабільних структур у стабільні, наприклад, при поліморфних перетвореннях, при кристалізації скла, при окислюванні й згорянні, при реакціях синтезу. Поглинання тепла (ендотермічний ефект) фіксується при реакціях розкладання речовин, при руйнуванні кристалічної структури. Наприклад, диференційно-термічний аналіз використовують для дослідження хімічних реакцій і фізичних перетворень, які відбуваються під дією тепла в хімічних сполуках. Зазвичай термічні процеси пов'язані зі значною зміною внутрішньої тепломісткості системи, причому перетворення в складі й структурі речовин відбуваються або з поглинанням тепла (ендотермічні перетворення), або з виділенням (екзотермічні перетворення). Зазначені теплові ефекти можуть бути зареєстровані за допомогою диференційно-термічного аналізу.

Більшість перетворень у структурі й складі речовин відбуваються зі зміною маси, що може бути визначено з високою точністю термогравіметричним методом.

Для одночасної фіксації термічних ефектів і уточнення оцінки зміни маси зразка використовують диференціальний запис гравіметричної кривої, що здійснюється при використанні дериватографа. Цим приладом одночасно визначають: зміну тепломісткості (далі ДТА), температури (далі Т), маси (далі ТГ) і швидкості зміни маси аналізованої проби (далі ДТГ). Як приклад на рисунку 1.13 наведена дериватограма цементного каменю.

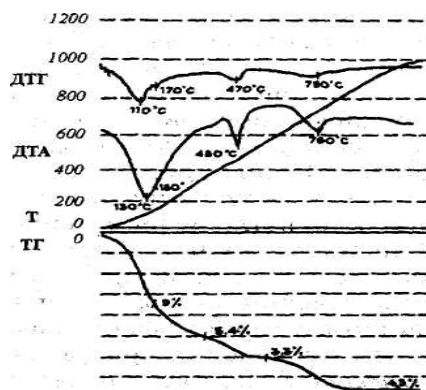


Рисунок 1.13 – Дериватограма цементного каменю

Під час вивчення будівельних матеріалів із використанням диференційно-термічного аналізу можуть бути встановлені як ендотермічні перетворення, пов'язані з руйнуванням структури й виділенням газової фази, з поліморфними перетвореннями енантіотропного (необоротного) характеру й із розплавлюванням речовин, так і екзотермічні перетворення, обумовлені окислюванням, перебудовою кристалічних структур і рекристалізацією скла.

Цей метод застосовують для дослідження мінеральних і органічних в'язучих речовин.

*Калориметрія* – це експериментальний метод одержання термохімічних і термодинамічних даних, що включає сукупність способів виміру теплових ефектів, що мають місце при синтезі будівельних матеріалів. Основні різновиди калориметричного аналізу, які використовують при дослідженні будівельних матеріалів, наведені на рисунку 1.14 (за даними О. В. Ушєрова-Маршака).

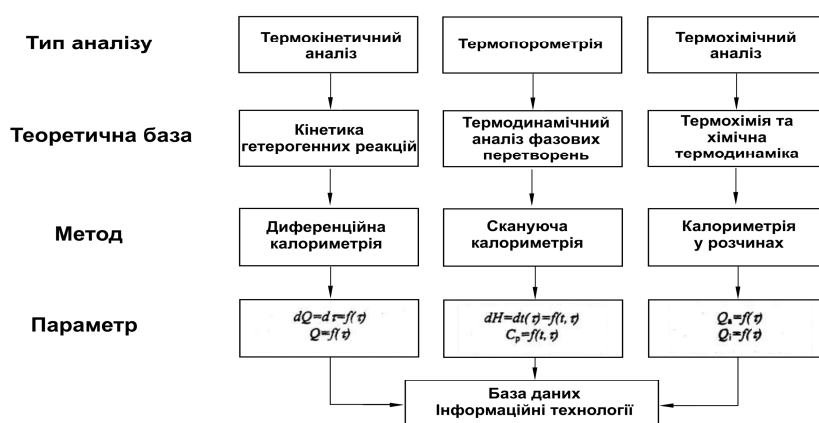


Рисунок 1.14 – Методи калориметричного аналізу

Використання ізотермічної й сканувальної калориметрії дає змогу виконувати такі завдання:

- оцінювати активність і досліджувати кінетику гідратації в'язучих речовин (у широкому інтервалі температур і за наявності матеріалів із різними властивостями);
- досліджувати вплив технічних параметрів і навколишнього середовища на твердіння цементів і бетонів;
- визначати характер пористості (форму, обсяг, розподіл пор за розмірами, вид зв'язаної води в цементі, характер льоду, що утворився при замерзанні води);
- оцінювати здатність хімічних добавок реагувати із цементами й іншими речовинами (наповнювачами, заповнювачами);
- установлювати кількісно частку екзотермії в енергетичному балансі твердіння бетону з метою зменшення термічних напруг й деформацій.

Зрозуміло, дані з термодинаміки використовують для оцінки мінералогічного складу й ступеня подрібнювання цементу, впливу хімічних і мінералогічних добавок, водоцементного відношення, температури твердіння й вмісту цементу.

#### *Рентгенівські методи*

Це сукупність різних методів дослідження, що використовують рентгенівське випромінювання. Застосування рентгенівського випромінювання для дослідження кристалічних речовин базується на тому, що довжина його хвилі може бути порівняна з відстанню між упорядковано розташованими атомами в ґратах кристалів. Кристали – це натуральні дифракційні ґрати для рентгенівського випромінювання. Рентгенівські промені проникають у глибину кристалічних ґрат і відбиваються від їхніх внутрішніх плоских сіток.

Суть рентгенівських методів аналізу базується на вивченні дифракційної картини, що утворюється при відбитті рентгенівських променів атомними площинами (поверхнями) у структурі кристалів.

У сучасних рентгенівських апаратах використовують характеристичне або монохроматичне випромінювання. Довжина хвилі цього випромінювання залежить від матеріалу антикатада рентгенівської трубки. Для дослідження силікатних матеріалів частіше використовують мідне випромінювання.

Рентгенографічні методи аналізу широко використовують для вивчення структури, складу й властивостей різних будівельних матеріалів. За допомогою рентгенографічного аналізу досліджують: якісний і кількісний мінералогічний і фазовий склад матеріалів, тонку структуру кристалічних речовин (форму, розмір і тип елементарного осередку, симетрію кристала, координати атомів у

просторі (рентгеноструктурний аналіз); ступінь досконалості кристалів і наявність у них зональних напруг, розмір мозаїчних блоків у монокристалах, тип твердих розчинів, ступінь упорядкованості їх на межі розчинності; розмір і орієнтацію часток у дисперсних системах; текстуру речовин і стан поверхневих шарів різних матеріалів; щільність; коефіцієнт термічного розширення; товщину листових матеріалів і покриттів; внутрішні мікродефекти у виробках; поведінку речовин при низькій і високій температурі й тиску.

Метою якісного рентгенофазового аналізу є ідентифікація природи кристалічних фаз, які входять до складу досліджуваного матеріалу. Аналіз базується на тому, що кожна індивідуальна кристалічна речовина дає специфічну рентгенограму (дифрактограму) із певним набором ліній і їхньою інтенсивністю.

Кількісний рентгенофазовий аналіз використовують для визначення вмісту окремих фаз у багатофазних полікристалічних матеріалах. Цей аналіз базується на залежності інтенсивності дифракційних максимумів від вмісту фази, що визначається. Зі збільшенням вмісту тієї чи іншої фази, інтенсивність її відбиття збільшується. На практиці використовують кілька методів кількісного рентгенофазового аналізу, але найпоширенішим і точним для порошкових матеріалів є метод внутрішнього стандарту (метод підмішування).

#### *Спектральні методи*

Це методи якісного й кількісного аналізу речовин на основі вивчення їхніх спектрів, які можуть бути поділені на спектри випромінювання (емісійні), поглинання (абсорбційні), комбінаційного розсіювання світла, люмінесцентні й рентгенівські.

В основу емісійного спектрального аналізу покладене вивчення будови світла, розкладеного по довжині хвилі у вигляді спектра, що випромінюється або поглинається збудженими атомами й молекулами аналізованої речовини. Атоми й молекули можуть збуджуватися полум'ям пальника, електричною дугою або іскрою. Висока температура в джерелах світла приводить до розпаду речовин на атоми. Із цієї причини емісійний метод зазвичай є атомним аналізом. Хімічний склад речовин можна визначати шляхом ідентифікації лінії поглинання або випромінювання відповідних атомів. При цьому розрізняють якісний і кількісний спектральний аналіз.

Молекулярна спектроскопія вивчає взаємодію речовин з електромагнітним випромінюванням у широкому інтервалі частот, починаючи з радіохвиль і закінчуючи випромінюванням. Молекулярну спектроскопію використовують для вивчення будови й властивостей молекул, а також походження й сили міжмолекулярної взаємодії. Найважливішими для аналітичної адсорбційної спектроскопії є частина спектра, що утримує

ультрафіолетові, видимі й інфрачервону області в інтервалі довжини хвиль від 10 нм до  $3 \cdot 10^5$  нм.

Оптична молекулярна спектроскопія залежно від походження енергетичних рівнів може бути поділені: на обертальну, коливальну й електронну. Рух усієї молекули щодо її нерухливого центра ваги обумовлює виникнення обертальних спектрів. Зміна взаємного розташування атомів у молекулі дає коливальний спектр. Електронні спектри виникають при зміні розподілу електронної щільності.

Метод інфрачервоної спектроскопії базується на здатності речовин до поглинання випромінювання залежно від довжини його хвилі (або хвильового числа). Вид і характер отриманого спектра дає змогу визначити наявність у пробі тих або інших речовин (а іноді і їхньої концентрації), а також одержати інформацію про типи молекулярних зв'язків, оскільки частоти поглинання в інфрачервоній (далі ІЧ) області визначаються завдяки коливанням атомів або атомних груп молекул, а характер цих коливань залежить від виду зв'язку (рис. 1.15).

Використання ІЧ-спектроскопії дає змогу досліджувати аморфні речовини, які важко або взагалі не ідентифікуються рентгенівськими методами. Цей метод також може бути використаний для вивчення механізмів твердіння в'язучих речовин і для встановлення типу й характеру зв'язування води в мінералах.

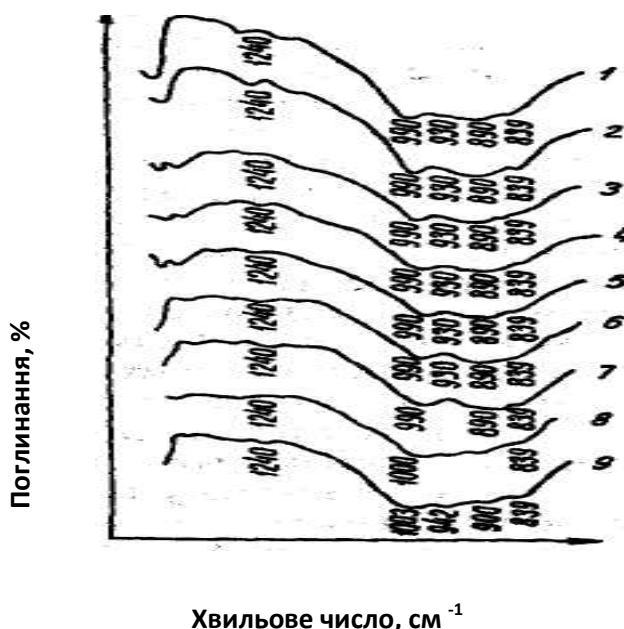


Рисунок 1.15 – ІЧ-спектрограми мінералу C<sub>2</sub>S: негідратованого (1) і після гідратації протягом 6 год (2); 1 доби (3); 28 діб (4); 6 міс (5); 1 року (6); 5 років (7), 10 років (8) і 15 років (9)



Спектроскопію електронного та ядерного магнітного резонансу використовують при вивченні фізико-хімічних процесів за участю твердих, рідких і газоподібних речовин.

Електронний парамагнітний резонанс (далі ЕПР) побудований на існуванні залежності між інтенсивним резонансним поглинанням високочастотної енергії при певному відношенні напруженості постійного магнітного поля й частоти й може бути визначений як явище змушеного переходу електронів з одного електричного рівня на іншій під дією змінного поля резонансної частоти. Цей метод використовують для дослідження структури й перетворенні сполук із ненасиченою валентністю (вільних радикалів) під час хімічних реакцій, що відбуваються в різних технологічних процесах при одержанні будівельних матеріалів. Крім того, ЕПР доцільно використовувати для виявлення й кількісного визначення парамагнетизму речовин (наприклад, металів перехідних груп періодичної системи Д. І. Менделєєва: заліза або марганцю). За допомогою ЕПР можна вивчати дефекти структури речовин й центри фарбування.

Ядерний магнітний резонанс далі (ЯМР) спостерігається при значно менших частотах радіохвиль, ніж електронний. У цьому разі зміна енергії, яку фіксують, пов'язана з магнітними властивостями ядер. ЯМР використовують для дослідження твердих неметалічних тіл, вивчення структури рідких кристалів, добавок у кристалах. Найчастіше цей метод використовують при вивченні характеру зв'язків молекул води в структурі штучного каменю, отриманого при гідратації в'язучих речовин.

### *Оптичні методи*

Ці методи аналізу базуються на вивченні оптичних властивостей речовин при розповсюдженні світлових променів у твердих тілах і рідині.

Оптичні властивості речовин обумовлені їхнім хімічним складом і характером структури. Залежно від розмірів об'єктів, які вивчаються, можуть бути використані методи оптичної або електронної мікроскопії. Нижня межа можливостей світлового мікроскопа визначається розміром частинок до 0,2 мкм.

Електронна мікроскопія використовує як випромінювання пучок електронів з довжиною хвилі на кілька порядків нижче, ніж довжина хвилі світла. Це дозволяє аналізувати об'єкти розміром  $10^6$  мм і менше.

Світлова мікроскопія застосовує кристал оптичний і дає змогу досліджувати різні види будівельних матеріалів, що стало основою для виникнення й розвитку петрографії технічного каменю. Суть петрографічного аналізу – це вивчення явищ, пов'язаних із проходженням світла крізь об'єкт.

Основними оптичними константами, які дають змогу провести кристалооптичні визначення мінералів, можна вважати характер розповсюдження світлових хвиль (ізотропія й анізотропія), показники переломлення, оптичну осність і оптичний знак кристала, кут оптичних осей. Поляризаційний мікроскоп – це основне обладнання, що забезпечує випромінювання кристалооптичних констант мінералів і використовується для визначення фазового складу й вивчення структурних особливостей будівельних матеріалів.

Петрографічні дослідження виконують на спеціальних препаратах: шліфах – прозорих пластинах матеріалів, приклеєних канадським бальзамом до предметного скла, або антишліфах – полірованих поверхнях і порошках.

Використання різного збільшення поляризаційних мікроскопів дає змогу одержати інформацію щодо типу й характеру структури, мінералогічного складу заповнювачів і цементного каменю, а також висолів на його поверхні, розміру, форми й оптичних характеристик окремих кристалів (показник переломлення, двопреломлення, плеохроїзм, спайність, кут погашення, осність, подовження), структуру контактних шарів і склад новотворів у зоні контакту, форму, розмір і обсяг мікропор, вид мікротріщин й інших дефектів структури.

*Мікроскопія у відбитому світлі.* Речовини залежно від коефіцієнта адсорбції можна поділити на прозорі й непрозорі, або здатні до абсорбції світла. Непрозорі речовини вивчають у поляризованому відбитому світлі з використанням полірованих шліфів, які становлять твердий матеріал, один бік якого має дзеркальну поверхню. Цей метод дослідження базується на властивості матеріалів (кристалів) відбивати світло певної інтенсивності, що падає на поліровану поверхню. Відбивна здатність залежить від будови кристалів і пов'язана з його оптичними характеристиками. Використання відбитого світла дає змогу одержати додаткові оптичні й фізичні характеристики матеріалу порівняно з тими, які визначають при дослідженні прозорих шліфів у світлі, що проходить. Це – відбивна здатність і колір мінералів, явище поляризації, внутрішні рефлекси, реакція на травлення реактивами, а також мікротвердість і крихкість.

Використання відбитого світла перспективне під час вивчення непрозорих матеріалів, що добре відбивають світло (метали, сплави, рудні мінерали). Цей метод доцільно використовувати й під час вивчення прозорих матеріалів або композитів, які містять значну кількість непрозорих фаз. Цей метод також може бути застосований для дослідження бетонів із метою:

- діагностики основних фаз портландцементного клінкеру;
- вивчення оксидів кальцію й магнію, деяких сульфатів, що мають високий показник світлопереломлення;

- дослідження зони зрощення різних середовищ або фаз, контактну зону яких порушують під час виготовлення шліфів унаслідок різної твердості;
- вивчення структури дрібнозернистих матеріалів, розмір зерен яких менший за 0,01 мм, або товщини прозорого шліфа (0,01–0,03 мм);
- установлення характеру пористості, зокрема визначення пор, які не можуть бути досліджені в прозорих шліфах;
- визначення ступеня гідратації цементу, досліджувати який зручніше у разі використання полірованих шліфів;
- вивчення дрібнодисперсних фракцій пористих заповнювачів, основна частина яких представлена склофазою, що містить включення непрозорих мінералів;
- дослідження мікротвердості різних структурних елементів бетону, зокрема контактної зони між в'язучою речовиною й заповнювачами.

Оптична мікроскопія також дає змогу визначати мікротвердість мінералів, тобто твердості речовини, що визначають, використовуючи малі навантаження (від 1 г до 200 г).

Мікротвердомір – це оптичний мікроскоп із пристосуванням для вдавнення алмазної пірамідки певної конфігурації під дією навантаження на матеріал, що випробовують. Мікротвердість характеризують числом твердості  $H$ , що розраховують як відношення навантаження до умовної площі бічної поверхні отриманого відбитка (виміряють у МПа).

Метод виміру мікротвердості під час вивчення бетонів рекомендують використовувати у двох напрямках: для визначення мікротвердості матеріалу й для діагностики фаз, які входять у його склад.

Цей метод використовують для дослідження контактної зони між цементним каменем і заповнювачами в бетонах для встановлення закономірності зміни мікротвердості безпосередньо по лінії контакту, а також при поступовому віддаленні від неї.

*Рефрактометрія* – це метод аналізу, що дає змогу визначити коефіцієнт переломлення різних речовин і є важливим показником у виробництві оптичного скла, а також для визначення з високою точністю складу мінералів. Показник переломлення залежить від деяких зовнішніх факторів, таких як довжина хвилі, температура й тиск (рис. 1.16).

Для дослідження залежності характеру зміни показника переломлення від складу речовини необхідно використовувати величину, що визначається винятково походженням досліджуваного об'єкта. Такою величиною є молярна рефракція.

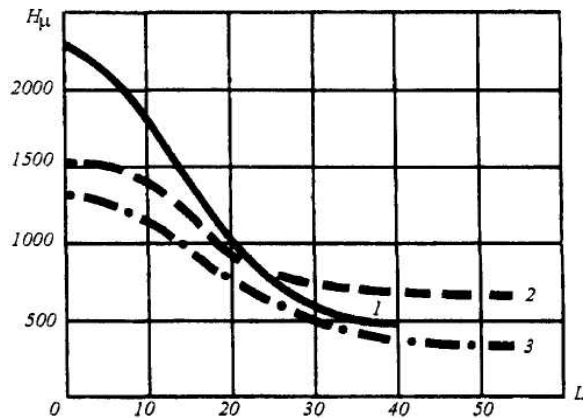


Рисунок 1.16 – Зміна мікротвердості  $H/x$  (МПа) цементного каменю при збільшенні відстані  $L$  (мкм) від лінії контакту для зерен розмірами 0,15 мм (1), 0,25 мм (2), 0,5 мм (3)

*Методи спеціального мікроскопічного аналізу.* За допомогою мікроскопа вивчають кінетику пербігу фізико-хімічних процесів при високих (до 2 000 °С) і низьких (до мінус 185 °С) температурах. Для деяких спеціальних досліджень процесів структуроутворення будівельних матеріалів використовують інфрачервону, ультрафіолетову й ультразвукову мікроскопію.

За допомогою *інфрачервоної мікроскопії* вивчають об'єкти, які є майже непроникними для променів видимої частини спектра, але прозорими для інфрачервоного випромінювання. Такими речовинами є провідники й напівпровідники (кремнеземисті системи, металеві матеріали, скляні та рудні матеріали). Метод інфрачервоної поляризаційної мікроскопії використовують для контролю напруги в кристалах і дослідження розподілу залишкових внутрішніх напружень, пов'язаних з дислокаціями в їхній структурі.

Для вивчення речовин і композиційних матеріалів, склади яких під дією зовнішньої енергії (енергії збудження) посиляють випромінювання й починають світитися, використовують *люмінесцентну мікроскопію*. Використовуючи цей аналіз можна визначити хімічний склад композицій на окремих малих ділянках, виявити дрібні включення й досліджувати процеси перетворення речовин.

*Ультрафіолетова мікроскопія* базується на тому, що більшість металів і мінералів інакше відбивають промені в ультрафіолетовій області спектра, ніж у видимій. Для деяких речовин ця різниця є досить істотною, що дає змогу прогнозувати значне підвищення ступеня поділу фаз в ультрафіолетовому мікроскопі.

Під час використання *ультразвукової мікроскопії* як випромінювання застосовують ультразвукові хвилі. Це дає змогу спостерігати дрібні частинки й

досліджувати неоднорідні середовища, проникні для ультразвукових хвиль. Розв'язну здатність мікроскопа визначають довжиною хвилі ультразвуку й дорівнює 10–15 мкм.

*Ультрамiкроскопiю* використовують для дослідження частинок, розміром менш 0,002 мм, і може бути застосована як один із методів для вивчення процесів гідратації в'язучих матеріалів при високому значенні водоцементного відношення (у суспензіях), процесів дифузії компонентів, розчинних у водному середовищі, особливостей кристалізації насичених і пересичених розчинів.

*Високотемпературна мiкроскопiя* використовується для проведення дослідження зразків матеріалів у відбитому світлі й тому, що проходить при температурах від 30 °С до 3 000 °С. Цим методом визначають температуру плавлення й проводять термоаналіз матеріалів органічного та неорганічного походження.

*Електронно-мiкроскопiчний аналіз* проводять із використанням сучасних електронних мікроскопів, які дають збільшення зображення до 300 000 разів і дозволяють досліджувати частки розміром  $(3-5)^{-10}$  м.

*Електронний мiкрокристалохiмiчний аналіз* широко використовують у мікрохімії для проведення якісного аналізу. Застосовуючи реакції утворення характерних кристалічних осадів, за допомогою цього методу оцінюють тільки загальний вигляд кристалів і роблять висновок про наявність тих або інших іонів.

Електронна мікроскопія дає змогу проводити пряме дослідження порошкоподібних і кристалічних дисперсних об'єктів. Тонкі прозорі кристали при просвічуванні можуть бути ідентифіковані методом електронної дифракції. Під час використання просвітчастої мікроскопії головний метод дослідження цементного каменю – це метод реплік, за допомогою якого досліджують мікроструктуру матеріалу (свіжого відколу); структуроутворення цементного каменю в процесі його твердіння; вплив різних факторів на мікроструктуру та якість бетону.

Метод реплік недоцільно використовувати для дослідження бетонів на шамотних, корундових і пористих заповнювачах, а також для бетонів із гідрофобними й полімерними добавками.

*Растрова сканувальна мiкроскопiя (із зондовим аналізом)* – це метод, який базується на телевізійному принципі розгорнення тонкого пучка електронів (або іонів) на поверхні непрозорого досліджуваного зразка. Контрастність відбиття, що сканується, залежить від мікрорельєфу (топографії) поверхні зразка та його хімічного складу.

Використовуючи цей метод, можна одержати розподіл хімічних елементів по поверхні зразка (що важливо для ідентифікації сполук, які утворюються під час

гідратації й дегідратації в'язучих речовин), а також мікрорельєф поверхні матеріалу.

Розв'язна здатність растрового мікроскопа майже в 10 разів менша, ніж електронного, але перевагою є висока глибина різкості зображення, що досягає 0,6–0,8 мм. Це дає змогу вивчати за допомогою растрової мікроскопії поверхні масивних об'єктів, досліджувати полімери й композиційні матеріали, до складу яких входять полімери (репліки з яких не знімають); матеріали пористої структури, наприклад, теплоізоляційні.

Зміну інтенсивності світлового потоку, розсіяного твердими частинками, покладено в основу одного з методів дослідження колоїдів – *нефелометрії*. Цей метод дає можливість визначити концентрацію й середній розмір колоїдних часточок, властивості гетерогенних, і особливо – колоїдних систем, які обумовлені наявністю поверхні розділу фаз між часточками дисперсної фази й дисперсійного середовища.

*Дисперсність* порошків контролюють за величиною питомої поверхні й зерновим складом. З методів визначення питомої поверхні будівельних порошків розповсюдженим є метод, що заснований на вимірі опору, який чинить шар досліджуваного матеріалу повітрю, що проходить крізь матеріал. Для пористих порошків застосовують також адсорбційний метод.

Для визначення зернового складу порошків використовують *седиментаційний аналіз*, який заснований на тому, що швидкість осідання часточок у рідкому середовищі змінюється залежно від їхніх розмірів.

### **1.5 Різновиди сучасних композиційних матеріалів**

В історії розвитку сучасної науки й техніки без розвитку матеріалознавства технічний прогрес неможливий в принципі. Не випадково історики поділяють ранні цивілізаційні епохи на кам'яний вік, бронзовий вік і вік залізний. Нинішнє XXI століття вже можна віднести до століття композиційних матеріалів (композитів).

Поняття композиційних матеріалів сформувалося в середині XX століття. Композити однак, зовсім не нове явище, а тільки новий термін, сформульований матеріалознавцями для кращого розуміння генезису сучасних конструкційних матеріалів. Композиційні матеріали відомі протягом століть. Наприклад, у Вавилоні використовували очерет для армування глини при будівництві житла, а стародавні єгиптяни додавали рубану соломку в глиняні цеглини. У Стародавній Греції залізними прутами зміцнювали мармурові колони при будівництві палаців і храмів. Безпосередніми попередниками сучасних композиційних матеріалів можна назвати залізобетон і булатні сталі.

Існують природні аналоги композиційних матеріалів – деревина, кістки, панцирі тощо. Багато видів природних мінералів фактично становлять композити. Вони не тільки міцні, але мають також чудові декоративні властивості.

Композиційні матеріали – багатокомпонентні матеріали, що складаються з в'язучої основи – матриці, і наповнювачів, що виконують зміцнювальну й деякі інші функції. Між фазами (компонентами) композиту є межа розділу фаз.

Поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого істотно відрізняються від властивостей кожного з його складових. Таким чином, ознакою композиційного матеріалу є взаємний вплив складових елементів композиту, тобто їх нову якість, ефект.

Варіюючи склад матриці й наповнювача, їх співвідношення, застосовуючи спеціальні додаткові реагенти тощо, отримують широкий спектр матеріалів із необхідним набором властивостей.

Велике значення має розташування елементів композитного матеріалу, як у напрямках діючих навантажень, так і відносно один одного, тобто впорядкованість. Високоміцні композити, як правило, мають високоупорядковану структуру.

На сьогодні в область композиційних матеріалів (композитів), прийнято включати різноманітні штучні матеріали, що розробляються та впроваджуються в різних галузях техніки та промисловості, що відповідають загальним принципам створення композитних матеріалів. Такий інтерес до композиційних матеріалів проявляється тому, що традиційні матеріали вже не завжди або не цілком відповідають потребам сучасної інженерної практики.

Матрицями в композиційних матеріалах є цементи або інші види мінеральних в'язучих, полімери, кераміка та метали. Як наповнювачі використовуються найрізноманітніші штучні та природні речовини в різних формах (великорозмірні, листові, волокнисті, дисперсні, дрібнодисперсні, мікродисперсні, наночастинки). Відомі також багатокомпонентні композиційні матеріали, зокрема:

- поліматричні, коли в одному композиційному матеріалі поєднують кілька матриць,

- гібридні, що включають кілька різних наповнювачів, кожен з яких виконує свою функцію.

Наповнювач, зазвичай визначає міцність, жорсткість і деформованість композита, а матриця забезпечує його монолітність, передачу напружень і стійкість до різних зовнішніх впливів.

Особливе місце займають декоративні композиційні матеріали, що мають виражені декоративні властивості. Розробляються композитні матеріали зі

спеціальними властивостями, наприклад радіопрозорі й радіопоглинальні матеріали, матеріали для теплового захисту орбітальних космічних апаратів, матеріали з малим коефіцієнтом лінійного термічного розширення та високим питомим модулем пружності та інші.

Композиційні матеріали використовуються у всіх сферах науки, техніки, промисловості, зокрема в житловому, промисловому та спеціальному будівництві, металургії, хімічній промисловості, енергетиці, електроніці, побутової техніки, медицині, спорті тощо.

За механічною структурою композити поділяють на кілька класів: волокнисті, шаруваті, дисперснозміцнені, зміцнені частинками й наноккомпозити.

Волокнисті композити армуються волокнами або ниткоподібними кристалами. У композитах такого типу навіть невеликий вміст наповнювача призводить до істотного поліпшення механічних властивостей матеріалу. Широко варіювати властивості матеріалу дозволяє також зміна орієнтації, розміру та концентрації волокон.

У шаруватих композиційних матеріалах матриця та наповнювач розташовані шарами, як, наприклад, у триплексах, фанері, клеєних дерев'яних конструкціях і шаруватих пластиках.

Мікроструктура інших класів композиційних матеріалів характеризується тим, що матрицю наповнюють частинками армувальної речовини, а розрізняються вони розмірами частинок. У композитах кількість зміцнювальних частинок (із розміром понад 1 мкм) може становити 20–25 % (за об'ємом), тоді як дисперснозміцнювальні композити вміщують від 1 % до 15 % (за об'ємом) частинок розміром від 0,01 мкм до 0,1 мкм. Розміри частинок, що входять до складу наноккомпозитів ще менше й дорівнюють 10–100 нм.

### ***Різновиди композитів***

*Бетони* – найпоширеніші композиційні матеріали. На сьогодні виробляють велику номенклатуру бетонів, що відрізняються за складами та властивостями. Сучасні бетони виробляють як на традиційних цементних матрицях, так і на полімерних (епоксидних, поліефірних, фенолоформальдегідних, акрилових тощо). Сучасні високоефективні бетони за міцністю наближаються до металів. Популярними стають декоративні бетони.

*Органопластики* – композити, які як наповнювач містять органічні синтетичні, рідше – природні та штучні волокна у вигляді джгутів, ниток, тканини, паперу тощо. У термореактивних органопластиків матрицею слугують, зазвичай, епоксидні, поліефірні й фенольні смоли, а також полііміди. Органопластики мають низьку густину, вони легше скла та вуглепластиків, мають відповідно високу міцність при розтягуванні, високий опір удару й



динамічним навантаженням, але водночас низьку міцність при стиску й вигині. До найпоширеніших органопластиків належать деревні композиційні матеріали. За обсягами виробництва органопластики перевершують сталь, алюміній і пластмаси.

Останнім часом стосовно цієї групи стали застосовувати терміни – біополімери, біопластики і відповідно – біокомпозити.

*Дерев'яні композиційні матеріали* містять в своєму складі наповнювачі з деревини у вигляді стружок, тирси, тріски, шпону тощо. До найбільш поширених деревних композитів належать арболіт, ксилоліт, цементностружкові плити, клеєні дерев'яні конструкції, фанери та гнукотклені деталі, деревні пластики, деревостружкові та деревоволокнисті плити й балки, деревні пресмаси та преспорошки, термопластичні дерев'яно-полімерні композити.

*Склопластики* – полімерні композиційні матеріали, армовані скляними волокнами, які формують із розплавленого неорганічного скла. Як матриці найчастіше застосовують як терморективні синтетичні смоли (фенольні, епоксидні, поліефірні тощо), так і термопластичні полімери (поліаміди, поліетилен, полістирол тощо). Склопластики мають високу міцність, низьку теплопровідність, високі електроізоляційні властивості, крім того, вони прозорі для радіохвиль. Шаруватий матеріал, у якому як наповнювач застосовують тканину, плетену з скляних волокон, називають склотекстолітом.

*Вуглепластики* містять вуглецеві волокна в полімерних зв'язуючих. Вуглецеві волокна отримують з синтетичних і природних волокон на основі целюлози, сополімерів акрилонітрилу, нафтових і кам'яновугільних пеків тощо. Матрицями в вуглепластиках можуть бути як терморективні, так і термопластичні полімери. Основними перевагами вуглепластиків порівняно з склопластиками є їх низька густина й більш високий модуль пружності, вуглепластики – дуже легкі й водночас міцні матеріали.

На основі вуглецевих волокон і вуглецевої матриці створюють композиційні вуглеграфітові матеріали – найбільш термостійкі композиційні матеріали (вуглепластики), здатні довго витримувати в інертних або відновлювальних середовищах температури до 3 000 °С.

Боропластики – композиційні матеріали, що містять як наповнювач борні волокна, впроваджені в терморективною полімерну матрицю, при цьому волокна можуть бути як у вигляді монониток, так і у вигляді джгутів, обплетених допоміжною скляних ниток або стрічок, у яких борні нитки переплетені з іншими нитками. Застосування боропластиків обмежується високою вартістю виробництва борних волокон, тому вони використовуються

здебільшого в авіаційній і космічній техніці в деталях, що зазнають тривалого навантаження в умовах агресивного середовища.

*Наповнені полімери (пресмаси).* Відомо понад 10 000 марок наповнених полімерів. У їхньому складі наповнювачі використовують як для зниження вартості матеріалу, так і для надання йому спеціальних властивостей. Уперше наповнений полімер почали виробляти в США на початку ХХ століття шляхом синтезу фенолформальдегідної (бакелітової) смоли. Сама по собі ця смола крихка й не має високої міцності. Але Лео Бакеланд виявив, що додавання волокон, зокрема, деревного борошна до смоли ще в рідкому стані, після затвердіння збільшує її міцність. Створений ним матеріал – бакеліт швидко набув розповсюдження.

Наповнені термореактивні полімери широко використовуються в найрізноманітніших сферах техніки. Для наповнення термореактивних і термопластичних полімерів застосовуються різноманітні наповнювачі – деревне борошно, каолін, крейда, тальк, слюда, сажа, скловолокно, базальтове волокно тощо.

*Текстоліти* – шаруваті пластики, армовані тканинами з різних волокон. Технологія отримання текстолітів була розроблена у 1920-х роках минулого століття на основі фенолформальдегідної смоли. Полотна тканини просочують смолою, потім пресують при підвищеній температурі, отримуючи текстолітові пластини або фасонні вироби. Зв'язуючими в текстоліті можуть бути як термореактивні, так і термопластичні полімери, а іноді й неорганічні в'язучі на основі силікатів і фосфатів. Як наповнювач використовують тканини з найрізноманітніших волокон – бавовняних, синтетичних, скляних, вуглецевих, азбестових, базальтових тощо. Відповідно, властивості й застосування текстолітів є різноманітними.

*Композиційні матеріали з металевою матрицею* отримують з алюмінію, магнію, нікелю, міді тощо. Наповнювачем слугують високоміцні волокна, тугоплавкі частинки різної дисперсності, ниткоподібні монокристали оксидів алюмінію або берилію, карбідів бору та кремнію, нітриду алюмінію та кремнію тощо завдовжки 0,3–15 мм і діаметром 1–30 мкм.

Основними перевагами композиційних матеріалів із металевою матрицею порівняно зі звичайним (незміцненим) металом є такі: підвищена міцність, підвищена жорсткість, підвищений опір зносу, підвищений опір повзучості.

*Композиційні матеріали на основі кераміки.* Армування керамічних матеріалів волокнами, а також металевими й керамічними дисперсними частинками дає змогу отримувати високоміцні композити, однак асортимент волокон, придатних для армування кераміки, обмежений властивостями вихідного матеріалу. Часто використовують металеві волокна. Опір

розтягуванню зростає незначно, але зате підвищується опір тепловому удару – матеріал менше розтріскується при нагріванні, але можливі випадки, коли міцність матеріалу падає. Це залежить від співвідношення коефіцієнтів термічного розширення матриці й наповнювача.

Кераміка, армована дисперсними металевими частинками, називається *кермет*. Цей матеріал має підвищену стійкість, теплопровідність, стійкість до теплових ударів. З високотемпературних керметів роблять деталі для газових турбін, арматуру електродугових печей, деталі для ракетної та реактивної техніки. Тверді зносостійкі кермети використовують для виготовлення різальних інструментів і деталей. Крім того, кермети застосовують у спеціальних сферах техніки – це тепловидільні елементи атомних реакторів на основі оксиду урану, фрикційні матеріали для гальмівних пристроїв та інше.

Механічна поведінка будь-якого композита визначається співвідношенням властивостей армувальних елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними. Ефективність і працездатність матеріалу залежать від правильного вибору вихідних компонентів і технології їх поєднання, призначеної забезпечити міцний зв'язок між компонентами при збереженні їх початкових характеристик. Унаслідок поєднання армувальних елементів і матриці утворюється комплекс властивостей композиту, що поєднує властивості, які мають кожен зі вхідних компонентів. Зокрема, наявність границі розділу між армувальними елементами й матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу, і в композитах, на відміну від металів, підвищення статичної міцності призводить не до зниження, а, зазвичай, до підвищення характеристик в'язкості руйнування.

Переваги композиційних матеріалів:

- висока питома міцність;
- висока жорсткість (модуль пружності 130...140 ГПа);
- висока зносостійкість;
- висока втомна міцність;

З композиційних матеріалів можливо виготовляти розміростабільні конструкції, до того ж, різні класи композитів можуть мати одну або декілька переваг.

Найпоширеніші недоліки композиційних матеріалів:

- висока вартість;
- анізотропія властивостей;
- підвищена наукоємність виробництва, необхідність спеціального дорогого обладнання та сировини, а отже, розвиненого промислового виробництва та наукової бази країни.

## 2 БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ОДЕРЖАНІ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

З метою одержання будівельних матеріалів сировину піддають обробці або переробці, найчастіше під дією високої температури – випалу. Залежно від походження матеріалу, температури та для отримання бажаних властивостей продукти випалу розрізняють:

- матеріали, обпалені не до спікання,
- матеріали, обпалені до спікання,
- плавлені матеріали.

При випалюванні *не до спікання* з гірської породи внаслідок хімічної реакції виходить розсипчастий продукт. Так отримують деякі в'язучі речовини – будівельний гіпс, вапно тощо.

У процесі *спікання* частинки сировини плавляться з поверхні, утворюється як би гарячий клей, що зв'язує частинки, які ще не повністю розплавлені. Після охолодження виходить міцний матеріал. У такий спосіб отримують, наприклад, кераміку з глини. При малому ступені спікання отримують пористий матеріал, при великому – щільний.

У процесі спікання відбуваються хімічні реакції, оскільки кінцевий продукт за складом відрізняється від сировини. Пористим, обпалений до спікання матеріал, виходить також, якщо при реакціях випалу виділяються гази. При цьому відбувається спучування (збільшення об'єму) маси внаслідок утворення пор. Прикладом є широко відомий матеріал керамзит, який становить спучену глину. Його застосовують як заповнювач для легкого бетону й для теплозвукоізоляційних засипок.

Звичайний цемент (або портландцемент) також належить до матеріалів, що обпалені до спікання. Цементний порошок одержують шляхом розмелювання клінкеру, який утворився у печі в наслідок спікання частинок сировинних вапняків та глини.

Якщо сировина повністю розплавляється при випалюванні, то після охолодження виходять *плавлені* матеріали. При цьому остиглий матеріал може бути аморфним або кристалічним. Найпоширеніший аморфний (некристалічний) кам'яний матеріал – скло. Кристалічні матеріали та вироби, отримані з кам'яних розплавів, називають кам'яним литтям. Процес лиття каменю – петрургія – складний і енергоємний. Такі вироби відрізняються великою щільністю структури та практично повною відсутністю пористості. Навіть якщо під час плавлення виділяються гази, процес ведуть до повного їх видалення.

У металургійних процесах під час плавлення рудної сировини, утворюється відразу два плавлених матеріалу – метал і шлак. Метал – найважливіший із сучасних матеріалів, а шлак, який ще називають «порожня порода», залишається після виплавлення металу, але також застосовується в будівництві.

## 2.1 Будівельна кераміка

За давниною походження та за застосуванням у будівництві – на першому місці стоїть глиняна кераміка. Кераміка – це матеріали й вироби, що отримують спіканням глин і їх сумішей із різними добавками, а також оксидів та інших сполук металів. Само слово *keramos* прийшло зі стародавньої Греції, де воно позначало глину, призначену для виробництва гончарних виробів. Керамічні черепки знаходять у розкопках, що відносяться до XIII–XII тисячоліття до н. е. Обпалена цегла була відома у стародавньому Вавилоні. Та й самі клинописні записи, з яких черпали відомості про Вавилонську цеглу, зроблені на пластинках з обпаленої глини (вони були записані, зазвичай, на сирійській глині й закріплювалися шляхом випалювання).

До глиняної кераміки належать усі вироби з обпаленої глини – від грубої цегли до чашки з найтоншої порцеляни. Зазвичай застосовують терміни цегла, кераміка, порцеляна, фаянс, вогнетрив, проте в технологічному плані все це є кераміка, тобто матеріали та вироби, отримані шляхом випалювання глин різного складу з добавками при різній температурі до спікання. Значно пізніше з'явилися вироби зі спечених порошоків неорганічних сполук – оксидів, карбідів нітридів металів, які тепер застосовують у радіотехніці й електроніці. Але у будівництві, як і раніше застосовується тільки глиняна кераміка.

Поширеність глиняної кераміки пояснюється здебільшого властивостями сировини для її виготовлення – глини.

### *Властивості кераміки*

*Пластичність* – головна особливість глини для кераміки. Характерна ознака пластичності глини – здатність зберігати задану форму виробу не тільки після формування, а й після випалу, що обумовлено її будовою. Глина складається з дуже дрібних частинок (близько 0,01 мкм). У сухій глині створюються точкові контакти між частинками, при цьому утворюються об'ємні петлі з пустотами, що перевищують розміри самих частинок. При зволоженні глини вода входить, насамперед усередину глинистих частинок, між площинами пластинчастих кристалів алюмосилікатів. Частинки набухають, зв'язки між ними послаблюються. При певній вологості ( $W_p$ ) у глини з'являється властивість до розкочування. При подальшому зволоженні вода

займає порожнечі в глині, проміжки між частинками. Контакти між частинками зберігаються аж до вологості плинності ( $W_T$ ), при якій частинки починають «роз'їжджатися», глина тече. Властивість пластичності проявляється в проміжку між вологістю розкочування й вологістю плинності. Тому в технології кераміки та в науці про ґрунти різниця (в процентних пунктах)  $W_T - W_p$  називають числом пластичності глини. Для будівельної кераміки, зокрема, для цегли найбільше підходять глини з числом пластичності від 7 до 15. Глини з меншим числом пластичності погано формуються у вологому стані (розсипаються), їх називають «скудними» глинами. Кераміку з таких глин можна отримувати тільки внаслідок додавання добавок – глин із великим числом пластичності, так званих «жирних» глин. Для отримання кераміки із «жирних» глин з числом пластичності понад 15 у них додають добавки, які знижують пластичність (найчастіше пісок). Це потрібно, щоб «жирні» глини не дали велику усадку при випалюванні, що призводить до розтріскування виробів.

*Спікаємість глини* – найважливіша її властивість ущільнюватися при випалюванні й давати міцність матеріалу, який ще називають «глиняний черепок». Про ступінь спікання можна свідчити за водопоглинанням остиглого черепка.

При певній температурі  $t_A$  починається спікання. Водопоглинання обпаленої глини різко знижується в процесі підвищення температури випалу. Різниця мінімальної температури ( $t_c$ ) і температури спікання ( $t_A$ )  $t_c - t_A$  називається інтервалом спікання глини. Інтервал спікання легкоплавких глин, наприклад, для стінового цегли становить  $50^\circ \dots 100^\circ \text{C}$ , для вогнетривких, тугоплавких глин становить  $400^\circ \text{C}$ .

Матеріали, які мають водопоглинання черепка вище 5 %, називають пористою керамікою. Матеріал, обпалений при більш високій температурі та який має водопоглинання менше 5 %, називається щільною керамікою.

До пористої кераміки належать, наприклад, звичайна стінова цегла, плитки для оздоблювання стін (не враховуючи шар глазури, яка належить до плавлених матеріалів). Щільна кераміка – плитки для підлоги, дорожня цегла, а також фаянс, напівпорцеляна, порцеляна.

При температурі, вище  $T_c$ , може спостерігатися спучування матеріалу (внаслідок хімічних реакцій із виділенням газу) і, відповідно, підвищення його пористості й водопоглинання. При таких високих температурах отримують, наприклад, згаданий вище керамзит.

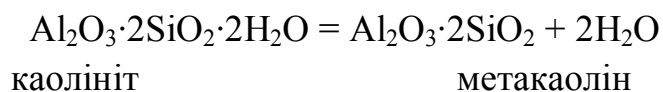
#### *Вплив технології виготовлення кераміки на її властивості*

Вивчення технології має на меті з'ясування впливу способу отримання на властивості матеріалів. Один і той самий матеріал, отриманий різними способами, має відмінність у властивостях. Наприклад, цегла напівсухого

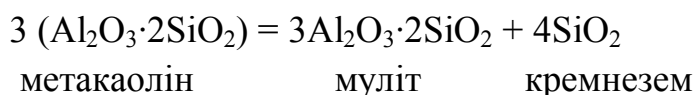
пресування відрізняється від цегли, отриманої способом пластичного формування (при тому, що сировина однакова), меншим опором вигину.

Спінання становить сутність технології, яку називають керамічною. Високотемпературні процеси спінання та плавлення завжди супроводжуються хімічними перетвореннями. Тому не можна сказати, наприклад, що глиняна цегла складається з глини. Вона виготовляється з глини, але в процесі випалу гідроалюмосілікати, з яких складається глина, перетворюються в інші речовини. Щоб це зрозуміти, потрібно мати найпростіші уявлення про перетворення при випалюванні мінералу білої глини, так званого каолініту.

При  $t > 450$  °С каолініт втрачає кристалізаційну воду, яка входить до його хімічної формули, перетворюючись у метакаолін за такою реакцією:



Зазвичай 900 °С є температурою початку спінання глини, а при  $t > 900$  °С метакаолін розкладається, утворюється муліт і кремнезем різних кристалічних модифікацій:



Розплав цих речовин (аморфний при затвердінні) пов'язує зерна кристалів, у чому й полягає спінання. Аморфний розплав, отже, виконує функцію високотемпературного в'язучого.

На властивості керамічних виробів впливає не тільки склад глини та глиномаси, не тільки спосіб формування, а й температура випалу. Якщо для стінової цегли звичайна температура випалу 900...1 000 °С, то дорожня цегла, плитки для підлоги, вогнетривкі матеріали піддають випалу при більш високій температурі – до 1 400 °С. Матеріали, обпалені при різних температурах, мають різну структуру. Щоб мати уяву про кераміку, потрібно добре розуміти вихудну сировину.

### *Сировина*

Глина – основний, але не єдиний сировинний матеріал у технології кераміки. Вище вже згадувалися деякі добавки, що сприяють набуттю глиною необхідного числа пластичності. Крім того, застосовують вигоряючі добавки, що сприяють збільшенню пористості кераміки, наприклад, деревна тирса, вугільний пил. Груба кераміка має значну пористість, яка сягає 18–20 %. Поризація потрібна для одержання легких і теплоізоляційних матеріалів. При цьому, зазвичай, зменшується міцність. Тому, наприклад, легку пористу цеглу

застосовують як стіновий матеріал у малоповерхових будівлях (не більше 3–4 поверхів).

Для надання оздоблювальним керамічним виробам декоративного вигляду, застосовують *глазури* й *ангоби*.

*Глазур* – це склоподібне покриття на поверхні керамічного виробу завтовшки 0,1...0,3 мм, закріплене шляхом випалювання. Склад глазури схожий за складом до скла. Цю суміш – фріту – наносять на поверхню кераміки, під час випалювання відбувається її розплавлення й розтікання по поверхні виробу. Залежно від складу фріти утворюється блискуче прозоре або кольорове непрозоре покриття.

*Ангобом* називають керамічну фарбу, що складається з глини, білої або забарвленої оксидами металів. Вона, як і глазур, закріплюється на поверхні керамічного виробу шляхом випалювання. Товщина шару ангоба також 0,1...0,3 мм. Він утворює зазвичай матову поверхню, на відміну від глазурованої.

Поверхня керамічного виробу може бути також рельєфною або гладкою, мати малюнок (малюнки наносяться за різними технологіями) або бути одноколірною.

Колір поверхні керамічного черепка має природний колір обпаленої глини (без глазури або ангоба) і називається теракотовим.

Матеріали щільної кераміки, такі як фаянс, напівпорцеляна й порцеляна, містять у складі сировини кварц і польовий шпат у досить значних кількостях, оскільки їх не можна назвати добавками. Вміст кварцу у фаянсі досягає до 40 %, польового шпату – до 15 %. У складі санітарно-технічного фаянсу кварцу й польового шпату по 20–30 % кожного.

У складі сировини для вогнетривких керамічних матеріалів може переважати тугоплавка глина (наприклад у шамоті) або глина може бути лише зв'язувальним компонентом для кремнезему або глинозему.

Технологія виробництва керамічних виробів включає в себе три основних групи операцій:

- 1) підготовка гліномаси;
- 2) формування виробу;
- 3) закріплення форми відформованого виробу шляхом випалювання (із попереднім підсушуванням або без нього).

Основні відмінності в варіантах технології залежать від способу проведення формувань. Існує три способи формування керамічних виробів із глиномаси (суміші глини з добавками й водою):

- а) пластичне формування,
- б) напівсухе пресування,
- в) спосіб лиття.



При пластичному формуванні вологість глиномаси становить близько 20 %. Пластична глиномаса видавлюється через отвір екструдера (стрічкового преса) у вигляді безперервної стрічки, бруса або труби (залежно від форми отвору) і далі розрізається на окремі вироби: брус – на цеглу, стрічка – на плитки, труба – на відрізки певної довжини.

Під час напівсухого пресування з глиномаси з вологістю 8...10 % виробляють окремі вироби на звичайному гідравлічному пресі.

При литтєвому способі вологість глиномаси становить близько 40 % – перевищує вологість плинності – тому при формуванні глиномасу розливають у форми, в яких вона й обпалюється (надлишок води йде в пори форми, виготовленої з формувального гіпсу).

Різниця в способах формування пов'язана з деякими відмінностями в проведенні інших операцій виробничого процесу та використаного обладнання.

#### *Структура та властивості кераміки*

Хімічний склад будівельної кераміки: сплав з силікатів алюмінію та кремнезему. За фазовим складом у кераміці можна виокремити: кристалічну фазу, аморфну фазу й пори. Аморфна фаза має той самий хімічний склад, що й кристалічна, вона утворилася при оплавленні кристалів і грає роль в'язучого в керамічному матеріалі. Вміст газової фази – пір залежить від ступеня спікання (температури випалу) і наявності в складі глиномаси речовин, що виділяють при випалюванні газу, наприклад, пороутворюючих (вигоряючих) добавок.

Отже, структуру кераміки можна назвати мікроконгломератною, а у разі значної наявності пір – капілярно-пористою з відкритими порами.

Якщо в щільній і технічній (оксидній) кераміці пористість відіграє негативну роль – знижує міцність, то в будівельній кераміці пори можуть мати й позитивне, і негативне значення. Це стосується насамперед стінової кераміки – цегли й керамічних каменів. Завдяки відкритій пористості цегляна стіна «дихає», тобто має необхідну для стінового матеріалу газопроникність. Водночас при великій вологості повітря всередині приміщення (лазні, пральні тощо) волога затримується в порах цегли стіни, замерзає в зовнішньому шарі взимку та спричиняє руйнування цегли. Пориста кераміка, отже, належить до матеріалів з малою міцністю та морозостійкістю, а також зі значною водопроникністю (через відкриті пори). Тому для будівельних керамічних виробів, що використовують в умовах постійної вологості, застосовують щільну кераміку (дорожня цегла, плитки для підлоги, санітарно-технічні вироби, труби).

Пориста кераміка має такі характеристики структури: пористість 10–40 %; водопоглинання за масою від 5 % до 20 %; водопоглинання за об'ємом від 10 % до 40 %. Щільна кераміка має 0,5...5 % водопоглинання за масою і

1...10 % за об'ємом. Теплопровідність кераміки: 1,16 Вт/м·К – для абсолютно щільного черепка, 0,8 Вт/ м·К – для цегли, 0,2 Вт/м·К і менше – для ефективних (теплоізоляційних) виробів.

Міцність пористої кераміки становить до 30 МПа, щільною – до 100 МПа; морозостійкість пористої кераміки – 15–50, щільною – вища.

#### *Види будівельних керамічних виробів*

*Глиняна черепиця* – це покрівельний матеріал, отриманий із легкоплавких глин шляхом формування сирцю, сушіння та подальшого випалу. Сучасні керамічні заводи випускають черепицю декількох видів: пазову штамповану, пазову стрічкову, плоску стрічкову й конькову.

Черепиця є міцним, довговічним і вогнестійким покрівельним матеріалом. Така покрівля з неї не потребує частих ремонтів, але має велику масу, необхідність влаштування значних ухилів для стоку води, а також велику трудомісткість при укладанні. Черепицю застосовують зазвичай у малоповерховому будівництві.

*Керамограніт* (керамічний граніт, керовграніт) – це сучасний штучно створений оздоблювальний матеріал, який за своїми властивостями перевершує багато природних матеріалів. Він був створений в Італії в 70–80-ті роки минулого століття і там його називають «Gres porcellanato», що означає «порцеляно-кам'яна кераміка». Останнім часом цей матеріал набув популярності завдяки якійсій сировині, сучасним технологіям і вишуканому дизайну.

Відмінністю сировини для керамограніту є використання кількох особливих сортів білої глини, а також в деякі його різновиди додають гранітну, мармурову або кам'яну крихту інших порід. Як сировина використовується така суміш:

- глини різних сортів (одна більш пластична, багата ілітом, інша менш пластична, багата каолінітом),
- польовий шпат (під дією високої температури забезпечує утворення склофази),
- пісок (із високим вмістом кварцу, для забезпечення жорсткості),
- мінеральні добавки (для додання кольору використовують сполуки кобальту, заліза, марганцю, хрому).

Формують керамограніт методом сухого пресування при тиску 400–500 кг/см<sup>2</sup>с подальшим випалюванням при температурі близько 1 200–1 300 °С, що створює умови, подібні до процесів вулканічного формування каменю в природних умовах. Завдяки високій температурі, всі компоненти сплавляються між собою, утворюючи матеріал із високою щільністю. Унаслідок цього у

керамограниті практично відсутні мікропори, що робить покриття водонепроникним, підвищуючи експлуатаційний термін.

Плитки з сучасного керамограніту мають внутрішній і зовнішній зернистий візерунок, схожий або копію будь-якого природного каменю. Керамогранітні плити за розміром досить різноманітні, починаючи з  $5 \times 5$  см і закінчуючи  $120 \times 180$  см, розміри, які стали «класичними»:  $60 \times 60$ ,  $40 \times 40$  і  $30 \times 30$  см. Товщина керамограніта змінюється від 7 мм до 30 мм, але частіше від 8 до 14.

Технологія виробництва керамограніту дає змогу змінювати тип поверхні від матової, потертої або рельєфної до полірованої та глянсової, а також робити глазурування.

Різновиди керамограніту відрізняються й способами обробки:

- технічний характеризується високою твердістю, він дешевий і технологічний, зберігає зовнішній вигляд десятиліттями, незважаючи на великі навантаження, його поверхня не блищить;

- глазурований має на поверхні нанесений малюнок (глазур із подальшим випалюванням для закріплення). Він міцніше та надійніше керамічної плитки для підлоги, але при тривалому й інтенсивному використанні втрачає свій вигляд. Тому глазурований керамограніт зазвичай використовують для приміщень, де нема інтенсивного механічного впливу.

- матовий – неполірований технічний або глазурований керамограніт;

- полірований – це технічний керамограніт, який був відполірований до дзеркального блиску. Виглядає він ефектно, але коштує дорожче й має більш низьку зносостійкість. Згодом шар полірування грубіє та стає матовим, до того ж його потрібно регулярно обробляти спеціальними мастиками, що створюють додатковий захисний шар;

- структурований, або керамограніт із рельєфною поверхнею. Деякі його різновиди імітують дерев'яний паркет (керамічний паркет). Способи обробки такого граніту досить різноманітні – від травлення до нанесення сухозлітного золота; застосовують фігурні пресформи. Готовий матеріал може імітувати фактуру скелі, дерева або мати насічки, які запобігають ковзанню;

- сатинований (оброблений воском) – має «м'яку», злегка блискучу поверхню, оскільки перед випалюванням на неї наноситься шар мінеральних солей. Поверхня такого керамограніту механічно не оброблена й не така слизька, як полірована. Така поверхня є декоративною та не витримує значних навантажень;

- рустичний (зістарений);

- напівполірований (запобігає ковзанню).

Такий сучасний матеріал має низку переваг порівняно з традиційними керамічними плитками для підлоги та оздоблення стін завдяки своїй однорідності, високій щільності, низькій пористості та феноменальній твердості (за шкалою Мооса має твердість близько 8 балів). Керамограніт має високі механічні властивості, витримує навантаження, удари й тиск, що є важливим для покриттів підлог у виробничих будівлях.

Його водопоглинання становить 0,05 %, що недоступно природному каменю та керамічній плитці. Керамограніт стійкий до перепадів температур від  $-50$  до  $+50$  °C. У воді практично немає можливості потрапити в структуру керамограніта і зруйнувати його. Тому його використовують у будівництві вентилязованих фасадів будівель. Він дуже стійкий до зношування, за шкалою PEI керамограніт має найвищий 5-й ступінь стійкості до агресивних середовищ і стирання. Тривалий час не втрачає свій колір і не вигоряє на сонці, є негорючим, не радіоактивний і не виділяє небезпечних речовин, тому належить до безпечних будівельних матеріалів.

Однак керамограніт можна назвати крихким матеріалом. При перевезенні й укладанні з ним потрібно поводитися дуже обережно. Але після того, як його поклали за місцем використання, можна їздити по ньому хоч на танку.

Завдяки своїм властивостям керамограніт широко застосовується. Обмежень при його використанні практично немає, варто лише вибрати необхідний різновид матеріалу для конкретного випадку:

- офісні, торговельні та житлові приміщення;
- медичні заклади;
- кухні;
- басейни, ванні й туалетні кімнати;
- громадські та адміністративні будівлі (метро, аеропорти, вокзали, кінотеатри, гаражі, підприємства громадського харчування тощо);
- вуличне застосування.

Керамограніт найчастіше застосовують як покриття для підлоги, але і для внутрішнього оздоблення стін будівель, і, зрозуміло, для зовнішнього облицювання будинків. Як сучасний фасадний матеріал керамограніт створить гарний зовнішній вигляд і забезпечить захист стін від впливу зовнішніх факторів. Додатково вентиляція та теплоізоляція захистять приміщення від вологи та холоду. Для обробки фасадів може використовуватися керамічний граніт з обробленими краями, що дозволяють створювати монолітне покриття без видимих швів, яке довго не забруднюється й легко очищується.

*Керамічні труби.* Їх виготовляють каналізаційні та дренажні.

*Каналізаційні труби* виготовляють із вогнетривких або тугоплавких глин. Випускають внутрішнім діаметром 150–600 і довжиною 800–1 200 мм. Вони

мають високу хімічну стійкість, що дозволяє широко їх застосовувати для відведення промислових вод, які забруднені лугами та кислотами.

*Дренажні труби* – керамічні неглазуровані вироби з гладкою поверхнею та наскрізними канавками або прорізами для підвищення водопроникності. Довжина їх до 500, внутрішній діаметр 25–250 мм. Труби повинні мати правильну циліндричну форму, гладку внутрішню поверхню, мати достатню механічну міцність. Функції сировини для їх виробництва виконують легкоплавкі глини й суглинки. Дренажні труби використовують для осушення заболочених земель, а також для зниження рівня ґрунтових вод.

*Кислототривкі вироби* на відміну від звичайних керамічних виробів мають черепок підвищеної щільності, а також високі механічну міцність і термостійкість. Вони здатні витримувати тривалий вплив концентрованих кислот і лугів. До цієї групи керамічних виробів належать кислототривка цегла, кислототривкі й термокислототривкі плитки, кислототривкі труби.

Кислототривку цеглу виготовляють розміром 230 × 113 × 65 мм і клиноподібну. Застосовують її для мурування фундаментів хімічних апаратів, футерування апаратів та газоходів, для улаштування підлоги і стічних жолобів підприємств хімічної та целюлозно-паперової промисловості.

Кислототривкі й термокислототривкі плитки можуть бути квадратними, прямокутними та клиноподібними зі стороною розміром від 50 мм до 200 мм і товщиною від 10 мм до 50 мм. Кислототривкі плитки застосовують для футерування апаратів, газоходів і стічних жолобів, для влаштування підлог у цехах з агресивними середовищами, а термокислототривкі, крім того, – для футерування варильних котлів.

Кислототривкі труби мають щільний спечений черепок; зовнішній і внутрішній боки труб покривають кислотостійкою глазур'ю. Застосовують їх на підприємствах хімічної промисловості.

*Санітарно-технічна кераміка.* До таких виробів належать раковини, умивальники, унітази, змивні бачки тощо. Виготовляють їх переважно з білопекучих фаянсових або напівпорцелянових мас, до складу яких входять каолін, вогнетривка глина, кварц, шамот. Формують вироби методом лиття в гіпсові форми. Після вилучення з форм вироби сушать, глазурують і випалюють.

Санітарно-технічні вироби застосовують для обладнання кухонь, санітарних вузлів і спеціальних приміщень (лабораторій, перукарень тощо.).

*Пористі керамічні заповнювачі.* Основними видами штучних пористих керамічних заповнювачів для легких бетонів є *керамзит* і *аглопорит*.

*Керамзит* – легкий матеріал пористої будови у вигляді гравію, рідше у вигляді щебеню, який одержують при випаленні глинистих легкоплавких порід,

здатних спучуватися при швидкому нагріванні до 1 050–1 300 °С. Спучування відбувається газами, які виділяються при розкладанні різних речовин, що містяться у вихідній сировині. Спучення можна підвищити шляхом додавання в сировинну шихту тонкомолотого вугілля, тирси, пухкої залізної руди, піритових огірків тощо.

Обпалюють керамзит зазвичай в обертових печах довжиною 12–40 і діаметром 1,2–2,5 м. Загальна тривалість випалу керамзиту у обертової печі становить 25–45 хв.

Якість керамзитового гравію характеризується розміром його зерен, густиною та міцністю. Залежно від розміру зерен керамзитовий гравій поділяють на такі фракції: 5–10, 10–20 і 20–40 мм. Зерна менше 5 мм належать до керамзитового піску. Залежно від насипної густини гравій розрізняють за марками 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 і 800. Межа міцності при стисненні керамзитового гравію залежно від його марки дорівнює 0,3–5,5 МПа, водопоглинання – 15–25 %, морозостійкість повинна бути не менше 15 циклів.

Керамзит застосовують також як теплоізоляційний матеріал (у вигляді засипок).

*Аглопорит* є пористим кусковим матеріалом, що одержується шляхом спікання (агломерацією) гранул із суміші глинистої сировини з вугіллям. Спікання гранул відбувається завдяки згорянню вугілля й одночасно вся маса частково спучується. Тривалість агломерації становить 25–45 хв. Пористу легку брилу аглопориту після охолодження подрібнюють на щебінь і сортують на фракції.

Аглопоритовий щебінь має насипну густину 300–1 000 кг/м<sup>3</sup>, міцність 0,3–3 МПа. Вміст у складі аглопориту вугілля, що не вигоріло, зазвичай не перевищує 3 %, що цілком допустимо для застосування його як заповнювача для легких бетонів.

*Вогнетривкі матеріали* характеризуються здатністю при експлуатації в промислових теплових установках тривалий час витримувати різні механічні та хімічні впливи при температурі вище 1 500 °С. За ступенем вогнетривкості ці матеріали поділяють так: вогнетривкі (1 580–1 770 °С), високотривкі (1 770–2 000 °С), вищої вогнетривкості (вище 2 000 °С).

Вогнетривкі матеріали виготовляють у вигляді цегли, блоків, плит і різних фасонних елементів шляхом пресування, сушіння та випалення.

Залежно від хіміко-мінералогічного складу вогнетривкі матеріали поділяють: на кремнеземисті, алюмосилікатні, магнезитові, хромисті й вуглецеві. Найпоширеніші в будівництві кремнеземисті й алюмосилікатні вогнетриви.

*Кремнеземисті (динасові) вогнетриви* виготовляють із кварцитів або кварцового піску з додаванням глини. Вогнетривкість динасових матеріалів становить 1 710–1 750 °С, межа міцності при стисненні – 15–35 МПа. Динасові вогнетриви широко застосовують для мурування та футерування найбільш відповідальних частин різних промислових печей (мартенівських, коксових, електроплавильних, скловарних тощо), які одночасно повинні витримувати дію високих температур і значних навантажень.

*Алюмосилікатні вогнетриви* отримують із вогнетривких глин і каолінів, із додаванням шамоту або різних кварцових добавок. Залежно від змісту  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у продукті випалу алюмосилікатні вогнетриви поділяють: на напівкислі, шамотні й високоглиноземисті.

Вогнетривкість напівкислих вогнетривів становить 1 610–1 710 °С, межа міцності при стисненні – не менше 10 МПа. Напівкислими вогнетривами футерують вагранки, коксові печі, склорозливні ковші тощо.

Для виготовлення шамотних вогнетривів використовують суміш вогнетривкої глини і шамоту. Вогнетривкість їх 1 710–1 730 °С, межа міцності при стисненні 10–12 МПа. Шамотні вогнетриви, крім того, є лугостійкими. Використовуються вони для мурування доменних печей, стін і подів керамічних печей, футерування топок парових котлів тощо.

*Високоглиноземисті вогнетриви* виготовляють з бокситу, корунду та іншої сировини, яка містить  $\text{Al}_2\text{O}_3$  понад 45 %. Вогнетривкість їх зазвичай становить 1 770–2 000 °С. Застосовують високоглиноземисті вогнетриви в скляній промисловості для мурування печей.

## **2.2 Композиційні матеріали з мінеральних розплавів**

### **2.2.1 Будівельне скло**

Технологію, головним процесом якої є повне розплавлення сировини, називають скляною.

**Скло** – це аморфні тіла, які одержані шляхом переохолодження розплавів (без кристалізації) незалежно від хімічного складу та температурної області затвердіння розплаву. Скло утворюється, якщо при охолодженні розплаву в'язкість його підвищується настільки, що кристалізація стає неможливою. Через велику в'язкість скло набуває властивостей твердого тіла, залишаючись за ознаками атомно-молекулярної будови рідиною. У склі, як і в рідинах, існує так званий ближній порядок розташування частинок, тоді як у твердих кристалічних тілах – дальній порядок (є певна відстань між частинками – параметр решітки).

У скла, на відміну від кристалічних тіл, відсутня точка плавлення, при нагріванні воно поступово розм'якшується аж до утворення розплаву, при охолодженні знову твердне.

Хімічний склад неорганічних стекол виражається в перерахунку на оксиди. Це означає, що записаних у складі скла оксидів немає у вільному стані, вони пов'язані в сполуки. У будівництві використовують виключно силікатне скло, де головним, так званим склоутворюючим оксидом, є  $\text{SiO}_2$ .

Понад 90 % будівельного скла – це віконне скло. Приблизний хімічний склад віконного скла:  $\text{SiO}_2$  – 70...73 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13...15 %;  $\text{CaO}$  – 8...10 %;  $\text{MgO}$  – 1...4 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,5...1 %;  $\text{K}_2\text{O}$  – до 1 %;  $\text{SO}_3$  – до 0,5 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – не більше 0,1 %. Найважливішими в цьому переліку є перші три оксиди.

Кольорові види скла відрізняються від віконного хімічним складом (мають забарвлення по всій масі). Синє скло містить сполуки кобальту, зелене – хрому, яскраво-жовте – кадмію. Метали, розподілені в склі у вигляді колоїдних частинок, також надають склу забарвлення: золото дає червоний (рубіновий) колір скла, срібло – золотисто-жовтий, селен – рожевий, мідь – блакитний.

Крім прозорого скла існують і непрозорі – глушені. Для глушіння скла додають плавиковий шпат, кріоліт, суперфосфат тощо.

За макро- й мікроструктурою скло – абсолютно непористий аморфний матеріал (поризоване тільки спеціальне теплоізоляційне піноскло). На атомно-молекулярному рівні скло – суміш незакристалізованих силікатів натрію, кальцію, калію та інших елементів, зазначених у складі. У структурі природних кристалічних силікатів існують аніони – ланцюжки кремній-кисневих тетраедрів, між якими утримуються електростатичними силами (іонними зв'язками) катіони металів. Відмінність будови скла полягає лише в тому, що в ньому немає впорядкованих ланцюгів і кілець із кремній-кисневих аніонів, а є тільки короткі обривання цих ланцюгів.

З властивостей скла варто відзначити насамперед його крихкість. У скла відсутні пластичні деформації, закон Гука виконується аж до моменту руйнування. Скло має малий опір ударному вигину – всього 0,2 МПа. Прозорість скла характеризується коефіцієнтом світлопропускання, який для віконного скла становить 90...92 %. Віконне скло не пропускає ультрафіолетові промені. У соляріях, медичних установах можна використовувати спеціальне увіолеве скло, яке практично не містить у своєму складі заліза та пропускає до 25 % ультрафіолету. Підвищений вміст заліза, наприклад, у теплозахисних видах скла сприяє затриманню не тільки ультрафіолетового, а й інфрачервоного (теплого) випромінювання.

Теплопровідність скла дорівнює 0,5...1 Вт/м·К. Через малий коефіцієнт лінійного температурного розширення скло має малу термостійкість. Скло має



непогану звукоізолювальну здатність. За цим показником скло завтовшки 1 см відповідає цегляній стіні в півцеглини – 12 см.

Механічні властивості листового скла: межа міцності при розтягуванні 30...90 МПа, при стисненні – 600...1 000 МПа, твердість 5...7 за шкалою Мооса.

Технологія отримання скла – складний високотемпературний енергоємний процес. Сировиною для отримання звичайного віконного скла слугують три основних компоненти:

- чистий кварцовий пісок;
- сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,
- крейда  $\text{CaCO}_3$ .

Карбонатні речовини при варінні скла виділяють  $\text{CO}_2$  і сприяють освітленню скломаси. Інші сировинні матеріали також дають у складі скла речовини, що регулюють певні технологічні, фізичні або механічні властивості скла.

Розрізняють листове скло та скловироби. Технологічний процес їх виробництва відрізняється, насамперед, способом формування.

До термічної обробки скла належать *відпал* і *загартування*. Відпалу піддають усі види скла. Він полягає в повільному охолодженні за заданим режимом із метою зняття внутрішніх напружень. Невідпалене листове скло розтріскується при спробі розрізати його на дрібніші листи. Загартування полягає в швидкому охолодженні скла, попередньо підігрітого до 600...650 °С. Загартоване скло витримує падіння сталеві кулі вагою 800 г із висоти одного метра. При руйнуванні воно дає негострі уламки.

До механічної обробки деяких видів скла належать шліфування й полірування. До хімічної обробки належить, наприклад, травлення розчинами плавикової кислоти для створення непрозорого малюнка на склі або просто для отримання матової поверхні.

### ***Вироби зі скла***

*Стемаліт* – листи вторинного скла, покриті з внутрішнього боку керамічною фарбою, закріпленої термообробкою. Стемаліт має багату гаму відтінків (більше 25 кольорів). Розмір листів 400 × 900 і 1 100 × 1 500 мм.

*Марбліт* – листи, відформовані з кольорового глушеного скла завтовшки 6...12 мм. Лицьова поверхня марбліта – полірована, тильна – рифлена. Скло може бути однотонним або імітувати природний мармур. Крім облицювання фасадів, марбліт можна застосовувати для внутрішнього оздоблення, улаштування підвіконь, прилавків тощо.

*Скляна плитка* може бути отримана за різними технологіями й різних розмірів.

*Скляна емальована плитка* має нанесену глазур (емаль) на прямокутні плитки зі скла розміром від 100 × 100 до 200 × 200 мм із подальшою термообробкою для її закріплення.

*Килимо-мозаїчні скляні плитки* (розміром 20 × 20 і 25 × 25 мм) виготовляють із кольорової глушеної скломаси шляхом прокатування рифленим валком. Отриману стрічку розламують на плитки, які лицьовим боком наклеюють на крафтпапір. Утворені килими використовують для улаштування оздоблення.

*Смальта* – шматочки кольорового глушеного скла неправильної форми розміром близько 20 мм; отримують шляхом розламування більших плиток. Смальту використовують для виготовлення художніх мозаїчних панно.

*Склокристаліт, склокремнезіт* та інші види оздоблювальних плиток отримують шляхом спікання до повної монолітизації суміші гранул скла, гірських порід тощо на скляній або керамічній зв'язці. Ці матеріали мають властивості, притаманні скломатеріалам, хоча технологія їх отримання ближче до керамічної.

*Декоративна крихта з кольорового скла «еркльоз»* використовується для отримання декоративних бетонів методом вдавнення крихти в поверхню свіжозформованого бетону.

Зі скла виготовляють широку номенклатуру виробів: дзеркала, склопакети, склоблоки, склопрофіліт, покрівельні хвилясті листи, дверні полотна тощо.

*Склопакети* – найпоширеніший вид виробів зі скла. Отримують склопакети з двох (одинарний склопакет) або трьох (подвійний склопакет) листів скла, герметично з'єднаних між собою по контуру. Між листами скла знаходиться прошарок із сухого повітря або інертного газу. Листи в склопакет можна склеювати, паяти або зварювати.

Склопакети застосовують для скління вікон та інших світлових прорізів. Використання склопакетів має істотні переваги перед звичайним склінням листовим склом, бо вони не пітніють, не замерзають і не потребують протирання внутрішніх поверхонь. Склопакети мають низьку теплопровідність, а звукопроникність вікон зі склопакетів у 2...3 рази нижче звичайних. Застосування склопакетів є дуже ефективним при використанні алюмінієвих і пластикових рам і коробок, що виключає втрати тепла через нещільності вікна.

*Скляні блоки* доцільно використовувати в тих випадках, коли необхідно отримати світлопрозору захисну конструкцію з хорошими тепло- та звукоізоляційними характеристиками. Склоблоки виробляють із гарячої скломаси на пресавтоматах, на яких формують половинки блоків, а потім зварюють їх. При охолодженні в блоках утворюється розрядження, що

забезпечує хороші ізоляційні властивості. Внутрішня поверхня блоків має рифлення, яке надає блоку світлорозсіювальні властивості. Розміри склоблоків від  $200 \times 200$  до  $400 \times 400$  мм при товщині до 100 мм. Блоки можуть бути безбарвними й кольоровими. Світлопропускання блоків – 50...60 %, коефіцієнт теплопровідності – 0,4... 0,45 Вт/(м·К), що майже в два рази нижче, ніж у цегли. Крім звичайних блоків виготовляють двокамерні (з перегородкою, що зменшує теплопровідність блоку майже в 1,5 рази) і світлоспрямування (зі спеціальним рифленням, що дає спрямований потік світла).

*Склопрофіліт* – довжинорозмірні (до 5 м) профільовані елементи зі скла, виготовлені методом горизонтального прокачування. Склопрофіліт може бути коробчастого й таврового профілю. Його застосовують так само, як і скляні блоки для улаштування світлопрозорих огорож (зовнішніх стін і перегородок) у промислових будівлях, виставкових та спортивних залах тощо. Встановлюють склопрофіліт у металевих обоймах із пластиковими або гумовими ущільнювачами.

*Скляні труби* завдяки високій хімічній стійкості, гладкості поверхні й прозорості з успіхом використовують у низці галузей, наприклад, хімічній і харчовій промисловості. Пропускна спроможність скляних труб на 5...10 % вище, ніж сталевих при однаковому діаметрі. Основний недолік скляних труб – крихкість і низька термостійкість (допустимий перепад температур становить 50 °С). Скляні труби використовують як у вакуумних, так і в напірних (до 0,7 МПа) мережах.

*Скловолокно* отримують шляхом проходження скляного розплаву через найтонші фільтри (отвори в твердих матеріалах) із подальшим витягуванням і намотуванням на бобіни. Діаметр волокна – 3...100 мкм, довжина – до 20 км (для безперервного волокна). Коротші (1...50 см) штапельні волокна отримують шляхом роздування розплаву парою. Зі скловолокна отримують скляні тканини та скловойлок, які використовують як армувальний компонент при виробництві склопластиків або як основа в рулонних покрівельних і гідроізоляційних матеріалах (наприклад, склоізол, склоруберойд).

*Піноскло* – теплоізоляційний матеріал зі спученого розплавленого скла. За структурою та властивостями піноскло нагадує вулканічну пемзу й використовується у вигляді блоків.

## 2.2.2 Склокристалічні композити

*Ситали* – сучасні композиційні матеріали склокристалічної будови, які одержують шляхом спрямованої часткової кристалізації скла. Термін «ситали» утворений зі слів: скло та кристали, його ще називають склокерамікою,

пірокерамом. За структурою та технології отримання ситали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Від неорганічного скла вони відрізняються кристалічною будовою, а від керамічних матеріалів – більш дрібнозернистою й однорідною мікрокристалічною структурою.

Уперше подібний матеріал був створений у 1739 році Рене Реомюром, що ставив за мету отримати термостійке скло. Досвід був вдалим, але подальшого розвитку не отримав. Лише через два століття наука знову повернулася до спроб створити таку речовину. Скло, виготовлене Реомюром, було непрозоро-білим і більше схожим на порцеляну. Така особливість пояснюється порівняно великим розміром мікрокристалів, що складають цей матеріал. Ученим ХХ століття вдалося створити ситал із дрібнокристалічною структурою шляхом збільшення швидкості кристалізації, яка відбувається при плавленні, і збільшення кількості її центрів в оброблюваній масі. Для цього в основу стали додавати спеціальні компоненти – нуклеатори та прискорювачі. Завдяки такої модифікації технології у ситалів з'явилася характеристика прозорості.

Структура ситалів подібна до мікробетону, де наповнювачем є кристали, а в'язучим – прошарки скла. Частка склофази в ситалах зазвичай становить 20... 40 %, а вміст кристалічної фази коливається від 30 до 95 %. Розмір оптимально розвинених кристалів зазвичай не перевищує 1–2 мкм. Завдяки такій будові ситали набувають багато позитивних властивостей скла, зокрема і його технологічність, але позбавлені його недоліків: крихкості та низької термостійкості.

За багатьма параметрами ситал перевершує скло та композиції на основі скла. Недоліком ситалів є менша хімічна стійкість – наслідок наявності оксидів лужних металів. Через розсіювання світла на границях кристалітів ситали в шарі 0,35... 1 мм стають непрозорими. Від кераміки ситали відрізняються хорошою здатністю до обробки, відсутністю пористості, меншою вартістю.

У процесі кристалізації скла найістотніше змінюються такі його властивості:

1. Зростає механічна міцність, особливо помітно при випробуванні на вигин. Причина полягає в тому, що поверхневі тріщини, наштовхуючись на кристаліти, не можуть розвиватися так інтенсивно, як у склі.

2. Підвищується нагрівостійкість і температура початку деформації, оскільки діапазон температур розм'якшення-плавлення значно звужується порівно зі склом.

Сировина для виробництва ситалів така сама, як і для скла, але в розплав додають нуклеатори (каталізатори). До них належать солі світлочутливих металів Au, Ag, Si або фтористі й фосфатні сполуки,  $TiO_2$  та інші. Нуклеатори додають при плавленні скляної шихти, далі розплав охолоджують до

пластичного стану, а потім формують із нього вироби методами скляної технології, після чого проводиться ситалізація (кристалізація).

Властивості ситалів ізотропні. У них зовсім відсутня пористість. Усадка при кристалізації – до 2 %. Мають велику абразивну стійкість, високу хімічну стійкість до кислот і лугів, не окислюються навіть при високих температурах. Вони газо- та водонепроникні. Ситали належать до крихких матеріалів, за твердістю вони наближаються до сталі. Властивості ситалів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості ситалів

Властивість	Показник
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2 300–2 800
Водопоглинання, %	0,01
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 <sup>-7</sup> 10/град	12–120
Питома теплопровідність, ккал/(м·год·град)	7,4–16,9
Температура текучості, °С	750–1350
Межа міцності при вигині, МПа	50–260
Електрична міцність, МВ/м	25–75
Термостійкість, °С	500–900

Стійкість ситалів до руйнівних факторів фізичного, хімічного й температурного характеру зацікавила фахівців тих сфер, де потрібен високий рівень захисту від такого роду впливів. У будівництві та нафтопереробній галузі експлуатують ситалові труби. Шаром ситалу покривають металеві деталі автомобілів. На основі ситалу створюють будматеріали підвищеної міцності.

Ситали займають особливе місце й серед перспективних будівельних облицювальних матеріалів. Вони характеризуються комплексом цінних експлуатаційних властивостей, а саме: підвищена міцність і довговічність, морозостійкість, здатність тривалий час працювати в несприятливих умовах і агресивних середовищах, є біостійкими, гігієнічними, мають абсолютну стійкість до вицвітання під впливом сонячного випромінювання та миючих засобів. Вони належать до категорії негорючих оздоблювальних матеріалів, під дією вогню або високої температури не спалахують, не тліють і не виділяють токсичних речовин. Різноманітна колірна гамма й текстура, а також можливість створення на поверхні неповторного малюнка, аналогічного природним гранітам і мармуру, забезпечують склокристалічним матеріалам унікальні декоративні якості. Використання особливих технологій і прийомів, застосовуваних у їх виробництві дає змогу варіювати розміри й форму виробів.

Істотною перевагою будівельних ситалів є можливість використання при їх отриманні промислових відходів. Залежно від виду сировини розрізняють шлакоситали (на основі шлаків чорної й кольорової металургії), золоситали (на основі паливних шлаків і зол) і петроситали (на основі гірських порід і відходів гірничо-збагачувальних комбінатів). У шлакоситалів дуже висока міцність ( $D_{ст} = 300...600$  МПа;  $D_{виг} = 90...120$  МПа), зносостійкість і хімічна стійкість. За довговічністю шлакоситал може конкурувати з природними кам'яними матеріалами (граніт, габро тощо).

Високі експлуатаційні характеристики ситалових виробів (міцність і зносостійкість, хімічна стійкість, здатність витримувати високі температурні перепади) забезпечують їм можливість широкого застосування у будівництві. Застосування шлакоситалів є перспективним для хімічної промисловості (труби, плитки, деталі насосів), у гідротехніці (для облицювання турбінних камер, водозливів), у дорожньому будівництві тощо.

Шлакоситали добре зарекомендували як матеріали для настилу підлог промислових і цивільних будівель, для облицювання зовнішніх і внутрішніх стін, для футерування будівельних конструкцій, пов'язані з впливом хімічних речовин і абразивного зносу. Для розширення колірної гама поверхню шлакоситалів можна декорувати силікатними емаллями, деколями, ангобами.

Аналіз фізико-хімічних властивостей склокристалічних матеріалів, їхніх декоративних і експлуатаційних характеристик доводить, що цей клас штучних матеріалів може успішно застосовуватися в будівництві поряд із природними гранітами і мармуром для облицювання зовнішніх і внутрішніх поверхонь будівель і споруд, як підлогових і покрівельних покриттів, для пристрою внутрішніх перегородок, сходових маршів, настилів та інших будівельних елементів.

Удосконалення технології виробництва ситалів триває, що дає їм перспективу набувати у майбутньому нові властивості.

### ***Кам'яне лиття***

Кам'яним литтям називають матеріали й вироби, отримані методом лиття з розплавлених гірських порід (базальтів, діабазів, доломіту тощо). Технологія виробництва кам'яного лиття зародилася в 20-і роки ХХ століття в СРСР, Франції та Німеччині. З гірських порід і металургійних шлаків методом лиття з розплавів можна отримати різноманітні будівельні матеріали з високими експлуатаційними властивостями.

Структура кам'яного лиття складається з кристалічних утворень розміром 5–800 мкм і аморфної склоподібної маси. Залежно від основного матеріалоутворюючого мінералу його поділяють на піроксенові, менілітові,

мулітові, корундові тощо. Як вихідну сировину для виробництва кам'яного лиття застосовують гірські породи магматичні (базальт, діабаз) і осадові (кварцовий пісок, доломіт, крейда, мармур). Перші дають темнозабарвлені вироби, а другі мають світле забарвлення. Для отримання кам'яного лиття можливе використання металургійних шлаків; особливо ефективно їх використання у вогневорідкому стані. Доцільно застосовувати відходи видобування гірських порід. Найбільш придатні гірські породи зі вмістом  $\text{SiO}_2$  до 42...47 %.

Для зниження температури плавлення шихти й відбілювання складу розплаву в шихту додають плавиковий шпат і окис цинку. При більшій кількості  $\text{SiO}_2$  підвищується в'язкість розплаву, знижуються ливарні якості й погіршується кристалізація. Плагіоклази підвищують кристалізаційну здатність розплаву, але і підвищують температуру плавлення. Олівіни й піроксени поліпшують ливарні якості матеріалу, але збільшують крихкість виробів і підвищують температуру плавлення.

Для зниження температури плавлення до шихти додають флюси (плавиковий шпат 3 %); для прискорення процесів кристалізації при охолодженні розплаву – тугоплавкі матеріали: магнезит, хроміт і хромітну руду, що діють як центри кристалізації (затравки); для відбілювання розплаву використовують окис цинку в кількості 0,8 %. Перед завантаженням у піч сировинні матеріали подрібнюють, просівають і дозують у необхідному співвідношенні. Для плавлення шихти застосовують шахтні, ванні, обертові й електричні печі.

Розплав утворюється при температурі 1 400...1 500 °С. Для утворення належної структури виробів і зниження усадочних дефектів (тріщин, раковин), перед розливанням у форми розплав охолоджують. Поступове зниження температури сприяє випаданню кристалічної фази з розплаву. Уведені в сировинну суміш мінералізатори сприяють прискоренню процесу кристалізації, шляхом регулювання температури управляють ступенем кристалічності камнелітних виробів.

Вироби з кам'яного лиття за своєю однорідністю та технічними властивостями перевершують природні кам'яні матеріали. Регулюючи температурний режим та тривалість процесу виробництва, а також хімічний склад розплаву, отримують кам'яне лиття з певними фізичними, хімічними й механічними властивостями. Вироби з кам'яного лиття мають високу хімічну, термо- та зносостійкість, значну механічну міцність.

Основні фізико-механічні константи виробів із кам'яного лиття: густина 2900–3000  $\text{кг/м}^3$ ; пористість – не більше 1...2 %; пори замкнуті, що забезпечує нульове водопоглинання і високу морозостійкість. Межа міцності на стиск 200–

500 МПа, вигин 30–80 МПа, розтягнення 20–25 МПа; твердість 6...7 (за шкалою Мооса), хімічна стійкість в кислотах не менше 98 %; стираність 0,04–0,05 г/см<sup>2</sup>; теплопровідність 0,7–1,0 Вт/(м·К).

Залежно від вихідної сировини виробляють в промислових масштабах кам'яне лиття таких видів:

- кислото- та зносостійке з базальту, діабазу й доломіту (кислототривкі футерувальні плитки для хімічної промисловості, футерування та кулі для промислових млинів);

- труби, лотки для захисту робочих поверхонь бункерів, жолобів та інших вузлів гірничо-збагачувального, металургійного та енергетичного обладнання; плитки для підлоги;

- броня для каналів гідрозоловидалення на ТЕЦ, штуцери та інші фасонні вироби;

- термо- та зносостійке мулітове з шихти, що складається з бокситу, глинозему, каолініту тощо (бруси для футерування склоплавильних печей);

- атмосферостійке з діопсиду (плитки білі для зовнішнього облицювання будівель).

З кам'яного лиття виробляють продукцію, яка експлуатуються в особливо важких умовах, наприклад плитки для підлог використовують у цехах з агресивними середовищами, в дорожньому будівництві, вироби з кам'яного лиття застосовують для футерування бункерів, корпусів флотаційних машин, травильних ванн, відстійників, виробів для захисту обладнання, споруд, трубопроводів і комунікацій від шкідливого й руйнівного впливу техногенного навколишнього середовища тощо. Діелектричні властивості кам'яного лиття використовуються у виробництві електроізоляційних виробів.

Кам'яне литво світлих тонів застосовують як матеріал для облицювання унікальних будівель і споруд, а також для виготовлення архітектурних деталей і скульптури.

З розплаву гірських порід отримують також волокнистий матеріал (кам'яну вату) з довжиною волокон 2–60 мм. Її виготовляють за тією самою технологією, що і скловату. Марки виробів з такої вати за середньою густиною від 50 до 250, коефіцієнт теплопровідності 0,077–0,064 Вт/(м·К).

До сучасних композиційних матеріалів на основі кам'яного лиття також належать штучні камені. Виробництво штучних каменів на основі кам'яного лиття можливо за схемою, коли вогнетривкий заповнювач об'єднують із розплавом, після чого виріб формують, а за необхідності й пресують із подальшим охолодженням до звичайних температур. За іншою схемою заповнювач об'єднують з холодною високодисперсною сировиною (у присутності будь-якого рідкого середовища), після чого відформовані вироби



проходять термічну обробку. Під час цієї обробки прошарок сировини у відформованому виробі частково розплавляється та при охолодженні переходить у склокристалічний стан із цементувальними властивостями, фіксує мікро- й макроструктуру конгломерату на основі кам'яного лиття. Отриманий за обома технологіями конгломерат характеризується мікроструктурою в'язучої частини й контактного шару між в'язучою речовиною та заповнювачем, істотно впливаючи на макроструктуру штучного каменю та його властивості. При оптимізації складів і технологічних операцій можна отримувати вироби з комплексом необхідних технічних властивостей. Отримані за такий спосіб вироби мають важливі переваги:

1. Зносостійкість. Кам'яне литво належить до 7–8 групи твердості за шкалою Мооса і перевершує за цим показником більшість інших матеріалів (зокрема сталь, чавун, гуму). Це гарантує його підвищену стійкість до абразивних впливів і загальному зносу.

2. Довговічність. Каменелітні вироби з часом не змінюють своїх характеристик, тому термін їх експлуатації практично не обмежений.

3. Хімічна стійкість. Матеріали цього типу не бояться впливів більшості промислових кислот (крім плавикової), бензинів та інших агресивних речовин.

4. Невисока теплопровідність, яка забезпечує теплоізоляційні властивості.

5. Термостійкість. Вироби не бояться перепадів температур. Спеціальне термостійке лиття витримує десятки циклів нагрівання до 800 градусів.

6. Невелика густина. Їх густина становить близько 2 800 кг/м<sup>3</sup>, що приблизно в три рази легше сталі – це спрощує футерування й робить використання таких матеріалів економічно доцільним.

### **2.3 Метали, сплави та вироби на їх основі**

Метали – кристалічні речовини, які характеризуються високими електро- та теплопровідністю, ковкістю, здатністю добре відбивати електромагнітні хвилі й іншими специфічними властивостями. Властивості металів обумовлені їхнього будовою: в їх кристалічній решітці є не пов'язані з атомами електрони, які можуть вільно переміщатися.

У будівництві зазвичай застосовують не чисті метали, а сплави, що пов'язано з необхідністю надання металам необхідних властивостей.

Сплави – це системи, що складаються з декількох металів або металів і неметалів. Сплави мають характерні властивості металів. У будівництві застосовують сплави заліза з вуглецем (сталь, чавун), міді та олова (бронза) і

міді та цинку (латунь) тощо. На практиці термін «метали» поширюють і на сплави, тому далі він стосується і металевих сплавів.

Метали, які застосовують у будівництві поділяють на дві групи: чорні і кольорові. До чорних металів належать залізо та сплави на його основі (чавун і сталь).

### 2.3.1 Чорні метали у сучасному будівництві

Виробництво чорних металів із залізної руди – складний технологічний процес, який може бути умовно розділений на дві стадії. На першій стадії отримують чавун, а на другій – його переробляють у сталь. Чавуном називають сплав заліза з вуглецем (2...6,67 %), крім них до складу сплаву можуть входити кремній, марганець, сірка, фосфор тощо. Вихідними матеріалами для виробництва чавуну є залізні руди, паливо та флюси. Найчастіше застосовуються залізні руди: червоний ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнітний ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), бурий ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), шпатовий ( $\text{FeCO}_3$ ) залізняка, що містять 30...70 % заліза й пусту породу з різних природних хімічних сполук ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та інші) і шкідливі домішки (сірки, фосфору). Паливом слугує кокс – продукт сухої перегонки (без доступу повітря) коксівного кам'яного вугілля. Флюси (плавні) – вапняки, доломіт, кварц, пісковики застосовують для зниження температури плавлення пустої породи й переведення її та золи палива в шлак.

Основними технологічними операціями при виготовленні металевих матеріалів є такі:

- обробка сировини (дроблення, промивання, збагачення залізних руд);
- дозування;
- плавка (отримання металів);
- формування (отримання металевих матеріалів).

За необхідності застосовують механічні та хімічні способи обробки, лаки, фарби, наносять тонкі металеві або полімерні плівки.

*Сталь* – сплав заліза з вуглецем (до 2,14 %) та іншими елементами. За хімічним складом розрізняють сталі вуглецеві й леговані, а за призначенням – конструкційні, інструментальні та спеціальні.

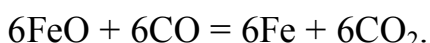
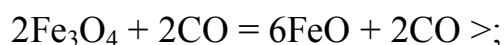
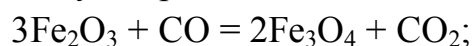
*Чавун* – сплав заліза з вуглецем (понад 2,14 %), деякою кількістю марганцю (до 2 %), кремнію (до 5 %), а іноді й інших елементів. Залежно від будови та складу чавун буває білий, сірий і ковкий.

Хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза, в якому міститься 6,67 % вуглецю, називають цементитом. Цементит крихкий і має високу твердість. Чим більше цементиту в сплаві, тим він більш твердий і крихкий. У деяких випадках (наприклад, у присутності великої кількості кремнію)

цементит не утворюється, а вуглець виділяється у вигляді графіту (у сірому чавуні).

У сталях і чавунах ферит, аустеніт і цементит існують у вигляді механічних сумішей. Інакше кажучи, сталь і чавун – полікристалічні матеріали, властивості яких залежать як від хімічного складу (кількості заліза, вуглецю та інших домішок), так і від структури (типу й розміру кристалів). Наприклад, при нагріванні до температури вище 723 °С тверда й міцна вуглецева сталь, що складається з суміші фериту й цементиту, стає м'якою та міцність її падає, так як суміш фериту і цементиту переходить в аустеніт – розчин вуглецю в γ-залізі. На цьому заснована гаряча обробка (прокат, кування) вуглецевих сталей. Цим самим пояснюється різке падіння міцності сталевих конструкцій при нагріванні під час пожежі.

Основним способом виробництва чавуну з руд на сьогодні є доменний високотемпературний (до 1 900 °С) процес, що полягає у відновленні заліза з руд (оксидів) при високій температурі й відокремлення його від порожньої породи руди. Цей процес може бути представлений такими реакціями:



У нижній частині печі частина відновленого заліза з'єднується з вуглецем і утворюється карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$  (коксування заліза). Потім відбувається розплавлення навуглецьованого металу, який стікає в горн доменної печі, при цьому насичення заліза вуглецем триває. Унаслідок плавлення відбувається відновлення не тільки заліза, але й інших елементів, що знаходяться в руді (Si, Mn, P), які, а також частина сірки у вигляді  $\text{FeS}$  переходять у чавун. У горн стікає також розплавлений шлак і спливає над чавуном, так як його густина менше, ніж чавуну.

Унаслідок доменного плавлення можуть бути отримані різні види чавунів: переробні (80...90 %), що йдуть переважно на виробництво сталі; ливарні (8–18 %), що призначаються для отримання чавунних виливків; феросплави (2–3 %), що містять підвищену кількість марганцю, кремнію. Феросплави застосовують як добавки у виробництві сталі.

*Сірий чавун* – це чавун, у якому вуглець перебуває у вільному стані у формі пластинчастого графіту. *Високоміцний чавун*, в якому вуглець перебуває у вільному стані у формі кулястого графіту, застосовується для виготовлення деталей, що піддаються значним механічним навантаженням. *Ковкий чавун* має більш високі характеристики пластичності порівняно з зазначеним вище чавуном і застосовується у виготовленні деталей, де потрібні більш високі показники механічних властивостей.

Для отримання сталі крім передільного чавуну використовують також металобрухт. Останніми роками почало розвиватися безпосереднє отримання сталі з залізних руд. Сталь отримують з чавуну й залізного брухту та спеціальних добавок, зокрема й легувальних елементів, шляхом плавлення у мартенівських печах, конверторах або електричних печах.

Залежно від складу сталі, вона може бути міцним матеріалом або твердим. Міцний матеріал використовується для виготовлення морських суден, мостів. Що ж стосується твердої сталі, вона використовується для виготовлення різних металорізальних інструментів. Існує також нержавна сталь, яка є дуже міцним і антикорозійним матеріалом. Нержавна сталь складається з хрому та нікелю.

Сталь – це матеріал, якому можна надавати будь-яку форму за допомогою прокачування, пресування або лиття. За допомогою термообробки можна отримати сталь, яка буде мати різні як хімічні, так і фізичні властивості. Деякі м'які сталі обробляються ручним інструментом. Твердою сталлю можна навіть різати скло. Сталь легко піддається методу полірування.

Зі сталі виготовляють профілі та листи, оболонки, мембрани, канати, троси, черепицю, декоративно-художні вироби.

Сталеві злитки – напівфабрикат, із якого різними методами отримують необхідні вироби. Зазвичай застосовують обробку сталі тиском: метал під дією прикладеної сили деформується, зберігаючи придбану форму. При обробці металу тиском практично немає відходів. Для полегшення обробки сталь часто попередньо нагрівають. Розрізняють такі види обробки металу тиском: прокат, пресування, волочіння, кування, штампування. Найпоширеніший метод обробки – прокат; їм обробляється понад 70 % сталі.

*Під час прокату* сталевий злиток пропускають між обертовими валками прокатного стану, унаслідок чого заготовка обжимається, витягується та залежно від профілю прокатних валків набуває задану форму (профіль). Прокочують сталь переважно в гарячому стані. Сортамент сталі гарячого прокату – сталь кругла, квадратна, полоsoва, кутова рівнобічна й нерівнобічна, швелери, двотаврові балки, шпунтові палі, труби, арматурна сталь гладка та періодичного профілю тощо.

*Під час волочіння* заготовка послідовно протягується через отвори (фільери) розміром менше перетину заготовки, унаслідок чого заготовка обжимається та витягується. При волочінні в сталі з'являється так званий наклеп, який підвищує її твердість. Волочіння сталі зазвичай виробляють у холодному стані, при цьому отримують вироби точних профілів із чистою та гладкою поверхнею. Способом волочіння виготовляють дроти, труби малого діаметра, а також прутки круглого, квадратного й шестикутного перетину.

*Кування* – обробка розпеченої сталі повторюваними ударами молота для надання їй заданої форми. Шляхом кування виготовляють різноманітні сталеві деталі (болти, анкери, скоби тощо).

*Штампуння* – різновид кування, при якому сталь, розтягуючись під ударами молота, заповнює форму штампа. Штампуння може бути гарячим і холодним. Цим способом можна одержувати вироби дуже точних розмірів.

*Пресуння* – це процес видавлювання сталі, яка знаходиться у контейнері, через вихідний отвір (очко) матриці. Вихідним матеріалом для пресуння слугує лиття або прокатні заготовки. Цим способом можна одержувати профілі різного перетину, зокрема пруті, труби невеликого діаметра й різноманітні фасонні профілі.

*Холодне профілювання* – процес деформування листової або круглої сталі на прокатних станах. З листової сталі отримують гнуті профілі з різною конфігурацією в поперечнику, а з круглих стрижнів на верстатах холодного профілювання шляхом сплюснення – зміцнену холодно сплюснену арматуру.

*Прокатну сталь* застосовують для виготовлення шляхом зварювання або клепки різноманітних сталевих будівельних конструкцій (каркаси й ферми промислових і цивільних будівель, прогонові будови мостів, опори ліній електропередачі, ліхтарі освітлення будівель тощо). Крім того, з прокатної та штампованої сталі спеціальних профілів виробляють віконні рами промислових і громадських будівель.

*Сортамент сталі*: труби, листи (для обшивки панелей, огорож балконів, зовнішнього облицювання, підвісних стель), сортовий прокат (профілі, несучі та огорожувальні конструкції, вікна, вітрини, для підвісних стель, плінтусів, розкладок тощо).

Сфера застосування будівельних матеріалів зі сталі: підвісні системи, каркаси будівель, мости і шляхопроводи, радіо й телевізійні вежі, ферми, ванти. У будівництві сталь використовують для виготовлення конструкцій, армування залізобетонних конструкцій, улаштування покрівлі, риштування, огорож, форм залізобетонних виробів.

*Методи захисту*: застосовують захисні покриття (лакофарбові), електрохімічний захист і сповільнювачі корозії (інгібітори), які змінюють склад корозійного середовища.

*Легування* найбільш надійно захищає метал від корозії, до того ж найефективніша в умовах впливу механічних напружень і корозійного середовища. Легування дає змогу запобігти й корозійному розтріскуванню виробів зі сталі, підвищує її антикорозійні властивості.

Металеві покриття наносять на поверхню виробу тонким шаром металу, що має достатньою стійкістю в конкретному середовищі. Металеві покриття

надають також поверхневому шару металовиробів необхідну твердість, зносостійкість. Широке застосування отримали цинкові покриття для захисту арматури, труб і резервуарів від дії води й гарячих рідин.

Неметалеві покриття виконуються з лаків, фарб, емалей та інших речовин і ізолюють виріб від впливу зовнішнього середовища. Вони легко наносяться на виріб, добре закривають пори, не змінюють властивостей металу та є порівняно дешевими. При зберіганні й перевезенні металеві вироби покривають спеціальними мастильними матеріалами, мінеральними маслами та жирами. Для захисту виробів, що працюють у високоагресивних середовищах, застосовують пластмасові покриття з вініпласту, полівінілхлориду.

*Хімічні покриття* – захисні оксидні інші плівки, що утворюються при впливі на метал сильних хімічних реагентів. Широко застосовують також оксидування та фосфатування металовиробів.

*Оксидування* полягає в створенні на поверхні виробу оксидної плівки, яка має велику корозійну стійкість. Найширше застосовують оксидування для захисту від корозії виробів з алюмінію та його сплавів.

*Фосфатування* полягає в одержанні поверхневої плівки з нерозчинних солей заліза або марганцю внаслідок занурення металу у гарячі розчини кислих фосфатів заліза або марганцю.

*Лакофарбові покриття* оснований на механічному захисті металу плівкою з різних фарб і лаків. Ванни, раковини, декоративні вироби для захисту від корозії покривають емаллю, тобто наплавляють на метал при температурі 750...800 °С різні комбінації силікатів.

Сталеві конструкції виконують зазвичай із прокатних елементів різного профілю (трубчастих і гнутих), смугової та листової сталі. Найчастіше застосовують такі гнуті й прокатні профілі: куточки рівно- й нерівно-поличні, швелери, двотаврові балки, підкранові рейки, прокатну листову сталь (круглу, квадратну, смугову, штамповану, листову, рифлену, хвилясту), прямокутні та квадратні труби (рис. 2.1).

Одним із сучасних видів продукції з металів є *металочерепиця*. Вона класифікується за призначенням, матеріалом вихідної заготовки, наявності та виду захисно-декоративного покриття.

Основний показник металочерепиці – вага. Один метр квадратний цього покрівельного матеріалу важить 5 кг (наприклад: керамочерепиця – 40 кг, а шиферна черепиця – від 10 кг до 15 кг). Саме ця характеристика металочерепиці дає змогу здешевити не тільки конструкцію кровляної системи, але й усього будинку загалом.

Основа металочерепиці – лист зі сталі з низьким вмістом вуглецю. Найоптимальнішою товщиною сталі є 0,5 мм. Формування сталевих листів

такої товщини проводиться без особливих зусиль, а матеріал не поступається своєю міцністю.

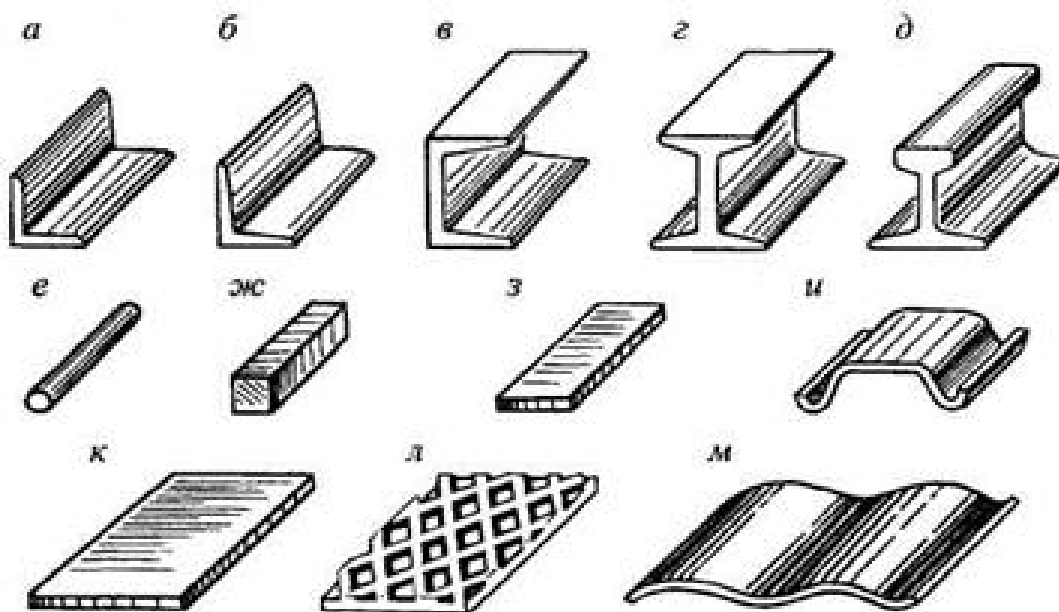


Рисунок 2.1 – Сортамент прокатних сталей:

а – рівнополочний куток; б – нерівнополочний куток; в – швелер; г – двутавр;  
д – підкранова рейка; е – кругла; ж – квадратна; з – смугова; и – штампована;  
к – листова; л – рифлена; м – хвильова

Лист сталі з обох боків покривається шаром цинку, ґрунтівкою, шаром полімеру відповідного кольору. Полімер є стійкий до різноманітних деформацій і його нанесення дозволяє зберегти колір черепиці та захистити лист сталі від впливу атмосферних факторів і корозії. Як полімерне покриття можуть застосовуватися:

– поліестер. Наносять товщиною до 25 мкм. Він має високу зносостійкість і високу стійкість до перепадів температур. Він не пошкоджується при формуванні, тому під час штампування профілю можуть подаватися листи з вже нанесеним покриттям. Крім того, поліестер є одним з найдешевших покриттів;

– пурал – товщина покриття 50 мкм, приємна шовковисто-матова структура поверхні. Товстіше покриття гірше витримує формування, але забезпечує більш високу стійкість до впливу зовнішніх факторів;

– пластизол – товщина шару 200 мкм, широка колірна гамма й максимальна стійкість до механічних і температурних впливів. Однак черепиця

з покриттям із пластизолу темного відтінку сильно нагрівається під променями сонця, а тому активно вицвітає.

Після нанесення захисних покриттів металочерепиця потрапляє в формувальний механізм, де їй надають відповідний профіль. Після профілювання металочерепицю нарізають необхідних розмірів.

До основних переваг металочерепиці належать:

- високий рівень міцності й надійності;
- великий асортимент забарвлення та профілів;
- екобезпека;
- легкий монтаж;
- простота в експлуатації;
- тривалий термін експлуатації;
- широкий температурний діапазон використання;
- не вигорання під сонцем;
- наявність повного набору комплектуючих;
- доступна ціна.

Основні недоліки металочерепиці:

- пошкодження захисного полімерного шару призводить до корозії;
- великий рівень шуму при дії вітру й дощу (захиститися від цього можна за допомогою встановлення спеціальних звукоізоляційних матеріалів);
- низький рівень теплоізоляції;
- вимагає монтажу особливого водовідведення.

Металочерепиця, виготовлена з алюмінію та міді, поступається сталевій за міцністю, але якісно відрізняється стійкістю до корозії та суттєво триваліш терміном служби (до 100 і більше років).

**Вироби з чавуну.** У сучасному цивільному й промисловому будівництві широко використовуються різні чавунні вироби. Серед них передусім варто назвати санітарно-технічні вироби та обладнання, наприклад опалювальні радіатори, опорні частини колон, огорожі, сходи, ванни, мийки, вентиля. Чавунні труби застосовують для стояків санітарно-технічних кабін, каналізаційних мереж, для відводу промислових вод.

Чавунні литі вироби виготовляють різними способами, серед яких найпростішим є лиття в форми. Прогресивні способи лиття чавуну – під тиском і відцентровий. З сірого чавуну шляхом лиття отримують елементи будівельних конструкцій, що працюють на стиск (колони, опорні подушки, арки, склепіння, тубінги метрополітену, плити для підлог промислових будівель тощо). Його використовують для лиття труб пічних приладів (топкові дверцята, засувки, колосники), а також архітектурно-художніх виробів (рис. 2.2).



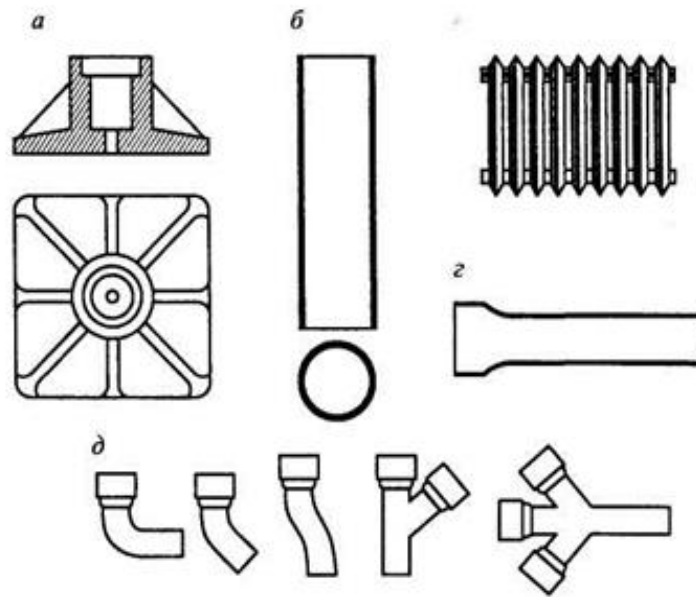


Рисунок 2.2 – Будівельні вироби із чавуну:

а – опорна подушка колони; б – колона; в – опалювальний радіатор; г – труба;  
д – фасонні частини труби

З метою підвищення зносостійкості підлог у виробничих приміщеннях, де їхня поверхня піддається механічним впливам транспорту, верхнє покриття виконують із сталцементного складу: в суміш цементу з водою додають дроблену сталеву стружку. У приміщеннях, де підлога витримує великі ударні навантаження, для їх покриття використовують гладкі й рифлені чавунні дірчасті та сталеві штамповані плити. Чавунні плити з опорними виступами призначені для гарячих цехів (ковальських, сталеплавильних, ливарних, прокатних). Їх застосовують у залах, де підлога нагрівається до температури 1 000...1 400 °С (охолодження на підлозі розпечених металевих болванок і деталей, потрапляння розплавленого металу у вигляді бризок).

### 2.3.2 Кольорові метали та вироби з них

Для того щоб отримати будівельні матеріали, які повинні мати високі технічні особливості, будівельники використовують для їх виробництва кольорові метали. Застосування кольорових металів в будівництві має масу переваг, серед яких можливість створювати різні архітектурні концепції, виробництво високоякісних елементів інтер'єру тощо. Необхідно відзначити, що кольорові метали не бояться води й не зазнають корозії, а також вони чудово виглядають і нерідко використовуються як зовнішнє оздоблення та створення будівельних конструкцій.

До кольоровим металів належать алюміній, мідь, цинк, олово, нікель, титан, магній та інші.

Видобування кольорового металу обмежене природними джерелами та є трудомістким і тривалим процесом. У чистому вигляді їх у будівництві рідко використовують. Значно частіше застосовують сплави кольорових металів, які за густиною поділяють на легкі й важкі.

*Легкі сплави* високої міцності, мають гарні високотемпературні й механічні властивості. Основними металами для отримання легких сплавів є алюміній, магній, титан і берилій. Однак сплави на основі алюмінію та магнію не можуть застосовуватися в умовах високої температури та в агресивних середовищах.

*Важкі метали* отримують на основі міді, олова, цинку, свинцю. Серед важких сплавів у будівництві застосовують бронзу (сплав міді з оловом або сплав міді з алюмінієм, залізом і марганцем) і латунь (сплав міді з цинком). З цих сплавів виготовляють архітектурні деталі й санітарно-технічну арматуру.

Кольорові метали отримують зі збагаченої руди – так званого рудного концентрату. У кольоровій металургії термін «збагачення» означає штучне підвищення вмісту металу в сировину. Фактично, це спосіб поділу утворень на метали й мінерали.

У будівництві переважно застосовують сплави міді й алюмінію; перспективними також є сплави на основі титану.

Алюміній – легкий сріблясто-білий метал з температурою плавлення 657 °C і густиною 2,7 г/см<sup>3</sup>. Алюміній на повітрі миттєво покривається дуже тонкою та міцною оксидною плівкою Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, що захищає його від подальшого окислення і дії води. Вода не діє на алюміній навіть при підвищеній температурі. Тому він стійкий до атмосферної корозії. Однак алюміній руйнується лугами й кислотами.

У чистому вигляді алюміній застосовують для виготовлення фольги, дротів, порошку. Алюмінієву фольгу використовують як ефективний утеплювач або декоративний матеріал. Дроти використовують для виготовлення електричних проводів, алюмінієвий порошок – як наповнювач в фарбах або газотворювач при виготовленні пористих бетонів. Чистий алюміній як конструкційний матеріал у будівництві практично не використовують через його невисоку міцність. З цією метою зазвичай застосовують сплави алюмінію.

*Алюмінієві сплави* зберігають легкість (густина до 3,0 г/см<sup>3</sup>), корозійну стійкість і пластичність при низьких температурах. При цьому міцність деяких марок алюмінієвих сплавів порівнянна з міцністю сталі. Такі сплави легко обробляються шляхом різанням та зварюються за допомогою контактного

зварювання. Недоліками алюмінієвих сплавів є порівняно низький модуль пружності, високий коефіцієнт лінійного розширення та порівняно відносна складність з'єднання елементів конструкцій.

Залежно від складу алюмінієві сплави поділяють так: Al-Si (силуміни); Al-Mg (магналії); Al-Cu-Mg (дюралюміній); Al-Mg-Si (авіали) і складніші (багатокомпонентні) з покращеними властивостями: високоміцні (Al-Zn-Mg-Cu, Al-Cu-Li або Al-Cu-Mg-Li), жароміцні (Al-Cu-Mn або Al-Cu-Mg-Fe-Ni), корозійностійкі (для роботи у морській воді й агресивних середовищах). Для виробництва наведених видів сплавів в якості легуючих компонентів додають хром, цирконій, цинк, нікель, літій тощо.

Для виготовлення будівельних виробів з алюмінієвих сплавів найширше застосовують сплави з магнієм, міддю, кремнієм, марганцем. Алюмінієві сплави наближаються за властивостями опору руйнуванню, до будівельної сталі. При цьому алюміній має низьку густину та стійкість до появи іржі. Алюмінієві сплави часто застосовуються при виготовленні прокату у вигляді профілів: кутів, металевих виробів П-подібної конструкції, стандартних профілів конструктивних елементів із чорного прокату, трубі з перетинами у вигляді кола та прямокутника. Алюмінієві сплави використовуються також для виробництва будівельних деталей. Предмети з алюмінію характеризуються простотою виробництва, красивими зовнішніми характеристиками, здатністю протистояти сейсмічним впливам, здатність протистояти впливу вогню та магнітів. Ці якості дозволяють алюмінію гідно конкурувати з багатьма іншими кольоровими матеріалами.

Для покриття виробничих та громадських опалювальних будівель, використовують спеціальні панелі, що заздалегідь обшивають рулонами й листами з алюмінію. З алюмінію роблять сходові поручні, покрівельні матеріали, дверні та віконні конструкції, а також огорожі та багато іншого.

*Мідь і її сплави* належать до металів, відомих із глибокої давнини, оскільки зустрічалися в природі у вигляді самородків, а також досить просто виплавлялися з мідних руд. Мідь – корозійностійкий метал: у сухому повітрі мідь не окислюється, у вологому – покривається коричневою оксидною плівкою, що захищає від подальшого окислення. Знаходження міді роками у вологому повітрі призводить до утворення на її поверхні стійкого блакитного шару (карбонату міді), званого патиною.

Мідні сплави, які базувалися на металах високої хімічної стійкості – золоті та сріблі – в недалекому минулому застосовувалися для оздоблювання. Використання ж їх у будівництві обмежувалося високою ціною.

У будівництві мідні листи завтовшки 0,4...0,6 мм використовують для влаштування красивих і довговічних покрівель, водостічних систем та

водопровідних труб. Велика частина міді застосовується у вигляді сплавів – латуні й бронзи.

Латуні – сплави міді з цинком (10...40 %); добре піддаються, прокату, штампуванню та витягуванню. Міцність і твердість вища, ніж у міді:  $R_p = 250...600$  МПа;  $HB = 500...700$ . У будівництві латунь використовують для декоративних елементів (поручні, накладки тощо) і для санітарно-технічних пристроїв. У деяких країнах (наприклад, Англії) латунні труби, які характеризуються високою теплопровідністю та корозійною стійкістю, застосовують в опалювальних і водопровідних системах; такі системи відрізняються дуже високою довговічністю.

Бронзи – сплави міді з оловом (до 10 %), алюмінієм, свинцем тощо. Їхня міцність майже така ж, як у міді, твердість ж істотно вище –  $HB = 600...1600$ . Бронзи мають гарні ливарні властивості та є корозієстійкими. Застосовують для декоративних елементів (фурнітура для дверей і вікон тощо), у сантехніці й для спеціальних цілей.

Олов'яна бронза – це найдавніший зі сплавів, отриманих людьми. Однак спеціальні (що не містять олова) бронзи мають кращі механічні властивості, Дешевші й широко застосовуються. Так, алюмінієві бронзи (містять 4–11,5 % Al) мають підвищену корозійну стійкість; берилієві бронзи (містять від 1,6 до 2,2 % Be) мають високу міцність і стійкість до корозії, хорошу пластичність і антифрикційні властивості.

Титанові сплави набувають останнім часом все більшої популярності; вони поєднують у собі низьку густину ( $4500$  кг/м<sup>3</sup>); високу міцність ( $R_p = 700–1200$  МПа), твердість ( $HB >$  тисячі) і високу корозійну стійкість. У будівництві титан застосовують тільки для унікальних споруд через дуже високу вартість і дефіцитність.

## 3 БЕЗВИПАЛЬНІ СУЧАСНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

### 3.1 Склад та властивості бетонів

Останні десятиліття ознаменувалися значними досягненнями в технології бетону. Головними компонентами його є в'язучі речовини, крупний та дрібний заповнювач, вода та добавки (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Склад традиційного бетону

Потім з'явилися й набули широкого поширення нові ефективні в'язучі, модифікатори для в'язучих і бетонів, активні мінеральні добавки й наповнювачі, армувальні волокна, нові технологічні прийоми та методи отримання будівельних композитів. На межі століть істотно збагатилися наші уявлення про структуру та властивості бетону, процеси структуроутворення, з'явилася можливість прогнозування властивостей і активного управління характеристиками матеріалу, успішно розвиваються комп'ютерне проектування бетону й автоматизоване управління технологічними процесами.

Унаслідок стрімкого процесу удосконалення бетону, розпочатого з порівняно нескладної трикомпонентної системи, сьогодні створені й все частіше застосовуються п'ятикомпонентні системи, які поряд з такими традиційними вихідними матеріалами, як цемент, вода, великий і дрібний заповнювач, включають у себе спеціальні добавки. Завдяки застосуванню таких додаткових компонентів, з одного боку, з'явилися розробки низки нових видів бетону зі спеціальними, чудовими властивостями й високим інноваційним потенціалом: самоущільнюючий, високоміцний, високопластичний із додаванням синтетичних фібрилярних матеріалів і тощо; з іншого боку, застосування добавок і додаткових коштів дозволяє здійснити цілеспрямоване, ефективне й економічне коригування потрібних властивостей свіжо

виготовленого та затверділого бетону «традиційного» складу в широкому діапазоні різних варіацій.

Сучасне будівництво потребує по-перше – якісний бетон, по-друге – відносно дешевий, по-третє щоб зберігав свої властивості під час перевезення. На сьогодні в проектах будівель і споруд із монолітного бетону, при будівництві висотних будівель все частіше застосовують бетони високого класу, до С 35/45 – С 50/60, для яких крім міцності необхідно забезпечити й інші параметри, зокрема: морозостійкість, водонепроникність; збереження необхідної рухливості бетонної суміші під час транспортування та укладання; – забезпечення набору необхідної міцності при зимовому бетонуванні; – регулювання температури твердіння бетону.

Загальна теорія отримання штучних будівельних матеріалів сприяє не тільки суттєвому підвищенню якості й вдосконаленню технологій із переведенням їх у прогресивні на рівні світових досягнень, а й створення нових будівельних матеріалів з конгломератних типом структури. У єдиної класифікації передбачені своєрідні групи конгломератів певного різновиду. Однак ці групи й окремі конгломерати в них продовжують залишатися пов'язаними загальною теорією, загальними закономірностями оптимальних структур.

Створення нових будівельних конгломератів ґрунтується на відкритих закономірностях, кількість яких зростає відповідно до розвитку будівельного матеріалознавства як фундаментальної науки прикладного характеру. Воно здійснюється за певною системою, в якій вихідні положення прогнозування поєднуються з новими експериментальними дослідженнями. Серед головних положень прогнозування такі:

- завжди неминучий якісний стрибок до оптимальної структури конгломерату й перехід, через екстремум показників властивостей у процесі кількісного накопичення дисперсійного середовища в системі з переходом його з дискретного в континуальний плівковий стан на поверхні твердої фази;

- оптимальна структура конгломерату можлива при будь-якому заповнювачі, хоча найбільш економічними й технічно раціональними є склади з максимальною щільністю упаковки його частинок і, отже, з найменшою витратою в'язучої речовини в конгломераті. Бетон є основним конструкційним матеріалом, обсяги виробництва якого в світі становлять більше 3-х млрд м<sup>3</sup> на рік. За видом в'язучої речовини бетони поділяють на такі види: цементні, гіпсові, силікатні, полімерцементні, шлаколузні, спеціальні. Кожен із цих видів має свої особливості.

*Гіпсобетон* виготовляється на основі гіпсу. Найчастіше цей вид бетону використовується при оздобленні, для внутрішніх перегородок, елементів

підвісних стель тощо. Цей вид бетону використовують у тому разі, коли істотне значення має ціна. Економічність і простота у виробництві цього виду дає можливість істотно знизити витрати. Порівняно, наприклад, із цементним бетоном, до декількох разів.

*Цементний бетон* вважається універсальним видом, оскільки його застосовують майже в будь-якій будівельній сфері. Він широко застосовується у будівництві, адже його головна особливість, що його приготування відбувається безпосередньо на місці будівництва, тобто набуває форми конструкцій, у які він заливається, так званий монолітний бетон. Різновидами цієї групи є такі:

- бетон на безусадковому й глиноземному цементі;
- на напружувальному цементі;
- декоративний бетон.

*Силікатний бетон* виготовляють шляхом термообробки в автоклаві, при температурі від 175 до 200 °С і тиску 0,8–1,3 МПа. Зазвичай цей вид бетону, за своїми якостями повністю можна порівняти з цементним бетоном. Функції в'язучої речовини виконує вапно. З силікатного бетону виготовляють стіни, перекриття, опори, сходові марші тощо.

*Полімерцементний бетон* створюється на основі епоксидних, карбамідних і поліефірних смол. Використовують його для виготовлення водяних резервуарів, дренажних відводів, дорожніх огорожень, ємностей для активних хімічних речовин та як облицювальні панелі.

*Шлаколузкий бетон* виготовляється на основі лужних розчинів і мелених шлаків. Використовують як конструкційний матеріал і в цивільному, і промисловому будівництві.

*Спеціальний бетон* застосовується для особливих цілей, наприклад, для підвищення ступеня жаростійкості застосовують рідке скло та кремнефтористий натрій, і широко використовують усілякі добавки, отримані від відходів промисловості, які змінюють його властивості, збільшуючи морозостійкість, міцність тощо.

Постадійне здійснення творчого процесу створення нових видів конгломератів полягає в такому.

Перша стадія включає детальне вивчення ймовірного в'язучої речовини. Для цього спочатку потрібно встановити головні технічні вимоги до конгломератного матеріалу для того, щоб він забезпечував надійність і довговічність конструкції, що виготовляється з нього, в експлуатаційний період. За комплексом показників конгломерату судять у першому наближенні про необхідні властивості в'язучої речовини як майбутньої матричної частини й вибирають найбільш підходяще з-поміж традиційних. Важливо звзяти на

характер експлуатаційних умов роботи конгломерату в конструкції. Часто саме від цих умов залежить вибір неорганічного або органічного в'язучого з подальшим уточненням конкретного різновиду з-поміж традиційних.

Складнішим є випадок, коли при розробці нового матеріалу немає в наявності традиційної в'язучої речовини й доводиться орієнтуватися на її отримання за аналогією з традиційними технологіями або зовсім оригінального продукту. За допомогою лабораторних випробувань вивчаються властивості створених композицій за деякими умовно прийнятими технологіями з подальшим їх корегуванням. Поступово досягають екстремального необхідного значення ключової властивості, раніше прийнятої для конгломерату. Якщо визначальними властивостями конгломерату є міцність і будь-яка інша властивість, наприклад, теплопір, то узгоджують показники обох властивостей в'язучого. За необхідності зниження теплопередачі можна передбачити використання пороутворення, але з урахуванням допустимого зниження міцності в'язучого (його розрахункової активності при оптимальній структурі). Процес вивчення сировини для в'язучого ґрунтується на поліпшенні ключових показників якості, введення додаткових інгредієнтів, каталізаторів, речовин, що сприяють твердінню, використання технологічних прийомів (подрібнення, механіко-хімічна обробка, теплова обробка, перемішування тощо). Далі з'ясовують окремі деталі технології виготовлення в'язучої речовини, пропонують методи оцінки якості, подібні до прийнятих при оцінці конгломератів.

На другій стадії створення нового будівельного конгломерату визначають можливий різновид заповнювач, що також обумовлено сировинними ресурсами, проектними вимогами до властивостей конструкції, різновидом в'язучої речовини (порошкоподібний, компаунд, розплав тощо) і рівнем його ймовірної адгезійної здатності стосовно передбачуваного заповнювача. Встановлюють вид заповнювач – мінеральний або органічний, порошкоподібний, зернистий або волокнистий, важкий, щільний або легкий, пористий. Зважають також на інші можливі вимоги до якості; колір (при виготовленні оздоблювальних матеріалів), теплопровідність (при виготовленні теплоізоляційно-конструктивного матеріалу) тощо. Одночасно вирішують питання про доцільні форму й розмір часток заповнювача, щільності заповнення суміші.

Найбільш економічними є склади з максимальною щільністю упаковки щільних або пористих частинок заповнювача і, отже, з найменшою витратою в'язучої речовини. Цей принцип набуває тим більше значення, чим ближче оптимальна структура до контактної. Водночас максимальна щільність не може бути єдиною метою, а повинна призначатися в сукупності з економічними



підрахунками, з урахуванням фазового складника в'язучої речовини (з її збільшенням доцільно підвищення кількості дрібнозернистої фракції в заповнювачі), наявністю матеріалів тощо.

Дослідження заповнювачів проводять згідно з такими вимогами: здешевлення продукції, полегшення конструкцій (якщо допускають експлуатаційні умови), зниження однорідності заповнювача й конгломерату, збільшення довговічності конструкцій і споруд.

Бетон – типовий приклад композиційного матеріалу, що відрізняється складністю структури, кількістю та характером компонентів, особливостями міжфазової поверхні, що має велике значення при впливі зовнішнього середовища.

Під структурою бетону розуміють певне розташування в просторі окремих первинних елементів (зерен щебеню, піску, кристалів новоутворень) відповідно до їхнього кількісного співвідношення та характеру зв'язку між ними (рис. 3.2).

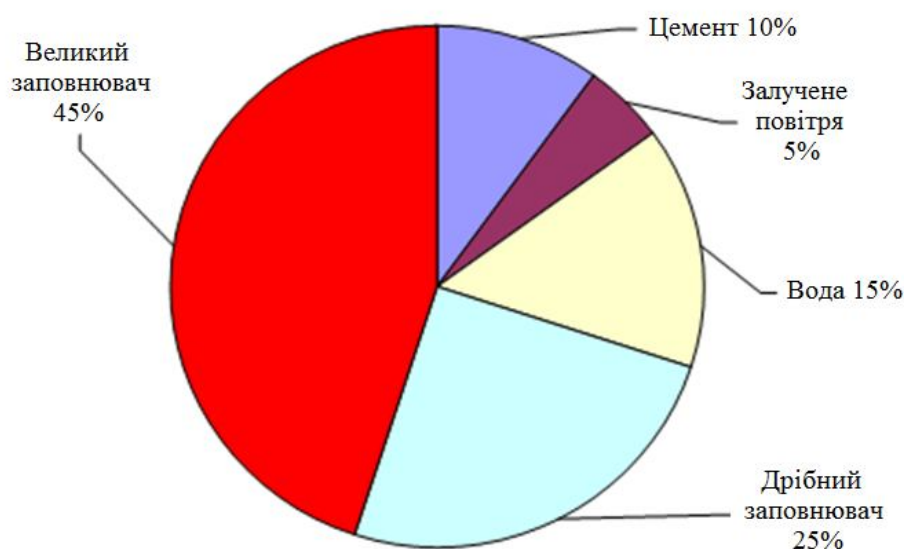


Рисунок 3.2 – Співвідношення між компонентами бетону

Як в'язучу речовину для виготовлення звичайного важкого бетону найширше застосовують портландцемент і його різновиди. Цемент і вода є активними складовими бетону; унаслідок їхньої взаємодії утворюється цементний камінь, що скріплює зерна заповнювачів у єдиний моноліт.

Заповнювачі часто називають інертними матеріалами, однак вони істотно впливають на структуру та властивості бетону. Уведення в бетон заповнювачів дозволяє різко скоротити витрату цементу, що є найбільш дорогим і дефіцитним компонентом, крім того, вони покращують технічні властивості бетону. Жорсткий скелет із високоміцного заповнювача збільшує міцність і модуль деформації бетону, знижує його повзучість, тобто необоротні

деформації, що виникають при тривалій дії навантаження. Заповнювач сприймає напруження усадки, а також у кілька разів зменшує усадку бетону порівняно з усадкою цементного каменю, сприяючи отриманню більш довговічного матеріалу.

Добавки додають із метою впливу на технологічні, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості бетонної суміші, свіжезформованого та затверділого бетону. До подібних властивостей належать, наприклад, легкоукладальність суміші, міцність, проникність, довговічність, декоративні властивості бетону. Якщо добавки ще не стандартизовані, для їх застосування потрібне отримання дозволу від органів будівельного нагляду. Особливо високі вимоги при отриманні допуску до застосування добавок, які використовуються в бетоні при виготовленні несучих конструктивних елементів.

Добавки часто класифікують за основним ефектом їхньої дії. При цьому їх можна розділити на два класи. Клас I становлять дисперсні активні й інертні мінеральні добавки – наповнювачі та мікронаповнювачі, що додають у досить великій кількості та поліпшують структуру бетону на мікрорівні, тобто структуру в'язучої речовини, а також дисперсні волокнисті (фібрилярні) і деякі інші компоненти.

Клас II представлений хімічними добавками, серед яких можна виокремити:

1) регулятори властивостей бетонної суміші – пластифікатори й суперпластифікатори, водоутримувальні добавки;

2) регулятори термінів тужавлення та твердіння бетону – прискорювачі, сповільнювачі, противоморозні добавки;

3) регулятори пористості – газоутворювачі, піноутворювачі, а також такі добавки, що ущільнюють;

4) інгібітори корозії сталеві арматури;

5) гідрофобізуючі, антикорозійні, електропровідні добавки, пігменти, та такі, що надають бетону спеціальних властивостей.

Дисперсні порошкоподібні наповнювачі різної мінеральної природи отримують із природної або техногенної сировини (золи, мелені шлаки й гірські породи, мікрокремнезем тощо). Залежно від дисперсності мінеральні добавки можна поділити на добавки-розріджувачі цементу, близькі за своїм гранулометричним складом до цементу, і на добавки-ущільнювачі, наприклад, мікрокремнезем, які мають розмір частинок приблизно в 100 разів менше зерен цементу (питома поверхня 20–30 м<sup>2</sup>/г).

Ефективність добавок, а також їхня безпека з точки зору корозії бетону та/або арматури повинні бути підтверджені в процесі первинних випробувань, які враховують умови роботи на будмайданчику. Наприклад, вміст добавки

мікрокремнезема не повинний перевищувати 10 % (а іноді й менше) від маси цементу, щоб уникнути зниження лужності рідкої фази в бетоні нижче граничного рівня, необхідного для запобігання корозії сталевій арматурі в залізобетоні.

При розгляді бетону як поліструктурного матеріалу залежно від характеру й механізму процесів структуроутворення виокремлюють:

- мікроструктуру – структура цементного каменю;
- мезоструктуру – структура розчину в бетоні, що розглядається як двокомпонентна система «дрібний заповнювач – цементний камінь»;
- макроструктуру – структура двокомпонентної системи «великий заповнювач – розчин».

Мікроструктура цементного каменю в першому наближенні характеризується такими складниками, як кристалічний зросток, тоберморітовий гель, не до кінця гідратованих зерна цементу й поровий простір. Найважливіші технологічні чинники, що впливають на формування мікроструктури цементного каменю, – хіміко-мінералогічний склад цементу, тонкість його помелу, водо-цементне відношення та умови тверднення.

Мезоструктура цементно-піщаного розчину розглядається як конгломератна структура, з матрицею у вигляді цементного каменю, а макроструктура – як структура, в якій матрицею слугує цементно-піщаний розчин.

Крупний заповнювач обумовлює макроструктуру бетону, до того ж особливе значення має міцність і характер поверхні його зерен, їхня крупність, форма та гранулометричний склад. До певної міри властивості крупного заповнювача впливають на формування мезо- й мікроструктури бетону, що пов'язано з впливом щебеню на водопотребність бетонної суміші.

Зі свого боку, дрібний заповнювач, визначаючи мезоструктуру бетону, впливає на формування мікроструктури бетону, унаслідок того що пісок, взаємодіючи з цементним тестом, значною мірою обумовлює величину В/Ц бетонної суміші. Крім того, він сприяє формуванню макроструктури цементного каменю.

Для опису мікроструктури цементного каменю розроблена низка моделей, що відрізняються одна від одної різними поглядами на фізичний стан міжшарової води, відповідно до яких початкові проміжки між частинками цементу заповнюються цементним гелем (пористість якого становить близько 28 %, представленим переважно слабкозакристалізованими гідросилікатами кальцію).

Простір між частинками новоутворень – гелеві пори – характеризується дуже малими розмірами (ширина близько 1,5 нм), порівнянними з розмірами молекул води. При гідратації цементу утворюються й інші категорії пір.

За даними досліджень пори в цементному камені за розміром і походженням можуть бути класифіковані, як зазначено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Види пір у цементному камені

Пори цементного каменя	Розміри пор
Пори геля	0,5–30 нм
Капіляри й контракційні пори	30–50 нм
Мікроповітряні пори	0,1–1 мм
Пори ущільнення	1 мм

При аналізі порової структури цементного каменю потрібно враховувати пори – дефекти структури, які можуть негативно впливати на довговічність бетону. До них належать, наприклад, усадочні, температурні й інші тріщини. У бетоні внаслідок механічної напруги можуть з'явитися тріщини в контактному шарі між цементним каменем, розчином і зернами заповнювача. Утворення цих тріщин пояснюється об'ємними змінами при гідратації цементу внаслідок седиментації суміші під великими плоскими зернами в бетоні.

Порова структура цементного каменю визначається вихідним фізичним станом свіжевиготовленої суміші, а також складом продуктів гідратації, їхніми розмірами й морфологією. З відомих технологічних факторів найбільше впливає на порову структуру водоцементне відношення.

Кількість води залежить від властивостей цементу, дрібністю помелу й визначається необхідними реологічними властивостями, які зумовлюють різну водопотребу при досягненні нормальної густоти цементного тесту. З підвищенням В/Ц збільшується середній розмір пор, що утворюються, зростає пористість, спостерігається поділ пор за розмірами.

При показнику В/Ц вищому, ніж 0,38, синтезована в складі продуктів гідратації гелеподібна фаза не заповнює весь обсяг у цементному тісті, що тверде, і тому завжди залишається якийсь об'єм капілярних пір навіть у разі повної гідратації цементу.

При В/Ц > 0,7 в цементному камені утворюється взаємопов'язана система капілярних пір, і з цієї причини неможливо отримати бетон, стійкий до агресивних середовищ, оскільки внутрішня поверхня цементного каменю стає доступною для контакту з компонентами навколишнього середовища.

Ці дані узгоджуються з результатами досліджень структурної пористості бетонів, що підтверджують відсутність зв'язку між об'ємом мікропор і В/Ц. Об'єм мікропор, що збільшується з часом, визначається переважно ступенем гідратації цементу, але не залежить від кількості води замішування.

Об'єм макропор, навпаки, залежить від водоцементного відношення, оскільки він прямо пропорційний об'єму води замішування, доданої у бетонну суміш понад необхідної кількості для гідратації.

Саме обсягом пір (їхніми розміром і взаємним сполученням) визначається проникність бетону, яка обумовлює значною мірою його корозійну стійкість. У зв'язку з цим стає зрозумілою залежність проникності й корозійної стійкості бетону від величини В/Ц.

При подальшому підвищенні В/Ц від 0,8 до 1 і більше пористість цементного каменю знижується майже неістотно. При цьому настають характерні зміни в поровій системі, які проявляються в зниженому обсязі дрібних пор завдяки тому, що обсяг продуктів гідратації при високих В/Ц недостатній для заповнення порового простору й не поділяє великі пори на пори менших розмірів.

Необхідно ще раз підкреслити взаємозв'язок різних видів пористості та ступеня гідратації: у процесі твердіння цементного каменю зі збільшенням обсягу гелеподібної фази загальна й капілярна пористість знижуються, а гельова зростає.

Пористість значно впливає на такі фізико-механічні властивості штучного каменю, як межа міцності при стисненні та вигині, твердість, модуль пружності, усадка, повзучість, дифузія, проникність.

Помічено, що великі пори в цементному тісті впливають не тільки на його міцність, але й на проникність, яка, зі свого боку, забезпечує довговічність.

Згідно з результатами досліджень межа міцності при стисненні та проникність каменю зумовлюються обсягом пір розміром понад 50 або 100 нм, тоді як усадка при висиханні й пластична деформація залежать від обсягу пор менше 10 нм.

Співвідношення між пористістю та міцністю описується рівнянням Ферета, в якому межа міцності при стисненні  $\sigma_{ст}$  пов'язана з об'ємом цементу  $V_u$ , води  $V_e$  і повітря  $V_{повітр}$ :

$$\sigma_{ст} = A [V_u / (V_u + V_e + V_{повітр})], \quad (3.1)$$

де  $A$  – константа.

Отже, на пористість і відповідно на міцність ефективно впливають два основні фактори: водоцементне відношення та умови тверднення. Водночас міцність при стисненні різних матеріалів, що характеризуються різними значеннями пористості, може значно відрізнятися, що, ймовірно, обумовлено різницею в розмірах пор у кожній окремо взятій композиції: чим менше розмір

пор, тим вище міцність. Однак дуже низькі значення загальної пористості не впливають на міцність, при цьому механічні властивості переважно залежать від якісного складу твердої фази.

Отже, між міцністю та характером структури дійсно існує тісний зв'язок (особливо це виявляється при використанні різних технологій отримання будівельних матеріалів), але обидві ці властивості визначаються як типом, так і обсягом продуктів гідратації в'язучого, до того ж різні гідратні фази мають різну в'язучу здатність. Так, тоберморітові фази проявляють найвищу в'язучу здатність у цементному тесті, що твердне при температурі від 293 до 448 К; в'язуча здатність тоберморітового гелю досягає приблизно 40–60 % в'язучої здатності тоберморітоподібних фаз. Присутність гідроалюмінатів кальцію в тоберморітовому гелі викликає зниження в'язучої здатності. Суміш тоберморітового гелю з гідроалюмінатами кальцію, що зазвичай становить більшу частину продуктів гідратації портландцементного тіста, характеризується в'язучою здатністю, яка на 20–40 % нижче, ніж в'язуча здатність окремо взятого тоберморітового гелю. Присутність  $C_3AH_6$  завжди знижує міцність цементного каменю, проте можливе утворення міцного каменю, склад продуктів гідратації якого представлений кубічною формою  $C_3AH_6$ .

Високоосновні гідросилікати кальцію типу  $C_2SH_x$  у складі новоутворень обумовлюють, зазвичай, низьку міцність каменю, що утворюється, а присутність низькоосновних гідросилікатних фаз, зокрема  $CSH(I)$ , сприяє підвищенню міцності як при стисненні, так і при вигині. За даними В. В. Тімашева теоретична міцність низькоосновних гідросилікатів кальцію, що визначається їхнім хімічним складом і будовою кристалічної решітки, майже в два рази вище міцності високоосновних гідросилікатів кальцію, що не перевищує 770–830 МПа.

Утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію з високою питомою поверхнею сприяє формуванню замкнутих пор, які не беруть участі в процесі перенесення вологи. Ці зміни викликають збільшення міцності, деформативності та тріщиностійкості, зменшення усадки, газо- й водопроникності, а також підвищення довговічності, яка забезпечується за рахунок високого вмісту гідросилікатів кальцію зниженою основності, здатних захищати гідроалюмінатні фази.

При розгляді проблеми «пористість–міцність» важливе значення має тип зв'язків усередині тіла матеріалу або між кристалами, їх морфологія та ступінь кристалічності, а також розмір окремих гідратних фаз.

Крім ступеня закристалізованості гідратних новоутворень, у створенні структури каменю важливою є форма частинок новоутворень. Одні дослідники вважають, що найбільшу міцність забезпечують пластинчасті частинки, тоді як

інші приписують головну структуроутворюючу роль волокнистим новоутворенням.

Формована структура бетону значною мірою обумовлюється мікроструктурою цементного каменю, тому, змінюючи її характер і з огляду на особливості, можна управляти властивостями бетону в досить широких межах. При цьому пористість і розподіл пор за розмірами були прийняті як найважливіші параметри, що впливають на розвиток міцності.

Існують різні види бетонів і їх обирають відповідно до умов експлуатації (може вимагатися висока стійкість до сульфатів, вогнетривкість або стійкість до вібрацій тощо). Розрізняють бетони загального та спеціального призначення.

1. Бетон загального призначення застосовується для будівництва основ, плит перекриттів, різноманітних балок і всіляких колон та інших залізобетонних конструкцій.

2. Бетони спеціального призначення використовують при будівництві мостів, доріг та конструкцій, під час використання яких матеріал піддається особливим умовам експлуатації.

3. Гідротехнічний бетон застосовують при зведенні дамб, водонапірних конструкцій і гідроелектростанцій.

Також варто зазначити вплив інноваційних технологій у виробництві сучасних видів бетону. Інноваційні технології можна класифікувати за впливом на структуру бетону на різних рівнях. У таблиці 3.2 наведені експлуатаційно технічні характеристики бетону, які можна підвищувати шляхом використання результатів інноваційних розробок.

Таблиця 3.2 – Інноваційні технології у виробництві сучасних видів бетону

Рівень структури бетону	Елемент структури	Інноваційна технологія	Ефект	Експлуатаційно-технічні характеристики бетону
1	2	3	4	5
Макро-рівень	Крупний заповнювач	Обробка поверхні заповнювача суперпластифікатором на полікарбоксилатній основі	Гарна адгезія цементного каменю до заповнювача	Підвищення міцності, морозостійкості, довговічності
	Пори	Самоущільнюючая бетонна суміш	Поверхня затверділого бетону гладка, без раковин	
	Арматура	Композитна арматура, полімерний текстиль	Тривимірне зміцнення бетону	Підвищення динамічної міцності

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Мікро- рівень	Цементний камінь	Армування мінеральними волокнами довжиною 1–5 мм і діаметром 10– 50 мкм (скловолокно, базальтове волокно тощо)	Дисперсне армування цементного каменю на мікрорівні	Підвищення межі міцності на розрив, вигині, удар- ної міцності
	Капілярні пори	Використання тонко- дисперсних мінеральних добавок спільно з суперпластифікатором	Підвищення щільності пакування частинок	Підвищення міцності, морозостій- кості, довговічності
Субмікро- рівень	Кристалогідратні зростки	Вирощування голчатоволок- нистих кристалів при гідратації цементу	Дисперсне армування цементного каменю на субмікрорівні	Підвищення межі міцності при вигині
	Субкапілярні пори	Синергетичний ефект від спільного використання СП на полікарбоксилатній основі й реологічно-ефективної мін. добавки	Підвищення щільності цементного каменю	Підвищення міцності, морозо- стійкості, водонепро- никності
Нанорівень	Кристалогідратні зростки	Уведення до складу бетону нанорозмірних волокон вуглецю [1], хризотил та ін. довжиною 500–700 нм і діаметром 5–20 нм	Дисперсне армування цементного каменю на нанорівні	Підвищення границі міцності при стисненні й вигині, зниження тріщиностійк- ості

Міцність матеріалу є теж однією з найважливіших технічних характеристик, що не залежить від класифікації матеріалу. Міцність залежить від кількості доданого в'язучої речовини й виду застосовуваного заповнювача. Чим більше цементу додають у бетонну суміш, тим вище виходить марка (клас) бетону. Чим міцніше буде заповнювач, тим міцніше вийде матеріал.

В Україні раніше клас бетону позначався як В 20, а тепер цей самий клас бетону позначається як С15/20. Справа в тому, що в деяких європейських країнах, таких як Великобританія, для перевірки міцності бетону на стиск використовують циліндр. У нього висота в два рази більше діаметра. В інших країнах для перевірки міцності використовується бетонний кубик. Тому для цих зразків показники будуть різними. У таблиці 3.3 наведені узгодження між показниками класів за міцністю для бетону.



Таблиця 3.3 – Відповідність класів бетону в різні періоди

Клас бетону за міцністю (С) за ДБН	Клас бетону за міцністю (В) за СНіП	Середня міцність бетону даного класу R		Найближча марка бетону за міцністю (М), кгс/см <sup>2</sup>
		МПа	кг/см <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5
–	В 0,35	0,49	5,01	М 5
–	В 0,75	1,06	10,85	М 10
–	В 1	1,42	14,47	М 15
–	В 1,5	2,05	20,85	М25
–	В 2	2,84	28,94	М 25
–	В 2,5	3,21	32,74	М 35
–	В3,5	4,50	45,84	М 50
–	В 5	6,42	65,48	М 75
–	В 7,5	9,64	98,23	М 100
С 8/10	В 10	12,85	130,97	М 150
С 10/12,5	В 12,5	16,10	163,71	М 150
С 12/15	В 15	19,27	196,45	М 200
С 16/20	В 20	25,70	261,93	М 250
С 18/22,5	В 22,5	28,90	294,5	М 300
С 20/25	В 25	32,40	327,42	М 350
С 25/30	В 30	38,54	392,90	М 400
С 28/35	В 35	44,96	458,39	М 450
С 32/40	В 40	51,39	523,87	М 550
С 35/45	В 45	57,82	589,4	М 600
С 40/50	В 50	64,24	654,8	М 700
С 45/55	В55	70,66	720,3	М 700

Варто розуміти, що, крім класу бетону, потрібно враховувати його морозостійкість (F), водонепроникність (W) і низку інших показників. Для забудовники важливо мати інформацію про клас бетону, який необхідно використовувати для тієї чи іншої конструкції. Необхідно розбирати кожен індивідуальний випадок відповідно до діючих навантажень на конструкцію.

Щоб правильно вибрати бетонну суміш, необхідно знати відповідність марок і класів бетону певного типу виконуваних робіт. Застосовувати бетон міцніший, ніж вимагає конструкція, буде нераціонально. Зазвичай для будівництва застосовуються бетон, що не перевищує за міцністю на стиск

марку 500. Однак існують загальні рекомендації щодо застосування класу бетону.

**С 8/10 (В 10)** використовують для будівництва бетонної підготовки під монолітні конструкції. Це потрібно робити для того, щоб при укладанні бетону «молочко» не втекло у ґрунт. Також бетонна підготовка дає змогу точніше контролювати необхідні величини захисного шару. У деяких випадках цей клас бетону використовується для будівництва стяжок і доріжок.

**С 12/15 (В 15)** часто використовується у приватному будівництві для всіх конструкцій, які сприймають суто вертикальне навантаження. Це можуть бути фундаменти, стіни, колони, огорожі тощо. Не рекомендується застосовувати для бетонування складних елементів будівлі.

**С 16/20 (В 20)** практично всюди використовується для бетонування монолітних конструкцій, від фундаментів до підпірних стін. Може бути використаний для бетонування плит перекриття, які не несуть великого навантаження.

**С 20/25 (В 25)** використовується для виготовлення пальових фундаментів, ростверків під великі споруди, ригелів і балок із великою величиною прольоту. Басейни, вертикальні стіни й перекриття також будують із бетону цього класу.

**С 25/30 (В 30)** застосовується для зведення мостових і гідротехнічних споруд, де потрібна висока міцність бетону. Також цей клас бетону може бути призначений при складних експлуатаційних умовах конструкцій.

У таблиці 3.4 наведені можливі варіанти застосування бетону різного класу за міцністю.

Таблиця 3.4 – Можливі варіанти використання класу бетону

Бетонування конструкцій	Клас бетону
1	2
Для армопоясу	С 16/20 (В 20) або С 20/25 (В 25)
Для підлоги гаража	С 12/15 (В 15) або С 16/20 (В 20)
Для фундаменту	С 12/15 (В 15) або С 16/20 (В 20)
Для монолітного перекриття	Переважно С 20/25 (В 25)
Для колон	С 16/20 (В 20) або С 20/25 (В 25)
Для ростверку або буронабивних паль	Переважно С 20/25 (В 25)
Для підпірних стін	С 16/20 (В 20) або С 20/25 (В 25)
Для вимощення	С 8/10 (В 10)
Для стрічкового фундаменту	С 12/15 (В 15) або С 16/20 (В 20)
Для підлог	С 8/10 (В 10) або С 12/15 (В 15)
Для монолітних стін	Переважно С 20/25 (В 25)
Для тротуарної плитки або стяжки	С 8/10 (В 10) або С 12/15 (В 15)

Нарівні з високими експлуатаційними характеристиками бетонів, дані суміші не позбавлені й деяких недоліків. Зокрема, це мала міцність при розтягуванні або вигині бетонних конструкцій. Крім цього, фахівці відзначають недостатній рівень деформативності, відносну крихкість і помітну усадку при твердінні.

А ще бетони мають недостатню водонепроникність і морозостійкість, а також вони практично не здатні протистояти різним агресивним зовнішнім впливам.

### 3.1.1 Класифікація та характеристика заповнювачів

Заповнювачі – природні або штучні матеріали певного зернового складу є важливими компонентами бетону, які спроможні кардинально змінити властивості матеріалу. Їх поділяють на дрібні та крупні заповнювачі (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Різновиди заповнювачів для бетонів: пісок, гравій, щебінь та гранвідсів

До їх вибору необхідно ставитися дуже відповідально, зважаючи на властивості, які потребують від бетону у тому чи іншому випадку.

Зазвичай, у бетоні заповнювачі займають 80–85 % від загальної маси. Тому важливість вибору цього компонента важко переоцінити, бо він складає основну частину матеріалу.

Заповнювачі дають змогу різко скоротити витрату цементу або інших в'язучих, які є найдорожчим складником бетону. Вони створюють у бетоні жорсткий скелет, що сприймає усадку напруження та зменшує усадку звичайного бетону до 10 разів порівняно з усадкою цементного каменю. Жорсткий скелет із високоміцного заповнювача збільшує міцність і модуль пружності бетону (тобто зменшує деформації конструкцій під навантаженням), знижує, крім усадки, повзучість (деформації бетону при тривалій дії

навантаження), підвищує стійкість до циклічних і динамічних навантажень (міцний заповнювач є перешкодою для розвитку тріщин) тощо.

Вартість заповнювачів становить 30–50 % вартості готового бетону або розчину. З іншого боку, властивості заповнювачів здебільшого визначають і властивості останніх. Тому вивчення, правильний вибір заповнювачів, раціональне їх виробництво й застосування мають велике значення.

Легкі пористі заповнювачі зменшують густину бетону та його теплопровідність, роблять раціональним застосування такого бетону в несучих конструкціях будівель, що споруджуються на підроблюваних територіях, знижуючи їхню масу й забезпечуючи теплоізоляцію.

Спеціальні особливо важкі заповнювачі роблять бетон надійним захистом від радіації, що проникає (на атомних електростанціях тощо), а хімічно стійкі – забезпечують роботу бетону в агресивних середовищах.

Цей неповний перелік визначає призначення заповнювачів, які є дуже важливим складником бетонів, впливають на їхні властивості та техніко-економічну ефективність застосування.

Головними ознаками класифікації заповнювачів є їх походження, крупність і характер форми зерен, густина.

За походженням заповнювачі поділяють на три групи:

- 1) природні, зокрема з порід, що видобуваються попутно, і відходів збагачення;
- 2) із відходів промисловості;
- 3) штучні (спеціально виготовлені).

Природні заповнювачі та заповнювачі з відходів промисловості, одержувані без зміни їх хімічного складу й фазового стану, характеризуються походженням і петрографічним найменуванням гірських порід або видом відходів. Наприклад, вивержені глибинні (інтрузивні) породи – граніт, сієніт, діорит; доменні відвальні шлаки.

Штучні заповнювачі характеризуються видом сировини (природне, з відходів або їхньої суміш) і технологією виробництва (спосіб обробки). Наприклад, такі, що одержують із природної сировини випалюванням зі спучуванням – керамзит; одержують поризацією розплаву доменних шлаків – шлакова пемза.

За крупністю зерен заповнювачі поділяють так: 1) великі – з зернами понад 5 мм (щебінь, гравій); 2) дрібні – з розміром зерен до 5 мм (пісок).

За формою зерен розрізняють: 1) заповнювачі, що мають неправильну форму, одержують подрібненням (щебінь, пісок із відсіву дроблення); 2) заповнювачі, що мають округлу форму зерен (гравій, природний пісок тощо).

Заповнювачі відносять до щільних або пористих залежно від їх густини,

яка становить відповідно понад до  $2,0 \text{ г/см}^3$  та вище.

Класифікаційною характеристикою заповнювачів також може бути їх насипна густина, яка для великих пористих заповнювачів не повинна перевищувати  $1200 \text{ кг/м}^3$ , а для пористих пісків –  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

Вид заповнювачів є одним з ознак класифікації бетонів, відповідно до якого розрізняють бетони на щільних, пористих і спеціальних заповнювачах. Самі ж заповнювачі розподіляють відповідно з призначення: для важких, легких, дрібнозернистих бетонів, для спеціальних бетонів (жаростійких, хімічностійких, декоративних, радіаційнозахисних, теплоізоляційних та ін.). Основною сировинною базою для виробництва заповнювачів є кам'яні гірські породи, схема походження яких зображена на рисунку 3.4.

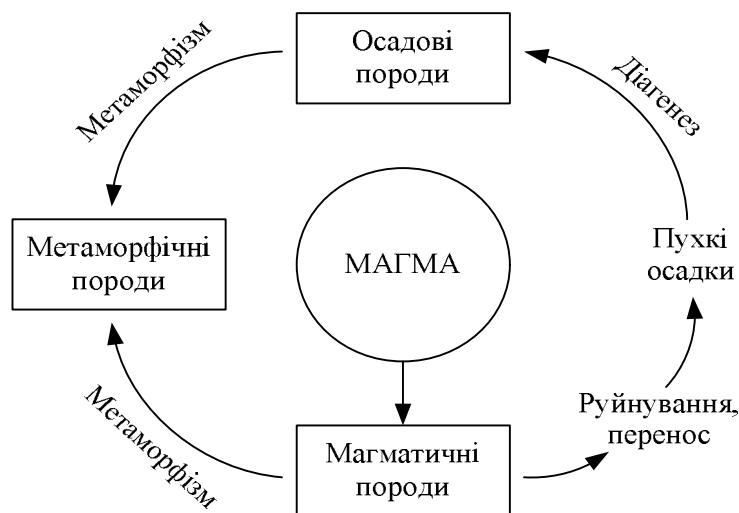


Рисунок 3.4 – Схема походження гірських порід у земній корі

За походженням, яке визначає найважливіші їхні властивості, гірські породи поділяють на три класи: вивержені (магматичні); осадові; метаморфічні.

Магматичні гірські породи (первинні породи) утворилися внаслідок застигання розплавленої магми (рис. 3.5).

Структура та властивості магматичних гірських порід залежать від умов, у яких остигала магма:

- глибинні (інтрузивні) вивержені породи, що утворилися при повільному охолодженні магми (їх відрізняє зернисто-кристалічна структура);
- виливні (ефузивні) породи, що утворилися при порівняно швидкому охолодженні магми на поверхні (мають скловату, приховано кристалічну або порфірову з кристалічними вкрапленнями структуру).



Рисунок 3.5 – Утворення магматичних гірських порід

З вивержених порід найширше використовуються для виробництва заповнювачів граніти. Їхня густина становить  $2\ 600\text{--}2\ 700\ \text{кг/м}^3$ , водопоглинання зазвичай не перевищує 0,5 %, межа міцності при стисненні часто досягає 200– 250 МПа.

Осадкові гірські породи утворилися в наслідок руйнування первинних порід (рис. 3.6). За походженням осадкові гірські породи поділяють на уламкові; органічні та хімічні.

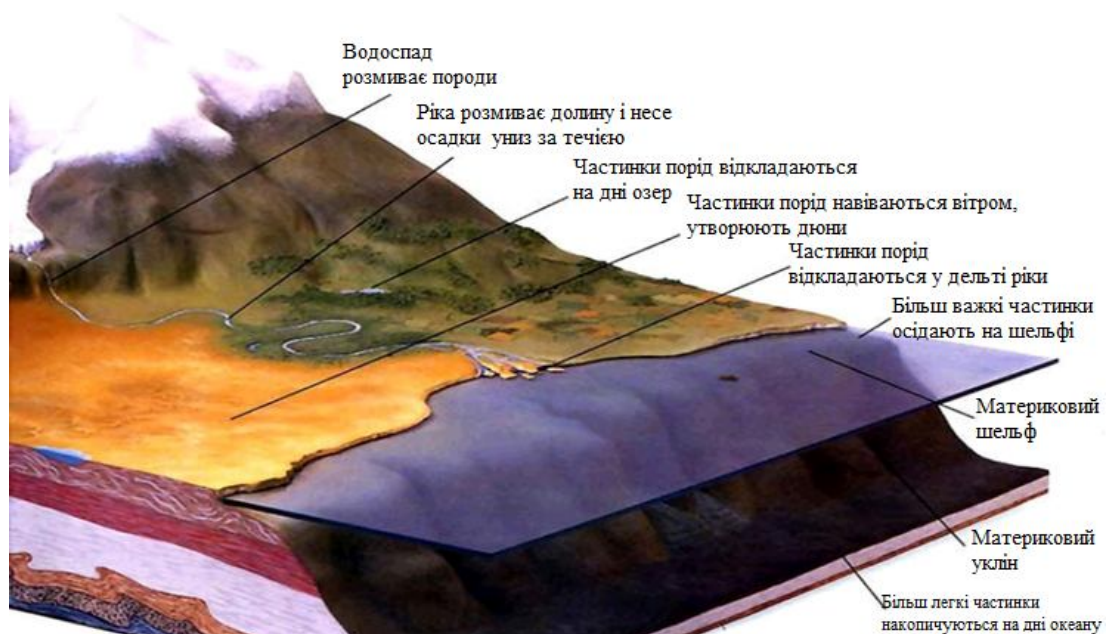


Рисунок 3.6 – Формування осадових гірських порід

До осадових порід належать вапняки (основний мінерал кальцит –  $\text{CaCO}_3$ ), пісковики (складаються з зерен кварцу, зцементованих природними цементами), доломіт (основний мінерал доломіт –  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), гіпсовий камінь (основний мінерал природний гіпс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (рис. 3.7).

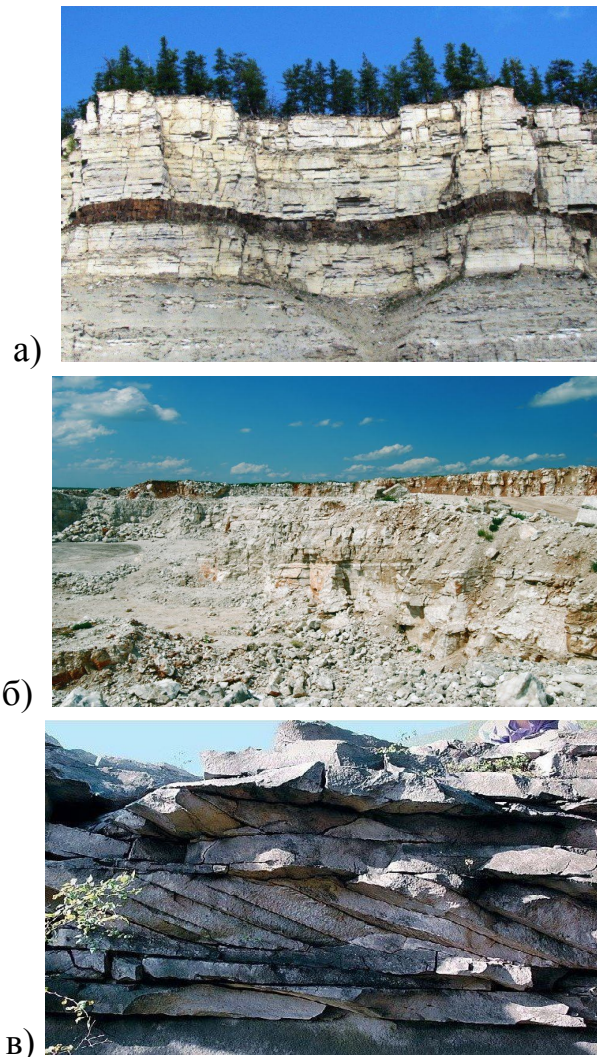


Рисунок 3.7 – Родовища вапняку (а), пісковика (б) і гіпсового каменю (в)

Як заповнювачі для бетону застосовуються карбонатні осадові породи – вапняки й доломіт.

Метаморфічні гірські породи утворилися внаслідок зміни вивержених або осадових порід у товщі земної кори під дією високого тиску й температури.

З метаморфічних порід для виробництва наповнювачів використовують гнейси – метаморфізовані граніти. Від гранітів гнейси відрізняються шаруватою будовою. Якщо шаруватість (сланцюватість) сильно виражена, то при дробленні такої породи утворюються пластинчасті зерна, що небажано.

При вивітрюванні тобто під дією води, вітру, змінних температур, хімічної та біохімічної корозії гірські породи поступово руйнуються,

утворюючи матеріал вторинних відкладень – *уламкові породи*.

*Уламкові осадові породи* є найдоступнішими та найдешевшими й широко застосовуються як заповнювачі для бетонів. Більшість родовищ піску та гравію алювіального походження є річковими відкладеннями. Вода переносить пісок і гравій, одночасно промиваючи, сортуючи їх і надаючи зернам (також у морських та озерних відкладеннях) більш окатанну форму.

Пісок і гравій гірські з ярів льодовикового походження не відсортовані, залягають у вигляді піщано-гравійних сумішей і часто забруднені глинистими домішками. Утворені вітрами еолові піски (дюнні, барханні тощо) у бетонах застосовуються обмежено. Ці піски занадто дрібні, забруднені органічними домішками, солями, а їхні зерна мають дуже гладку, поліровану поверхню, що погіршує їх зчеплення з цементним каменем.

**Дрібний заповнювач.** Використання дрібного заповнювача необхідно для зменшення порожнеч між часточками великого заповнювача. Від цього буде залежати міцність бетону. Дрібний заповнювач складається з зерен піску з розміром 0,16–5 мм, і має густину – 1,8 г/см<sup>3</sup>.

Для визначення якості піску необхідно звертати увагу на наступні характеристики:

- мінеральний та зерновий склад;
- наявність шкідливих домішок (вміст пилоподібних і глинистих часток та органічних домішок);
- радіаційно-гігієнічна характеристика.

Зерновий склад заповнювача визначають за допомогою набору сит із різними розмірами вічка сита. Крупних зерен у його складі допускають не більше 5 %, також у ньому не повинні міститися частинки понад 10 мм. Модуль крупності зернового складу піску ( $M_k$ ) обчислюють із точністю до 0,1 за формулою:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14})/100, \quad (3.3)$$

де  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{0,63}$ ,  $A_{0,315}$ ,  $A_{0,14}$  – повні залишки на ситах, %.

Дрібні пилюваті частинки не повинні становити більше 3 %, а фракції розміром 0,16 – не більше 10 %. Важливо контролювати вміст глини у піску, яка спроможна зменшити морозостійкість бетону. Тому пісок перед використанням бажано промивати. При використанні природного піску потрібно звертати увагу на наявність органічних домішок, що може призвести в майбутньому до руйнування цементу в бетоні. Щоб знизити усадочні явища в бетоні до них додають фібру.

Для бетону бажано застосовувати крупні піски. Однак пісок, який містить надлишок великих частинок, має більший об'єм порожнеч (до 40 %), який



доводиться заповнювати цементним тістом, що збільшує витрату цементу. У добротному піску пустотність не повинна перевищувати 38 %, у піску оптимального зернового складу вона зменшується до 30 %. Цього можна досягнути оптимальним співвідношенням частинок піску різного розміру.

Найбільший обсяг пісок займає при вологості 5...7 %, із підвищенням або зниженням вологості обсяг піску зменшується. Цю властивість піску потрібно враховувати при об'ємному дозуванні.

Перевіряють пісок і на вміст радіонуклідів. За показником ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів відповідно до ДБН В. 1.4-1.01 пісок поділяють на класи: – клас 1– використовується в усіх видах будівництва без обмежень; – клас 2– використовується для дорожнього та промислового будівництва.

### ***Крупний заповнювач***

Гравій – це сипкий матеріал, що утворився внаслідок природного руйнування (вивітрювання) твердих гірських порід і складається з зерен окатаної форми. Гравій може бути гірським, річковим і морським. Він може бути як рядовим, так і фракціонованим. Щебінь – це сипкий матеріал, що одержують шляхом дроблення вивержених, осадових або метаморфічних гірських порід, або відходів різних виробництв.

Міцність заповнювача визначається міцністю гірської породи, з якої він отриманий. Заповнювачі з міцних гірських порід (граніту, діабазу) мають 80 МПа і вище, а з осадових порід, наприклад, з вапняку, мають міцність 30 МПа і вище. Міцність легких пористих заповнювачів залежить від їхньої густини та становить 2...20 МПа.

Залежно від виду заповнювачів змінюється водовміст бетонної суміші, що є одним із вирішальних факторів, які впливають на міцність бетонів. Міцність бетону на пористих заповнювачах лише до певної межі залежить від міцності цементно-піщаного розчину. При подальшому підвищенні міцності розчину міцність бетону практично не підвищується, вона обмежується низькою міцністю заповнювачів. Заміна звичайних важких заповнювачів пористими дає змогу істотно змінити властивості бетонів у бажаному напрямку: зменшити густину, поліпшити теплоізоляційні властивості тощо. Водночас достатня міцність ряду пористих заповнювачів забезпечує можливість отримання на їх основі конструкційні легкі бетони високої міцності.

Запаси природних пористих заповнювачів у нашій країні обмежені. Застосування пористих заповнювачів – відходів промисловості також має локальний характер: поблизу підприємств, що видають такі відходи.

Крупний заповнювач мало впливає на міцність бетону, якщо його міцність більше ніж на 20 % вище міцності бетону. Однак у заповнювачі можуть зустрічатися окремі слабкі зерна, тому для більшої надійності рекомендується, щоб міцність вихідної гірської породи була у 1,5...2 рази вище міцності бетону. На деякі види виробів марка щебеню нормується. Так для тротуарної плитки марка щебеню за міцністю на стиск повинна бути: 1 200 – для щебеню із вивержених порід; 800 – для щебеню з осадових порід.

У нормативній документації на щебінь обмежується вміст фракцій, які збільшують пустотність заповнювача. У звичайному заповнювачі вміст таких зерен не повинен перевищувати 35 %, у щебені з поліпшеною формою зерен – 25 %, із кубоподібною формою зерен – 15 %.

Міцність заповнювача визначають непрямим шляхом – за подрібнюваністю. Зразки щебеню поміщають у сталевий циліндр і прикладають певне навантаження. Потім зразки просівають через сито й за втратою маси визначають дробимість. Для щебеню фракції 5...20 мм використовують циліндр діаметром 75 мм із навантаженням 50 кН. Для фракції більше 20 мм випробування проводять у циліндрі діаметром 150 мм із навантаженням 200 кН. Дробимість щебеню визначають за формулою:

$$D_p = (m_1 - m_2)/m_1 \cdot 100, \quad (3.4)$$

де  $m_1$  – маса щебеню (гравію) до випробування в кг;  $m_2$  – залишок на ситі після просіювання роздробленого в циліндрі щебеню (гравію), в кг.

Марку щебеню визначають залежно від показника за дробимістю та виду вихідної породи. Наприклад, марка щебеню 800 з вивержених ефузивних і осадових порід відповідає показнику за дробимістю 13...15. Для орієнтовної оцінки можна застосовувати такі значення марок щебеню залежно від їхньої дробимості:  $D_p 8$  – понад 1000 кг/см<sup>2</sup>;  $D_p 12$  – 800–1 000 кг/см<sup>2</sup>;  $D_p 16$  – 600–800 кг/см<sup>2</sup>;  $D_p 24$  – 400–600 кг/см<sup>2</sup>.

Для приготуванні бетонів рекомендується використовувати марки щебеню (гравію), вказані у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Марки щебеню (гравію) за дробимістю

Марка бетону	Марка заповнювача
М 400 і вище	$D_p 8$
М 300	$D_p 12$
М 200	$D_p 16$
М 150 і нижче	$D_p 24$

Великий вплив на міцність і економічність бетону має чистота заповнювачів. Пилоподібні й особливо глинисті домішки створюють на поверхні

зерен заповнювача плівку, що перешкоджає зчепленню їх із цементним каменем. Унаслідок цього міцність бетону знижується до 30 %, тому в стандартах на заповнювачі вказано гранично допустимий вміст у них забруднюючих домішок. У щебені з магматичних порід допускається вміст домішок, які визначаються шляхом відмулювання, не більше 1 %, а з осадових порід – 2...3 %. Вміст глини в грудках не більше 0,25 %.

За морозостійкістю щебінь поділяють на марки: 15, 25, 50, 100, 200, 300. Крім того, нормуються такі показники у щебеню, як марка щебеню до опору удару та стирання на поличному барабані.

Важливе значення має зерновий склад щебеню та його крупність. У бетоні доцільно використовувати щебінь або гравій максимально допустимої крупності, оскільки такий заповнювач має меншу питому поверхню. Для належного укладання й ущільнення бетонної суміші застосовують заповнювач не крупніше  $\frac{1}{4}$  частини мінімального розміру конструкції (в інших джерелах –  $\frac{1}{3}$ ). Щебінь виготовляють таких фракцій: 5–10 мм; 10–20 мм; 20–40 мм; 40–70 мм.

### ***Різновиди крупного заповнювача***

До легких найрозповсюдженіших заповнювачів належать такі.

*Керамзитовий гравій* є основним видом пористого заповнювача. Його одержують шляхом випалювання гранул зі спучених глин. Це легкий і міцний заповнювач із насипною густиною 250–800 кг/м<sup>3</sup>. Виготовляють також і керамзитовий пісок із розмірами зерна до 5 мм.

*Шлакову пемзу* виготовляють шляхом швидкого охолодження розплаву металургійних (зазвичай доменних) шлаків, що приводить до їх поризації. Шматки шлакової пемзи подрібнюють і розсіюють, отримуючи пористий щебінь. Виробництво шлакової пемзи поширене в районах із розвинутою металургією. Тут собівартість шлакової пемзи нижче ніж керамзиту.

*Аглопорит* отримують при випалюванні гліновмісної сировини (з додаванням 8–10 % палива) на решітках агломераційних машин. Кам'яне вугілля вигорає, а частки сировини спікаються. Застосовують місцеву сировину: легкоплавкі глинисті породи, а також відходи промисловості золи, паливні шлаки й вуглевмісні шахтні породи. Аглопорит випускають у вигляді пористого піску, щебеню та гравію.

*Спучений перліт* виготовляють шляхом випалу водомістких вулканічних склоподібних порід (перлітів, обсидіану). При температурі 950–1 200 °С вода видаляється та перліт збільшується в об'ємі у 10–20 разів. Спучений перліт застосовують для виробництва легких бетонів і теплоізоляційних виробів.

*Спучений вермикуліт* – матеріал, який використовується як тепло- та звукоізоляційний заповнювач бетону, як суха насипна ізоляція у стінах і

переkritтях. Шар вермикулітової засипки в стіни завтовшки 20 см за опором теплопередачі дорівнює 2 метрам бетону. Сипучий утеплювач висотою до 10 см на горищному переkritті знижує вихід енергії з приміщення на 92 %. Завдяки пористій структурі й наявності замкнутих повітряних прошарків матеріал дозволяє значно зменшити втрати тепла. Головною відмінністю вермикуліту від керамзиту та перліту є відсутність механічної усадки.

Вермикуліт має незвичайні властивості: при нагріванні до 250 °С він починає набухати, при цьому його об'єм збільшується у 25 разів. Після випалу вага одного кубометра змінюється з 1 930 кг до 158 кг. Насипна густина дрібного зерна становить до 200 кг/м<sup>3</sup>, а великого – до 65 кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт теплопровідності становить: фракція 0,5 мм – 0,056 Вт/м·К; фракція 2 мм – 0,051 Вт/м·К; фракція 8 мм – 0,046 Вт/м·К.

Шарувата структура вермикуліту ефективно поглинає звукові хвилі. Висока пористість не послабляє матеріал, він характеризується досить високою міцністю, яка дає змогу пресувати з вермикуліту плити. Утеплювач не дає усадку, не піддається біологічного впливу комах і гризунів, добре витримує дію агресивних хімічних речовин (луги та кислоти).

До недоліків спученого вермикуліту належить його значна гігроскопічність, що вимагає при укладанні утеплювача використовувати дифузну мембрану. Таке полотно забезпечує захист від вологи й вільного відведення пари. Також до недоліків належить досить висока вартість. Але довговічність експлуатації й відмінні характеристики цілком усе виправдовують.

Спучений вермикуліт входить до складу багатьох сухих будівельних сумішей. За теплотзберігаючими властивостями цементно-вермикулітові розчини в 5 разів перевершують звичайні. Високий рівень термостійкості дає змогу використовувати вермикуліт у виготовленні вогнезахисних плит, його температура плавлення дорівнює близько 1 250–1 350 °С.

Залежно від насипної густини в сухому стані пористі заповнювачі поділяються на марки: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1 000, 1 200. Для крупного заповнювача фракції 5...40 мм насипна густина не повинна перевищувати 1 000 кг/м<sup>3</sup>. Для щебеню з пористих гірських порід фракції 5...10 мм допускається марка 1 200, а для піску – марка 1 400.

За міцністю великий пористий заповнювач підрозділяється на такі марки: П 25, П 35, П 50, П 75, П 100, П 150, П 200, П 250, П 300, П 350.

Пористі заповнювачі мають значне водопоглинання та в бетонній суміші всмоктують із цементного розчину частину води. Найінтенсивніше цей процес відбувається в перші 10–15 хв під час приготування бетонної суміші, що позначається на її реологічних властивостях і зменшує рухливість. Щоб

компенсувати вплив водопоглинання пористого заповнювача та зберегти рухливість бетонної суміші, необхідно збільшувати витрату води.

Пористий щебінь і пісок складаються з зерен неправильної форми з сильно розвиненою поверхнею та мають унаслідок цього збільшений об'єм міжзернових порожнин. Для заповнення цих пустот і створення достатнього зчеплення між зернами заповнювача з метою отримання бетонних сумішей, які не будуть розшаровуватися та збережуть легкоукладальність, потрібно в 1,5–2 рази більше цементного тіста, ніж при використанні щільних, важких заповнювачів.

### 3.1.2 Добавки до бетонів

Найуніверсальнішим і найефективнішим способом модифікування структури й регулювання властивостей бетону є введення добавок. Під модифікуванням бетону розуміють зазвичай спрямоване регулювання його властивостей шляхом використання ресурсозберігальних технологічних прийомів. Модифікування бетону можливо при управлінні процесами його структуроутворення на різних стадіях твердіння й формування структури, що забезпечує задані властивості.

Останніми роками термін «добавки» все частіше замінюється або ототожнюється з терміном «модифікатори», під яким потрібно розуміти речовини, що поліпшують і регулюють технологічні властивості бетонних сумішей та будівельно-технічні властивості бетону. Існує кілька систем класифікації добавок-модифікаторів бетону за механізмом їх дії, хімічним складом, основним технологічним ефектом.

Найчастіше в бетон додають хімічні добавки – речовини органічного або мінерального походження, а також їхні композиції, які можуть істотно впливати на властивості бетонної суміші й затверділого бетону [11].

Найпоширенішою класифікацією добавок за механізмом їх дії є класифікація, запропонована В. Б. Ратиновим і Т. І. Розенбергом, за якою добавки розподіляють на чотири класи:

1. Електроліти, що змінюють розчинність в'язучих речовин.
2. Реагують із в'язучими речовинами з утворенням важкорозчинних або малодисоційованих сполук.
3. Готові центри кристалізації (кристалічні затравки).
4. Органічні поверхнево-активні речовини.

Кожен із класів ділиться на окремі групи. Так, добавки першого класу поділяють на такі, що містять або не містять однойменні з в'язучими іони. У добавках другого класу виокремлюють такі, які вступають із в'язучими речовинами у реакції приєднання або в обмінні реакції. У добавках четвертого

класу – ПАР можна виокремити чотири групи, що утворюють важкорозчинні або малодисоційовані продукти, що коагулюють у присутності іонів електроліту, хімічно не взаємодіють або взаємодіють з гідроксидом кальцію, алюмінатами і лугами цементу. Всі добавки ПАР поділяють також на гідрофілізувальні та гідрофобізувальні.

Прагнення забезпечити поліфункціональність дії добавок, посилити технологічний ефект і зменшити небажану дію зумовило широке поширення комплексних (композиційних) добавок. Комплексні добавки поділяють на дві категорії. Перша представлена сумішами добавок, що належать до одного класу, а друга – сумішами різних класів.

Є різні класифікації добавок за основним ефекту їхньої дії. Поширеною є класифікація з 6 класів добавок-модифікаторів:

- 1) регулятори реологічних властивостей;
- 2) регулятори тужавлення та твердіння бетонної суміші;
- 3) регулятори пористості бетону;
- 4) надають бетону спеціальні властивості (гідрофобні, електропровідні, біоцидні тощо);
- 5) порошки-замінники цементу;
- 6) поліфункціональні модифікатори.

У технології бетону найпоширенішими є основні представники добавок першого класу – пластифікатори, що поліпшують рухливість бетонної суміші без збільшення водовмісту. Відповідно до ефективності пластифікувальної дії, тобто збільшення рухливості бетонної суміші без зниження міцності бетону, пластифікатори поділяють на чотири категорії (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Класифікація пластифікаторів бетонних сумішей

Категорія	Найменування	Пластифікувальна дія (збільшення ОК із 2–4 см), см	Зменшення кількості води, %
I	Суперпластифікатори	До 20 та більше	Не менше 20
II	Пластифікатори	14–19	Не менше 10
III	Пластифікатори	9–13	Не менше 5
IV	Пластифікатори	8 та менше	менше 5

Суперпластифікатори (далі СП) почали застосовувати у виробництві бетону на початку 70-х років ХХ століття. Завдяки їм виявилось можливим отримувати бетони з литих сумішей з ОК > 20 см при помірному водовмісті – високоміцні бетони, зокрема на звичайному портландцементі й заповнювачах, що мають низьку проникність, високу корозійну стійкість тощо.

Введення СП є на сьогодні обов'язковою умовою виробництва високоякісних, високотехнологічних бетонів (High Performance Concrete, HPC). Такі бетони мають міцність на стиск у віці 2 діб – 30...50 МПа, 28 діб – 60...150 МПа, морозостійкість – F 600 і більше, водонепроникність – W 12 і вище, водопоглинання – менше 1– 2 %, стираність – не більше 0,3...0,4 г/см<sup>2</sup>, регульовані показники деформативності, зокрема з компенсацією усадки у віці 14...28 діб природного твердіння.

Прийнята на сьогодні класифікація суперпластифікаторів (табл. 3.7) розподіляє їх за складом і механізмом дії:

Таблиця 3.7 – Класифікація суперпластифікаторів

Позначення	Склад	Механізм дії
НФ	На основі сульфованих нафталінформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
МФ	На основі сульфованих меламінформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
ЛСТ	На основі очищених від цукру лігносульфонатів	Електростатичний
П	На основі полікарбоксилатів та поліакрилатів	Стеричний

Механізм дії СП обумовлений комплексом фізико-хімічних пропроцесів у системі цементне тісто-добавка. Механізм дії СП визначається, переважно:

1. Адсорбцією моно- або полімолекулярних ПАР, зазвичай, на поверхні гідратних новоутворень.

2. Колоїдно-хімічними явищами на межі розділу фаз.

У механізмі дії СП типів НФ, МФ, ЛСТ переважає ефект електростатичного відштовхування частинок цементу, обумовлений тим, що адсорбційні шари з молекул СП підвищують величину дзета-потенціалу на поверхні цементних часток. Величина дзета-потенціалу, що має негативний знак, залежить від адсорбційної здатності СП. Збільшенню адсорбційної здатності СП сприяє збільшення довжини вуглеводневого ланцюга й молекулярної маси. Величина адсорбції СП пропорційна концентрації їх у водному розчині. З мінералів цементу найбільшу адсорбційну здатність має С<sub>3</sub>А, найменшу – β-С<sub>2</sub>С.

Електрокінетичний потенціал поверхні частинок цементу при додаванні СП змінюється від +11 до – (25...35) мВ, що викликає взаємне відштовхування одноіменно заряджених частинок.

У механізмі дії СП типу П роль дзета-потенціалу менша, а взаємне відштовхування частинок цементу забезпечується за рахунок так званого стеричного ефекту. Цей ефект обумовлений формами ланцюгів і характером зарядів на поверхні зерен цементу й гідратів.

Широко поширений СП «розріджувач С-3» належить до групи СП нафталін-формальдегідного типу (далі НФ). Його виготовляють як у вигляді 20–40 % розчину, так і порошку. При дозуванні добавки 0,5–1 % від маси цементу він дозволяє збільшити рухливість бетонної суміші від 2–4 см до 20–22 см. В умовах рівної рухливості сумішей бетони з СП С-3 унаслідок зменшення В/Ц мають міцність у віці 28 добу на 30...50 % вище, ніж бетони без добавки. При цьому істотно зростають щільність і водонепроникність, поліпшується низка інших властивостей бетону.

Добавки СП нового покоління типу П на основі полікарбоксілатів забезпечують збільшення осадки конуса бетонної суміші від 3 см до 21–24 см при дозуванні всього 0,17...0,22 % маси цементу. Якщо бетонні суміші з добавками традиційних СП швидко втрачають рухливість і недостатньо стійкі, то суміші з добавками полікарбоксілатів перебувають у пластичному стані 1,5–2 години. Висока збереженість бетонних сумішей із СП типу П робить їх особливо привабливими для монолітного будівництва і при тривалому транспортуванні. Як й інші СП, вони з успіхом застосовуються і при тепловій обробці бетону в індустрії збірного залізобетону.

До найдешевших пластифікаторів належать ПАР на основі лігніт-сульфонатів, які зазвичай є відходами або побічними продуктами промисловості. Широко застосовуються в технології бетону відходи гідролізного виробництва – лігносульфонати технічні (далі ЛСТ) – вводяться в бетонні суміші зазвичай у кількості 0,15...0,25 % маси цементу. При введенні 0,8...1 % ЛСТ може досягатися приблизно таке саме розрідження, як і при звичайних дозах СП, проте міцність бетону зменшується в 1,5 рази й більше. Це є наслідком відповідного зменшення ступеня гідратації цементу та збільшенням у 2–2,5 рази обсягу залученого повітря. Стабілізуюча дія ЛСТ на процеси твердіння цементу зростає зі збільшенням вмісту так званих редукувальних речовин (далі РВ), представлених цукрами або вуглеводами, таких як ксилоза, глюкоза, галактоза тощо. Очищення ЛСТ від РВ можна проводити шляхом їх карамелізації при термічній обробці за спеціальним режимом або за допомогою екстракції кислим розчином ацетону.

Відомо безліч способів підвищення ефективності технічних лігносульфонатів як пластифікаторів бетонної суміші:

- фракціонування за молекулярною масою;
- зміна складу функціональних груп;

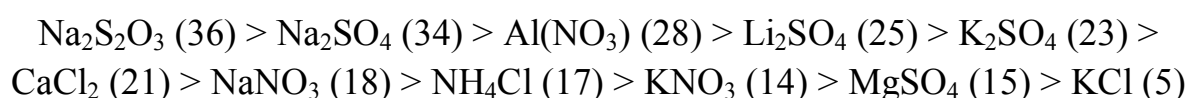


- конденсація з формальдегідом у кислотному або лужному середовищі;
- окислення азотовмісними речовинами;
- механохімічна обробка.

Для ослаблення стабілізуючого впливу пластифікаторів типу ЛСТ на гідратацію цементу, крім зазначених вище способів їх хімічного й фізико-хімічного модифікування, широко застосовують поєднання пластифікаторів із прискорювачами твердіння – сульфатом натрію, формиатом кальцію, триетаноламіном тощо.

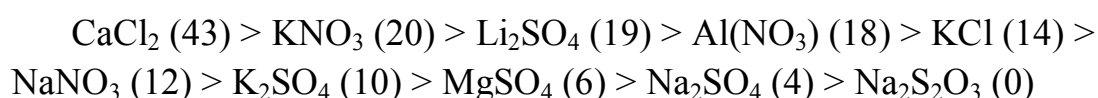
З прискорювачів твердіння бетону в найбільше досліджений хлорид кальцію. Його прискорююча дія пояснюється підвищенням розчинності клінкерних мінералів цементу, утворенням комплексних малорозчинних сполук; аналітичною та модифікуючою дією на гідратацію цементу. Однак застосування його в бетоні обмежене через прискорення корозії сталевий арматури та зниження стійкості цементного каменю в сульфатному середовищі.

Поширені як прискорювачі твердіння бетону добавки сульфату й нітрату натрію. Вони дають змогу скоротити цикл обробки виробів на 20...30 % або знизити витрату цементу до 10 %. За ефективністю впливу на міцність цементного каменю відразу після пропарювання добавки представлені таким рядом:



(У дужках наведено збільшення міцності цементного каменю у відсотках порівняно з еталоном).

У віці 28 діб після пропарювання ефективність дії добавок представлена так:



Усі комплексні або поліфункціональні модифікатори (далі ПФМ) можна розбити на три групи: I – суміші електролітів; II – суміші ПАР; III – суміші електролітів і ПАР.

ПФМ першої групи дозволяють регулювати терміни тужавлення, швидкість твердіння, захисні властивості бетону відносно арматури. Широко застосовуються ПФМ першої групи у бетонних роботах у зимовий час.

ПФМ другої групи застосовують для посилення пластифікуючого ефекту, додаткового повітровтягування або газовиділення, гідрофобізації, економії дорогих суперпластифікаторів.

ПФМ третьої групи надають комплексний ефект пластифікації та регулювання темпу твердіння бетону, інших його будівельно-технічних властивостей.

При отриманні ПФМ, поряд з можливим адитивним впливом окремих компонентів, необхідно зважати на можливість хімічної взаємодії між ними, перебігу коагуляційних процесів.

*Наповнювачі та мінеральні модифікатори.* Цементний камінь, за визначенням В. М. Юнга, можна вважати «мікробетоном». Значна частина цементних зерен гідратується неповністю та виконує роль своєрідних наповнювачів цементного каменю. Глибина гідратації окремих клінкерних мінералів неоднакова і, навіть у 6 місяців не перевищує для найактивнішого мінералу  $C_3S$  – 15 мкм, а найменш активного  $C_2S$  – 2,7 мкм.

Численними дослідженнями доведено, що крім «природних» наповнювачів, якими служать ядра здебільшого клінкерних частинок, у цементі й бетонні суміші можуть бути з успіхом введені «штучні» наповнювачі – тонкомелені, практично нерозчинні у воді неорганічні речовини, що складаються з частинок розміром  $< 150$  мкм. Ще в 1886 році М. А. Белелюбський опублікував роботу «Про піщаному цементі», у якій довів доцільність виробництва цементу шляхом спільного помелу кварцового піску з попередньо розмеленим портландцементним клінкером.

На сьогодні як наповнювачі бетонів застосовують тонкомелені кварцові піски, карбонатні матеріали, доменні й паливні шлаки тощо. Низку порошків отримують безпосередньо у високодисперсному стані як відходи або напівпродукти різних виробництв – кам'яновугільний попіл-винесення, мікрокремнезем – відхід виробництва феросплавів тощо.

Наповнювачі можуть вступати в хімічну взаємодію з продуктами гідратації цементу (золи, шлаки, мікрокремнезем) або не вступати (кварцовий пісок), проте в обох випадках вони є активними компонентами твердіючих цементних систем. Наповнювачі мають високу питому поверхню та одночасно безпосередню хімічною взаємодією впливають на фізико-хімічні процеси на поверхні розділу фаз. Відповідно до вчення Гіббса – Фольмера енергія утворення зародків кристалів значно зменшується за наявності центрів кристалізації, якими можуть слугувати частки наповнювача.

Зменшуючи  $\Delta W$  (вільна поверхнева енергія між твердою та рідкою фазами) за рахунок енергії поверхневого розділу, наповнювач істотно прискорює кристалізацію новоутворень. Тому в умовах тепловологісної обробки наповнені цементні системи дають більший ефект, ніж при твердінні у нормальних умовах.

Зменшуючи радіус зерен наповнювача і поверхневий натяг на межі «кристал-рідка фаза», можна значно підвищити ймовірність зародження нової фази. При оптимальній концентрації та дисперсності наповнювача утворюється дрібнозерниста структура в'язучого, що сприятливо відбивається на технічних характеристиках штучного каменю. При введенні наповнювача в систему «цемент-вода» швидкість затвердіння і міцність зростають доти, доки всі зерна наповнювача залишаються оточеними продуктами гідратації. Для кремнеземистих частинок ступінь наповнення можна визначити за кількістю СаО, що може зв'язати 1 г наповнювача. Ступінь наповнення, розрахована таким чином, коливається від 5 % до 10 % маси цементу.

При надлишку наповнювача з високою дисперсністю зерен виникають ділянки самонапруження, що у процесі росту кристалів може призвести до утворення тріщин та інших порушень однорідності мікроструктури.

Наповнювач повинен забезпечити максимальну адгезійну міцність між в'язучим і заповнювачем і когезійну міцність в'язучого, мінімальну пустотність шляхом витіснення цементного тесту в контактну зону й загальну пустотність бетону загалом. При цьому ступінь наповнення повинна бути такою, щоб на початковій стадії формування структури були забезпечені задані реологічні параметри суміші.

У відомих дослідках Е. Р. Пинуса було доведено, що зменшення міжзернових відстаней у розчинах на кварцовому піску з 210 км до 30 км дає змогу в 1,5–2 рази збільшити мікротвердість цементного каменю, що пов'язує зерна заповнювача. Без наповнювача досягти настільки тонкого прошарку цементного каменю, близькою до подвоєної ширині контактного шару, досить важко, оскільки потрібна висока ступінь оточення сумішей, при якій значно погіршуються умови їх приготування та формування.

Модифікатори (МБ) значно спрощують отримання бетону з високими технічними властивостями, дають змогу зменшити витрату СП, підвищити стабільність консистенції бетонних сумішей у часі й забезпечити низку інших переваг порівняно з роздільним введенням добавок. Поряд із МК, як ефективні модифікатори бетону при певних умовах можуть слугувати й інші мінеральні матеріали – метакаолін, цеоліти тощо.

#### *Модифікування бетонів полімерами*

Модифікування цементних бетонів полімерами реалізується переважно шляхом уведення полімерних добавок і шляхом просоченням. Властивості бетону можна також істотно поліпшити армуванням полімерними волокнами, застосуванням полімерних наповнювачів і мікронаповнювачів.

Як полімерні добавки в цементних системах застосовують:

- еластомери – синтетичні каучуки (бутадиєнстирольний, хлоропреновий, дівінілстирольний тощо);
- термопласти (полівінілацетат, сополімери вінілацетату, полівінілхлоропрен тощо);
- реактопласти (епоксидні, фуранові, поліефірні тощо);
- водорозчинні смоли (діетиленгліколеві, мочевино-формальдегідні, ацетоно-формальдегідні тощо).

Серед полімерних добавок можна виокремити також розглянуті раніше су-перпластфікатори.

Дисперсії еластомерів і термопластів у полімерцементні суміші додають зазвичай у кількості 10...20 % від маси цементу, водорозчинні смоли – 1...3 %. Для запобігання коагуляції еластомерів при змішуванні їх із цементом необхідне введення стабілізаторів (гідрофільних колоїдів, електролітів). Водорозчинні смоли застосовують без або з отверджувачем і додають з водою замішування.

Підвищення міцності цементних бетонів на розтягнення та їх деформативності – один із головних результатів введення полімерних добавок. При введенні добавок полівінілацетату (далі БПА) і латексів можливе збільшення міцності при вигині у 2–3 рази. Відзначається також зростання граничної розтяжності й зчеплення з поверхнею старого бетону та арматури. Міцність при зсуві, що характеризує здатність до склеювання, збільшується у 3–8 разів. Істотним також є збільшення ударної міцності, стійкості до стирання, водонепроникності і корозійної стійкості.

Полімерцементним матеріалам властива підвищена усадка. При полімерцементному співвідношенні 0,15 для бетону з додаванням ПВА усадка приблизно на 25 % вище усадки звичайного бетону. Величина усадки залежить, насамперед, від вмісту води в полімерній дисперсії, меншою мірою впливає вид полімеру.

При зберіганні у воді зразки з бетону з добавкою ПВА набухають у декілька разів сильніше звичайних цементних бетонів. На відміну від полімерних дисперсій, добавки водорозчинних смол призводять до помітного зниження деформацій усадки й набухання. При підвищених дозах полімерів, особливо в умовах зволоження та підвищення температури, істотно зростає повзучість.

Зниження пористості й заповнення пор полімерами, а також залученим повітрям призводить до підвищення морозостійкості бетонів.

При низькому полімерцементному співвідношенні вододисперговані й водорозчинні полімери, зазвичай, мають пластифікувальну й повітровтягувальну дію. Модифіковані полімерами цементні суміші вигідно відрізняються від

звичайних підвищеною водоутримуючу здатність. Це дає змогу значно поліпшити легкоукладальність і досягати хорошого зчеплення з пористими основами.

Істотна зміна властивостей бетону досягається у разі просочення його мономерами й іншими складами. Бетони, пори яких заповнені полімерами, називають бетонополімерами. Найчастіше бетонополімери отримують, просочуючи бетон мономерами з подальшою їх полімеризацією безпосередньо в порах. Вихідними матеріалами для отримання бетонополімерів можуть бути важкі й легкі бетони різних видів і складів. Як матеріали для просочення зазвичай застосовують мономери (стирол, метилметакрилат тощо). Використовують також асфальтові матеріали (бітум, парафін тощо). До бетонополімерів за технологією та властивостями близькі бетони, просочені сіркою та рідким склом. Бетонополімери отримують шляхом просочення попередньо висушеного бетону. Найпоширеніший конвективний спосіб сушіння бетону в струмені нагрітого повітря, при якому волога випаровується внаслідок різниці парціальних тисків водяної пари у поверхні бетону та в середовищі теплоносія. Такий спосіб сушіння пов'язаний із напругою, обумовленого температурними й вологісними градієнтами, і можливістю появи тріщин.

Можливе застосування радіаційного контактного й високочастотного сушіння бетону. Для повнішого видалення вологи з попередньо висушених виробів їх піддають вакуумуванню в спеціальних контейнерах. Монолітний бетон вакуумують за допомогою вакуум-щитів. Залишковий тиск при вакуумуванні зазвичай не перевищує 0,13 МПа і залежить від типу вакуум-насосів. Просочення бетону мономерами можливо при підвищеному або нормальному тиску. В останньому випадку необхідний термін просочення триває кілька годин, тоді як надлишковий тиск 0,1...1 МПа дозволяє скоротити його до 1–2 годин.

Завершальною операцією отримання бетонополімерних виробів є полімеризація мономера в порах бетону. Широко застосовують термokatалітичний спосіб полімеризації з використанням як ініціаторів різних перекисів. Зміна структури бетону при його просоченні дає змогу отримати матеріал із підвищеною міцністю та довговічністю, іншими покращеними властивостями. Показники основних властивостей бетонополімеру після його просочення метилметакрилатом наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Порівняльні властивості звичайного бетону й бетонополімеру

Показник	Звичайний цементний бетон	Бетонополімер
Границя міцності, МПа:		
– під час стискання	30–50	100–200
– під час розтягу	2–3	6–9
– під час вигину	5–6	14–28
Модуль пружності під час стискання, МПа	$2,5 \cdot 10^4 \dots 3,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$
Гранична деформація під час стискання	0,001	0,002
Міцність зчеплення з арматурою, МПа	1–2	10–18
Динамічна міцність під час розтягу ( $\tau = 10^3$ МПа·с)	7	30
Деформація усадки	$5 \cdot 10^{-5}$	$0-5 \cdot 10^{-5}$
Деформація повзучості	$40 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5} \dots 8 \cdot 10^{-5}$
Електричний опір, Ом	$10^5$	$10^{14}$
Водопоглинання, %	3–5	1
Корозійна стійкість до сульфатів та кислот	недостатня	висока

Бетонополімери – перспективні матеріали для отримання високоміцних і високодовговічних виробів і конструкцій – труб, колон, плит водоскидів, елементів мостів, тунелів, деталей градирень, судів, морських споруд.

### 3.2 Різновиди сучасних бетонів та їхні властивості

#### **Високоміцний бетон**

Знання закономірностей формування структури матеріалів відкриває можливості спрямованого регулювання їхніх властивостей, проектування матеріалів із заданими властивостями. Прогрес у технології будівельних матеріалів значною мірою обумовлений активним впливом на процеси структуроутворення та синтез властивостей матеріалів. Серед таких дій можна виокремити оптимізацію технологічних параметрів, введення ефективних добавок і регулювання складу шихт і композицій.

У сучасному будівництві спостерігається тенденція до застосування високоміцних бетонів у поєднанні з високоміцною арматурою.

Використання бетонів високих марок дає змогу:

- 1) знизити вагу конструкцій;
- 2) зменшити їх перетин;

- 3) створювати раціональніші конструктивні форми;
- 4) підвищити жорсткість конструктивних елементів.

Переваги таких бетонів:

- підвищена міцність твердіння;
- набір міцності за порівняно короткий час;
- можливість скорочення часу тепло-вологості обробки виробів або відмова від неї (при виробництві збірного залізобетону в заводських умовах);
- прискорення темпів зведення будівель і споруд монолітним способом.

Дослідження показали, що отримання високоміцних бетонів дає можливість значно поліпшити всі основні властивості бетону, а саме:

- міцність у віці 2 діб довести до 30–50 МПа;
- марочну міцність довести до показників 80–150 МПа;
- водонепроникність – до марок W16–W20;
- знизити стираність до 0,3–0,4 г/см<sup>2</sup>;
- підвищити морозостійкість до F1000;
- знизити водопоглинання до 1–2 %;
- знизити усадку й повзучість.

Отримання високоміцних бетонів можливо за допомогою різних технологічних прийомів шляхом спрямованого управління процесами структуроутворення на різних стадіях твердіння та формування структури.

Одним із найдешевших способів підвищення міцності бетону є раціональний підбір компонентів бетонної суміші, при цьому до матеріалів висувають підвищені вимоги й дотримується правильного режиму догляду за бетоном, що твердне. При цьому можливе отримання бетонів із міцністю до 140 МПа при мінімальній витраті цементу.

### ***Прозорий бетон (літракон)***

Сьогодні бетон дуже поширений у будівництві та архітектурі сучасний матеріал, незважаючи на його зовнішню непривабливість, він є дуже міцним і досить економічним. Але наука не стоїть на місці, і сьогодні з'явився новий матеріал, який отримав міжнародну назву «light-transmitting concrete» скорочено LiTraCon (літракон) «світлопровідний» бетон або ще його називають люцем. Винайшов такий бетон угорський архітектор Арон Лошонци в 2001 році. Він вирішив, що зовнішню непривабливість бетону можна виправити не зовнішньою обробкою декоративними матеріалами, а змінивши його внутрішню структуру.

Прозорий бетон – це новий вид композиційного матеріалу, який пропускає крізь себе світло, при цьому залишаючись за властивостями звичайним бетоном. Досягається такий ефект, шляхом додавання до складу дрібнозернистого бетону оптичних волокон, завдовжки від 2 мікрметрів до 2

мм у діаметрі. Оптичне волокно не піддається впливу вогню і має стійкість до різких перепадів температур і ультрафіолетового випромінювання. Завдяки тому, що склоподібні оптичні волокна мають невеликий розмір, зовнішня поверхня та внутрішня структура цього матеріалу однорідні. Вони заливаються з бетоном і створюють абсолютно новий матеріал зі світлопровідністю. Здавалося б про бетон багато-чого відомо, вивчені його хімічні й фізичні властивості, але те, що через його масив можна розглядати силуети, риси та колір предметів, які розташовані за ним, навіть не підозрювали. При цьому прозорий матеріал залишається шумо- й теплоізоляційним, міцним і водостійким.

Оскільки основу матеріалу становить цілком звичайний дрібнозернистий розчин, його технічні властивості багато в чому схожі зі звичайними дрібнозернистими бетонами – наприклад, марки М 250. Однак, наявність близько 5 % скловолокна все-таки обумовлює низку відмінностей. Що стосується густини, то вона коливається від 2 100 до 2 400 кг/м<sup>3</sup>. Цей показник перевершує піно- й газобетонні аналоги, але з важкими бетонами літракон конкурувати не може. Зате прозорий бетон демонструє непогану водонепроникність і морозостійкість.

Технологія отримання прозорого бетону близька до традиційної, але варто зазначити, що сама по собі суміш для бетонів передбачає включення компонентів із різними характеристиками. Існують дрібнозернисті суміші, а в деяких випадках доречно додавати щебінь. Саме варіант без наявності великої фракції дає змогу отримати якісний прозорий бетон. Створення дрібнозернистого бетонного розчину полягає в змішуванні однієї частини цементу та трьох частин піску. Вода додається, відповідно до маси цементу, і не повинна перевищувати половини його вмісту. Далі додають модифікатори, кількість яких визначається за рекомендаціями виробника. Сухі компоненти перемішують протягом однієї хвилини у змішувачі до однорідності, додають воду й перемішують ще п'ять хвилин.

Застосування оптичних ниток передбачає в деякому роді армування. Від точності укладання волокон також залежить ключова характеристика матеріалу – здатність забезпечення прозорості (рис. 3.8). Принциповою відмінністю від класичного способу виготовлення бетонів є необхідність доопрацювання вже затверділого бетону. Після формування прозорого бетону в блоках беруться до фінішної обробки. Процес неповного затвердіння відбувається за три-п'ять днів, після чого знімають опалубку, моноліт нарізують на окремі блоки потрібної формою та потім їхню поверхню полірують.



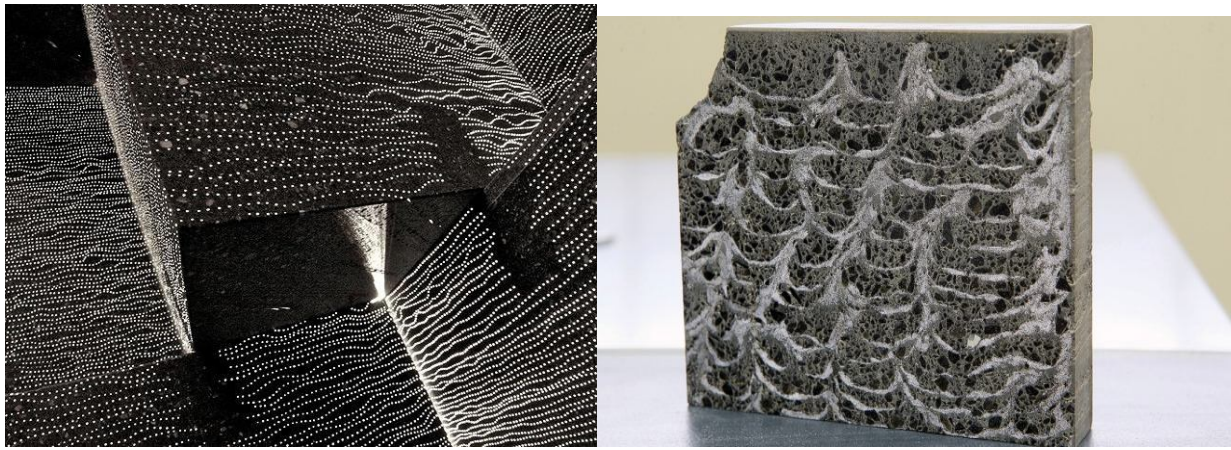


Рисунок 3.8 – Структура прозорого бетону

Літракон (Plumicon) є бетоном із достатньо високою міцністю, тривалим терміном служби, має добру водостійкість, тепло- та звукоізоляційні властивості. Особливість літракона полягає в його екологічності, показники якої пройшли відповідну перевірку й мають сертифікати. Його випускають білого, сірого й чорного кольору, також випускають матові або поліровані панелі. Серед основних характеристик матеріалу можна виокремити (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Властивості прозорого бетону

Властивість	Показник
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2 100–2 400
Міцність при стиску, МПа	20–35
Міцність при розтягуванні на вигин, МПа	не менше 2
Водонепроникність	W 4–W 8
Морозостійкість	F 50–F 75
Водопоглинання	не більше 6 %
Індекс звукоізоляції, дБ	46
Горючість	група НГ

Зважаючи на те, що міцність на стиск не дає змогу застосовувати літракон при будівництві великих будівельних об'єктів, потрібно завжди прорахувати навантаження на матеріал і розглянути варіанти внесення додаткових пластифікаторів і добавок, що підвищують міцність.

Дослідження довели, що світло через прозорий бетон помітно на відстані понад 20 метрів. Завдяки присутності в бетоні величезного числа оптичних волокон, він стає напівпрозорим і чудово грає тінню та світлом, при цьому бетонні блоки, через які просвічуються обриси предметів, що знаходяться по

той бік, здаються невагомими. Особливо цей ефект помітно в сутінках (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Прозорий бетон

Стіни з прозорого бетону здатні пропускати в приміщення промені природного світла в денний час доби, висвітлювати присадибну ділянку за рахунок кімнатного освітлення. Також подібна технологія може використовуватися для організації світлового зовнішнього декору на міських вулицях: павільйони на зупинках громадського транспорту або торгового призначення, тумби різного призначення, паркові лавки, для влаштування фасадів малих міських будівель тощо. Тому фасадні бетонні конструкції можуть стати дуже популярні.

До недоліків матеріалу належать деякі особливості технології виготовлення прозорого бетону. Так, відсутність можливості отримання світлопровідної суміші безпосередньо в опалубці на будмайданчику. Процес виготовлення полягає в пошаровому укладанні компонентів розчину, після твердіння яких поверхню обробляють додатковим складом, що дозволить отримати потрібні світлопровідні властивості.

Також є ризик руйнування силікату оптоволоконних ниток у лужному середовищі цементу, особливо в присутності вологи і атмосферної води, але в цьому випадку вони мінімальні, оскільки перетин ниток дуже малий.

Також його вартість сьогодні є високою, ціна 1 м<sup>2</sup> прозорого бетону становить приблизно 4 000 євро, тому такий бетон ще повільно просувається на ринку. Проте прозорий бетон – це, без сумніву, є перспективним матеріалом. У нього є всі можливості придбати панівні позиції серед інших сучасних декоративних будматеріалів.

### ***Бетон, що сам відновлюється***

Відомо, що бетон під час набору міцності схильний до утворення тріщин. Мікротріщини – це очікувана частина процесу твердіння бетону й не обумовлює пряму втрату міцності. Тріщини шириною близько 0,2 мм допускаються за нормами у бетонній промисловості. Але з плином часу, вода разом з агресивними хімічними речовинами в ній потрапляє в ці тріщини й спричиняє корозію бетону.

Для забезпечення довговічності, підвищення терміну служби конструкції, важливо, щоб ці мікротріщини могли б із часом загоюватися. Такі дослідження були проведені в Делфтському технічному університеті (Delft Technical University) в Нідерландах мікробіологом Хенк Джонкерс і технологом бетону Ерік Шланген.

Вони використовували для цього бактеріальні спори та поживні речовини, які потрібні для харчування бактерій, які додаються у вигляді гранул у бетонну суміш. Вода, що є інгредієнтом, який є необхідним для росту мікробів, буде надходити ззовні в структуру бетону. Отже, спори залишаються в стані спокою, поки дощова вода не активує їх, проходячи по тріщинах.

Експериментальний бетон, що самовідновлюється та заліковує сам тріщини, містить бактерії, що виробляють кальцит і які активуються дощовою водою, що проникає по каналах структури. Ці бактерії є нешкідливими і належать до роду *Bacillus*. У процесі своєї життєдіяльності вони поглинають поживні речовини й виробляють кальцит. Для їх харчування, вводять лактат кальцію – один із компонентів молока, при цьому використовують гранули, які захищають їх від сильно лужного середовища бетону. У лабораторії д-р Джонкерс із колегами вже змогли отримати загоєння тріщин шириною до 0,5 мм, що в два-три рази вище, ніж за вимогами державних норм.

Зараз дослідження розширюються, вчені прагнуть підвищити виробництво самовідновлюваного агента в великих кількостях, і почали проводити тести на відкритому повітрі на різних конструкціях і на різних видах бетону, щоб підтвердити, що ця концепція дійсно працює на практиці.

Головне завдання полягає в забезпеченні достатньої живучості агента, щоб витримати процес змішування. Але для того, щоб зробити це, потрібно застосувати покриття на частинки, яке дуже дорого коштує. На сьогодні група вчених намагається знизити вартість цієї добавки. Також бетон потрібно перевіряти протягом як мінімум двох років, щоб подивитися на його поведінку у реальних умовах.

Дослідження довели, що навіть якщо цей спосіб самолікування бетону підвищить на 50 % до його вартість, це становитиме всього 1–2 % від загальної вартості будівництва. Але технічне обслуговування бетонних конструкцій, що

руйнуються, може скласти більший відсоток від повної вартості об'єкта, тому д-р Джонкерс очікує велику економію завдяки підвищенню терміну служби бетону.

Самовідновлюваний бетон міг би потенційно збільшувати життєвий цикл бетону при значній економії коштів. Якщо все піде успішно, дослідники сподіваються через 2–3 роки почати на практичну реалізацію продукту.

### ***Еластичний бетон, що самозаліковується***

Ідея щодо подібного матеріалу була знайдена у звичайній мушлі. Річ у тому, що мушлі збагачені необхідним комплексом мінералів, які надають їм еластичність.

Саме ці мінерали й додаються до складу бетону. Новий тип бетону неймовірно еластичний, стійкіший до тріщин, та ще й на 40–50 % легший. Такий бетон не зруйнується навіть при дуже сильних вигинах. Навіть землетрус йому не страшний. Велика сітка тріщин після таких випробувань не позначиться на його міцності. Після зняття навантаження бетон почне процес відновлення. Додавши відповідні сполуки в бетон, вчені отримали дивний ефект. По-перше, бетон не руйнується навіть після значного зусилля на вигін (наприклад – під час землетрусу), хоча й покривається великою сіткою дрібних тріщин. А по-друге, він відновлює свою цілісність після зняття навантаження (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Випробування еластичного бетону на вигин

Щоб відбулися такі перетворення потрібен невеликий дощ, що буде контактувати з бетоном кілька днів. Вода реагує зі сполуками в бетоні, а також із вуглекислим газом в атмосфері й формує «шрами» із карбонату кальцію, які скріплюють тріщини. Причому після самовідновлення даний шматок бетону буде мати практично таку саму міцність, як і до пошкодження – пояснюють винахідники. Автори розробки сподіваються, що вона користуватиметься

попитом при прокладанні доріг, а особливо – будівництво мостів, незважаючи на те що коштує такий бетон утричі дорожче звичайного. Американські новатори відзначають, що схожий «еластичний» бетон вже був використаний при зведенні одного з мостів у Мічигані (США). Міст цей відрізняється тим, що на його дорожньому полотні немає стиків, що компенсують температурні коливання, так що автомобілі проїжджають по ньому безшумно. І схожий бетон використаний в одному з 60 поверхових будівель у м Осаці (Японія). Але новий склад повинен виявитися ще цікавішим.

### ***Самовідновлюваний біологічний бетон***

Питання міцності бетону завжди пов'язано з виникненням і поширенням у ньому мікротріщин з плином часу. Через них у структуру матеріалу потрапляє вода, що, зі свого боку, призводить до серйозних негативних наслідків, таких як:

- зниження міцності через водну ерозію;
- пошкодження армувальних елементів унаслідок корозії;
- поширення шкідливих мікроорганізмів;
- порушення герметичності конструкцій;
- лавиноподібне падіння характеристик бетонної конструкції.

Цю проблему намагалися вирішити різними методами. Найпоширенішими є різні просочення, що наносяться на готові конструкції. Але технологія їх використання не відрізняється простотою, та й самі вони не завжди безпечні для людини. Унаслідок багаторічних досліджень з'явився матеріал, здатний самостійно ліквідувати мікротріщини шляхом упродовження в нього специфічних мікроорганізмів.

Знадобилося чимало часу, щоб знайти організми, які здатні жити та розмножуватися в умовах бетону. Найбільший потенціал був помічений у специфічного типу бактерій, які у процесі життєдіяльності виділяють вапняк.

Але було необхідно забезпечити поживне середовище для таких мікроорганізмів. Спроби ввести до складу бетонного розчину цукор призвели до значного зниження міцності бетону. Тоді цукор замінили лактатом кальцію. Бактерії його споживали, а на властивостях бетону це ніяк не позначалося або позначалося мінімально.

Важливим було контролювати чисельність бактерій, оскільки, що при безконтрольному розмноженні мікроорганізми здатні заподіяти проблеми бетонним конструкціям. Крім того, велика колонія вимагає й великих обсягів води, додавання якої є недоцільним. Було прийнято рішення використовувати здатність бактерій впадати в «сплячку» під час несприятливих умов, що дає змогу їм перецікувати навіть екстремальні ситуації. Отже технологія стала виглядати так:

- бактерії впроваджуються в бетон в упаковках у вигляді розчинних капсул із лактатом кальцію, причому в сухому бетоні, бактерії перебувають у «сплячці», ніяк себе не проявляючи;
- коли в матеріалі з'являються мікротріщини, крізь які просочується вода, бактерії активізуються, споживаючи харчовий ресурс, і виробляють вапняк, який поступово накопичується, заповнюючи тріщину (рис. 3.11).

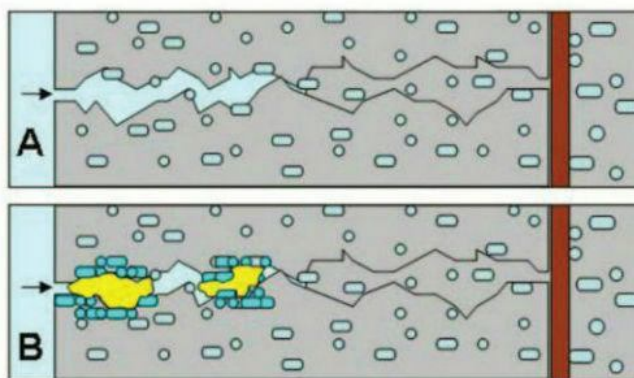


Рисунок 3.11 – Схема зарощування тріщин у біологічному бетоні

Отже, технологія дає змогу зарощувати мікротріщини бетону без будь-якої участі з боку людини. Бетон підвищує свою водонепроникність і відновлює міцність, а об'єкти на базі самовідновлюваного бетону можна експлуатувати роками, не проводячи ніякого обслуговування та ремонту (рис. 3.12).

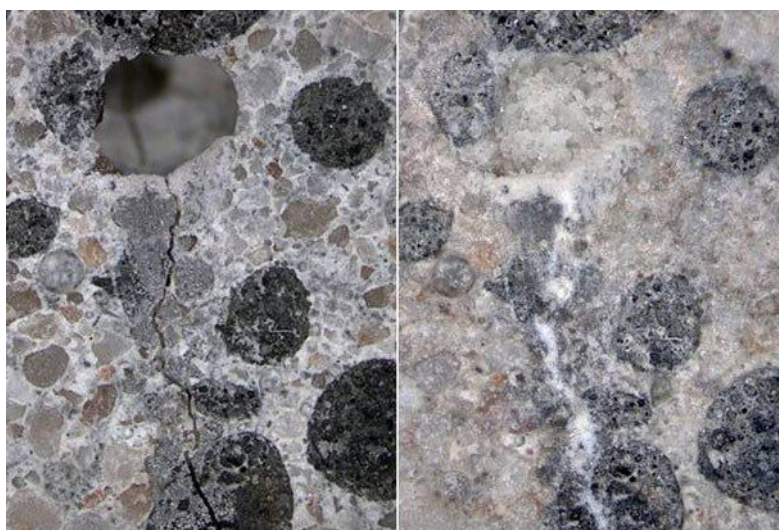


Рисунок 3.12 – Мікроструктура самовідновлюваного біологічного бетону після зарощення тріщин

Мікрокапсули спроектовані у такий спосіб, що вони не вимагають особливого ставлення під час введення в розчин, їх просто додають так само, як і будь-який інший компонент суміші. Бактерії при цьому можуть перебувати в «сплячому» стані роками, не будучи при цьому чутливими до особливостей середовища, включаючи температуру повітря. На відміну від просочень, для людини вони абсолютно нешкідливі. В активну фазу організми переходять тільки тоді, коли створені відповідні умови, тобто якщо порушена внутрішня структура бетону.

### ***Самоущільнювальні бетони***

Прогрес у сфері будівництва сприяв появі високоміцних безвібраційних бетонів. Їхньою особливістю є висока рухливість на початковій стадії твердіння, що досягається шляхом додавання суперпластифікатора та спеціальних мінеральних і хімічних добавок. Такі бетонні суміші під дією власної маси повністю заповнюють простір опалубки, зокрема й між арматурними стрижнями.

Самоущільнювальний бетон (далі СУБ) уперше з'явився в Японії у 1988 році з метою можливості бетонування конструкцій складної конфігурації та скорочення висококваліфікованої робочої сили, що обслуговує укладання бетону у форму або опалубку.

На сьогодні нормативних документів щодо отримання самоущільнювальних бетонів в Україні не існує, проте вони є в інших країнах. Отримання самоущільнювальних бетонів досягається шляхом застосування дрібнозернистих заповнювачів (крупність щебеню – до 16 мм), добавок-стабілізаторів в'язкості й суперпластифікаторів, що дозволяють тривалий час зберігати незмінну рухливість бетонної суміші. Використання самоущільнювальних бетонів дає змогу:

- підвищити швидкість бетонування,
- знизити вимоги до перекачування бетонної суміші,
- гарантувати надійність заповнення всього обсягу опалубки при бетонуванні густоармованих конструкцій перекриттів (рис. 3.13).

Застосування СУБ при формуванні залізобетонних конструкцій потрібно в таких випадках:

- де неможливо застосувати вібрацію;
- при виконанні лицьових і складних поверхонь бетону;
- при виготовленні елементів зі складною внутрішньою та зовнішньою геометрією;
- в умовах обмеженого простору на будівництві;
- за необхідності виконання робіт зі зниженим рівнем шуму або в стислі терміни.



Рисунок 3.13 – Використання самоущільнювальних бетонів

Базові реологічні властивості СУБ можна забезпечити завдяки ретельному підбору вихідних матеріалів і їхніх пропорцій [12]. Основні властивості СУБ:

- висока рухливість;
- надійне видалення повітря при самоущільненні;
- висока стійкість до розшарування.

Відповідно до основних властивостей виокремлюють три основних типи СУБ [13]:

- дрібнодисперсний (значне збільшення вмісту дрібнодисперсної фракції порівняно зі звичайним бетоном);
- стабілізований (використання добавок-стабілізаторів);
- комбінований.

Самоущільнювальні бетони добре себе зарекомендували за рахунок регульованих, високих, які тривалий час зберігаються реологічних і технологічних функцій на стадіях перемішування, транспортування, формування та тверднення [14]. Мінеральні добавки як невід’ємну частину СУБ поділяють так:

- інертні (вапнякові або доломітні порошки);
- пуцоланові (зола-винесення, мікрокремнезем);
- гідравлічні (мелений доменний шлак).



Добавки – стабілізатори в'язкості, які підвищують внутрішню зв'язність самоущільнювального бетону при розтіканні й перешкоджають сегрегації крупного заповнювача при високій рухливості бетонної суміші [15].

Однак СУБ мають і певні недоліки:

- більш високі витрати на матеріали;
- менша стабільність бетонної суміші;
- більш високі, порівняно зі звичайним бетоном, витрати на розробку рецептури, виробництво й забезпечення контролю якості.

Тому сфера застосування СУБ буде обмежена тими випадками, коли він зможе забезпечити оптимальне співвідношення витрат і економічного ефекту.

На відміну від звичайного бетону, СУБ чутливіший до коливань рецептури; найбільше на нього впливає вміст вологи в навколишньому середовищі й заповнювачах. Також необхідно жорстко дотримуватися точності дозування при зважуванні та послідовності завантаження компонентів у змішувач, інакше отримати самоущільнювальний бетон буде не можливо.

Система СУБ є досить складною та взаємодія її п'ятих компонентів (цемент, вода, заповнювачі, мінеральні добавки і добавка-суперпластифікатор) має відбуватися відповідно до вимог до його приготування. Як наслідок, у процесі виробництва може відбуватися збільшення часу замісу, оскільки гомогенізація суміші та вступ добавок у реакцію вимагають інтенсивнішого перемішування; особливо це актуально в разі, якщо підприємства не адаптовані до виробництва даного виду бетонів.

Швидкість укладання СУБ значно зростає при використанні бетононасосів – тут можна досягти показників близько 200 погонних метрів і більше. Також СУБ можна подавати шляхом самопливу з великої висоти. У зв'язку з відсутністю ущільнення, час робіт скорочується. Знижуються витрати по формуванню поверхні – це пов'язано зі здатністю СУБ самовирівнюватися, але через це не можна виконувати поверхні з великим ухилом [16].

Самоущільнювальна бетонна суміш повинна мати такі показники [17, 18]:

- розплив конуса (розтікання) – понад 550 мм;
- час досягнення діаметра розпливання 500 мм – не більше 20 с;
- час проходження через V-подібну воронку має бути 10–20 с.

Ще однією відмінністю є тип і дозування добавки-пластифікатора, доза якого на порядок перевершує стандартні витрати для звичайного бетону. Донедавна використовували тільки імпортні суперпластифікатори на полікарбосилатній основі, витрата яких становила граничні для цих добавок величини в 1,4–2,0 % (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Перевірка рухливості самоущільнювального бетону

На сьогодні в Україні використовують суперпластифікатори й вітчизняного виробництва (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Рекомендовані дозування добавки від маси цементу для отримання СУБ

Назва фірми	Найменування суперпластифікатора	Дозування, %
«Полипласт», Росія	Полипласт СП СУБ	1,0–1,5
«BASF», Німеччина	MasteGlenium 116	0,8–2,0
«MC-Bauchemie», Німеччина	MC-PowerFlow 2695	1,0–5,0
«Stachema», Чехія	Stacheplast 156	0,9–1,5
ООО «Будиндустрія ЛТД», Україна	Релаксол-Супер ПК	0,5–1,0
«Coral», Україна	Coral Maestro	0,5–1,0
«СКТ-СТАНДАРТ», Білорусія	Хидетал-ГП-9	1,0–1,5
«SIKA», Швейцарія	Sika ViscoCrete5-600 UA	1,0–2,0

Досвід застосування самоущільнювальних бетонів довів переваги введення суперпластифікаторів у бетонну суміш, однак був помічена й низка обмежень у роботі з ними:

- по-перше, більшість суперпластифікаторів, особливо при великих дозах, здатні сповільнювати тужавлення бетонної суміші;
- по-друге, при її транспортуванні протягом 60–90 хвилин ефект від дії добавки знижується, тобто зменшується рухливість;

– по-третє, подача суміші по трубопроводу до місця укладання на відстань понад 200–250 м стимулює розшарування та створює неоднорідність у готовому виробі. Внаслідок цього час виконання робіт із бетонування зростає, погіршується якість поверхні виробів, знижується міцність.

Для досягнення високих експлуатаційних характеристик самоущільнювальних бетонів висувають дуже жорсткі вимоги до виробничих матеріалами. Крупність мінеральної добавки становить не більше 0,125 мм, до того ж 70 % із них – розміром 0,063 мм. Крупний заповнювач обов'язково фракціонують за розмірами 10–16 мм і 16–20 мм. Також допускається застосування неорганічних матеріалів із високою питомою поверхнею, які збільшують водоутримувальну здатність суміші (біла сажа, мелений азбест, бентоніти). Наприклад, 20 кг активного кремнезему замінюють 60 кг цементу й забезпечують рівнозначну міцність, до того ж у ранні строки твердіння міцність збільшується так само, як тріщиностійкість і водонепроникність бетону.

Самоущільнювальні бетонні суміші характеризуються високою рухливістю, що забезпечує формування виробів без застосування інтенсивних механічних впливів, зокрема, вібрації. З іншого боку, ці суміші повинні мати достатню в'язкість для запобігання розшарування та седиментації крупного заповнювача. Ці дві вимоги суперечливі; їх рішення може бути досягнуто при застосуванні суперпластифікаторів у комплексі з високодисперсними мінеральними добавками. При цьому останні мають переваги перед органічними добавками-загуснювачами, оскільки, поряд із поліпшенням реологічних властивостей бетонних сумішей, забезпечують підвищення фізико-механічних і експлуатаційних характеристик бетону.

Поєднання мінеральних добавок із суперпластифікаторами при оптимізації гранулометричного складу заповнювачів дає змогу отримати високоміцні бетони (міцність при стисненні – понад 70 МПа) з сумішей, що самовирівнюються.

## 4 БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Будівельним розчином називають отверділу суміш в'язучої речовини, дрібного заповнювача (піску) і води. За своїм складом будівельний розчин є дрібнозернистим бетоном і для нього справедливі закономірності, властиві бетонам. Серед великої розмаїтості розчинів окремі види їх мають багато спільного. Групова класифікація базується на провідних ознаках: густина, вид в'язучої речовини, призначення й фізико-механічні властивості розчинів.

**За густиною** в сухому стані розчини поділяють на такі:

– важкі, із густиною  $500 \text{ кг/м}^3$  і більше, для їх виготовлення застосовують важкі кварцові або інші піски;

– легкі розчини, що мають густину менше  $1500 \text{ кг/м}^3$ , заповнювачами в них є легкі пористі піски з пемзи, туфів, шлаків, керамзиту й інших легких дрібних заповнювачів.

**За видом в'язучого** будівельні розчини бувають:

– цементні, виготовленні на портландцементі або його різновидах;

– вапняні – на повітряному або гідравлічному вапні;

– гіпсові – на основі гіпсових в'язучих речовин (гіпсу або ангідритового цементу);

– змішані – на цементно-вапняному в'язучому.

Вибір виду в'язучого роблять залежно від призначення розчину, пропонованих до нього вимог, температурно-вологого режиму твердіння й умов експлуатації будинку або споруди.

**За призначенням** будівельні розчини поділяють на такі:

– для кам'яного мурування та мурування стін із великих елементів;

– оздоблювальні для штукатурки, виготовлення архітектурних деталей, нанесення декоративних шарів на стенові блоки й панелі;

– спеціальні, що мають деякі яскраво виражені або особливі властивості (акустичні, рентгенозахисні, тампонажні й тощо). Спеціальні розчини мають вузьке застосування.

В основу загальної класифікації розчинів за фізико-механічними властивостями покладено такі найважливіші показники: міцність і морозостійкість, від яких залежить довговічність розчину.

**За величиною міцності при стиску** будівельні розчини підрозділяють на дев'ять марок від  $4 \text{ кг/см}^2$  до  $300 \text{ кг/см}^2$ .

**За морозостійкістю** розчини мають дев'ять марок морозостійкості: від Мрз 10 до Мрз 300.

Як дрібний заповнювач застосовують: для важких розчинів – кварцові й полевошпатові природні піски, а також піски, отримані шляхом дроблення щільних гірських порід; для легких розчинів – пемзові, туфові, черепашкові, шлакові піски.

### Властивості будівельних розчинів

Основними характеристиками розчинної суміші є рухливість, легкоукладальність, водоутримувальна здатність, а розчинів – міцність і довговічність (відповідно до ДСТУ Б В .2.7-114-2002).

**Рухливість.** Будівельні розчини для кам'яного мурування, мурувальних й інших робіт виготовляють доволі рухливими. Ступінь рухливості розчинної суміші визначають глибиною занурення в суміш металевого конуса масою 300 г з кутом при вершині 30 °С (рис. 4.1).

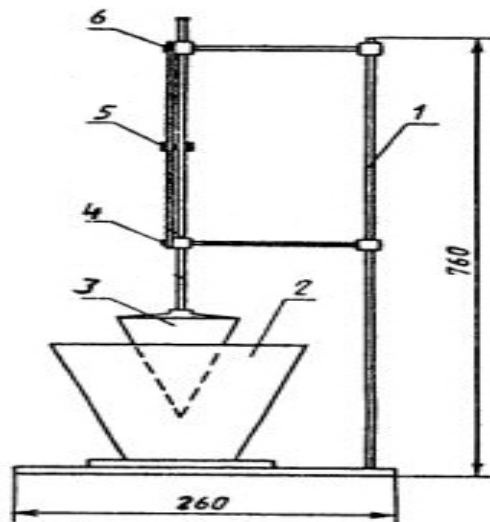


Рисунок 4.1 – Прилад для визначення рухливості розчинної суміші  
1 – штатив; 2 – посудина для щойно приготовленої розчинної суміші; 3 – конус масою 300 г; 4 – пусковий гвинт; 5 – шкала для відліку; 6 – ковзкий стрижень

Одним зі способів підвищення рухливості розчинної суміші є збільшення вмісту води, але для забезпечення міцності розчину збільшують і витрату цементу. Раціональніший спосіб – уведення пластифікуювальних добавок. У таблиці 4.1 наведені марки розчинної суміші за рухливістю.

Таблиця 4.1 – Марки розчинної суміші за рухливістю

Марки розчинної суміші за рухомістю	Глибина занурення конуса, см	Призначення розчинної суміші
П 4	Від 1 до 4 включно	Бутове мурування, ущільнення вібруванням
П 8	Вище 4 до 8 включно	Бутове мурування звичайне із порожнистої цегли й каменю, монтаж стін із крупних блоків і панелей, розшивання горизонтальних і вертикальних швів у стінах із панелей та блоків, облицювальні роботи
П 12	Вище 8 до 12 включно	Мурування зі звичайної цегли й різного виду каменя, штукатурні й облицювальні роботи
П 14	Вище 12 до 14 включно	Заповнення порожнин у бутовій кладці

**Легкоукладальність** – здатність легко, з мінімальною витратою енергії укладатися на основу тонким, рівномірним за щільність шаром, що міцно зчіплюється з поверхнею основи.

**Водоутримувальна** здатність характеризується властивістю розчину не розшаровуватися під час транспортування й зберігати достатню вологість у тонкому шарі на пористій основі.

**Міцність** затверділого розчину залежить від активності в'язучої речовини й величини цементно-водяного відношення. Міцність (Па) розчинів на портландцементі визначають за формулою проф. Н. А. Попова:

$$R = 0,25 R_{\text{ц}} (\text{Ц/В} - 0,4), \quad (4.1)$$

де  $R_{\text{ц}}$  – активність цементу, Па; Ц/В – цементно-водне відношення.

Міцність (Па) розчинів залежить також від витрати цементу й якості піску:

$$R_p = k R_{\text{ц}} (\text{Ц} - 0,05) + 4, \quad (4.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт, для дрібного піску  $k = 0,5-0,7$ ; для середнього  $k = 0,8$  і для великого  $k = 1,0$ ; Ц – витрата цементу, т/м<sup>3</sup> піску.

Міцність змішаних розчинів залежить також від тонкомолотих добавок, що додають у них. Кожен склад цементного розчину має своє оптимальне значення

добавки, за якої суміш має найкращу легкоукладальність й утворює розчин найбільшої міцності.

Міцність розчину характеризується, як відзначалося, маркою. Марка розчину позначається за межею міцності під час стиску (Па) зразків розміром  $70 \times 70 \times 70$  мм, виготовлених з робочої розчинної суміші після 28-добового їх твердіння за температури 15–25 °С. Середня відносна міцність цементних розчинів (зокрема змішаних), що твердіють в умовах нормального вологого режиму за температури 15–25 °С у віці 3 діб, становить 0,25 від марочної 28-добової міцності, у віці 7 діб – 0,5; 14 діб – 0,75; 60 діб – 1,2 й у 90-добовому віці – 1,3.

### ***Види будівельних розчинів***

*Розчини для кам'яних мурувань та монтажу* виготовляють із використанням: портландцементу та шлакопортландцементу (для монтажу стін із панелей та бетонних і цегляних блоків, для звичайного мурування); вапна, вапняно-шлакових та вапняно-пуцоланових в'язучих (для малоповерхового будівництва); пуцоланових та сульфатостійких портландцементів (для конструкцій, які експлуатуються в умовах впливу агресивних середовищ).

Цементні розчини застосовують для підземного будівництва та мурування нижче гідроізоляційного шару, якщо ґрунт насичений водою, тобто у випадках, коли є необхідною висока міцність та водостійкість. Цементні розчини використовують переважно під час зведення фундаментів та інших конструкцій, що розташовані нижче рівня ґрунтових вод, а також для заповнення швів та стиків панелей, плит покриттів і перекриттів у збірних залізобетонних будівлях, влаштування стяжки для м'яких покрівель та підлог.

Цементно-вапняні розчини містять у своєму складі вапняне тісто, характеризуються високою легкоукладальністю, пластичністю, міцністю та морозостійкістю й використовуються для зведення підземних та надземних частин будівель.

Вапняні розчини відрізняються пластичністю й легкоукладальністю, добре зчіплюються з поверхнею, характеризуються малою усадкою, високою довговічністю, але є повільнотверднучими. До того ж розчини на основі повітряного вапна використовують для надземної кладки, а на основі гідравлічного – для мурування не тільки в сухих, але й у вологих умовах.

Легкі розчини використовують для теплоізоляційного мурування та штукатурення будівельних матеріалів усіх видів, оскільки внаслідок низьких середньої густини й коефіцієнта теплопровідності вони сприяють збереженню енергії. У разі застосування теплоізоляційних будівельних матеріалів з'єднувальні шви є провідниками холоду, і тому використання цих розчинів сприяє підвищенню термічного опору стін (приблизно на 150 %) без зниження

міцності.

*Монтажні розчини* виготовляють на основі портландцементу, розширеного й безусадкового цементів і використовують для замонолічування стиків елементів збірних залізобетонних конструкцій.

До монтажних розчинів також належать опоряджувальні розчини – звичайні штукатурні й декоративні.

*Зовнішня штукатурка* виконує функцію оздоблення й вирішує завдання захисту основи від вологи, забезпечує вологообмін між будівельним елементом і зовнішнім середовищем, стійкість до дії морозу та зміни температур.

*Внутрішня штукатурка* виконується з розчинів на основі вапна й зумовлює мікроклімат у приміщенні.

*Декоративна кам'яна штукатурка* застосовується для імітації різних гірських порід і складається з портландцементу, вапняного тіста, мармурового борошна, мармурового дрібняка, слюди та пігменту.

Оздоблення декоративними розчинами дає змогу отримати гладку, бугристу або рельєфну фактуру поверхні. Гладка фактура утворюється під час оброблення поверхні вирівнювальними механізмами, бугриста – присипкою поверхні вологим піском (дрібнобугриста фактура), оброблення свіжоукладеної поверхні стислим повітрям (крупнобугриста) або набризком оздоблювального розчину. Рельєфна фактура оздоблювального шару може мати різний візерунок, для чого використовують рельєфні валики, шаблони, віброштампи із рельєфоутворювачами. Колір оздоблення залежить від сполучення кольорів подрібненого каменю та декоративного розчину.

Теразитові штукатурки є різновидом цементно-піщаних і вапняних штукатурних розчинів, що містять пігменти, слюду, пісок та інколи спеціальні добавки. Для виготовлення теразитових сумішей використовують дрібні (2 мм), середні (3–4 мм) та крупні (5–6 мм) заповнювачі. Теразитову суміш змішують із водою та наносять на підготовлену поверхню одним або декількома шарами. Теразитова штукатурка відрізняється невисокою міцністю, здатна до самовідновлення (відшаровування) під впливом атмосферних чинників.

*Ін'єкційні розчини* застосовують для заповнення каналів попередньо напружених конструкцій. Це цементно-піщані розчини, марка яких має бути не нижчою за М300 і досягається завдяки використанню цементів М400 і вище.

*Гідроізоляційні розчини* виготовляють на цементах підвищених марок (М 400 і вище) із використанням як заповнювача кварцового піску. Для улаштування гідроізоляційного шару, що зазнає впливу агресивних середовищ, як в'язучу речовину застосовують сульфатостійкий портландцемент і сульфатостійкий пуцолановий портландцемент. Орієнтовний склад за масою 1:2,5 або 1:3,5 (цемент:пісок). Для того щоб забезпечити водонепроникність



швів і стиків у споруді, використовують гідроізоляційні розчини на основі розширного цементу.

Водонепроникні розчини виготовляють на основі розширного або безусадкового цементів складів від 1:2 до 1:3, або на основі звичайного портландцементу та шлакопортландцементу з використанням різних добавок.

*Кислотостійкі розчини* – суміш тонкомеленого кварцового компонента та кремнефториду натрію із кислотостійким заповнювачем (піском), що замішані рідким натрієвим чи калієвим склом.

*Жаростійкі розчини.* Як в'язучу речовину застосовують глиноземисті та високоглиноземисті цементи, портландцемент та рідке скло. Заповнювачами та тонкомеленими наповнювачами можуть бути матеріали на основі шамоту, динасу шлаків, паливного попелу та бою випаленої керамічної цегли. Жаростійкі розчини на основі портландцементу містять поряд із в'язучою речовиною (16–20 %) шамотний заповнювач (84–80 %), пластифікатор у вигляді суміші ЛСТ (0,1 %) та вогнетривкої (4–6 %) або бентонітової (2–4 %) глини.

*Вогнетривкі розчини* містять у своєму складі шамотний порошок, інколи порошок бокситу, рідке скло та пластифікатор (суміш вогнетривкої або бентонітової глини). Застосовують ці розчини для мурування печей (або інших високотемпературних агрегатів) із штучних вогнетривів, що експлуатуються за температури до 1 350 °С.

*Тампонажні розчини* можуть бути цементно-піщаними, цементно-піщано-суглинистими, цементно-суглинистими. Як в'язучу речовину використовують різні види цементів залежно від умов експлуатації розчинів, наприклад, під час дії агресивних середовищ – сульфатостійкий пуцолановий або шлакопортландцемент.

*Акустичні та теплоізоляційні розчини* повинні мати середню густину 600–1 200 кг/м<sup>3</sup>. Як в'язучі речовини застосовують портландцемент, шлакопортландцемент, вапно, гіпс, а також цементно-вапняні суміші. Для утворення структури зі сполученими порами обмежується кількість в'язучого компонента. Як заповнювач використовують однофракційні піски із зернами крупністю 3...5 мм, що отримані шляхом подрібнення легких пористих матеріалів: пемзи, туфів, шлаків, перліту, шлакової пемзи, аглопориту, керамзиту тощо.

Акустичні розчини застосовують як звукопоглинальну штукатурку, але одночасно вони виконують функцію й теплоізоляційного шару. Склад таких розчинів змінюється від 1:5 до 1:8 за об'ємом.

*Рентгенозахисні розчини* використовують переважно як захисні штукатурки, а їхня середня густина повинна перевищувати 2 200 кг/м<sup>3</sup>. Як

в'язучий компонент застосовують портландцемент, шлакопортландцемент, як заповнювачі – барит у вигляді піску із крупністю зерен до 1,25 мм, наповнювач – тонкомелений порошок із бариту. Додатки, що підвищують захисні властивості штукатурки, зазвичай містять легкі елементи (гідроген, літій, кадмій) та речовини, що містять бор.

#### 4.1 Характеристика сухих будівельних сумішей

Сухі будівельні суміші (далі СБС) – це порошкоподібні композиції, що складаються з мінерального або полімерного в'язучого, заповнювача, наповнювачів і добавок, що виготовляються у заводських умовах. На місці проведення робіт до СБС тільки додають воду відповідно заданого водоцементного співвідношення або консистенції та застосовуються залежно до їхньої сфери використання.

Доцільність використання СБС як матеріалу повної заводської готовності підтверджена світовою практикою будівництва. Досвід використання СБС довів їхню високу ефективність і переваги порівняно з традиційними методами проведення будівельних робіт:

- підвищення продуктивності праці у 1,5–5 разів залежно від виду робіт, їх механізації, транспортування тощо;
- зниження матеріаломісткості порівняно з традиційними технологіями у 3–10 разів залежно від виду робіт (плиткові роботи – до 7 разів, вирівнювання стін і підлоги – до 10 разів);
- стабільність складів і, як наслідок, підвищення якості робіт;
- тривалість терміну зберігання без зміни властивостей і витрачання матеріалу за необхідністю;
- можливість транспортування та зберігання при мінусовій температурі.

На сьогодні у світі випускається широка номенклатура СБС для різних видів будівельних робіт.

Для приготування СБС необхідно використовувати вихідні матеріали, які зможуть забезпечити необхідний комплекс заданих технологічних і експлуатаційних властивостей кінцевого продукту. Також необхідно забезпечити однорідність складу, умови зберігання та технологію застосування [10].

#### ***Основні матеріали для виготовлення СБС***

*В'язучі матеріали:* портландцемент, білий цемент, гіпс, ангідрит, вапно, глиноземистий цемент, диспергувальні полімерні порошки. Для одержання хімічно стійких і жаростійких виробів і конструкцій, а також клейових

композицій застосовують розчинне скло (метасилікат натрію:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Метасилікат натрію є дрібнокристалічним порошком, який легко розчиняється у воді й плавиться при  $T = 40\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$ .

*Заповнювачі й наповнювачі:* кварцовий пісок, вапняк, крейда, доломіт, каолін, перліт, мікрокремнезем, зола-винесення, волокнисті (фібра), пігменти, легкі заповнювачі (керамзит, спучені перліт і вермикуліт, пемза тощо).

Для декоративних розчинів застосовують миті піски та крихту подрібнених гірських порід (наприклад, гранітна або мармурова), керамічну, вугільну, пластмасову з розміром зерен не більше 2,5 мм. Для кольорових опоряджувальних розчинів, що використовуються на фасадах і в інтер'єрах, допускається застосування гранітної, скляної, керамічної, вугільної, сланцевої, пластмасової крихти розміром 2–5 мм.

*Хімічні добавки:* порошкоподібні пластифікатори (суперпластифікатор С-3, ЛСТ), протиморозні, стабілізатори, водоутримувальні, сповільнювачі та прискорювачі процесів тужавлення або твердіння, загусники, пороутворювачі й такі, що запобігають вспіненню, гідрофобізатори.

Великий обсяг будівельних і ремонтних робіт, особливо мурування та лицювання фасадів, проводиться у зимовий період року. Тому велика увага приділяється підбору протиморозних добавок (хлорид натрію, хлорид кальцію, поташ ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), нітрит натрію ( $\text{NaNO}_2$ ), нітрат кальцію ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) та інші.

У процесі заводського виготовлення й подальшого транспортування та зберігання до добавок висувають додаткові вимоги за гігроскопічністю. Найбільшу гігроскопічність має хлористий кальцій.

Дуже поширеними компонентами сучасних СБС є полімерні добавки, що додають із метою підвищення адгезії, деформативності, водонепроникності тощо. Такі порошки готують сушінням звичайних латексів, а для запобігання злипанню частинок уводять спеціальні добавки. Також широко застосовують порошки на базі метилцелюлози.

Оскільки розчинні суміші, одержувані з СБС, укладають, зазвичай, на пористі основи (мурувальні й монтажні розчини, плиткові клеї тощо), то для них одним і істотних технологічних показників якості є водоутримувальна здатність. У традиційних сумішах використовують повітряне вапно або глину, а у СБС використовують полівініловий спирт.

Важливою вимогою до хімічних добавок у складі СБС є те, що вони не повинні спричиняти шкідливих наслідків у період експлуатації будівель (руйнування матеріалів, корозії арматури, плям на поверхні тощо). Кількість добавки встановлюється в кожному конкретному випадку відповідно до призначення суміші досвідними експериментами в лабораторіях за місцем виготовлення СБС.

З причини різноманіття видів СБС технічні вимоги до них залежать від їхнього призначення й формуються відповідно до прийнятих нормативних документів.

### ***Теоретичні підстави оптимізації складів СБС***

За своїм основним призначенням та сферами застосування СБС є, зазвичай, адгезивами. Для з'єднання елементів дуже важливою є монолітність з'єднання, що характеризується руйнуванням і втратою несучої здатності елементів, що склеюються. Монолітність адгезійних з'єднань визначається їхньою структурою.

Проектування складів адгезивів, зокрема й СБС, ставить два завдання. По перше – вони повинні мати високі когезійну міцність і деформативні властивості, що забезпечується оптимальною структурою [10]. По друге – вони повинні мати високі адгезійні властивості, що забезпечується властивостями самого адгезиву та його реологією, а саме суміш повинна бути пластична й мати водоутримувальну здатність. Необхідною умовою забезпечення монолітності адгезійного з'єднання є така нерівність:

$$R_{\text{адг}} > R_{\text{ког}} \text{ або } R_{\text{адг}} = R_1 + R_2,$$

де  $R_1$  – адгезійна міцність, що забезпечується силами фізико-хімічної взаємодії між основою і адгезивом;  $R_2$  – адгезійна міцність, що забезпечується силами механічного зчеплення адгезиву з основою.

Варто мати на увазі, що для адгезивів на основі мінеральних в'язучих фізико-механічна взаємодія формується вже на стадії пластичного тіста та в процесі гідратації самого в'язучого. Механізм цього процесу полягає в такому. Спочатку на основі адсорбується вода, що й забезпечує змочування в початковий період адгезії, а потім формується фізичний контакт через прошарок рідини. На стадії гідратації відбувається взаємодія продуктів гідратації з матеріалом основи, тобто йдуть хімічні реакції між продуктами цементного каменю, наприклад, гідроксидом кальцію та сполуками, які знаходяться в складі основи, наприклад, із кремнеземом, унаслідок чого утворюються гідросилікати кальцію. А, наприклад, цементного каменю алюмосилікати реагуюватимуть з карбонатами основи тощо.

Цікавим є процес взаємодії керамічних матеріалів (наприклад, червоної глиняної цегли або керамічної плитки) і цементно-піщаного розчину. У цьому разі відбувається проникнення іонів Al, Fe, Si із кераміки в кристалічну решітку  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що й підтверджує аспект фізико-хімічної взаємодії цементного каменю та кераміки. Крім цього, спостерігається й механічне зачеплення за рахунок шорсткості основи.

Висока адгезійна міцність СБС, що застосовуються як клейові композиції, обумовлена наявністю полімерних добавок у мінеральному в'язучому. Такі добавки підвищують міцність клейових з'єднань на 7–15 %, що й сприяє запобіганню сповзання композицій з вертикальної поверхні при їх нанесенні в рідкому стані.

### ***Методи отримання СБС із заданими властивостями***

Відомо, що для будівельних розчинів не потрібна висока міцність (оптимальною міцністю є 1–5 МПа). Щоб забезпечити таку міцність, за логікою варто було б зменшити кількість цементу в складі розчину, проте тоді б знизилася легкоукладальність. Тому для розчинів застосовується спеціальний мурувальний цемент низьких марок, що одержують шляхом сумісного помелу 25–30 % клінкеру й великої кількості мінеральних речовин, наприклад, вапняку, доломіту або доменного шлаку. На основі такого рішення для СБС були розроблені малоклінкерні змішані в'язучі М 200–М 300 із тонкодисперсними наповнювачами, такими як карбонатні та кремнеземисті породи й тонкодисперсні відходи нерудної промисловості. Змішані в'язучі мають такі склади: вапно-пушонка (1 ч), дисперсний наповнювач на основі кремнеземистих і карбонатних порід (4 ч), 20–50 % цементу залежно від виду наповнювача (40–50 % – для діатомітонаповненого, 27–39 % – опоконаповненого, 20–35 % – карбонатонаповненого). З усіх наведених наповнювачів цементу (діатоміту, опоки й карбонату) найкращою є опока, оскільки вона є найактивнішою мінеральною добавкою. Співвідношення в'язучого до води (В/В) становить 0,6–1,4, витрата цементу – 10–50 %, співвідношення піску до в'язучого становить 2–6.

Змінюючи співвідношення компонентів СБС, можна забезпечити необхідну кінетику наростання міцності й кінцеву міцність будівельних розчинів для мурування та штукатурних робіт, відповідно класів В 3,5–В 12,5 із рухливістю від 1 до 14 см, що охоплює весь діапазон використовуваних марок будівельних розчинів (ПК 4–ПК 14).

Будівельні розчини на основі СБС характеризуються підвищеною водоутримувальною здатністю та нерозшарованістю, що пояснюється вмістом тонкомеленого кремнеземвміщуючого компонента. Життєздатність розчинів на основі СБС становить 12–36 год.

Останнім часом успішно впроваджуються в'язучі низького водовмісту (далі ВНВ), одержувані шляхом помелу цементу до величини питомої поверхні 4 500–5 000 см<sup>2</sup>/г в присутності суперпластифікатора (С-3), при цьому марочна міцність зростає у 1,5–2 рази. Однак, якщо така висока міцність не потрібна, то помел можна робити разом із такими порошкоподібними мінеральними

матеріалами (мікронаповнювачами), як кварцовий пісок, зола-винесення, шлаки, доломіт. Такі добавки взаємодіють із гідроксидом кальцію, який утворюється при гідратації цементу, і заповнюють міжзернову пустотність цементу. Вони сприяють росту кристалів гідратних сполук і їх ущільнення.

Залежність міцності ВНВ від зазначених наповнювачів є лінійною, тому можна легко визначити кількість наповнювача за заданою міцністю.

В'язучі ВНВ мають маркування ВНВ-50, ВНВ-40, ВНВ-30, де цифрами позначено процентний вміст клінкеру в їхньому складі. Щодо кількості уперпластифікатору, то ВНВ містить С-3 в порошкоподібному стані 2,5–3 % від маси цементу. Водопотреба ВНВ становить 15–18 %, а активність за одну добу твердіння в нормальних умовах становить 25–30 МПа.

#### *Полімерцементні СБС*

Ця група СБС має у своєму складі два різновиди в'язучих речовин: мінерального й полімерного. Як мінеральне в'язуче можуть бути використані гіпсові, магнезіальні й гіпсо-цементно-пуцоланові в'язучі, але найчастіше застосовують різні види цементу, до того ж мінерального в'язучого в кілька разів більше, ніж полімерного. Як полімерний компонент використовують термопластичні полімери (полівінілацетат, акрилові полімери, каучуки тощо), а також олігомерні термореактивні смоли (епоксидні, карбомідні).

Основу таких матеріалів становить матриця затверділого мінерального в'язучого з розподіленням у ньому полімером. Полімерний компонент утворює пружні прошарки між кристалічними новоутвореннями мінерального в'язучого, адсорбуються на поверхні частинок заповнювача й завдяки високим адгезійним властивостям підвищує міцність при розтягуванні й вигині, а також адгезію, деформативність і тріщиностійкість, зносостійкість та стійкість до удару. Частина полімеру закриває пори, знижуючи водопоглинання і підвищуючи морозостійкість і водонепроникність. Однак модуль пружності полімерцементних матеріалів знижується при збільшенні вмісту полімеру.

#### *Гідроізоляційні матеріали*

Вплив води на будівельні матеріали належать до агресивних дій, тому принципи гідроізоляції кореспондуються з принципами антикорозійного захисту. Гідроізоляцію розрізняють первинну та вторинну. Для первинного захисту використовують як гідроізоляції огорожувальні конструкції з бетону з високими показниками водонепроникності на цементах, які розширюються при твердінні або напружують. При вторинному захисті проводиться додаткова просочувальна, штукатурна або обмазувальна гідроізоляція огорожувальних конструкцій. Первинна гідроізоляція застосовується при новому будівництві, вторинна – при ремонті й реконструкції.

Бетони на основі напружувальних цементів (далі НЦ) є практично водонепроникними (W 12–20). Їхня довговічність визначається високою морозостійкістю (F 500–1 500), завдяки дрібнопористій структурі з замкнутими порами, що в 3–6 разів вища ніж у залізобетоні на звичайному п/ц. Крім цього, НЦ мають підвищену корозійну стійкість, особливо вони стійкі у сульфатних середовищах, навіть при концентрації сульфатів до 5 000 мг/л. Тому застосування НЦ у СБС у поєднанні з оптимально підбраною гранулометриєю піску дає можливість отримувати економічні бетони з водонепроникністю W 12 і відмовитися від дорогих хімічних добавок.

Різновидом сучасної гідроізоляції є *проникна гідроізоляція*. Така гідроізоляція є сумішшю портландцементу (білого цементу), спеціально обробленого заповнювача й хімічно активних речовин, наприклад, суміші неорганічних солей. Принцип дії проникної гідроізоляції полягає у проникненні в бетон хімічно активних елементів по капілярних порах за рахунок осмотичних сил із подальшою хімічною взаємодією з вільною вапном і конденсацією на поверхні пір. Тому сухі суміші проникаючої дії використовуються на основах із розвиненою капілярною пористістю, а також для санації зруйнованої поверхні старого бетону при ремонтних роботах та реконструкції.

СБС для *обмазувальної гідроізоляції* – це непроникні покриття завтовшки 1–3 мм, нанесені на поверхню конструкції. Склад таких сумішей: гідралічне в'язуче + наповнювач + полімерна добавка. Обмазувальна ізоляція може бути використана для матеріалів із практично будь-який пористістю. Покриття на основі СБС для обмазувальної ізоляції ізолює конструкцію не тільки від води, але й від фільтрації повітря та газів.

*Зовнішня гідроізоляція підземних частин будівель* – це полімермінеральні композиції, призначені для відсікання ґрунтових або паводкових вод від фундаментів по периметру. В основу матеріалу покладені протифільтраційні властивості деяких видів глин (наприклад, бентонітових), які при замішуванні водою в набряклому стані забезпечують утворення водонепроникного шару.

Гідроізоляційні суміші використовуються для засипки, щільного укладання або закачування під тиском (у вигляді пасти) у місця надходження ґрунтових або паводкових вод в підземну частину будівель, споруд та ін. Гідроізоляція укладається в конструкцію тільки в сухому вигляді й використовується для зовнішньої гідроізоляції підземних об'єктів при новому будівництві, створення водосховищ, насипних гребель тощо. Така гідроізоляція витримує тиск води до 0,6 МПа.

## 4.2 Композиційні матеріали «сухого» будівництва

### *Композити на основі гіпсу*

Склади будівельних розчинів потрібно підбирати у такий спосіб, щоб забезпечити наявність суміш із заданими властивостями при найменшій витраті в'язучого. Водоутримувальна здатність свіжоприготованої розчинної суміші повинна становити 90 % – для зимових умов, 95 % – для літніх умов.

Розшарованість свіжоприготованого розчину повинна бути не більше ніж 10 %. Відхилення по густині у бік збільшення повинне становити не більше ніж 10 %, а у разі застосування повітровтягувальних добавок зниження густини не повинно перевищувати 6 %.

Базовим показником якості будівельного розчину є його міцність при стисканні, морозостійкість, середня густина. Для розчину встановлено такі марки за міцністю при стисканні: М 4, М 10, М 25, М 50, М 75, М 100, М 150, М 200; марки за морозостійкістю в зволоженому стані: F 10, F 15, F 25, F 35, F 50, F 75, F 100.

Під час проведення робіт у зимовий період температура розчинів повинна бути не менше ніж 9 °С, а вода замішування – не більше 80 °С. Якщо є добавки полімерів, то температура води не повинна перевищувати 70 °С.

Сучасні тинькуванні розчини, що виготовляють у заводських умовах, можуть бути сухими або мокрими. Склади тинькувальних розчинів обирають із відповідно до їхнього призначення та умов експлуатації будівель. Декоративні розчини виготовляють на білому, кольоровому або звичайному портландцементі. Заповнювачами слугують чистий кварцовий пісок, пісок із дробленого мармуру або білого вапняку. Для обробки легких бетонів застосовують розчин марки 50, для залізобетонних виробів – марки 150 із морозостійкістю не нижче ніж 35 циклів.

СБС на цементному в'язучому випускають зі спеціальними добавками. Вони призначені як для ручного, так і для механізованого нанесення. Мають хорошу пластичність, високу водоутримувальну здатність (до 98–99 %), підвищену міцність. Це дає змогу наносити їх рівномірним тонким шаром. Наявність у суміші хімічних добавок забезпечує високу міцність зчеплення з основою (більше ніж 1,0 МПа), стабільність реологічних характеристик збільшує довговічність. Розшарованість таких тинькувальних сумішей зведена до нуля.

Дуже поширеними серед сухих сумішей є гіпсові й гіпсово-вапняні, які мають низьку теплопровідність, швидко набувають міцності й мають короткий період висихання, що дає змогу скоротити тривалість витримання поверхні перед чистовим обробленням (табл. 4.2).



Таблиця 4.2 – Різновиди гіпсових сумішей

Властивості	Види сумішей за призначенням		
	тинькувальні	шпаклівки	монтажні
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	700–1100	600–700	80–950
Густина в затверділому стані, кг/м <sup>3</sup>	800–1100	1100–1800	1300–1350
Водотверде співвідношення	0,5–0,6	0,48–0,6	0,4–0,6
Час обробки розчину, хв	50–100	60–120	60–120
Міцність при стисканні, МПа	2,5–7,0	4–10	4,0–7,5
Міцність на розтяг при згинанні, МПа	1,5–3,0	2,5–5,0	1,5–5,0
Міцність зчеплення з основою, МПа	0,4–0,7	0,3–0,5	0,3–0,7
Термін зберігання, міс.	3–6	3–6	6

За даними таблиці 4.2, зрозуміло, що тинькувальні розчини із сухих гіпсових сумішей характеризуються досить високими показниками й можуть бути успішно застосовані для внутрішнього вирівнювання стін будівель із сухим і сталим мікрокліматом приміщень, а склади на ГЦПВ і ангідритного в'язучого можна використовувати також у вологих приміщеннях. Гіпсові суміші є безступними. Поверхні, обтиньковані гіпсовою сумішшю з дотриманням технології, не вкриваються «павутиною» або тріщинами.

Тинькування на основі гіпсу здатні забезпечити оптимальну вологість повітря у внутрішніх приміщеннях будівель. Порівняно з вапняно-цементними під час використання гіпсових тинькувань витрати матеріалів значно менші, що уможливує отримання з однієї й тієї самої маси сухої суміші в два рази більшої площі обробленої поверхні. Гіпсові шпаклівки різняться майже повною відсутністю зступання, унаслідок чого характеризуються підвищеною тріщиностійкістю, а також хорошими адгезійними властивостями й легко шліфуються. Такі шпаклівки є універсальними й поєднуються з усіма різновидами вододисперсних фарб будівельного призначення.

Широко застосовують сухі гіпсові суміші для монтажних робіт, наприклад для приклеювання листових і плиткових матеріалів, а також під час складання перегородкових плит із пазогребеневою конструкцією. Для цього необхідно, щоб гіпсові розчини легко склеювалися та мали шпаклівочні властивості. Це дає змогу під час монтажу внутрішніх перегородок виконувати монтажні роботи та підготовляти поверхні перегородки до чистової обробки за допомогою одного складу сухої суміші.

Гіпсовмісткі склади з добавками регуляторів і наповнювачів, призначених для таких робіт, як монтаж гіпсокартонних плит і закладення шва з подальшим шпаклюванням поверхні.

Перевагами гіпсових тинькувань є такі:

1. Можливість об'єднувати в один прийом тинькування та підготовку поверхонь до нанесення фінішного декоративного покриття.

2. Питома вага гіпсових матеріалів у 2–2,5 рази менша за цементні, що значно полегшує роботу тинькара та зменшує навантаження будівлі на фундамент.

3. Гіпсові розчини характеризуються високою рухливістю та пластичністю, що забезпечує підвищення продуктивності праці порівняно з цементними розчинами.

4. Висока адгезія з основою та мала питома вага гіпсових тинькувань уможлиблює застосування їх для вирівнювання стель.

5. Гіпсові тинькування мають хороші тепло- й звукоізоляційні властивості.

#### *Гіпсокартон у сухому будівництві*

Щоб прискорити процеси внутрішнього оздоблення стін, перегородок і стелі застосовують гіпсокартонні листи (сухе тинькування) або проводять заводську обробку великих панелей. Наприклад, гіпсокартон характеризується дуже важливою властивістю «дихати», тобто поглинати надлишкову вологу приміщень і віддавати її, якщо повітря стає сухим. А в поєднанні з ізоляційними матеріалами він забезпечує високу звуко- й теплоізоляцію, не поступаючись за цими критеріями конструкціям з бетону й цегли.

Гіпсокартон є сендвіч-панеллю, що складається з двох шарів картону й прошарку з гіпсу. Для додаткової щільності до гіпсу вводять скловолокно та спеціальний армувальний компонент, а для щільності прилягання картону застосовують спеціальні клеї.

Гіпсокартон під час проведення оздоблювальних робіт має низку переваг:

- широкий діапазон використання;
- можливість застосування будь-якої обробки – від фарбування до приклеювання плитки;
- негорючість і пожежостійкість;
- екологічну чистоту матеріалу й нетоксичність;
- хороші звукоізоляційні властивості й низьке радіаційне тло;
- невелику вартість матеріалу;
- легкість, простоту й зручність монтажу;
- під час оброблення спеціальними складами гіпсокартон набуває додаткової вологостійкості, вогнестійкості, міцності.

Гіпсокартон має такі недоліки:

- менша порівняно з іншими матеріалами міцність;
- розбухання в разі вологості більше ніж 75 %;

– необхідність додаткового посилення гіпсокартонної конструкції під час кріплення на неї масивних предметів;

– для монтажу погінних елементів необхідно застосовувати спеціальні дюбелі.

Гіпсокартон класифікують за такими ознаками:

– за *різновидом* – вологостійкий, вогнестійкий, вологовогнестійкий, пазогребеневий. Вологостійкий гіпсокартон додатково обробляють біоцидними розчинами для захисту від грибків. Він вбирає тільки 10 % вологи за перший проміжок часу. Пазогребеневі застосовують для зведення перегородок. Гіпс, який розміщуються всередині, випаляють, що спричиняє набуття додаткової міцності;

– за *кольором* – вологостійкий гіпсокартон фарбують у зелений і синій кольори, звичайний гіпсокартон – у сірий і синій, вогнестійкий – у сірий і червоний;

– за *товщиною* – товщина листа гіпсокартону коливається від 6 мм до 24 мм. Тонкі листи гіпсокартону використовують здебільшого під час ремонту поверхонь і створення рельєфу, а найтовші – для оздоблення стін із метою збільшення їхньої міцності та зношуваностійкості;

– за *типом окрайки* – пряма (звичайний гіпсокартон), потоншена (з урахуванням закладення шва армувальною стрічкою), напівкругла (передбачається закладення шва шпаклівкою), напівкругла потоншена (шов закладають за допомогою армувальної стрічки та шпаклівки), закруглена (застосовується під час подальшого тинкування).

Гіпсокартону застосовують у таких сферах:

– обробка стель;

– зведення перегородок;

– вирівнювання стін;

– створення архітектурних композицій – арок, колон, плінтусів, полиць;

– ремонту наявних конструкцій;

– створення рельєфу;

– заповнення порожнин і отворів.

*Перегородки з гіпсокартону* виконують декілька функцій: візуальна ізоляція, теплоізоляція, звукоізоляція тощо. Звукоізоляція перегородки, виконаної з одного гіпсового листа становить приблизно 24 дБ. Легка багат шарова перегородка забезпечує такий самий ефект звукоізоляції, як і одношарова з цегли, ніздрюватого бетону чи інших матеріалів, але при цьому має в 5–10 разів меншу вагу.

Установлення дверей теж має свої особливості. Можна поставити дерев'яні двері з масиву, можна – легкі з пластику. У віконні та дверні прорізи в

перегородках ставлять посилені рами. Двері, як і вікно, потребують більшого посилення. Якщо двері важать до 30 кг, то раму підсилюють дерев'яним брусом, у важчих дверях стійки підсилюють спеціальним профілем.

Така конструкція перегородки уможливілює проведення прихованого електропроводника. Далі стіни можна залишити білими, обклеїти їх шпалерами або пофарбувати. Фарбувати гіпсові листи можна різними видами фарб – масляною, водоемульсійною тощо.

Технологія «сухого» будівництва досить проста та її легко освоїти. Під час роботи з гіпсокартоном необхідно дотримуватися певних умов: температуру в приміщенні потрібно підтримувати не нижчою за 15 °С, до того ж така температура повинна підтримуватися у приміщенні протягом 48 год до і 48 год після завершення робіт із гіпсокартоном.

Личкувальні панелі можна споруджувати й з інших матеріалів. Їх зведення потребує небагато часу, а результатом є стильні, міцні, легкі й ергономічні елементи внутрішнього інтер'єру. Для внутрішніх робіт панелі можна вибирати відповідно до призначення приміщення або залежно від бажаного результату – вологостійкі, особливо міцні, звукоізолювальні. Панелі для оздоблення можуть бути виготовлені на основі ПВХ, деревостружкових або деревоволокнуватих плит, покриття може імітувати різні матеріали як за кольором, так і за фактурою. Декоративні покриття личкувальних панелей настільки різноманітні, що будь-який задум дизайнера може бути втілений за їхньою допомогою. Дерево, монолітний камінь, кам'яне мурування, кахельна плитка будь-яких розмірів і відтінків – усе це можна відтворити за допомогою сучасних личкувальних панелей. Їх застосування спрощує обробку ще й через те, що відсутні так звані «мокрі» і «брудні» роботи, обумовлені застосуванням будівельних сумішей. Кріпляться панелі спеціальними скобами, або за допомогою пазових замків. Надалі за необхідності можна замінити одну або декілька панелей, відновивши цілісність зовнішнього вигляду, до того ж не потрібно проводити ремонт у всьому приміщенні.

На підготовлені поверхні стін, перегород та стелі наносять декоративне покриття відповідно до різновиду приміщення та побажань замовника. Щоб забезпечити якість оздоблювальних робіт, основу обробляють ґрунтівками. Ґрунтівки наносять на оброблювану поверхню як перший шар, що забезпечує високу адгезію наступних шарів покриття з цією поверхнею та зменшення витрати лаків і фарб під час декорування поруватих основ. Від фарбувальних складів вони відрізняються меншим вмістом пігментів, колір яких не повинен збігатися з кольором наступних шарів покриттів.

Більшість ґрунтівок мають певне призначення – під клейову, вапняну або масляну фарбу. Однак існують і універсальні ґрунтівки, придатні для клейових

і вапняних забарвлень. Відповідно до цього змінюється й речовий склад ґрунтів. Так, ґрунти, що застосовуються для підготовки поверхні під фарбування, складаються з пігменту (з наповнювачами чи без них), затертого на оліфі або іншій плівкоутворювальній речовині, з подальшим розведенням до необхідної консистенції.

Ґрунти під покриття поверхні лаками становлять суміш плівкоутворювального розчину з порошкоподібними наповнювачами (крейдою, шпатом, тальком, пемзою), що мають коефіцієнт заломлення, близький до відповідного показника плівкоутворювальної речовини.

Клейові склади ґрунтів є суспензіями, що складаються з композиції мильно-клейового розчину з оліфою, водного розчину мідного купоросу або алюмінієвих квасців і наповнювача – крейди. У практиці оздоблювальних робіт широко застосовують готові до використання гліфталеві й пентафталеві ґрунтівки: ГФ-021 (для підготовки дерев'яних і металевих (чорні метали) поверхонь); ГФ-031 і ГФ-032 (для покриття виробів з легких сплавів і сталі); ГФ-0119 (для металевих і дерев'яних поверхонь під емалеву обробку); ПФ-20 (для ґрунтівок по металу й дереву). Ґрунтівки наносять на підготовлену під обробку поверхню суцільним тонким шаром із подальшим висушуванням.

Панелі стін, що швидко звожуються, фарбують олійними фарбами, обробляють глазурованою керамічною та скляною плиткою, емальованим або пофарбованим твердим, паперошаруватим пластиком, ПВХ-плитками. Укладають їх на мастику або розчин.

#### *Плиткові клеї та шпаклівки*

Особливе місце в номенклатурі СБС посідають шпаклівки. Це в'язкі маси, призначені для заповнення нерівностей і виправлення дефектів поверхонь як просто неба, так і в приміщеннях. Показниками якості є колір, зовнішній вигляд, умовна в'язкість, міцність під час удару. Крім цього, необхідно враховувати такі властивості, як здатність шліфуватися шліфувальною шкуркою без застосування води й не стікати з вертикальної поверхні.

Для оброблення фасадних поверхонь і внутрішніх приміщень будівель і споруд керамічною плиткою використовують СБС у вигляді плиткових клеїв, до складу яких входять порошкоподібні полімери (наприклад полівінілацетати або ефіри целюлози). Плиткові клеї економні, їх витрати в разі товщини шару 5–7 мм становить 7–9 кг/м<sup>2</sup>. Вони характеризуються такими показниками якості:

- межа міцності при стисканні – 15–20 МПа;
- адгезійна міцність – 5–10 МПа;
- морозостійкість – не менше ніж 50 циклів;

– зберігають свою якість приблизно 2 год, а після нанесення на поверхню – 15–30 хв;

– температура укладання – від +5 °С до +30 °С.

### ***Гідроізоляційні матеріали***

Полімерцементні СБС становлять велику групу композиційних будівельних матеріалів, одержуваних на основі двох в'язучих речовин – мінеральної й полімерної. Як мінеральне в'язуче використовують гіпсові, магнезійні й гіпсо-цементно-пуцоланові в'язучі, але найчастіше – різні види цементу й до того ж мінерального в'язучого в кілька разів більше, ніж полімерного. Як полімерний компонент використовують термопластичні полімери (полівінілацетат, акрилові полімери, каучуки тощо), а також олігомерні термореактивні смоли (епоксидні, карбомідні).

Базу таких матеріалів становить матриця затверділого мінерального в'язучого з розподіленням у ній затверділим полімером. Полімерний компонент утворює пружні прошарки між кристалічними новоутвореннями мінерального в'язучого, які адсорбуються на поверхні частинок заповнювача та внаслідок високих адгезійних властивостей підвищують міцність при розтягуванні й вигині, а також адгезію, деформативність і тріщиностійкість, зношуваностійкість і стійкість до удару. Частина полімеру закриває пори, знижуючи водопоглинання й підвищуючи морозостійкість і водонепроникність. Однак модуль пружності полімерцементних матеріалів знижується в разі збільшення вмісту полімеру.

Вплив води на будівельні матеріали належать до агресивних впливів, тому принципи гідроізоляції співвідносяться з принципами антикорозійного захисту. Гідроізоляцію розрізняють первинну та вторинну. Для первинного захисту як гідроізоляцію використовують обгороджувальні конструкції з бетону з високими показниками водонепроникності на цементах, що розширюються або напружуються. Під час застосування вторинного захисту проводиться додаткова просочувальна, тинькувальна або обмазувальна гідроізоляція обгороджувальних конструкцій.

Первинна гідроізоляція застосовується у разі нового будівництва, вторинна – під час ремонту та реконструкції. Бетони на базі напружувальних цементів (далі НЦ) вважаються водонепроникними (W 12–20). Їхня довговічність визначається високою морозостійкістю (F 500–1 500), що забезпечується дрібнопоруватою структурою із замкнутими порами; яка в 3–6 разів вища порівняно із залізобетоном на звичайному портландцементі. Крім цього, НЦ характеризуються підвищеною корозійною стійкістю (особливо в сульфатних середовищах) навіть при концентрації сульфатних іонів до 5 000 мг/л.

Отже, застосування НЦ у СБС у поєднанні з оптимально підбраною гранулометриєю піску дає змогу отримувати економічні бетони з показником водонепроникності W 12 і відмовитися від дорогих хімічних добавок.

Різновидом гідроізоляції є проникальна гідроізоляція. Така гідроізоляція становить суміш цементу, спеціально обробленого заповнювача й хімічно активних речовин, наприклад, суміші неорганічних солей. Принцип дії проникальної гідроізоляції базується на потраплянні в бетон хімічно активних елементів по капілярних порах унаслідок осмотичних сил із подальшою хімічною взаємодією з вільним вапном і конденсацією на поверхні пор. Отже, сухі суміші проникальної дії використовують на основах із великою капілярною поруватістю, а також для санації зруйнованої поверхні старого бетону під час ремонтних робіт і реконструкції.

*СБС для обмазувальної гідроізоляції* – це тонкі непроникні покриття завтовшки 1–3 мм, нанесені на поверхню ізолювальної конструкції. Склад таких сумішей – гідравлічне в'язуче, наповнювач, полімерна добавка. Обмазувальна ізоляція може бути використана для матеріалів із будь-якою поруватістю. Покриття на основі СБС для обмазувальної ізоляції ізолює конструкцію не тільки від води, але й від фільтрації повітря та газів.

*СБС для зовнішньої гідроізоляції підземних частин будівель* – це полімермінеральні композиції, призначені для відсікання ґрунтових або паводкових вод від фундаментів по периметру. Матеріал базується на протифільтраційних властивостях деяких різновидів глин (наприклад бентонітових), які під час замішування водою та в набряклому стані забезпечують утворення водонепроникного шару.

Гідроізолювальні суміші використовують для засипання, щільного укладання або закачування під тиском (у вигляді пасти) у місця надходження ґрунтових або паводкових вод, у підземну частину будівель, споруд тощо. Гідроізоляція укладається в конструкцію тільки в сухому вигляді й використовується для зовнішньої гідроізоляції підземних об'єктів під час нового будівництва, створення водосховищ, насипних гребель тощо.

Після насичення суміш утворює гелеподібну масу – так званий «глиняний замок», що витримує тиск води до 0,6 МПа.

*СБС для санації старих будівель.* Існує декілька різновидів матеріалів для санації старих будівель:

- шпурові склади для закачування в стіни з метою відновлення міцності й гідроізолювальних показників матеріалу стіни;
- обризговий склад;
- ґрунтувальне протисольове санувальне тинькування;
- накривні гідрофобізувальні склади.

Перед нанесенням таких складів фасад очищують від старого пошкодженого тинькування, вичеканюється шов на глибину 20 мм.

Останні три склади застосовують у комплексі: спочатку наносять обризговий шар (що забезпечує зчеплення з основою) у вигляді сітки, вкриваючи не менше ніж 70 % площі завтовшки 5 мм. Потім наносять протисольовий тинькувальний шар не менше ніж 20 мм завтовшки. Для остаточного формування санувального пирога наносять накривний гідрофобізувальний склад. Цей шар забезпечує потрапляння парів води з внутрішніх шарів в атмосферу.



## 5 ЛАКОФАРБОВІ СУЧАСНІ КОМПОЗИТИ

Фарбами люди користуються з давніх-давен. Ще в кам'яному віці печерні люди робили малюнки рослинними фарбами, які збереглися до наших днів. Використовувалися природні матеріали – вохра й вугілля, пізніше в них стали додавати жир убитих тварин, щоб матеріал довше тримався на стінах печер. У 2001 р. в печерах Афганістану були виявлені на стінах картини, виконані олійними речовинами. Вік малюнків вчені відносять до середини сьомого століття до нашої ери. Хоча європейці вважали, що винахідником масляних фарб був голландець Ян Ван Ейк, а його послідовниками стали великі художники італійської та нідерландської школи живопису. Матеріали тієї епохи виготовлялися на основі рослинних масел і яєчних жовтків із добавками деяких речовин, які поки не вдалося встановити. Прикладом можуть слугувати норвезькі ікони, що датуються другою половиною XIII століття.

У давні часи деякі барвники коштували дуже дорого й замовник картини або портрета заздалегідь повинен був оплачувати її вартість, оскільки наприклад, синя фарба ультрамарин у Європу привозилася з Ірану або Афганістану. Але на початку XVII століття Дисбах хімічним шляхом отримав синю фарбу «берлінська лазур», яка замінила дорогий ультрамарин, а через сто років французький хімік Жан Батист Жиме винайшов «французький ультрамарин», який став ще дешевше.

Була ще проблема штучних барвників, яка складалася в їхній токсичності. Наприклад, смарагдово зелену фарбу отримували з оцту, миш'яку або оксиду міді. Такі фарби вважають токсичними та їх використання у приміщеннях могло призводити до захворювань та смерті людей.

Ще в XX столітті дуже широко використовувалася олійна фарба, яку застосовували в громадських, виробничих і житлових приміщеннях, навіть для оздоблення фасадів будинків. Але олійна фарба того часу не відрізнялася високою стійкістю до погодних умов і потребувала частого оновлення, особливо на фасадах. У приміщеннях із підвищеною вологістю олійні фарби також слугували не довго. Тому вони поступово стали витіснятися якіснішими і стійкішими матеріалами. З'явилися нові оздоблювальні матеріали для декорування поверхонь і масляні фарби поступилися місцем шпалерам, керамічним плиткам та іншим декоративним покриттям.

На сьогодні на будівельному ринку маємо велике різноманіття фарб, які розрізняються за кольором, структурою та функціональним призначенням. Тому варто дотримуватися суворої та послідовної їх класифікації. Класифікують сучасні фарби за такими параметрами:

– складом зв'язувальної речовини;

- видом розчинника;
- сферою застосування;
- зовнішнім виглядом пофарбованої поверхні (ступінь блиску);
- видом основи під фарбування.

За типом зв'язуючої речовини фарби підрозділяються так:

1. Масляні.
2. Вапняні й силікатні.
3. Алкідні.
4. Водоемульсійні.
5. Акрилові.
6. Силіконові.
7. Поліуретанові.
8. Епоксидні.

Залежно від розчинника розрізняють на ті, що розріджують водою та такі, що розріджують розчинниками.

За сферою застосування фарби поділяють так:

- будівельні;
- для художніх робіт;
- для промисловості.

За ступенем блиску розрізняють глянцеві; матові; напівматові; полуглянцеві та інші, де ступінь блиску оцінюють відсотком від світла, що відбиває пофарбована поверхня.

Варто зважати на те, що не кожна основа може бути пофарбована будь-якими видами фарб. Тут існують досить жорсткі розмежування.

### ***Різновиди сучасних фарб***

Олійні фарби виготовляють на основі оліфи, натуральної або синтетичної. До складу, крім оліфи, може входити пігмент і наповнювач. Виробляють олійні фарби густотерті й готові до використання. Густотерті перед початком фарбування потрібно розвести оліфою до потрібної консистенції. Оліфа може виготовлятися з соняшникової, конопляної або льняної олії. За якістю одержуваного покриття матеріали на основі оліфи з соняшнику поступаються тим, що на конопляній і льняній оліфах.

Крім натуральної оліфи, використовуються комбіновані оліфи та «оксоль», які виготовляються із суміші різних олій, що пройшли спеціальну обробку. Їх можна розводити розчинниками. До комбінованих видів оліфи належать такі:

- полімерізована (далі ЛМС) – є заміником натуральної оліфи, використовується у фарбах, як для внутрішніх, так і для зовнішніх робіт;

- гліфталева оліфа складається з суміші рослинного масла гліцерину, розчинників;
- пентафталева оліфа виготовляється з алкідних смол;
- синтол, карбоноль та інші – це штучні оліфи, в яких натуральної рослинної олії або немає зовсім, або є невелика кількість. Якість продукту на таких оліфах значно поступається масляним фарбам на натуральній оліфі або на оксолі.

Вапняні й силікатні фарби ще називають мінеральними, бо для їх виробництва використовують натуральні природні речовини, наприклад, вапно. Для отримання певного кольору в вапняне молоко додається лугостійкий пігмент. Зазвичай вапняні матеріали застосовують для фарбування зовнішніх поверхонь будівлі, але наносити такий склад рекомендують на зволожені поверхні в не жарку погоду. Вапняна фарба не відрізняється високою стійкістю, але вона дешева.

До мінеральних належать фарби й на основі портландцементу. Їх випускають вже готовими до використання та потрібно лише додати воду безпосередньо перед застосуванням, оскільки цемент, що входить до складу, швидко твердне на відкритому повітрі. Фарбувати такою фарбою рекомендується в два шари по сирій основі. При додаванні до складу вермикуліту виходить шорстка фактурна поверхня, знайома під назвою «шуба» або «шагрень».

Силікатні фарби, що входять до списку мінеральних, виготовляють із рідкого калієвого скла, крейди, тальку, дрібного піску, і пігментів. Випускаються двокомпонентні склади – сухий матеріал і рідке скло, які змішуються безпосередньо перед нанесенням на поверхню. Але перед цим потрібно обробити поверхню ґрунтівкою з рідкого скла.

Усі мінеральні фарби підходять для фарбування бетонних, цегляних, дерев'яних та інших пористих зовнішніх поверхонь. Не рекомендується їх використовувати для фарбування скляних та гладких металевих поверхонь.

Алкідні фарби виготовляють на основі алкідної смоли, яку отримують унаслідок обробки рослинних олій із додаванням кислот і сикативів. Застосовуються вони для забарвлення як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь. Розбавляють їх розчинниками й оліфою. Порівняно з водоемульсійною фарбою, алкідна є міцнішою. Але стійкий запах після фарбування не дозволяє використовувати її в приміщеннях, де знаходяться люди, які мають алергічні захворювання.

Водоемульсійні фарби широко застосовуються завдяки їхній нетоксичності, високій покривності, і широкому вибору основи, яку укривають. На сьогодні це найбільш екологічно безпечний вид оздоблювальних матеріалів.

Єдине, де не рекомендується використовувати водно-дисперсійні фарби – це металеві основи, щоб не викликати корозію металу від взаємодії з водою, яка входить до їхнього складу. Фарби цього виду випускаються на основі ПВА (полівінілацетатна емульсія), латексів і акрилу. Їх використовують для фарбування пористих поверхонь, але потрібна попереднє ґрунтування. Незважаючи на те, що в складі присутня вода, після фарбування на поверхні утворюється плівка, яка швидко сохне. Її можна протирати вологою губкою, до того ж плівка має високі паро- й повітропроникність.

Фарби на основі ПВА не відрізняється високою стійкістю до вологи, тому для фарбування фасадів та внутрішніх приміщень із високою вологістю краще використовувати матеріали на основі акрилу й латексу.

До латексних фарб належать такі види:

- акрилова;
- полівінілацетатна;
- акрило-силіконова;
- стирол-акрилова;
- акрило-бутадієн-стирольна.

Акрилова фарба має широкий спектр застосування від забарвлення різних поверхонь із гіпсокартону до бетонних і цегляних поверхонь, дає змогу фарбувати шпалери, надаючи їм нового вигляду, гіпс, пінобетон тощо. Плівка, що утворюється на пофарбованій основі, добре піддається вологому прибиранню, стійка до змивання, до неї не пристає бруд і пил, а також різна мошкура.

Силіконові фарби виготовляють на основі води й силіконової смоли. Ними можна фарбувати практично будь-які поверхні, за винятком залізобетону, оскільки повітря проникає в тіло бетону й викликає корозію арматури. Силіконовими фарбами може закривати тріщини шириною до 2 мм. Цим видом фарб можна покривати старі поверхні, пофарбовані раніше цементними й вапняними або водоемульсійними та латексними складами. Матеріал може використовуватися для декоративного оздоблення, як для внутрішніх, так і зовнішніх робіт. Але вартість його настільки висока, що знижує популярність використання.

Поліуретанові й епоксидні призначаються переважно для промисловості, тому що поліуретанова фарба висихає при температурі + 180–200 °С, тому широкого застосування в будівництві вона не знайшла.

Епоксидна фарба є двокомпонентним складом і використовується переважно в промисловості. У будівництві може застосовуватися для влаштування бетонних басейнів або при ремонті емальованих ванн.

До сучасних фарб висувають такі вимоги:

- стійкість до вологого і сухого очищення;
- стійкість до вицвітання;
- хороша покривність;
- зносостійкість;
- довговічність;
- ремонтнопридатність;
- екологічна безпека;
- стійкість до забруднення;
- доступна вартість.

До складу сучасних фарб, зазвичай, входять від 8 до 16 компонентів, головними з яких є такі: зв'язувальна речовина; пігмент; наповнювач; спеціальні добавки. Зв'язувальна речовина необхідна для формування плівки на поверхні. Пігмент – речовина для надання кольору. Наповнювач – це компоненти, які дозволяють економити пігмент і надають складу блиск і міцність. Спеціальні добавки знижують швидкість висихання та затвердіння, захищають матеріал від розчинників, грибка й цвілі, а також покращують властивості.

Деякі спеціальні добавки можуть надавати фарбі фунгіцидних властивостей, а також протипожежних властивостей. Від того, наскільки правильно підібрані й змішані складники, буде залежати якість продукту.

Класифікувати фарби можна й за призначенням. Вони можуть бути: універсальними; призначеними для внутрішніх робіт; призначених для зовнішніх робіт. Фарбам для зовнішніх робіт властива висока стійкість до зовнішніх чинників (дощ, ультрафіолет, коливання температур). Їх не застосовують для внутрішніх робіт, бо таким матеріалам властива токсичність. Окрему групу утворюють фарби для внутрішніх робіт. Вони не використовуються за межами приміщень, оскільки мають низьку стійкість до агресивних зовнішніх факторів. Універсальні фарби можуть використовуватися для внутрішніх і зовнішніх робіт, їх виготовляють на водній основі, тому вони не є токсичними.

Фарби також класифікують за складом: олійні; водоемульсійні; емалеві; водно-дисперсійні. За різновидом розчинника фарби поділяють на такі групи:

- олійно-алкідні (як розчинник використовується в уайт-спірит);
- водоемульсійні (водорозчинні);
- нітроемалі (використовують як розчинник ацетон).

Однією з важливих характеристик фарби є покривність, яка показує кількість пігменту, яка необхідна для покриття одного квадратного метра поверхні. Чим тонший помел пігменту, тим вище його якість.

Технічні характеристики водоемульсійної фарби залежать від в'язкості, способу нанесення та здатності всмоктуватися в основу. Серед основних інгредієнтів варто виокремити: латекс, наповнювач, згущувач, антисептик.

Якщо при нанесенні будуть використовувати пензель, то в'язкість потрібно додержувати у межах 40–45 с, а для фарбопульта фарба розбавляється до в'язкості 20–25 с. Для тонкого одношарового покриття витрата суміші становитиме від 150 до 200 мл/м<sup>2</sup>. Швидкість висихання може варіювати від 2 годин до однієї доби, це залежить від вологості повітря й температури. Вологість при висиханні повинна становити 65 %, а оптимальний рівень температури еквівалентний +20 °С.

Особливу групу становлять аерозольні емалі, які відрізняються легкістю нанесення. Функції основи в них виконує вода. Використовувати такі суміші можна для оформлення екстер'єру та інтер'єру, висихає протягом короткого часу. Видалити її з поверхні можна протягом півгодини, використовуючи вологе ганчір'я. Після висихання формується міцне покриття, яке не піддається негативному впливу ультрафіолету. Аерозольна фарба може бути використувати також і для металу. До складу суміші входять такі компоненти: сама фарба, ґрунтівка, перетворювач іржі, але можуть бути й двокомпонентні, де є тільки фарба та ґрунтівка. Останні використовуються тільки для надання поверхні металу бажаного кольору.

До різновидів фарб для стін належать емульсійні фарби. Вони швидко сохнуть, не мають неприємного запаху, але досить погано змиваються. Однією з різновидів є водоемульсійна фарба, яка може використовуватися в умовах підвищеної вологості. Вона високопластична, наносити можна при температурі +5 °С та вище. У продажу сьогодні представлені найрізноманітніші види фарб для стін, із яких алкідні є найпопулярнішими. Їх використовують для фарбування деревини, металу та оштукатурених стін.

Клейові фарби теж використовуються для декорування стін. У їхньому складі містяться органічні полімери, попередньо розчинені у воді. Використовувати такий матеріал можна для внутрішніх і зовнішніх робіт, адже він стійкий до агресивних впливів зовнішнього середовища й має високу адгезію до штукатурки, бетону та цегли.

Різновиди фарб для підлоги. Для підлоги використовують: лаки, емалі, масляні та акрилові фарби. Лаки виготовляють із натуральних і синтетичних смол, а також олії, які розводяться в звичайній воді або органічних розчинниках. Перевагою акрилових фарб є те, що вони не містять органічних розчинників, тому не є токсичними. Така фарба для підлоги швидко висихає, зручна в роботі, а змити її можна водою в процесі фарбування. Промисловістю випускаються такі види акрилових фарб: вінілацетатні, акрилатні, бутадіон-

стиролові. Акрилові фарби на основі полівінілового спирту не варто наносити на поверхні, які раніше оброблялися складами з вмістом крейди. Що стосується емалей, то з ними теж легко працювати, вони достатньо дешеві, тому набули широкого поширення при фарбуванні підлоги.

### ***Сучасні термозахисні фарби***

Розробки термозахисних фарб проводилися ще в 70-х роках ХХ століття як на території СРСР, так і в США для військово-космічної промисловості. Був потрібен легкий матеріал з унікальними теплоізоляційними властивостями.

У сучасній будівельній індустрії теплоізоляція є в пріоритеті як для будівель так і для трубопроводів та інших об'єктів.

В основі фарби-утеплювача лежить полімерна в'язуча речовина з акрилу або латексу. А як наповнювач додають мікрогранули кераміки, піноскла або перлітові гранули, заповнені зсередини інертним газом, і різні добавки, які обумовлюють різні сфери застосування. Отже, отримують сучасний композиційний матеріал. Свої теплоізоляційні властивості рідкий утеплювач вже починає проявляти при товщині шару в 1 мм. Порівняно з традиційною теплоізоляцією 1 мм теплоізолюючої фарби за ізолювальними показниками відповідає приблизно 5 см мінераловатного утеплювача. Такий феноменальний ефект пояснюється тим, що в мікроскопічних кульках наповнювача міститься вакуум і створюється ефект своєрідних мінітермосів, яких мільйони. Адже відомо, що вакуум – найкращий ізолятор, у ньому не поширюється звук, тепло й електрика.

Завдяки такій складній молекулярній будові відбувається відбивання теплової енергії. Усі три види теплопередачі, а це конвекція, теплопровідність і випромінювання майже повністю відображаються, тому поверхня, яку захищають, завжди залишається приємно теплою.

За консистенцією рідка теплоізоляція подібна до звичайної фарби та її можна наносити на поверхню пензлем, валиком або фарборозпилювачем. При цьому поверхня, яку ізолюють, може бути з будь-якого матеріалу: бетон, цегла, скло, дерево, метал тощо. Після висихання утворюється гладке й щільне покриття, час висихання становить кілька хвилин.

Термофарби для внутрішніх робіт – альтернатива мінеральній ваті, гіпсокартону та іншим матеріалам. Якість їхнього теплозахисту безпосередньо залежить від товщини нанесеного шару й кількості разів нанесення фарби. Оптимальну товщину можна досягти після 2–4 разів нанесення, при цьому товщина становить не більше 6 мм. Кількість шарів залежить від типу поверхні та її рельєфності. Середня витрата рідкого утеплювача в безвітряну погоду – 1 л/м<sup>2</sup> при товщині шару 1 мм. Експлуатаційний термін – 12–40 років, а характеристики температури –70 °С, +260 °С.

Важливою перевагою термофарби є те, її застосування не зменшує простору приміщень і вона стійка до перепадів температур, що важливо з настанням опалювального сезону в зимовий період: перепад температури сприяє утворенню конденсату й розвитку грибка. Крім цього, варто зазначити такі позитивні характеристики (рис. 5.1):

- екологічність (фарба не виділяє при високих температурах шкідливих токсичних сполук, і не вступає в реакцію з іншими будівельними матеріалами);
- економія оплати за тепло за рахунок теплоізоляції;
- зміцнення оброблених поверхонь.

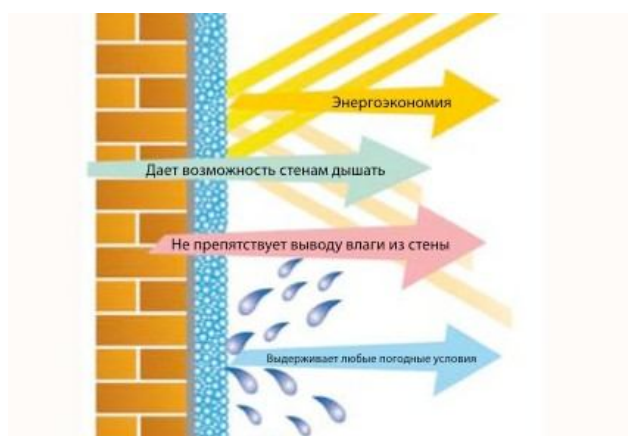


Рисунок 5.1 – Схема характеристик термофарби

Різновиди термофарби умовно поділяють за двома параметрами:

- 1) за складом: акрилова або водна основа;
- 2) залежно від сфери застосування: для робіт для внутрішніх приміщень, для труб, фасадів, виключно для зовнішніх робіт.

Перед нанесенням термофарби потрібно ретельно очистити робочу поверхню від нашарувань або відшарувань. Також не можна наносити ізоляцію на жирні або сильно замаслені ділянки, оскільки знижуються адгезійні властивості покриття та поверхню неможливо захистити максимально ефективно. Товщина першого й наступного шару повинна бути приблизно однаковою. Щоб уникнути здуття або патьоків, слід дотримуватися товщини шару приблизно 0,5 мм. Один шар буде сохнути протягом 24 годин при температурі 20 °С. Час полімеризації скоротиться, якщо наносити фарбу на гарячу поверхню.

#### *Фарби теплоізоляційні для внутрішніх робіт*

Для робіт усередині будівель найбільш підходять склади на акриловій або водній основі. Важливо заздалегідь визначитися з функціональним



навантаженням, а також проконтролювати, щоб не було токсичних компонентів.

Для обробки труб, теплоTRAS, газопроводів усередині приміщення треба використовувати фарбу для внутрішніх робіт, краще акрилову, а для фарбування холодних стін можна застосовувати склад на водній основі.

#### *Ізоляційні фарби для зовнішніх робіт*

Необхідно вибирати теплоізоляційні матеріали відповідно до функціональних особливостей поверхні й умов зовнішнього середовища (вологість, мороз, сонячна сторона). Краще вибрати суміш із мінімальною водонепроникністю та найвищою паропроникністю, так буде краще зберігатися тепло, а оброблені поверхні будуть служити довше.

При нанесенні термофарби всередині будівлі дозволяється використовувати валик або пензель. Але ця техніка збільшує витрату матеріалу, при максимальній товщині в 4 мм, шар при ручному фарбуванні досягає 5–6 мм. Найбільш практичним і економним варіантом нанесення є використання фарборозпилювача. На витрату матеріалу впливає і вид поверхні: коефіцієнт витрат для бетону, цегли, дерева становить 5–10 %, металу – 3–6 %.

Замінити весь утеплювач фарбою не можна, однак знизити витрату тепла – реально. Усередині приміщення така термофарба застосовується в місцях, де є перепади температур, наприклад, біля стіни кутової кімнати, де завдяки коливанням температур утворюється конденсат. Застосування термофарби дає змогу збільшити економію тепла до 20 %.

При обробці поверхні термофарбою спостерігається ефект «теплого дзеркала». Тому дуже ефективно використовувати такі склади у важкодоступних місцях, наприклад, під підвіконням або в інших місцях, при цьому не залишається швів і вигинів.

Висока адгезія матеріалу допомагає ізолювати поверхню від вологи, води й холодного повітря, дозволяючи усунути виникнення зовнішньої корозії або формування іржі. Під час придбання такої фарби рекомендується звертати увагу на такі чинники:

- функціональне навантаження матеріалу;
- тип фарби (для зовнішніх або внутрішніх робіт);
- тип поверхні, на яку планується нанесення.

Для розрахунку кількості теплоізоляційної фарби необхідно враховувати:

- площу для нанесення;
- шорсткість поверхні;
- товщину шарів;
- тип поверхні: рівний або рельєфний;
- спосіб нанесення.

Зберігати рідку теплоізоляцію потрібно в упакованому стані в закритому й бажано спеціально відведеному для цього місці. Поблизу не повинно бути обігрівальних приладів, дотримуватися мінімальної відстані не менше 1 метра. У відкритому вигляді зберігати ізоляцію категорично забороняється, бо через 24 години суспензія повністю втрачає всю робочий стан. При замерзанні теплоізоляційні властивості речовини теж втрачають ефективність.

Порівняно з традиційними теплоізоляційними будматеріали, такими як пінопласт, мінеральна вата, пеностирол, рідка теплоізоляція має низку переваг:

- знижуються витрати на опалення більше ніж на 25 %, а також сприяє ефективному заощадженню тепла в приміщеннях квартири або будинку;
- антикорозійні властивості, які не допускають можливість пропускання вологи, запобігають розвитку грибка та цвілі;
- відбиває теплове випромінювання й до 80 % сонячних променів;
- можливість нанесення на будь-яку важкодоступну поверхню та специфічні ємності;
- можна використовувати як фінішне покриття для фасадів;
- висока довговічність із гарантією від виробника;
- висока термостійкість покриття.
- швидке нанесення й простота монтажних робіт, хороша адгезія до всіх матеріалів (крім поліетилену), геометрична форма поверхні не має ніякого значення;
- знижуються тепловтрати до 40 %, не пропускає воду й будь-яку вологу, дозволяючи поверхні «дихати» (інтенсивний повітрообмін йде завдяки якісній паропроникності).

Рідка теплоізоляція має такі властивості:

- область робочих температур, °C: від –50 до +220;
- міцність при розриві, кг/см<sup>2</sup>: 8,7;
- паропроникність покриття, мг/(м·час·Па), не більше: 0,02;
- водопоглинання покриття протягом 24 годин, % за масою, не більше 15,0;
- адгезія покриття, МПа, не менше: до сталі – 0,6; до бетону – 1,0;
- теплопровідність, (Вт/м·°C), не більше: 0,0025;
- густина, г/см<sup>3</sup>: 0,7–1,5;
- пожежна безпека: не горить, пожежобезпечна;
- гарантійний термін служби 7 років. Термін експлуатації при зовнішньому використанні понад 20 років.

Вартість монтажних робіт рідкої теплоізоляції значно менше, ніж установка традиційних утеплювачів (економія становить 30–40 %).

Переваги рідкої теплоізоляції:

- 1) матеріал легкий, не обважує будівельні конструкції;
- 2) економія простору порівняно з класичними утеплювачами;
- 3) екологічно чистий матеріал, можливі роботи навіть у не провітрюваному приміщенні;
- 4) довговічність експлуатації;
- 5) можливість застосування у важкодоступних місцях;
- 6) матеріал пожегобезпечний, оскільки основний компонент кераміка або скло;
- 7) хороша адгезія (зчеплення) до будь-якого матеріалу;
- 8) має хорошу гідроізоляцію, тоді як термофарба – паропроникність;
- 9) великий температурний діапазон застосування:  $-50 +250$  °С;
- 10) хороший захист від грибка, цвілі, конденсату;
- 11) зручний і швидкий спосіб нанесення теплоізоляції;
- 12) рідкий утеплювач стійкий до хімічно агресивних середовищ.

До недоліків відноситься тільки висока ціна (на сьогоднішні від 50–100 грн/кг і це найнижча оптова ціна)

Сфери застосування:

- 1) створення шару теплоізоляції на фасадах будівель і промислового обладнання;
  - 2) захист трубопроводів та інших металевих конструкцій від перемерзання;
  - 3) тепловий захист усіх трубних трас і систем охолодження повітря;
  - 4) теплоізоляція внутрішніх і зовнішніх стін, покрівельних поверхонь, міжповерхових перекриттів і стель;
  - 5) утеплення автомобілів та інших транспортних засобів;
  - 6) захист опалювальних котлів від втрат тепла;
  - 7) створення шару теплового захисту в підвалах і цокольних приміщеннях;
  - 8) у сільському господарстві, при утепленні всіляких резервуарів.
- Позитивні властивості теплозахисної фарби для стін й інших поверхонь:
- температурна стійкість у широкому діапазоні (пожежна безпека),
  - вологостійкість;
  - несприйнятливості до сонячних променів;
  - низька теплопровідність при великому терміні служби – 10–40 років;
  - хороша адгезія та водонепроникність, високі антикорозійні властивості;
  - висока міцність і несприйнятливості до механічних навантажень, зокрема

до ударних.

Довговічність забезпечується світловідбиваючими властивостями теплоізоляції, що добре позначається на зовнішньому вигляді обробленої поверхні.

Рідка теплоізоляція може забезпечити й декоративність поверхні, оскільки випускається різних кольорів. Кольори не впливає на її ізолювальні здатності.

Електростатичне поле не перешкода для нанесення термостійкої фарби. Ізоляція не втрачає свої властивості навіть при температурі нижче нуля.

Кращий ефект від ноу-хау буде в парі з класикою. Тобто мінвата або пінопласт, плюс надтонка теплоізоляція.

## **6 ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

### **6.1 Класифікація та характеристика полімерних матеріалів**

Полімерні композиційні матеріали (далі – ПКМ) становлять симбіоз двох і більше матеріалів. Основою або матрицею полімерних композитів можуть бути різні полімери (термопласти, еластомери, реактопласти). Матриця армована різними складовими, поєднання властивостей яких унаслідок утворює абсолютно новий матеріал з унікальними властивостями, які відрізняються за якістю та кількістю від властивостей самих наповнювачів і матриці.

Зміна складу матриці та її компонентів дає можливість отримати матеріали з необхідними в тій чи іншій галузі промисловості або науки властивостями. Сучасна техніка висуває найрізноманітніші вимоги до полімерних матеріалів. Якщо потрібно підвищити міцність і жорсткість полімеру, знизити його вартість, зменшити густину, то це завдання вирішують шляхом додавання в полімер різних наповнювачів, конкретний вид яких залежить від запитів споживачів матеріалу. Наприклад, міцність підвищують шляхом уведення в полімер пружних високоміцних волокон, а зниження вартості домагаються, наповнюючи полімер такими дешевими продуктами, як річковий пісок, тирса, цементний пил.

Наповнювачі необов'язково повинні бути твердими. Можна наповнити полімери газом, тоді ми отримаємо газонаповнені полімери – пінопласти. Так вирішується завдання різкого зниження густини полімерних матеріалів. Складніше наповнити полімери рідиною, щоб вона була рівномірно розподілена у вигляді дисперсних крапель, але вже з'явилися й такі технології.

Міцність композиційних матеріалів здебільшого визначається двома факторами: 1) регулярністю розташування волокон в об'ємі полімеру; 2) взаємодією між волокном і полімером (адгезію).

Особливо важливим є регулярність розташування волокон у полімерній матриці. Дослідження довели, що міцність буде максимальною, якщо волокнистий наповнювач розподілений у полімері не тільки регулярно, але і в суворій відповідності з тим, як розподілені напруги. Технологічно це досягається тим, що волокна (різної природи) наклеюють у певному порядку на водорозчинну плівку, наприклад з полівінілового спирту, яку потім поєднують з будівельною сумішшю. Після цього плівка розчиняється.

Підвищення теплостійкості полімерних композитів пояснюється таким: по-перше, підбирають армувальні компоненти з підвищеною термостійкістю (наприклад, скловолокна – до 840 °С, борні волокна – до 2 300 °С); по-друге, обирають наповнювачі з високою теплопровідністю, що сприяє більш рівномірному розподілу тепла; по-третє, – взаємодія ділянок макромолекул

полімеру, що утворюються при його терморозпаді, з поверхнею частинок наповнювача, унаслідок чого відбувається хімічне зшивання матеріалу.

Серед переваг композитів варто виокремити можливість виготовлення з них виробів будь-якої складної форми. Добре проявили вони себе і при отриманні великогабаритних конструкцій із мінімального числа окремих деталей методами формування. Конструкції або вироби одержані формуванням відрізняються меншою вартістю та кращою якістю, при цьому знижуються й витрати праці. Також вироби з полімерних композитів, з нанесеними захисними покриттями, мають більшу корозійну стійкість, ніж метали.

Необхідна адгезія між компонентами досягається або чисто механічним способом, або утворенням хімічних зв'язків між матрицею з ковалентними зв'язками й наповнювачем з металевими або іонними зв'язками (не завжди виходить). Для поліпшення адгезії в полімерних композитах широко застосовують модифікування поверхневого шару компонентів.

Верхня межа робочих температур полімерних композитів становить 200–400 °С. Поєднанням різних матриць, наповнювачів і їх концентрації можна отримати безліч різновидів композитів. Класифікують полімерні композити за такими ознаками:

- кількість компонентів основного матеріалу й армувальних наповнювачів;
- походження матеріалу компонентів;
- форма компонентів;
- структура;
- спосіб виготовлення.

За формою армувальних компонентів полімерні композити поділяються на мікроформні; волокнисті; пластинчасті; комбіновані. Зі свого боку мікроформні полімерні композити поділяються на порошкові; гранульні; мікросферні. Волокнисті полімерні композити поділяються на моноволоконні; джгутові; тканинні; неткані; трикотажні.

За структурою полімерні композити поділяються так:

- шаруваті (одношарові, багатошарові);
- армовані (просторово й хаотично-армовані).

За способом виготовлення полімерні композити поділяються так:

- просочені;
- пресовані;
- литі;
- спечені;
- напилені;
- формовані;
- штамповані;

- намотані;
- екструдовані;
- комбіновані.

Найпоширенішим видом полімерних композитів є наповнені пластики. Як наповнювачі вони містять дисперсні речовини в твердому, рідкому або газоподібному стані. Представники такого типу композитів – металонаповнені пластики, графітопласти, іонообмінні смоли.

Іншою великою групою полімерних композитів є армовані пластики, які містять як зміцнювальний компонент волокнисті, тканинні, сіткові або листові наповнювачі. Волокнисті армовані пластики можуть містити безперервні або дискретні волокна. У шаруватих армованих пелюстках зміцнювальний компонент розташовується шарами. Відомими представникам цієї групи композитів є склопластики – матеріали з полімерною матрицею, армованою скловолокном, і вуглепластики.

Суміші полімерів – композити, в яких наповнювач і матриця – це полімери. Зазвичай, змішують полімери, які погано сумісні або несумісні один з одним. Виходить гетерофазна система, фазні частки в якій мають подовжену форму. Представником цього типу композитів є, наприклад, просочувальні компаунди.

ПКМ підрозділяють за походженням матриці: склопластики, органопластики, вуглепластики, боропластики, текстоліти, з порошковим наповненням.

За типами ПКМ підрозділяється так:

- полімери, що містять тверді частинки;
- полімери з вмістом рідини;
- полімери з газоподібними наповнювачами;
- суміші з декількох полімерів.

У будівництві завдяки використанню полімерних композитів відкрилися нові можливості. Затребувані такі матеріали, як арматура зі склопластику, сендвіч-панелі, палі (шунтові та гнучкі), елементи мостів.

Скловолоконна арматура дозволяє виготовлення конструкцій із підвищеною сейсмостійкістю. Арматура з ПКМ легше в 3–4 рази порівняно зі сталевією та не схильна до корозії й не зазнають будь-яких хімічних впливів.

Композиційні матеріали стали невід’ємною частиною цієї сфери, зараз вже важко уявити масштабні будівельні роботи без використання композитів. Різні архітектурні елементи, такі як арки або купола, теж часто створюються із застосуванням композиційних матеріалів. Це вигідно для забудовників, оскільки забезпечує їм значну економію на зведенні конструкцій, монтажі,

зберіганні та перевезенні матеріалу, і при цьому надійність, якість та інші експлуатаційні характеристики майбутньої будівлі ніяк не страждають.

Дизайнери використовують композити в моделізмі. Оригінальні забарвлення, можливість створювати незвичайні форми. З такими ресурсами можна створювати дійсно незвичайні архітектурні споруди, які будуть ще й надійними й довговічними.

Стійкий, легкий і міцний композиційний матеріал має значні переваги перед природними матеріалами, що мають велику вагу і потребують значних витрат для зміни форми.

Упровадження полімерних матеріалів у будівництві може дати наступні переваги:

- скорочення загальних витрат;
- підвищення продуктивності;
- зниження ваги конструкцій;
- збільшення можливостей при проектуванні порівняно з деревом і металами;
- стійкість до корозії;
- простота обробки й установки;
- деякі полімери можуть пропускати світло й навіть бути прозорими;
- простота технічного обслуговування;
- ізоляційні властивості.

Однак будівництво належить до консервативних галузей, і використання нових матеріалів часто зустрічає такі бар'єри, як:

- слабка вивченість і малий досвід роботи з цими матеріалами в галузі цивільного будівництва;
- складність перенесення досвіду, накопиченого в інших галузях промисловості;
- складність вибору й оцінки розмірів цих матеріалів;
- складність взаєморозуміння між представниками різних професій, що володіють дуже різними менталітетом;
- думка про пластмаси, що склалося в суспільстві;
- жорсткі навколишні умови на місці будівництва;
- складні умови застосування, які не зовсім збігаються з практикою та кваліфікацією будівельників.

Полімерні матеріали, однак, належать відносяться до прогресивних, оскільки вони відповідають зростаючим вимогам будівництва за продуктивністю та вартістю, мають меншу вагу, порівняно з традиційними матеріалами. Крім того, вони розширюють можливість спрямованого керування структурою та властивостями порівняно, наприклад, зі сталлю.



Застосування композитів на полімерах забезпечує зниження ваги приблизно на 15–30 %. Висока вартість матеріалів (іноді в 10 разів вище традиційних) у зазначених вище випадках повністю або частково виправдовується значним скороченням витрат на зборку. Наприклад, конструкції, армовані вуглецевим волокном, вагою 5 кг можуть замінити сталеві, вагою 94 кг, отже, проведення монтажу у жорстких умовах зі складним доступом (у горах тощо) може виконати одна людина, якій не будуть потрібні важкі механізми.

Також при установці шляхового мосту завдовжки 14 м, високі витрати компенсуються полегшенням монтажу завдяки меншій вазі, яка становить одну чверть від ваги звичайного моста. Якщо міст доставити у вигляді двох секцій, то його можна встановити за один день. Це означає, що виникне набагато менше проблем для застосування транспорту. А в разі пересувного моста, використання композитів дає змогу виготовити більш простий і дешевий каркас і механізми, що призводить до значної економії на інвестиціях.

Широко застосовуються знайшли такі композити як ненасичений поліестер, армований скловолокном:

- пішохідні мости завдовжки 120 м і завширшки 2 м: механічні властивості (пристрої для розчищення снігу й обладнання вагою до 5 тон), міцність, простота зборки, вага вдвічі менша, ніж у сталевих компонентів і значно більш висока стійкість до корозії;

- компоненти дорожніх саней: механічні властивості, стійкість до впливу погоди й невелика ціна;

- панелі для звукоізоляції стін легше обробляти, ніж такі традиційні матеріали, як бетон.

- панелі й конструкції для нафтових веж і підводного гирла нафтових свердловин з поліестеру, армованого скловолокном із пінопластовою серцевиною значно знижують вагу, мають високу стійкість до ударів і керовану плавучість;

- димові фабричні труби діаметром до 7 м;

- лопаті для вітротурбін довжиною до 12,5 м: механічні властивості, стійкість до впливу погоди та втомна міцність;

- щогли для прапорів висотою до 18 метрів;

- опори для телеграфних стовпів із листових композитів (SMC) і стовпи для телефонних ліній, виготовлені з самозагасаючого поліестеру, армованого скловолокном, методом відцентрового формування;

- каркаси з одновісно-орієнтованого поліестеру, армованого скловолокном;

– кабельні полки для тунелів, із вогнетривких акрилових одновісно-орієнтованих секцій.

З розвитком прогресу та появою спеціалізованих галузей з'явилося й більше спеціалізованих композитів:

1) композити з фенольними матрицями використовуються для виготовлення безпечних навісів і покриттів підлоги на нафтових вежах,

2) композити з епоксидними матрицями використовуються в потужних механічних системах, наприклад:

– зміцнення існуючих бетонних конструкцій епоксидним шаруватим пластиком, армованим вуглецевим волокном;

– жорсткіші плити для підвищення ефективності існуючих будівель або проектів: підвищення механічних властивостей за допомогою невеликої кількості епоксидних препрегів, армованих вуглецевим волокном і характеризуються низькою вагою, що дає змогу витримувати більші навантаження;

– вогнетривкі композиційні панелі, в яких оболонка, яка може стикнутися з вогнем, складається з алюмінію, а інша оболонка виготовлена з епоксидної смоли, яка армована скловолокном;

– ремонт металевих конструкцій на морських нафтових вежах за допомогою розпірних плит з епоксидної смоли, армованої вуглецевим волокном. Такий композит має низьку вагу, просте технічне обслуговування та твердне при температурі навколишнього середовища на місці застосування, що компенсує високу ціну;

– стрижні й кабелі для додання стійкості TV-антен: механічні властивості та режим роботи в умовах навколишнього середовища;

– кабелі для попередньо-напруженого бетону: баланс між механічними властивостями і стійкістю до впливу погоди, при цьому вони до чотирьох разів легше сталі;

– заповнення тріщин в бетоні епоксидною смолою.

Крім цього, з композитів виготовляють:

– круглі стрижні, в яких використано скловолокно з одновісною орієнтацією, заданою полімером;

– анкерні пристрої, в яких полімер відлитий навколо пучків одновісно-орієнтованого волокнистого пластику всередині сталеві труби;

– системи попереднього напруження у формі одновісно-орієнтованого волокнистого пластику, плоских стрічок або круглої арматури, в яких використовуються арамідні волокна;

– плити, армовані вуглецевим волокном і приєднуються як зовнішнє зміцнення для ремонту пошкоджених конструкцій та збільшення корисного навантаження;

– зміцнення, в яких використовуються порівняно товсті профілі, отримані з одновісно-орієнтованого волокнистого пластику та приклеєні на підготовлену поверхню; в інших застосовується тонша система, якій можна надати форму поверхні;

– посилення кам'яних конструкцій смугами вуглецевого волокна для опору землетрусам;

– системи з поліестеру й арамідного троса, в яких використовуються паралельні волокна, покриті екструдованою термопластичною оболонкою, яка захищає волокна від ультрафіолету;

– зміцнення бетонних труб за допомогою склопластикових труб, виготовлених методом накульової обмотки й заповнених цементом;

– ремонт сталевих/бетонних мостів за допомогою конструкцій перекриттів зі склопластику, які складені з пластин, з'єднаних системою важеля.

Загалом, композити застосовуються в особливих випадках, коли можна виправдати високі витрати на сировинний матеріал. Наприклад, використання дуже дорогих композитів (ціна яких може перевищувати вартість традиційних матеріалів до десяти разів) може бути виправдане на певних ділянках залізничних тунелів, де час ефективної роботи обмежений 4 годинами.

На сьогодні використовують полімерні композити для реалізації складних інженерних рішень, завдяки їхнім унікальним властивостям, де неможливе застосування традиційних матеріалів:

– підйомний міст, який може витримувати рух вантажівок, із легким настилом, який легко піднімати, зроблений зі одновісноорієнтованого волокнистого пластику;

– легкий двопрогоновий балочний міст (такий є в Швейцарії), виготовлений також зі стандартного одновісноорієнтованого волокнистого полімеру. Цей міст був спроектований у такий спосіб, щоб його можна було демонтувати щороку перед таненням снігу. Його мала вага дає змогу проводити монтажні роботи на місці за допомогою гвинтокрила.

Проте, в загальній кількості матеріалів, що використовуються в будівництві, частка композитів залишається низькою. Їх застосовують у спеціалізованому виробництві, де висока вартість сировинного матеріалу компенсується особливими властивостями полімерів, зокрема прозорістю (звуконепроникні бар'єри), низькою вагою, яка спрощує та прискорює установку (мости), простотою обробки.

## 6.2 Різновиди полімерних композитів

Виготовляють полімерні композиційні матеріали як із термопластичних, так і термореактивних полімерів.

*Матеріали на основі термопластичних полімерів* виготовляють із дисперсними наповнювачами різного походження (тальк, графіт, оксиди металів, шаруваті тверді мастила, металеві порошки, дискретне скловолокно тощо). Їх використовують для виготовлення слабо й середньонавантажених деталей машин і апаратів, корпусних деталей, зубчастих коліс і зірочок, підшипників і ущільнень, приводних ременів, ємностей тощо.

Серед термопластичних композитів найширше застосовуються склонаповнені матеріали. Як наповнювач використовують волокна з безлужного алюмоборосилікатного скла діаметром 9...13 мкм, короткі (завдовжки 0,1...1 мкм) і довгі (завдовжки 3...12 мм) зі ступенем наповнення 10...40 % від маси полімеру. Випускаються склонаповнені пластмаси на основі поліамідів, полікарбонату, поліпропілену та інших термопластів. Наповнення термопластів скловолокном підвищує міцність полімерів і їхню теплостійкість, знижує у 1,5...2 рази повзучість, зменшує в 2...7 разів температурне розширення, підвищує межу витривалості та зносостійкість. Уведення в композити твердих шаруватих мастил, таких як графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору та інші, знижує коефіцієнт тертя полімерів і підвищує їхню зносостійкість.

Міцність композитів на основі термопластів досягає 150...160 МПа при досить високій ударній в'язкості ( $KCU = 8...60 \text{ Дж/м}^2$ ).

*Композиційні матеріали на основі термореактивних пластмас* створюють на базі полімерів, які тверднуть при нагріванні або під дією затверджувачів з утворенням тривимірної полімерної структури. З-поміж, що тверднуть при нагріванні виокремлюють композити на основі фенолоформальдегідних, мочевино- та меламіноформальдегідних, кремнійорганічних та інших смол. До другого типу належать композити на основі полісілоксанів, епоксидних смол і ненасичених полієфірів.

Термореактивні пластмаси, на відміну від термопластів, характеризуються повною відсутністю холодноплинності, мають значно більшу теплостійкість, не розчиняються й мають незначне набухання. Вони проявляють стабільність властивостей аж до температури теплостійкості, здатність витримувати тривалі навантаження при температурах від  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+200...300 \text{ }^\circ\text{C}$  залежно від типу полімеру, мають хороші діелектричні властивості. Але ці матеріали менш технологічні, ніж термопласти.

Найбільшу адгезію до наповнювача мають епоксидні смоли. Затверділі епоксидні смоли стійкі до впливу лугів, окислювачів, більшості органічних кислот. Однак композити на їх основі мають невисокі механічні властивості, мають теплостійкість до 200 °С, до того ж ці смоли токсичні.

Найбільшу теплостійкість мають композити на кремнійорганічних і полімідних зв'язуючих (до 280...350 °С).

Використання епоксидних смол і ненасичених полієфірів дає змогу отримувати матеріали, здатні тверднути при кімнатній температурі (холодного затвердіння), що дуже важливо при виготовленні великогабаритних виробів.

Композиційні матеріали з дисперсними наповнювачами, функції яких виконують порошки органічних (деревне борошно, целюлоза) і мінеральних (кварц, тальк, слюда, оксиди металів, тверді шаруваті мастила, зокрема графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору) речовин, мають ізотропні властивості, невисоку механічну міцність і ударну в'язкість.

Як волокнисті матеріали для армування використовують бавовняні пачоси, кордові нитки, азбестове волокно, скловолокно. Тому ці матеріали називають волокнітами, кордоволокнітами, азбоволокнітами, скловолокнітами.

Волокніти – це пластмаси на основі бавовняних очосів, просочених феноло-формальдегідною смолою. Ці матеріали мають підвищену, порівняно з прес-порошками, ударною в'язкість (до 10 кДж/м<sup>2</sup>), однак мають значно меншу плинність, що не дозволяє отримувати тонкостінні деталі. Волокніти мають низькі діелектричні властивості, нестійкі до тропічного клімату, мають анізотропію властивостей. Застосовуються вони для виготовлення виробів загально-технічного призначення з підвищеною стійкістю до вібрацій і ударних навантажень, які працюють на вигин і кручення, наприклад, шківів ремінних передач, фланців, рукояток, кришок тощо.

Азбоволокніти – композити, що містять волокнистий мінерал – азбест, який розщеплюється на тонкі волокна діаметром до 0,5 мкм. Як зв'язуючий застосовують фенолоформальдегідні та кремнійорганічні смоли. Вони мають високу ударну в'язкість і теплостійкість до 200 °С, стійкі до кислих середовищ, мають хороші фрикційні властивості. Застосовуються переважно як матеріали для гальмівних пристроїв (гальмівні колодки, накладки, диски зчеплення).

Азбоволокніти на фенолоформальдегіді використовують для виробництва високоміцних теплостійких деталей електротехнічного призначення (електричні панелі, високо- й низьковольтні колектори), а на основі кремнійорганічних полімерів – для деталей, які тривалий час працюють при температурах до 200 °С (матеріал К-41-5) і для дугогасних камер контакторів великої потужності, клемних колодок (КМК-218). Вони можуть застосовуватися у тропічному кліматі. Фаоліт – азбоволокніт, отримують

шляхом просочення азбестових волокон феноло-формальдегідною смолою з подальшим вальцюванням суміші. Використовують азбоволокніт для виготовлення кислототривких труб та ємностей.

Скловолокніти – це пластмаси, що містять як наповнювач скловолокно. Застосовують скловолокна діаметром 5...20 мкм високоміцні з тимчасовим опором  $\sigma_B = 600...3\ 800$  МПа і високомодульні (ВМ-1, ВМП, М-11), що мають  $\sigma_B = 3\ 900...4\ 700$  МПа і модуль пружності при розтягуванні до 110 ГПа. Використовують волокна, нитки, джгути різної довжини, що багато в чому визначає ударну в'язкість скловолокнітів. Чим тонше волокно, тим менше його дефектність і вище міцність.

Механічні властивості скловолокнітів залежать від складу, кількості й довжини скловолокна, типу в'язучого, фізико-хімічних процесів, що протікають на межі розділу скловолокно-в'язуче, методу переробки. Наприклад, заміна скловолокна зі скла Е (безлужне алюмосилікатне) на волокно зі скла S (теплостійке високоміцне) в епоксидному в'язучому дає змогу підвищити міцність композита на 40 %.

З метою поліпшення змочуваності скловолокна в'язучим, зниження напруги, що виникає на межі поділу, збільшення адгезії між волокном і в'язучим застосовують апретування (обробку) волокон сполуками, що містять різні реакційно здатні групи (вінільні, метакилові, фенольні, аміно- й іміногрупи тощо). Зменшенню напружень у граничному з волокном шарі в'язучого, зниженню усадки і пористості, підвищенню теплостійкості сприяє додавання до в'язучого порошкоподібних наповнювачів.

Скловолокніти поділяють так: сплутановолокністі, гранульовані та дрібнодисперсні прес-маси.

Сплутановолокністі скловолокніти отримують шляхом просочення відрізків волокон завдовжки 40...70 мм із подальшим розпушенням і сушінням для видалення розчинника. Недоліком цих матеріалів є нерівномірність розподілу в'язучого, більший розкид механічних властивостей і менша плинність порівняно з іншими скловолокнами.

Гранульовані скловолокніти (премікси) отримують шляхом просочення незкручених склониток і склоджугта з подальшим сушінням і різкою на гранули завдовжки 5, 10, 20 і 30 мм. Діаметр гранул 0,5...8 мм. Матеріал є сипким, має плинність, стабільність механічних властивостей. До цієї категорії матеріалів належать скловолокніти, що можна дозувати (далі – ДСВ).

Дрібнодисперсні скловолокністі пресмаси виготовляють шляхом змішування подрібненого скловолокна завдовжки до 1,5 мм зі в'язучим, з подальшим гранулюванням (гранули розміром 3...6 мм). Випускають також

склокрихту з гранулами завдовжки до 10...50 мм із просочених відходів склотканини.

Скловолокна гранульовані з гранулами розміром до 6 мм переробляють литним пресуванням. Дрібнодисперсні скловолокніти можна переробляти шляхом лиття під тиском, а при виготовленні виробів із металевою арматурою – шляхом литного пресування. Скловолокно з довжиною гранул розміром 10 мм переробляється литним і прямим пресуванням, а при довжині гранул довжиною 20 і 30 мм – тільки прямим пресуванням.

Зі склопластиків виготовляють корпусні деталі, елементи щитків, ізоляторів, штепсельних роз'ємів, обтічники антен тощо. Вироби, що експлуатуються при температурах від  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , виготовляють на основі анілінофенолоформальдегідних смол і безлужного алюмоборосилікатного скловолокна, а для температурного діапазону  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ... $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  на основі епоксидних смол.

Скловолокніти на основі кремнійорганічних смол експлуатуються до температури  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а з використанням кварцового або кремнеземистого волокна короткочасно та при більш високих температурах. Для деталей теплозахисного призначення застосовують скловолокніти на основі кремнеземистого волокна й фенолоформальдегідних смол.

На основі скляних матів і ненасичених полієфірних смол отримують препреги, які використовують для виготовлення великогабаритних деталей (кузова, човни, корпусні деталі приладів тощо). Застосування орієнтованих волокон дає змогу отримувати скловолокніти з підвищеними механічними властивостями.

Органоволокніти – це композиційні матеріали на основі полімерних в'язучих, у яких наповнювачем слугують волокна органічних полімерів (поліамідні, лавсан, нітрон, вінол тощо). Для армування застосовують також джгути, тканини й мати з цих волокон. Як в'язучий застосовують терморективні смоли (епоксидні, фенолоформальдегідні, поліамідні тощо).

Використання полімерних в'язучих і наповнювачів із близькими теплофізичними характеристиками, а також здатних до дифузії та хімічної взаємодії між ними, забезпечують композитам стабільність механічних властивостей, високу питому міцність і ударну в'язкість, хімічну стійкість, стійкість до термоудару, тропічного клімату, стирання. Допустима температура експлуатації більшості органоволокнітів  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ... $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на основі поліамідного в'язучого й термостійких волокон – до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ... $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Серед недоліків цих матеріалів варто виокремити невисоку міцність при стисненні й повзучість.

Для отримання високоміцних композитів застосовують волокна на основі ароматичних поліамідів (арамідні волокна СВМ, терлон, кевлар), що мають

високі механічні властивості, термостабільність у широкому діапазоні температур, хороші діелектричні властивості. За питомою міцністю ці волокна поступаються лише борним і вуглецевим.

Бороволокніти – композиційні матеріали на полімерній матриці, наповнені борними волокнами. Вони мають високі механічні властивості, низьку повзучість, високі тепло- й електропровідності, стійкість до органічних розчинників, паливно-мастильних матеріалів, радіоактивного випромінювання, циклічного знакозмінного навантаження.

Бороволокніти застосовують в авіаційній і космічній техніці для виготовлення різних профілів, панелей, деталей компресорів тощо.

Карбоволокніти (вуглепластики) – композиційні матеріали на основі полімерного в'язучого й вуглецевих волокон. Вуглецеві волокна відрізняються високою теплостійкістю; питомою міцністю, хімічною та атмосферостійкістю, низьким коефіцієнтом термічного лінійного розширення.

Застосовують волокна двох типів: карбонізовані й графітові. Як вихідний матеріал використовують віскозні або поліакрилонітрильні (далі – ПАН) волокна, кам'яні й нафтові пеки, які піддають спеціальній термообробці. У процесі високотемпературної обробки в безокисному середовищі відбувається перехід від органічних волокон до вуглецевих. Карбонізація проводиться при температурі 900...2 000 °С, а графітизація – при температурі до 3 000 °С. Вуглецеві волокна за механічними властивостями поділяються на високомодульні й високоміцні. Як в'язуче використовують термореактивні полімери: епоксидні, фенолоформальдегідні, епоксифенольні смоли, поліаміди та інші, а також вуглецеві матриці.

Карбоволокніти мають високі механічні властивості, статичну та динамічну витривалість, водо- й хімічну стійкість тощо. Карбоволокніти на епоксіаніліно-формальдегідному в'язучому можуть зберігати працездатність при температурах до 100 °С, на епоксифенольному – до 200 °С, на поліамідному – до 300 °С, на вуглецевій матриці – до 450 °С у повітрі та до 2 200 °С в інертному середовищі.

Застосовують карбоволокніти для виготовлення конструкційних деталей авіаційної та ракетної техніки, антен, судів, автомобілів, спортивного інвентарю.

У шаруватих композиційних матеріалах застосовують листові наповнювачі (тканини, папір, шпон тощо), які просочують і скріплюють між собою полімерним в'язучим. Ці матеріали належать до анізотропних. Як волокнисті армувальні елементи використовують тканини на основі високоміцних волокон різного походження: бавовняні, склоазботканини, органотканини, вуглетканини, органосклотканини, бороорганосклотканини. Тканини



розрізняються між собою за співвідношенням волокон в основі й утку, за типом переплетення, що позначається на їхніх механічних властивостях. Випускають шаруваті композити у вигляді листів, труб, заготовок.

*Гетинакс* – пластик на основі модифікованих фенольних, аміноформальдегідних і карбамідних смол і різних сортів паперу.

*Органогетинакс* виготовляють на основі паперу з синтетичних волокон, найчастіше з ароматичних поліамідів і полівінілового спирту. Як в'яжуче застосовують поліаміди, фенолоформальдегідні, епоксидні смоли та інші. Порівняно з гетинаксом вони мають більш високу стійкість в агресивних середовищах і стабільність механічних і діелектричних властивостей при підвищених температурах.

*Текстоліт* – шаруватий пластик на основі полімерних в'яжучих і бавовняних тканин. Матеріал має високі механічні властивості, стійкість до вібрацій. Залежно від основного призначення текстоліти підрозділяються на конструкційні, електротехнічні, графітові, гнучкі прокладні.

Конструкційний текстоліт марок ПТК, ПТ, ПТМ використовується для виготовлення зубчастих коліс, підшипників ковзання, що працюють при температурах у зоні тертя не вище 90 °С, у прокатних станах, турбінах, насосах тощо. Випускається у вигляді листів завтовшки від 0,5 мм до 8 мм і плит завтовшки від 8 мм до 13 мм.

Електротехнічний текстоліт використовується як електроізоляційний матеріалу в середовищах із робочою температурою від мінус 65 до +165 °С і вологістю до 65 %. Випускається він у вигляді листів завтовшки від 0,5 мм до 50 мм марок А, Б, Г, ВЧ. Електрична міцність у трансформаторному маслі до 8 кВ/мм. Марка А – із підвищеними електротехнічними властивостями для роботи в трансформаторному маслі й на повітрі при промисловій частоті 50 Гц. Марка Б – з підвищеними електротехнічними властивостями для роботи у повітрі при частоті 50 Гц. Марка Г – за властивостями та сферою використання аналогічна до марки А, але з розширеними допусками по викривленню й товщині. Марка ВЧ – для роботи на повітрі при високих частотах (до 106 Гц).

Графітований текстоліт застосовується для виготовлення підшипників прокатного обладнання й випускається у вигляді листів товщиною 1...50 мм, довжиною до 1 400 мм і шириною до 1 000 мм.

Гнучкий прокладний текстоліт використовують для виробництва ущільнювальних і ізолювальних прокладок у вузлах машин, що піддаються впливу масел, гасу, бензину. Випускають у вигляді листів товщиною 0,2...3,0 мм.

У азботекстолітах і азбогетінаксах як наповнювачі міститься відповідно азботканина або азбопапір (до 60 %), а як в'яжучий – фенолоформальдегідні та

меламіноформальдегідні смоли, кремнійорганічні полімери, які визначають допустиму температуру експлуатації.

Матеріали на меламіноформальдегідній основі можуть експлуатуватися при температурах до 200 °С, на фенолоформальдегіді – до 250 °С і на кремнійорганічній – до 300 °С тривалий час. На короткий час температура може досягати 3 000 °С. Застосовують азботекстоліти переважно для виготовлення гальмівних колодок, гальмівних накладок, як теплоізоляційні й теплозахисні матеріали.

*Склотекстоліти* виготовляють на основі склотканини й різних полімерних зв'язуючих. На фенолоформальдегідних смолах (КАСТ, Каста-В, Каста-Р) вони більш теплостійкі, ніж текстоліт ПТК, але гірші за вібростійкістю. На кремнійорганічних смолах мають високу тепло- та морозостійкість, високу хімічну стійкість, не спричиняють корозії металу, з яким контактують. Застосовують склотекстоліти переважно для великогабаритних виробів радіотехнічного призначення.

*Скловолокнисті анізотропні матеріали* (далі – СВАМ) армовані склошпоном і мають високу ударну в'язкість КСУ до 600 кДж/м<sup>2</sup>, тимчасовий опір до 1 000 МПа. За питомою жорсткістю ці матеріали не поступаються металам, а за питомою міцністю в 2...3 рази перевершують їх.

*Газонаповнені пластмаси* також можна віднести до класу композитів, оскільки їхня структура складається з твердої та газоподібної фаз. Їх поділяють на дві групи: пінопласти й поропласти. Пінопласти мають комірчасту структуру, пори в якій ізольовані одна від одної полімерним прошарком. Поропласти мають відкриту пористу систему й газоподібні або рідкі продукти, що знаходяться в них, можуть стикатися один з одним і навколишнім середовищем.

Пінопласти отримують на основі термопластичних полімерів (полістиролу, полівінілхлориду, поліуретану) і термореактивних смол (фенолоформальдегідних, фенолокаучукових, кремнійорганічних, епоксидних, карбамідних). Для отримання пористої структури в більшості випадків до полімерного зв'язуючого додають газоутворювальні компоненти, які називають порофорами. Однак є і такі, що самоспініються, наприклад, пінополіефіроуретанові, пінополіепоксидні. Пінопласти на основі термопластичних смол більш технологічні й еластичні, проте температурний діапазон їх експлуатації від –60 °С до +60 °С.

*Поропласти* отримують зазвичай шляхом механічного спінювання композицій, наприклад, стисненням повітрям або з використанням спеціальних піноутворювачів. Під час затвердіння спіненої маси, розчинник видаляється в процесі сушіння й затвердіння зі стінок пор і руйнує їх. Наскрізні пори можна

отримати, наповнивши композиції водорозчинними речовинами. Після пресування та затвердіння вироби занурюють у нагріту воду, в якій вимиваються розчинні речовини.

Поропласти застосовують для виготовлення амортизаторів, м'яких сидінь, губок, фільтрів, як вібродемпферних і звукоізоляційних прокладок у вентиляційних установках тощо. Густина їх становить 25...500 кг/м<sup>3</sup>.

*Металополімерні каркасні композиційні матеріали* мають у несучій основі тривимірну металеву сітку, а міжкаркасна порожнина заповнена полімерною композицією, що містить різні функціональні компоненти (рис. 6.1).

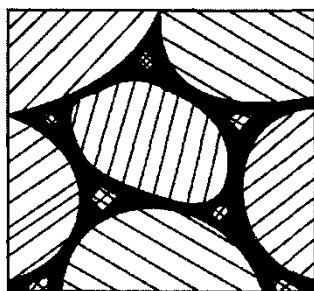


Рисунок 6.1 – Структура металополімерного каркасного матеріалу (а) і матеріалу МПК (б):

1 – частинки металу, 2 – полімер, 3 – тверде мастило, 4 – піролітичний графіт

На сьогодні широко застосовуються композиційні матеріали з деревини, що мають армувальні деревні матеріали (наповнювачі), об'єднані в матриці (зазвичай полімерній) із додаванням спеціальних добавок. У низці випадків їх називають деревопластики, або КДПМ (композиційні деревні полімерні матеріали).

Деревостружкові плити – великорозмірні вироби, виготовлені методом гарячого плоского пресування деревних частинок, змішаних зі в'язучим. Плити випускають розмірами 2 440 × 1 220; 2 750 × 1 500; 3 500 × 1 750; 3 660 × 1 830; 5 500 × 2 440 мм, завтовшки від 10 до 25 мм, шліфовані й нешліфовані. Відповідно до призначення плити підрозділяють на три марки:

П-1 (П-1М багат шарові і П-1Т тришарові) – виготовляють футляри, панелі й інші деталі в радіо- та приладобудуванні, елементи меблів і у будівництві. Їх облицьовують плівками на основі термореактивних і термопластичних полімерів, лакофарбовими матеріалами;

П-2 (П-2Т та П-20 одношарові, що підрозділяються на групи А і Б) – виготовляють корпуси приладів, машин, контейнери й тару (крім харчової), стелажі, елементи меблів і будівельних конструкцій. Застосовують

облицювання шпоном, декоративними паперово-шаруватими пластиками й без облицювання;

П-3 (П-ЕТ) – деталі кузовів автофургонів, перегородки вагонів, елементи будівельних несучих конструкцій. За якістю поверхні плити підрозділяють на шліфовані (I і II сортів) і нешліфовані (I і II сортів).

Плити деревоволокнисті (ДСТУ EN 12369-1:2008) залежно від густини підрозділяють на м'які (М), напівтверді (ПТ), тверді (Т) і надтверді (СТ) і залежно від межі міцності при вигині – на сім марок: М-4, М-12, М-20, ПТ-100, Т-350, Т-400 і СТ-500, де числа означають мінімальну величину межі міцності плит при вигині в кгс/см<sup>2</sup>. Товщина плит 2, 5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 12; 16 і 25 мм, ширина від 1 220 мм до 1 830 мм і довжина від 1 200 до 5 500 мм. Призначені для використання у виробках і конструкціях, захищених від зволоження.

Деревні шаруваті пластики (далі – ДСП) – гарячепресовані багатошарові, просочені синтетичними смолами листи шпону різних порід деревини. ДСП характеризуються високою міцністю та зносостійкістю, невеликим коефіцієнтом тертя.

ДСП завтовшки від 1 мм до 15 мм виготовляють у вигляді прямокутних аркушів, товщиною від 15 мм до 60 мм – у вигляді плит. Листи та плити, склеєні з цілих за довжиною листів шпону, називають цільними, а з декількох – складовими (з дещо зниженими властивостями). Цілісні листи випускають завширшки 950 мм і завдовжки 700, 1 150 і 1 500 мм і 1200 × 1 500 мм; складові 2 400 × 950, 4 800 × 1 200, 5 000 × 1 200 мм; плити цільні: 750 × 750, 950 × 700 (1 150, 1 500); 1 200 × 1 200 (1 500), складові плити випускають тих же розмірів, що і складові листи. ДСП поділяють на 11 марок.

З-поміж перспективних вузлів і деталей із КДПМ можна виокремити:

- блоки тросів для кранів, тельферів, поліспахів тощо;
- віконні рами;
- каркаси для деталей із пінополіуретану;
- гнучо-клеєні профілі й панелі зі шпону;
- сендвіч-панелі з зовнішніми аркушами з фанери, ДВП, ДСтП, ДСГ1, ДБСП або металу (сталі, алюмінію) і центральної частини з пінопласту з деревними наповнювачами;
- деталі з пінопластів із деревним наповнювачем конструкційного й теплоізоляційного призначення (наприклад, деталі кріплення стель вагонів);
- тепло-, шумо- й віброізоляція вагонів, тепловозів, рефрижераторів і дверей гаражів, теплоізоляція труб при безканалній прокладці тощо);

### ***Застосування в промисловості***

На виробництві успішно використовують ємності зі склопластику, до герметичності яких висувають високі вимоги. Також на підприємствах масово

використовують басейни й резервуари зі склопластику. Ці ємності зберігають рідину, яку неможливо утилізувати через звичайні каналізаційні комунікації. Вони вимагають профілактики, але їхня довговічність визнана всіма. Високі антикорозійні властивості таких резервуарів не допустять витоків шкідливих для екології рідин.

Під час виготовлення електротехнічного обладнання застосовується аркушевий склотекстоліт. Сам по собі такий текстоліт складається з кількох шарів склотканини, які проходять операцію гарячого пресування. Це продукт із високими електроізоляційними та механічними властивостями, добрий діелектрик, має хорошу вологостійкість. Він не горить, є вибухобезпечним, не токсичний та має високу довговічність. Запалюється при температурі вище +350 °С. Небезпеку при роботі з ним утворює пил зі скловолокна, тому вимоги до роботи з цим матеріалом на виробництві – найсуворіші.

Виготовляють також склопластикову арматура, яка стала достатньо поширеною у користувачів, оскільки при значній міцності має малу вагу. Використання арматури зі склопластику є і економічно доцільним через невелику ціну й можливість економії до 40 % на монтажі й транспортуванні. До того ж монтаж проводиться без залучення зварювального апарату, що також забезпечує додаткову економію коштів.

Отже потрібно підкреслити низку значущих властивостей склопластиків для будівельної галузі:

- мала вага (1,1 г/см<sup>3</sup>);
- висока міцність;
- стійкість до корозії та хімічного впливу;
- низька теплопровідність;
- діелектричні властивості;
- магнітоінертність.

Порівняно зі сталевую, АСП має такі переваги:

- у 3–4 рази менша вага;
- у 4 рази більша міцність при розтягуванні;
- висока зносостійкість, забезпечена поєднанням антикорозійної та хімічної стійкості, зокрема, до лужного середовища бетону (70 років служби у сталевий, понад 100 років – у АСП);

– низький коефіцієнт лінійного розширення (найважливіша характеристика склоарматури при використанні її для будівництва фундаменту – виключає можливість утворення тріщин в бетоні);

- не створює перешкод радіохвилям;

– економічна доцільність (зростання цін на металоарматуру становить у середньому до 10 % / на рік, а на композитну – менше 3 %).

До недоліків матеріалу можна віднести:

- недостатня термостійкість (втрачає міцність при температурі понад 200 °С), внаслідок чого її неможливо використовувати при будівництві об'єктів, які передбачають високотемпературний нагрів;

- низький модуль пружності (легко згинається, що слугує причиною для проведення додаткових розрахунків при будівництві перекриттів).

Порівняно з базальтопластиковою арматурою у АБП трохи вище модуль пружності (45 000 М/Па) і міцність при розтягуванні (1 300 М/Па).

*Застосування пластикової арматури в будівництві*

Склоарматура широко застосовується в таких напрямках і сферах будівництва:

- легкі й важкі бетони (монолітні та стрічкові фундаменти, перекриття, пінобетон);

- шарувата цегляна кладка;

- як дюбелі при монтажі теплоізоляції будівель;

- забезпечення гнучких зв'язків при будівництві тришарових стін (несучий, облицювальний і утеплювальний шари);

- морські та припортові споруди;

- каналізація, теплоцентралі й водовідведення;

- меліорація;

- дорожнє будівництво (полотно, огорожі, тротуарні плити, бордюри, вимощення);

- інфраструктура хімічних виробництв;

- сейсмостійкі пояси споруд;

- опори ЛЕП та освітлювальні опори;

- залізничні шпали;

- будівництво будинків за методом незнімної опалубки.

*Особливості монтажу*

Монтаж пластикової арматури проводиться аналогічно металевому варіанту з однією відмінністю – матеріал не піддається зварюванню. Замість цього використовуються різні кріплення:

- пластикові хомути для в'язки;

- в'язальний дріт;

- пластикові фіксатори.

### **6.3 Клеєна деревина**

Поява технології виробництва матеріалів із клеєної деревини була обумовлена тим, що потреба в якісному масиві потрібних розмірів і

властивостей стрімко росла, тоді як можливості природних ресурсів залишалися обмеженими. Особливо гостро постала проблема отримання габаритних елементів для будівництва несучих і огорожувальних конструкцій.

Найпростішим і очевидним вирішенням питання виявилася технологія склеювання пиломатеріалів у монолітний масив. Шляхом різних схем з'єднання різноманітних деталей з'явилася можливість виробництва таких виробів:

Клеєний брус – один із найпопулярніших сьогодні матеріалів, який здатний замінити масивний брус при будівництві дерев'яних будинків, лазень, каркасних споруд тощо. Такий композитний матеріал відрізняється більш високими технічними характеристиками при збереженні екологічних та естетичних якостей (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Сучасна будівля з клеєної деревини

Дерев'яні клеєні балки – відрізняються від бруса розмірами й несучою здатністю, використовуються для будівництва опор, перекриттів, складних кроквяних систем фігурних дахів і навісів, складських і виробничих приміщень. За своїми характеристиками не поступаються, а в деяких показниках і перевершують бетонні й сталеві аналоги.

Дерев'яні клеєні панелі становлять огорожувальні та несучі стінові конструкції, а також плити перекриттів, одержувані шляхом перехресного склеювання дерев'яних ламелей. Відрізняються підвищеною енергоефективністю, екологічністю, сейсмостійкістю та значно перевершують за якістю залізобетонні плити.

До клеєних деревних виробів належать дерев'яні клеєні щити, плити ДСП, МДФ, OSB, ДВП, фанера тощо.

Виробництво плит з відходів деревообробки – пізніша технологія, яка стала можливою з появою ефективних способів лущення, подрібнення,

шпонування та пресування деревини, а також із розвитком хімічної промисловості для отримання нових клейових складів.

Основною особливістю клеєних конструкцій є передбачуваність їхніх властивостей. Відомо, що масив деревини не цілком монолітний за своїми технічними характеристиками й має неоднорідну структуру, більш того, в його структурі зустрічаються сучки, тріщини та інші дефекти. Також варто пам'ятати про значні внутрішні напруження, які призводять до наскрізних тріщин, кручення й інших деформацій.

Клеєна деревина – це матеріал, отриманий шляхом склеювання шарів підготовленої деревини перпендикулярно щодо напрямку волокон. Для виробництва застосовуються переважно стовбури сосни та ялини. Вимоги до деревини, порядок виробництва, приймання, випробувань і зберігання матеріалів регламентує ДСТУ Б В.2.6-XXX: 201X Проектування будівельних конструкцій з цільної і клеєної деревини.

На відміну від заготівлі звичайних пиломатеріалів, виробництво клеєних листів і брусів – це складний багатоступінчастий процес. Цей процес полягає у такому.

Колоди з лісу надходять на лісопереробний завод, де їх укладають на первинну сушку в природних умовах під навісом. Процес займає близько трьох місяців. Далі заготовки надходять на сушку в камери, де підтримується висока температура. Тут деревина перебуває 1–2 місяці. При цьому, відбувається рівномірне зниження вологості пиломатеріалу без розтріскування та деформації. За цим процесом ретельно стежать оператори цеху.

Далі колода надходить на розпилювання. Отримані дошки склеюють спеціальними клеями, відправляють під прес і на подальше сушіння.

Виробництво клеєної деревини може займати різний час і етапи можуть відрізнятися через особливості сировини й матеріалів, які виготовляють. У разі клеєних матеріалів більшість із цих недоліків мінімізовано або зовсім виключено. Вони не дають значної усадки, не тріскаються й не деформуються, гірше проводять тепло, не бояться вогкості, вогню та гниття. При цьому їхні конструкційні характеристики значно перевершують вироби з масиву деревини, зокрема клеєні вироби мають підвищену міцність на стиск і вигин, несучу здатність, пружність і довговічність.

Виробництво клеєних матеріалів може відрізнятися залежно від типу й призначення виробів, проте загальна технологія приблизно подібна.

У процесі виготовлення деревина проходять такі технологічні операції.

1. Колоди звільняють від кори й розпилюють на дошки або ламелі, які сортують за розмірами та якістю.



2. Відсортовані ламелі відправляють у спеціальні камери для сушіння, в результаті якої вологість дошки може становити від 8 % до 18 % залежно від породи деревини й типу застосовуваного клею. Сушіння виключає подальшу усадку виробів.

3. Висушену дошку стругають, а потім сортують за міцністю згідно DIN 4074-S Далі маркуються ділянки з дефектами – тріщинами, сучками, скошеними або нерівними краями, які виторцовуються. Контроль якості проводять візуальний і машинний.

4. Торці ламелей різної довжини фрезерують під зубчастий профіль і з'єднують «на вус» за допомогою клею та пресування, домагаючись необхідної довжини.

5. За допомогою машини на дошки наносять спеціально підібраний клей. Найчастіше використовують меламіновий, резорциновий, поліуретановий і ЕРІ-клей (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Процес проклеювання ламелей

6. Проклеєні ламелі збирають в пакети по формі майбутнього бруса й пресують.

7. Після затвердіння клею отриманий брус профілюють за допомогою стругання та фрезерування.

8. У кінці нарізають деталі необхідної довжини, в яких роблять всілякі вузли з'єднання й монтажні отвори, врубки і чаші.

Особлива увага приділяється вибору клею. Клеї не повинні бути безпечні, не мати в складі канцерогенні речовини та інші отрутохімікати. Допускається використання формальдегідних смол, при цьому емісія формальдегіду

контролюється згідно з ДСТУ EN 717-2: 2006 і EN 717-2: 1994. Клеї, що найчастіше використовують, мають такі особливості:

- меламіновий – забезпечує прозорий клейовий шов, застосовується для виробництва великопрольотних конструкцій;

- резорциновий – застосовується для виробництва всіляких конструкцій, найчастіше – зовнішніх і призначених для умов підвищеної вологості. Клейовий шов темний;

- поліуретановий – швидко твердне, дає прозорий шов і дозволяє склеювати деревину при вологості 18 %. Підвищує продуктивність і ефективність виробничих ліній;

- ЕРІ-система – застосовується для виробництва елементів малоповерхового будівництва.

Клеєну деревину класифікують за різними ознаками на групи, але найголовніше – за кількістю шарів у виробі:

- двошарова та тришарова. Використовують дошки різного перетину, при цьому вироби відрізняються значною міцністю, тому з них виробляють балки, віконні й дверні блоки, несучі конструкції для будівництва;

- багатошарова. Спосіб виробництва передбачає використання дощок і ламелей у різних кількостях, що визначається конструктивними розрахунками. З багатошарової деревини роблять балки несучих конструкцій, крокви, опорні стійки для спорудження навісів, зимових садів тощо.

Клеєні матеріали унікальними за своїм властивостям порівняно з цільними пиломатеріалами:

- міцність вище до 50...70 %,
- точність і стабільність розмірів у часі та при зміні вологості,
- відсутність дефектів,
- відсутність усадки стін підвищує швидкість будівництва;
- практично ідеально рівна поверхня стін з клеєного бруса;
- підвищена здатність витримування навантажень – модуль пружності клеєної деревини з сосни становить 100 000 кг/см<sup>2</sup>, з кедрі – 80 000 кг/см<sup>2</sup>;
- вироби з клеєних заготовок краще переносять негативні погодні чинники – дощі, температурні перепади, стійкі до гризунів і комах завдяки просоченню.

Густину клеєної деревини визначають як і для не клеєної згідно з СП 64.13330.2011, що значно спрощує процес розрахунків. Густина деревини різних порід наведена у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Густина порід деревини

Порода деревини	Густина деревини, кг/м <sup>3</sup>
модрина	650...800
сосна, ялина, кедр, ялиця	500...600
дуб, береза, бук, ясен, клен, граб, акація, в'яз та ільм	700...800
осика, тополя, вільха, липа	500...600

Усі види шаруватої клеєної деревини можна розділити на три групи:

- клеєний брус;
- меблевi щити;
- фанера.

*Клеєний брус* виготовляють з дощок вологістю 6–7 %, завтовшки 25–40 мм і завдовжки 3–6 метрів. Їх заздалегідь розпилюють у різних напрямках – для збірки бруса важливо дотримати чергування напрямків волокон. Це розосереджує внутрішню напругу у виробі й підвищує його міцність.

Дощки покривають шаром клею та з'єднують широкою частиною. Готову заготовку розпилюють поперек, виходить непрофільований брус, який відправляють на вирізку пазів до верстату.

Відрізнути клеєний брус від звичайного профільованого можна, поглянувши на зріз – у цільного він рівномірний, у склеєного з декількох дощок – аркушеподібний (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Використання клеєного бруса

Клеєні конструкції з деревини мають усі властивості матеріалу, перелічені раніше. Крім того, порівняно зі звичайним профільованим брусом клеєний вигідніший для будівництва стін будинку:

- усадка практично відсутня;

– стіни виходять ідеально рівними та гладкими, не потребують додаткової обробки й декору;

– конструкція монтується просто завдяки профілю з'єднання.

Важливим для якості виробів є використання просушеної деревини та безпечного клею. Брус випускають таких розмірів:

– висота – 80...495 мм;

– ширина – 66...380 мм;

– довжина – до 14 метрів.

Клеєний брус застосовується переважно для збирання несучих конструкцій: внутрішніх і зовнішніх стін; стропильних систем; перекриттів; будівництва альтанок, лазень тощо.

Столярний або меблевий щит – це тонкий клеєний аркуш деревини, який складається з декількох шарів перпендикулярно орієнтованих ламелей. Матеріал застосовують переважно для створення меблів: шафи (корпус і фасади); столи; полички й комоди; улаштування фінішного покриття підлоги.

Столярні щити використовуються в кухонних приміщеннях, вагонобудуванні, будівництві, у суднобудуванні (рис. 6.5).



Рисунок 6.5 – Використання меблевого щита

Існує три способи збирання панелей:

– меблевий щит – короткі дошки стикують у шаховому порядку за довжиною торцями з гладкими сторонами або на пазовий замок;

– збірка ламелей однакової довжини бічними сторонами;

– меблевий щит, зібраний із дощок, покритий тонкими ламелями.

Фанера широко застосовується як будівельний матеріал з клеєної деревини. Це три перпендикулярно орієнтованих тонких ламелі, склеєні між собою під пресом. Для виробництва застосовується деревина хвойних порід, берези, частіше види деревини комбінують усередині одного виробу.

Будівельна фанера може бути захищена ламінованим покриттям, просоченнями й іншими компонентами, наявність яких визначається сортом і призначенням матеріалу (рис. 6.6). Розрізняють водостійку, вогнестійку, корабельну фанеру й інші види цього універсального матеріалу.



Рисунок 6.6 – Зріз фанери

Для отримання повного уявлення про різноманітність видів клеєної шаруватої деревини нижче приведена її класифікація:

- клеєна фанера,
- плити:
- деревні шаруваті пластики.

Звичайна клеєна фанера становить багатошаровий матеріал, окремі шари якого можуть бути виготовлені з однієї або декількох порід деревини. Волокна деревини в двох сусідніх шарах при цьому розташовуються, зазвичай, під кутом 90 °. Таку фанеру можна використовувати в найрізноманітніших виробництвах.

*Облицьована фанера* – це багатошаровий матеріал, одна або обидві сторони якого виготовляють із деревини з красивою текстурою або з паперу, металу, азбесту, скляної тканини, пластмаси та інших матеріалів. Фанера, облицьована гарною деревиною (горіхом, дубом тощо), може бути використана при виробництві меблів, оздоблюванні кают, вагонів тощо.

Композитам варто віддавати перевагу при будівництві будинків, створення конструкцій, що працюють у несприятливих умовах при підвищених навантаженнях і вологості.

Вироби з цільних пиломатеріалів будуть корисні в оздоблюванні сухих приміщень, для виготовлення нескладних меблів. Важливо використовувати добре оброблену й підготовлену сировину – її вологість не повинна перевищувати 15 %.

Під час вибору визначити якість матеріалу допоможуть:

- сертифікати якості;
- репутація виробника й відгуки клієнтів;
- неякісний клей можна визначити за їдким запахом;
- зовнішній огляд допоможе виявити поверхневі вади;
- ступінь просушування деревини можна визначити під час приймання за допомогою компактних вимірників вологості, але часто тільки поверхнево;
- підозріло низька ціна, за дешево ніхто продавати якісні клеєні вироби не буде.

Облицювання фанери металом (сталлю, цинком, міддю, алюмінієм) змінює її фізико-механічні властивості: підвищує міцність, жорсткість, зовнішню твердість і вологостійкість. Такий матеріал відрізняється порівняною легкістю. Дуже часто цей вид фанери називають броньованою фанерою. Споживачами її можуть бути тарна, холодильна, авіаційна та інші галузі промисловості.

Облицювання фанери текстурним папером (декоративна фанера) дозволяє значно поліпшити її зовнішній вигляд. Одночасне створення на поверхні фанери захисного шару з затверділої смоли позбавляє від необхідності вдаватися до подальшої обробки такої фанери лаком або політурою.

Облицювання фанери азбестом або скляніюю тканиною має на меті зробити цей вид матеріалу негорючим, що має особливе значення при використанні фанери в суднобудуванні.

*Бакелізована фанера* – це матеріал, окремі шари якого перед склеюванням просякнуті або промазані смолою.

Види деяких шаруватих матеріалів наведені на рисунку 6.7.

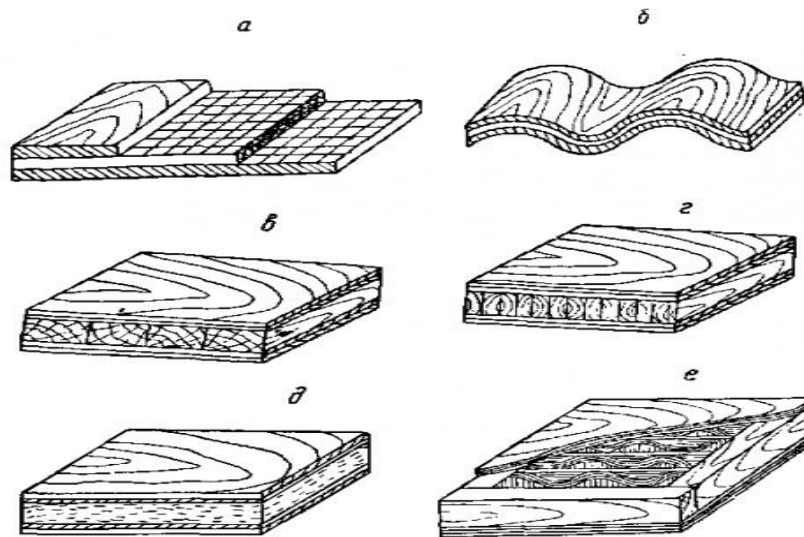


Рисунок 6.7 – Конструкція деяких шаруватих матеріалів:

а – армована фанера; б – гофрована фанера; в – столярна плита з серединкою з рейок; г – столярна плита з серединкою зі шпону, поставленого на ребро; д – ізоляційна плита; е – пустотіла плита

*Армована фанера* становить матеріал, між шарами якого є кілька шарів металевої сітки (рис. 6.7, а). Сітка не збільшує помітно вагу фанери, але це позитивно позначається на міцності, дозволяючи використовувати її як конструкційний матеріал для низки дуже відповідальних виробів. Крім того, металева сітка дає можливість застосувати цей матеріал як електрофанеру (наприклад, при виробництві інкубаторів).

Порівняно недавно з'явився новий вид фанери, під одною з наріжних сорочок якої поміщений тонкий шар металу. Завдяки цьому, наприклад, палаюча цигарка, покладена навіть на оброблену лаком поверхню листа фанери, не залишає ніякого сліду, бо тепло, яке вона віддає, швидко відводиться металом, рівномірно розподіляється на великій площі.

*Гофрована фанера* – це шаруватий матеріал, поперечному перерізу листа якого під час склеювання надається складна форма (рис. 6.7, б). Це забезпечує підвищену жорсткість листа в одному з напрямків, перпендикулярному до його площині. Така фанера може використовуватися в будівництві для обшивки стін, стель, виготовлення перегородок і подібних елементів конструкцій. Виготовляють гофровану фанеру завтовшки 4,7–7,8 мм, облицьовану з двох сторін тонкими шарами алюмінію.

*Столярна плита* становить щит, середня частина якого зроблена з рейок (рис. 6.7, в) або шпону (рис. 6.7, г), поставленого на ребро; щит із кожного боку обклеєний одним або декількома листами шпону. Завдяки порівняно невеликій вазі та практично незмінним розмірам, столярні плити широко застосовуються

в меблевій промисловості, виробництві дерев'яних музичних інструментів, вагонобудуванні тощо.

*Ізоляційна плита* становить щит, середня частина якого виконана з спресованого торфу, соломи або подрібненої деревини, а сорочка – з клеєної фанери (рис. 6.7, д). Унаслідок невеликого ступеня ущільнення серединки вона має незначну густину і низьку теплопровідність. Такі плити можуть використовуватися в будівництві для утеплення перекриттів, підлог, перегородок, а також у вагонобудуванні. Знайшло широке застосування й виробництво плит із серединками з подрібненої деревини (відходів виробництва). Для отримання необхідної міцності частки деревини пов'язують між собою синтетичною смолою. Такі плити широко застосовуються в будівництві, меблевому та інших виробництвах. За фізико-механічними властивостями вони близькі до столярних плит.

*Пустотила плита* становить рамку, обклеєну з двох сторін клеєною фанерою, у внутрішню порожнину якої поміщений наповнювач, що виготовляється зі шпону, фанери або пресованої тирси (рис. 6.7, е), яка має складну форму. З огляду на незначну вагу, низьку теплопровідність і малу матеріалоемність такі плити можуть використовуватися при виготовленні будівельних деталей, меблів, судів, вагонів тощо.

Завдяки просоченню деревини смолами, які хімічно впливають на стінки клітин, посилюючи їхню термопластичність, матеріал у момент гарячого пресування значно ущільнюється. Подальше затвердіння смоли призводить до фіксації структури та створює перешкоду для проникнення води в деревину, унаслідок чого виходить монолітний матеріал із високими фізико-механічними властивостями й високою водонепроникністю.

Створення у такого матеріалу певних властивостей у різних напрямках може бути досягнуто шляхом відповідного взаємного розташування волокон у його шарах. Так, якщо напрямок волокон у всіх шарах зробити однаковим, то можна досягти максимальної міцності листа в частковому напрямку. Шаруватий пластик із деревини такої конструкції прийнято позначати маркою ДСП-А (рис. 6.8, а), із нього виготовляють вкладиші підшипників, вальці тощо.

Можна скласти шаруватий пластик із деревини зі змішаним напрямком волокон, помістивши через кожні 10–20 шарів, що мають поздовжній напрямок волокон, один шар із поперечним напрямком волокон. На відміну від пластику попередньої марки, міцність його в поперечному напрямку стане трохи вище. Такий пластик позначається маркою ДСП-Б (рис. 6.8, б), із нього виготовляють деталі різних силових конструкцій, підшипники тощо. Пластик цієї марки застосовують також для виготовлення повзунів лісопилних рам, для чого шари його попередньо графітують.



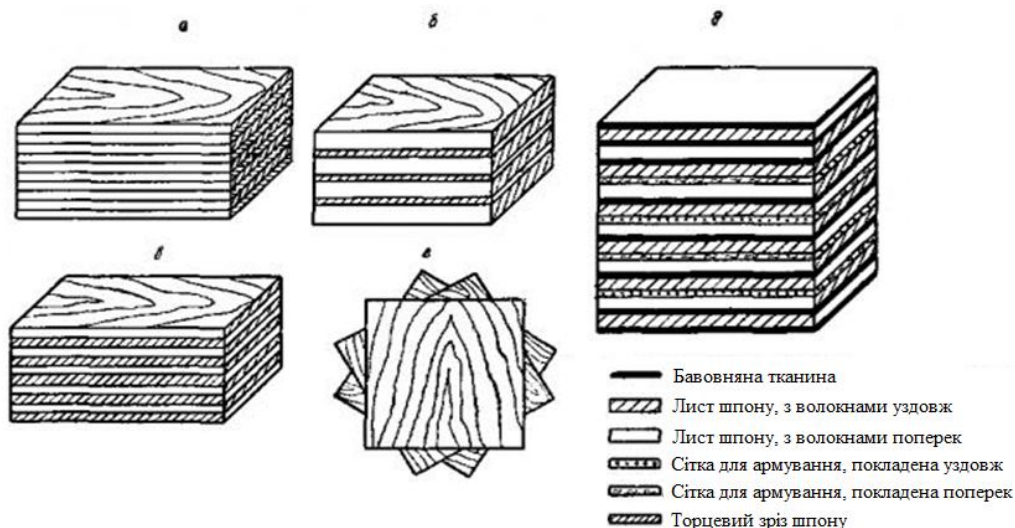


Рисунок 6.8 – Конструкція листів деяких видів деревних шаруватих пластиків:  
 а – деревний шаруватий пластик марки А з паралельним напрямком волокон;  
 б – те саме марки Б зі змішаним напрямком волокон; в – те саме марки В із перехресним напрямком волокон; г – то ж марки Г із зіркоподібним напрямком волокон; д – арктіліт СХ1-48 / 49 завтовшки 7,5 мм

Для отримання практично однакової міцності в двох взаємно перпендикулярних напрямках лист ДСП складають зі шпону, у двох сусідніх шарах якого напрями волокон утворюють кут  $90^\circ$ . Такий пластик позначається маркою ДСП-В, (рис. 6.8, в), із нього виготовляють вкладиші підшипників, матриці для штампів, кулі для млинів тощо. Крім того, пластик цієї марки, виготовлений за спеціальною технологією, застосовують в електропромисловості як ізоляційний і силовий матеріал.

Також можна скласти пластик зі шпону, напрями волокон у сусідніх листів якого складатимуть кут, відмінний від  $90^\circ$ , наприклад  $30^\circ$ ;  $45^\circ$  або  $60^\circ$ . Пластик з зіркоподібним напрямком волокон прийнято позначати маркою ДСП-Г (рис. 6.8, г), відмінною рисою його є велика рівномірність фізико-механічних властивостей в усіх напрямках (у площині листа). З нього виготовляють шестерні, фрикційні шківни та втулки.

*Балініт* є деревний шаруватий пластик, що виготовляється з хімічно обробленого шпону, напрями волокон у двох сусідніх листах якого складають кут  $90^\circ$ . Попередня хімічна обробка шпону дозволяє збільшити його об'ємну усушку й посилити термопластичність, завдяки чому збільшується щільність деревини та спресований з неї пластик має більш високі фізико-механічні показники. Однак, зважаючи на значну неоднорідність такого пластику (сильного коливання фізико-механічних властивостей по площі й товщині аркушів) останнім часом він майже не виготовляється.

*Арктіліт* становить деревний шаруватий пластик, між шарами якого вміщено кілька рядів тканої металевої сітки. Крім того, до його складу входить бавовняна тканина (рис. 6.8, д). Завдяки такій конструкції він має високу міцність і водостійкість і не схильний до корозії. Арктіліт використовується для виготовлення силових конструкцій і як матеріал для обшивки в суднобудуванні. Для електропромисловості він випускається без металевої сітки.

Крім основних видів деревних шаруватих пластиків, зазначених у наведеній класифікації, існують і інші їхні різновиди, які відрізняються своїми фізико-механічними властивостями внаслідок інших технологічних режимів виготовлення (рис. 6.9).



Рисунок 6.9 – Фанерна плита

*Фанерною плитою* умовно прийнято називати багат шаровий матеріал завтовшки від 20 мм до 45 мм. Володіючи досить високою міцністю та незмінністю розмірів, він знайшов застосування в сільгоспмашинобудуванні, вагонобудуванні та інших галузях промисловості.

Напівфабрикатом для виготовлення більшості видів клеєної шаруватої деревини є листи сухого шпону певних розмірів. Технологічний процес їх отримання складається з таких операцій:

- лущення шпону,
- розрізання стрічки шпону на листи заданого формату;
- сушіння;
- сортування;

– лагодження шпону.

Для збільшення корисного виходу шпону з сировини повноформатні аркуші можна складати з окремих шматків, одержуваних на першій стадії луцення цурка. Технологічний процес обробки залежить від довжини шматків. Шпон проходить такі технологічні операції, як прирізання шматків по ширині, сушіння, обробка бічних крайок, сортування за шириною, кольором і текстурою, ребросклеювання шматків у повноформатні листи.

Стругання шпону, як і луцення, становить різання деревини поперек волокон. На відміну від луцення, при струганні ніж ділить брус або при власному поступальному русі, або при поступальному русі бруса, до того ж одержувані листи фанери мають таку саму ширину, як і брус. Оскільки різальний інструмент встановлюється під деяким кутом до поверхні бруса, для зменшення розтягуючих напружень, що виникають в окремому шарі, необхідно обтискати шар, який відокремлюють.

Операція стругання виконується на горизонтальному або вертикальному фанеростругальному верстаті. Верстати такого типу можуть бути різних розмірів, до того ж деякі з них дозволяють обробляти бруси завдовжки 2–5 м, завширшки та заввишки до 1,2 м.

Корисний вихід струганого шпону з сировини залежить від його діаметра, схеми розкрою і, частково, породи деревини. Найвищий вихід шпону виходить із сировини великого розміру, виняток становить випадок, коли сировина оброблена секторним способом, при якому збільшується вихід радіального шпону. Кількісний вихід шпону може бути охарактеризований числом квадратних метрів, які одержано з одного ванчеса, або  $1 \text{ м}^3$  сировини.

Практика показує, що з  $1 \text{ м}^3$  дубової сировини при товщині шпону 0,8 мм виходить близько 700–750  $\text{м}^2$ , а при товщині шпону 1 мм – 530–620  $\text{м}^2$ . Витрата сировини діаметром 50–60 см на виготовлення 1 000  $\text{м}^2$  шпону становить 1,4–1,65  $\text{м}^3$ .

Поліпшення використання деревини при виробництві струганого шпону може бути досягнуто 100 %-ною переробкою горбилю та дощок, виготовляючи з них різні предмети (меблі, бочкову тару тощо).

Великопрольотні клеєні дерев'яні конструкції (далі – БКДК) – це один із найпопулярніших видів виробів. БКДК становлять несучі балки, арки, ферми й рами, які можуть мати постійний або змінний перетин, можуть бути гнотоклеєними або прямолінійними.

Довжина однієї балки може становити до 60 метрів, а максимум, можливий на найсучасніших виробництвах, становить 80 метрів. При цьому висота бруса може досягати 2,2 метрів, а товщина – 1 м.

Вироби цієї групи успішно замінюють залізобетонні та сталеві аналоги й використовуються при будівництві спорткомплексів, аквапарків, басейнів, тенісних кортів, виставкових центрів, торгово-розважальних комплексів, складських і виробничих приміщень, ангарів тощо (рис. 6.10). На відміну від сталі й залізобетону БКДК не бояться корозії, мають незначний власну вагу, мають високу вогнестійкість і тривалим терміном експлуатації.



Рисунок 6.10 – Застосування клеєної деревини для великопрольотних клеєних дерев'яних конструкцій

Клеєні панелі з дерева – ще один приклад перспективного напрямку у виробництві й будівництві. Технологія полягає в склеюванні ламелей хрест-на-хрест до отримання масивних панелей. Розміри панелі можуть становити до 300 мм у товщину, 3000 мм у висоту й 12 000 мм у довжину.

Далі з такою заготовки вирізують готові елементи майбутнього панельного будинку – стіни з віконними та дверними отворами, штроби для прокладки комунікацій, монтажних вузлів. Потім деталі доставляють на будмайданчик і негайно монтують без застосування мокрих процесів. Унаслідок цього значно скорочуються витрати й терміни зведення споруд (рис. 6.11).

Панелі мають підвищену теплоізоляцію, міцність, сейсмостійкість. Вони можуть виконувати як несучі, так і огорожувальні функції, замінювати перекриття поверхів і покрівель. Завдяки натуральному складу ці вироби створюють максимально сприятливий мікроклімат і вологісний режим у приміщенні. Будівництво дерев'яних панельних будинків є доцільним рішенням для середнього класу споживачів. При порівняно невисокій вартості виходить екологічно чисте, гарне й досить комфортне житло, що відповідає всім сучасним стандартам.



Рисунок 6.11 – Клеєні панелі з дерева

Можливість прокладки всіх комунікацій усередині стін полегшує внутрішню обробку. Вироби класу «люкс» мають поверхню меблевої якості, яка за бажанням замовника може бути фрезерована під брус або вагонку. Звичайні панелі можна обробити гіпсокартоном, деревом або покрити декоративною штукатуркою.

Зовнішня фасадна обробка припускає використання тинькування по сітці або навісних конструкціях, таких як блокхауз, вагонка, сайдинг або фасад зі штучного каменю. Після зведення коробки й підводки комунікацій можна відразу приступати до внутрішнього та зовнішнього оздоблення, оскільки матеріал не дає усадки й не схильний до деформацій.

Висока пружність і гнучкість конструкцій дає змогу реалізувати нестандартні рішення.

Отже, дерев'яні клеєні конструкції можна віднести до екологічно безпечних, міцних, довговічних і комфортних для людей. У багатьох розвинених країнах будівництво житла та громадських будівель вже сьогодні практично не обходиться без застосування цих технологій.

#### *Класи міцності деревини*

Класи міцності визначаються міцністю деревини на згині мають позначки:

- для цільної деревини хвойних і м'яких листяних порід СХХ;
- для багат шарової клеєної деревини GLXX;
- для деревини твердих листяних порід DXX; у яких ХХ означає характеристичний опір деревини згину.

Клас міцності становить генеральну сукупність характеристичних опорів: згину, розтягу вздовж волокон і поперек волокон, стисканню вздовж і поперек волокон, сколюванню паралельно волокнам; показників жорсткості: модуля пружності вздовж волокон, 5 %-го квантіля модуля пружності, модуля пружності поперек волокон, модуля зсуву; густоти й середньої густоти деревини.

Для несучих елементів конструкцій із цільної деревини потрібно застосовувати пиломатеріали хвойних порід класів міцності C 14÷C 50 (дванадцять класів).

Деревина клеєна в залежності від розмірів поперечних перерізів елементів і конструкцій приймається двох видів. При висоті перерізів до 60 см застосовується однорідна клеєна деревина класів міцності GL 24h÷GL 36h (чотири класи). При висоті перерізів більше ніж 60 см застосовується комбінована клеєна деревина класів міцності GL 24c÷GL 36c (чотири класи).

У вузлах і з'єднаннях конструкцій і елементів робочі деталі потрібно виконувати з твердих листяних порід класів міцності D 30÷D 70.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетов Д. П. Архитектурное материаловедение : учебник для вузов / Д. П. Айрапетов. – М. : Стройиздат, 1983. – 310 с.
2. Рыбьев И. А. Основы строительного материаловедения в лекционном изложении : учебное пособие / И. А. Рыбьев. – М. : Амстрель : АСТ : Хранитель, 2006. – 604 с.
3. Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова. – Київ : ТОВ УАВК «Екс Об», 2004. – 704 с.
4. Большаков В. И. Строительное материаловедение : учебник для вузов / В. И. Большаков, Л. И. Дворкин. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2004. – 677 с.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона : учебник / Ю. М. Баженов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
6. Захарченко П. В. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали : підручник / П. В. Захарченко, Е. М. Долгий. – Київ : КНУБА, 2005. – 512 с.
7. Клиндт Л. Стекло в строительстве : / Л. Клиндт, В. Клейн; пер с нем. – М.: Стройиздат, 1981. – 286 с.
8. Фокин Г. С. Справочник строителя. Современные строительные материалы / Г. С. Фокин, Е. В. Кондращенко. – Харьков : АЛЕВ ИНФОТРЕЙД, 2008. – 425 с.
9. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – М. : Стройиздат, 1979. – 476 с.
10. Козлов В. В. Сухие строительные смеси / В. В. Козлов. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2000. – 95 с.
11. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков. – М. : АО «Астра семь», 1998. – 768 с.
12. СТО СРО-С 60542960 00050-2015 Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями. – Введен 12.02.2015. – М., 2015. – 89 с.
13. Войлоков И. А. Самоуплотняющиеся бетоны. Новый этап развития бетоноведения / И. А. Войлоков // Экспозиция. Бетоны & Сухие смеси, 2008. – № 65. – С. 5–8.
14. Ушеров-Маршак А. В. Взгляд в будущее бетона / А. В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 4–5.

15. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов: бюллетень Construction Chemicals. – 2009. – № 5. – С. 13–16.
16. Базанов С. М. Самоуплотняющийся бетон – эффективный инструмент в решении задач строительства [Электронный ресурс] / С. М. Базанов, М. В. Торопова. – Режим доступа : <http://www.ibeton.ru>.
17. Каприелов С. С. Новые модифицированные бетоны в современных сооружениях / С. С. Каприелов, Г. С. Кардумян // Бетон и железобетон. Бетонные изделия. – 2011. – С. 78–82.
18. Калашников В. И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В. И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 4–6.



*Навчальне видання*

**КОНДРАЩЕНКО** Олена Володимирівна

**БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ДЛЯ  
СУЧАСНОГО БУДІВНИЦТВА**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *А. А. Жигло*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *О. В. Кондращенко*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 15.06.2019.      Формат 60×84/16.

Друк на різнографі.      Ум. друк. арк. 9,4

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.