



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

**Л. Й. Дворкін**

## **Архітектурне матеріалознавство**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

***Підручник***

*Затверджено вченою радою Національного університету  
водного господарства та природокористування*

Рівне – 2022



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

УДК 72.023:691(075)

Д24

### **Рецензенти:**

**Ричков П.А.**, доктор архітектури, професор Національного університету водного господарства та природокористування;

**Толмачев С.М.**, доктор технічних наук, професор Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

*Затверджено вченою радою Національного університету  
водного господарства та природокористування.  
Протокол № 2 від 25 березня 2022 р.*

### **Дворкін Л. Й.**

**Д24** Архітектурне матеріалознавство : підручник. – Рівне : НУВГП, 2022. – 560 с.

**ISBN 978-966-327-532-1**

В підручнику висвітлюються основні види і властивості сучасних будівельних матеріалів, напрямки їх застосування при зведенні будівель та споруд. Особлива увага відведена характеристиці будівельних матеріалів, що застосовуються у сучасній архітектурі. Показано вплив складу та структури, особливостей технології на властивості матеріалів та виробів, шляхи вдосконалення їх структури, підвищення довговічності. Розглянуто основні напрямки розвитку технології будівельних матеріалів та виробів як матеріальної бази сучасної архітектури.

Підручник призначений для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю «Архітектура та містобудування». Він може бути використаний також спеціалістами, які працюють у галузі будівництва та архітектури.

**УДК 72.023:691(075)**

**ISBN 978-966-327-532-1**

© Л. Й. Дворкін, 2022  
© НУВГП, 2022



## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	6
<b>1. Розвиток архітектури та її матеріальна база</b> .....	7
1.1 Основні історичні етапи розвитку архітектури.....	7
1.2 Сучасна матеріальна база архітектури.....	23
<b>2. Класифікація та стандартизація будівельних матеріалів</b> .....	38
2.1 Загальна класифікація будівельних матеріалів.....	38
2.2 Архітектурно-будівельна класифікація.....	43
2.3 Стандартизація та оцінка якості матеріалів.....	44
2.4 Будівельні матеріали як стохастичні об'єкти.....	49
<b>3. Склад та структура матеріалів</b> .....	54
3.1 Склад матеріалів.....	54
3.2 Структура матеріалів.....	59
<b>4. Загальні властивості будівельних матеріалів</b> .....	77
4.1 Фізичні властивості.....	77
4.2 Механічні властивості.....	104
4.3 Хімічні властивості.....	127
<b>5. Природні кам'яні матеріали</b> .....	130
5.1 Гірські породи.....	131
5.2 Основні види виробів з природного каменя.....	137
5.3 Способи виробництва природних кам'яних матеріалів... ..	145
<b>6. Керамічні матеріали</b> .....	149
6.1 Стінові матеріали.....	150
6.2 Фасадні керамічні вироби.....	154
6.3 Плитки для внутрішнього облицювання стін і підлог....	162
6.4 Кераміка для покрівель та труб. Вогнетривка та кислототривка кераміка.....	168
6.5 Основні технологічні процеси керамічних виробництв..	172
<b>7. Скло і склокристалічні матеріали</b> .....	176
7.1 Види і склади скла.....	176
7.2 Технологія виготовлення скла і його властивості.....	179
7.3 Листове скло.....	184
7.4 Опоряджувальні вироби зі скла.....	192
7.5 Склокристалічні вироби.....	204
7.6 Мінеральна і скляна вата.....	210



<b>8. Мінеральні в'язучі матеріали.....</b>	<b>215</b>
8.1 Гіпсові в'язучі.....	216
8.2 Будівельне вапно.....	229
8.3 Магnezіальні в'язучі матеріали.....	237
8.4 Рідке скло.....	241
8.5 Цементи.....	243
<b>9. Органічні в'язучі матеріали.....</b>	<b>263</b>
9.1 Бітумні та дьогтеві в'язучі.....	263
9.2 Полімерні в'язучі.....	275
<b>10. Будівельні розчини.....</b>	<b>289</b>
10.1 Вихідні матеріали. Виробництво будівельних розчинів..	289
10.2 Мурувальні розчини.....	293
10.3 Штукатурні розчини.....	297
10.4 Декоративні розчини.....	303
10.5 Розчини для підлог.....	315
10.6 Спеціальні розчини.....	316
10.7 Сухі будівельні суміші.....	324
<b>11. Цементні бетони.....</b>	<b>332</b>
11.1 Структура та склад бетонів.....	333
11.2 Властивості бетонних сумішей та бетонів.....	342
11.3 Різновиди важких бетонів.....	360
11.4 Декоративні (архітектурні) бетони.....	366
11.5 Легкі бетони.....	372
11.6 Проектування складів бетону.....	379
<b>12. Бетони на нецементних мінеральних в'язучих.....</b>	<b>391</b>
12.1 Силікатні бетони.....	391
12.2 Шлакові і зольні бетони. Шлаколужні бетони.....	394
12.3 Шлаколужні бетони.....	398
12.4 Гіпсобетони.....	401
<b>13. Залізобетон, фібробетон, азбестоцемент.....</b>	<b>405</b>
13.1 Залізобетон.....	405
13.2 Фібробетони.....	412
13.3 Азбестоцемент.....	414
<b>14. Матеріали з застосуванням органічних в'язучих.....</b>	<b>422</b>
14.1 Асфальтові і дьогтебетони.....	422
14.2 Дьогтебетон.....	430
14.3 Бітумні і дьогтеві емульсії, пасти, мастики.....	431



14.4 Бітумні і дьогтеві рулонні матеріали.....	434
14.5 Полімерні бетони та мастики.....	438
14.6 Полімерцементні матеріали.....	443
14.7 Полімерні вироби и для облицювань і підлог.....	447
14.8 Лакофарбові матеріали.....	465
14.9 Матеріали для обклеювання стін.....	472
<b>15. Матеріали з деревини.....</b>	<b>478</b>
15.1 Будова деревини.....	479
15.2 Фізико-механічні властивості деревини.....	486
15.3 Пиломатеріали, погонажні вироби.....	492
15.4 Паркетні матеріали.....	498
15.5 Матеріали з клееної деревини.....	508
15.6 Деревностружкові, деревноволокнисті і цементностружкові плити.....	516
<b>16. Металеві матеріали.....</b>	<b>525</b>
16.1 Залізвуглецеві сплави та сплави з кольорових металів..	526
16.2 Технологія металевих сплавів.....	531
16.3 Структура, склад і властивості сплавів.....	540
16.4 Листовий прокат та профільовані вироби.....	546
16.5 Сендвіч-панелі. Композитні панелі.....	556
Література.....	559



## Передмова

Архітектура (лат. "architectura" – будівництво) – мистецтво та наука проектувати та будувати будівлі та споруди, необхідні для життя та діяльності людини. Під "архітектурою" розуміють і безпосередньо саму сукупність будівель та споруд, що створюють матеріально організоване середовище, а також стиль і характер будівель у відповідності з певними технічними можливостями та естетичними уявленнями.

Архітектура є об'єктом діяльності будівельників – архітекторів. Слово "архітектор" походить від двох грецьких слів: "архі" – головний та "tektōn" – будівник). Розробка проектів будівель та споруд та забезпечення їх необхідних функціональних, технічних та естетичних характеристик потребує правильного вибору будівельних матеріалів та виробів, обґрунтування раціональних технологічних параметрів їх отримання та застосування, тому в комплексі базових навчальних дисциплін, які забезпечують необхідний кваліфікаційний рівень підготовки архітекторів, важливе місце займає будівельне матеріалознавство. У цьому підручнику, враховуючи різноманіття будівельних матеріалів, що застосовуються в сучасних будівлях та спорудах, наводиться їх класифікація, викладаються основи стандартизації матеріалів. Розглядаються основні уявлення про склад та структуру матеріалів, шляхи управління ними, основні технологічні процеси.

Вибір матеріалів для зведення, ремонту та реставрації споруд базується насамперед на їх властивостях. У підручнику спеціальний розділ відведено висвітленню фізичних, механічних та хімічних властивостей будівельних матеріалів.

Системно розглядається характеристика важливих для архітектурно-будівельної практики матеріалів та виробів на їх основі.

Особлива увага у підручнику приділяється питанням довговічності матеріалів, їх можливому застосуванню в оздоблювальних та реставраційних роботах, новим перспективним для архітектурно-будівельної практики матеріалам.



# 1. РОЗВИТОК АРХІТЕКТУРИ І ЇЇ МАТЕРІАЛЬНОЇ БАЗИ

## 1.1. Основні історичні етапи розвитку архітектури

**Архітектура стародавнього світу.** Розвиток архітектури як організації середовища довкілля людини тісно пов'язана з можливими для застосування будівельними матеріалами. У період первісного суспільства та зародження архітектури (неоліт IX–VI тис. до н.е.) для будівництва житла широко застосовують дерево, очерет, глину, у бронзовому столітті (IV–I тис. до н.е.) набувають широкого поширення *споруди мегалітичні* з кам'яних брил (рис. 1.1).



**Рис. 1.1.** Мегалітична споруда

Більше п'яти тисяч років до нашої ери на землях рік Тигр і Евфрат виникла цивілізація Месопотамії, а з другого тисячоліття до нашої ери Вавілонської імперії.

Основним будівельним матеріалом стала цегла-сирець. Випалену цеглу застосовували в основному як облицювальний матеріал. Кладку виконували на глинистому розчині, зміцнюючи шви очеретом. Гідроізоляцію стін та влаштування підлог виконували з використанням природного бітуму.



В столиці Вавилонської імперії зведена монументальна споруда Вавилонська вежа (рис. 1.2) висотою близько 90 м, виконана з цегли-сирцю та облицьована випаленою цеглою на бітумному розчині.

До характерної архітектури стародавнього світу відносять також архітектуру стародавнього Єгипту. Тут для зведення будівель широко використовували рваний камінь і цеглу-сирець, що виготовлялась з суміші мулу, дрібної гальки і рубаної соломи шляхом заповнення дерев'яних форм і висушуванням на сонці. Для монументальних споруд застосовувалися великі обтесані кам'яні блоки. До унікальних монументальних споруд, зведених в епоху Єгипетських фараонів відносяться гробниці, що мають форму зрізаних пірамід з похоронними камерами, де встановлювалися саркофаги з муміями.



**Рис. 1.2.** Вавилонська вежа

Найбільш грандіозною є піраміда Хеопса (рис. 1.3), висота якої становить 146,6 м, довжина сторони основи 233 м. Піраміда складена з вапнякових блоків вагою близько 2,5 т. На спорудження піраміди пішло 2,3 млн блоків.





**Рис. 1.3.** Піраміда Хеопса

Монументальними спорудами Єгипетського періоду були храми, найбільшими з яких є храми Амона (бога Сонця) (рис. 1.4).

**Античний період.** Основою *античної архітектури* є архітектура Греції (XII ст. до н.е.) і Риму (VII ст. до н.е. – V ст. н.е.).



**Рис. 1.4.** Храм Амона в Єгипті



В античний період у Греції основними будівельними матеріалами були деревина, цегла-сирець, вапняк, мармур. Останні застосовували під час будівництва монументальних будівель та храмів. Найбільш відомими пам'ятками давньогрецької архітектури є храми Афіньського акрополя. Головну споруду акрополя храм Парфенон (рис. 1.5) опоясує 160 метровий мармуровий фриз.



**Рис. 1.5.** Храм Парфенон

Зводяться також такі потужні інженерні споруди, як маяк на о. Родос (III ст. до н.е.) який представляє величезну статую (Колосс) (рис. 1.6) покриту бронзовими листами.

Грецька архітектура античного періоду була розвинена римлянами. З античним періодом розвитку римської архітектури пов'язаний ряд великих технічних досягнень, піднявших будівельне мистецтво на досить високий рівень. Слід зазначити, перш за все, відкриття римлянами технології водостійких розчинів і значне поліпшення їх якості за рахунок використання чистих і фракціонованих заповнювачів замість ґрунту, що раніше застосовувався, використання ряду мінеральних і органічних добавок і ретельне ущільнення сумішей в'язучих і заповнювачів.



**Рис. 1.6.** Колос Родоський. Гігантська статуя бога Сонця

Римляни запозичили технологію отримання вапна у греків. Вапно вперше почали широко застосовувати на о. Крит, потім в Греції. Воно набуло широкого поширення в Римській імперії. Римляни не тільки досягли великих успіхів у технології отримання вапна і вапняних розчинів, але і залишили трактати про мистецтво їх отримання. У своєму знаменитому трактаті «Десять книг про архітектуру» римський архітектор і інженер Марк Вітрувій Полліон писав «Вапняк, випалений в печі, втрачає під дією сильного жару свою міцність; його зчеплення слабшає, пори залишаються відкритими і неактивними. Внаслідок цього волога і повітря, що знаходилися в тілі каменя, випаровуються, а тепло частково залишається. Занурена у воду до того, як розсіялося її тепло, ця речовина набуває міцності, завдяки проникненню води у всі пори, кипить і виділяє бульбашки газу, поки не втратить все тепло. Відкриті пори вапняку легко сприймають у себе пісок, що домішується, і зчіплюються з ним; при висиханні утворюється щільний камінь».

Більше двох тисяч років назад (у 160 р. до нашої ери) римський консул Марк Порцій Катон Старший вніс до своєї книги, присвяченої будівельному мистецтву, таку пораду



випалювачу вапна: «Камінь у піч клади добрий, найбільший без будь-якої строкатості».

Римляни не лише вміли виготовляти високоякісні вапняні розчини для надземної кладки. Змішуючи вапно з вулканічним туфом, що добувався біля містечка ПUTEОЛИ, вони отримували водостійкі розчини і бетони для гідротехнічних споруд. Всі активні мінеральні добавки, близькі за властивостями до вулканічного туфу, отримали назву за назвою міста ПUTEОЛИ (сучасна назва – Поццуолі) пуццолан.

За допомогою вапняних розчинів і бетонів римляни побудували багато фундаментальних споруд, що збереглися до теперішнього часу, в т.ч. Пантеон в Римі (рис. 1.7).



**Рис. 1.7.** Пантеон в Римі

В часи Римської імперії виник і термін «цементи». Цікаво, що термін «цемент» римляни спочатку застосовували для позначення таких матеріалів, які зараз носять назву штучних пуццолан. Надалі цей термін служив для визначення розчинів. Так, в такій авторитетній середньовічній праці, як книга Бартоломея Англікуса «Про властивості речей» говориться: «Вапно...це випалений камінь; при змішуванні його з піском і водою утворюється цемент». Термін «розчин» почав застосовуватися приблизно з кінця XIII ст.



Після падіння Римської імперії середньовічна архітектура (V–XV ст.) переживала певний занепад, зумовлений зниженням загального рівня будівельної техніки та відповідно якості будівельних матеріалів.

У Візантії, де архітектура продовжувала розвиватися під впливом християнської релігії, стіни, опори, склепіння будівель зводилися з природного каменю та цегли. основним будівельним матеріалом була випалена плоска цегла-плінфа, що укладалась на товстому шарі вапняного розчину з добавкою товченої цегли-цем'янки. У склепіннях встановлювалися металеві або дерев'яні зтяжки та розтяжні кільця. Виготовляли також непрозоре кольорове скло-смальту. Вперше таке скло почали виготовляти у Єгипті у IV ст. до н.е.

Візантійська кладка та вапняний розчин були використані в Київській Русі при зведенні Софійського собору (рис. 1.8), Десятинної церкви та Золотих воріт (X–XI ст.). Стіни Московського Кремля було складено 1485–1495 рр. також на вапняному розчині.

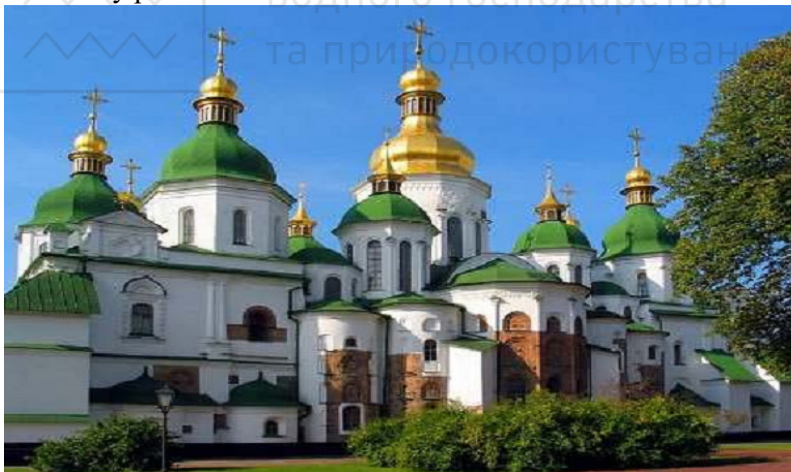


Рис. 1.8. Софійський собор (м. Київ)

### **Готична архітектура. Архітектура Ренесансу і бароко.**

У XII–XIII ст. в країнах Західної Європи починає розвиватися будівництво і зароджується т.зв. *готична архітектура*. Стіни будівель з масивних конструкцій з невеликими отворами



перетворюються на ряд вузьких простінків, між якими розміщуються широкі та високі віконні отвори. Як стінові матеріали застосовують природний камінь і цеглу, метал використовується для деталей кріплення і декоративних виробів. Для заповнення віконних отворів застосовують звичайне та кольорове скло у вигляді вітражів.

У XV–XVII ст. в країнах Європи з розвитком промислового виробництва розвивається *архітектура Ренесансу* (Відродження). Головними елементами архітектурного стилю стали симетрія, пропорція та гармонія. Особливого значення надається оздоблювальним роботам. Застосовуються ліпний живопис по штукатурці та ліпні прикраси (рис. 1.9).



**Рис. 1.9.** Палаццо Медічі-Ріккарді

У розвитку архітектури Ренесансу, що набула найбільшого розвитку в Італії, велике місце займає будівництво палаців, що відрізняються монументальністю, симетричністю та гармонією пропорцій.

Яскравим представником архітекторів періоду Ренесансу є Мікеланджело, роботи якого вирізняються високою естетичністю. Мікеланджело став основоположником стилю *бароко* (від італійського «хімерний, дивний»). Для бароко



характерна складність просторових побудов, фасади та інтер'єри будівель відрізняються грандіозністю, химерною пластикою, широко використовується живопис, скульптура.

На початку XVIII століття бароко перетворюється на стиль *рококо*, що відрізняється характером декору, використанням більш м'яких пастельних тонів.

Архітектура Ренесансу поширювалася також в Україні зокрема при забудові Львова та Кам'янець-Подільського. На площі Ринок у Львові збереглися унікальні пам'ятки житлової архітектури – кам'яниці, що розміщені на вузьких ділянках вздовж однієї лінії. Фасад і зовнішні пілястри кам'яниць вкриті тесаним каменем і оздоблено орнаментами та різьбленням (рис. 1.10).



**Рис. 1.10.** Чорна Кам'яниця. Львів, 1577

У ренесанському стилі у Львові на площі Ринок зведений ансамбль, що складається з Успенської церкви, вежа Корнякта та каплиці Трьох Святителів) (рис. 1.11).



**Рис. 1.11.** Успенська церква, вежа Корнякта, каплиця Трьох Святителів (Львів)

**Архітектура класицизму.** У середині XVII в європейських країнах з розвитком буржуазії та капіталістичних відносин в архітектурі відбувається розвиток нового стилю-*класицизму*. Для нього характерні раціоналізм, прагнення до простоти, строгості і водночас до гармонії та досконалості. З класицизмом пов'язані найбільш масштабні проекти XVIII та першої половини XIX ст., з'являються нові міста, парки, курорти.

На рис. 1.12 приведений «червоний корпус» Київського національного університету спроектований італійським архітектором Вікентієм Беретті в стилі класицизму, Будівництво навчального закладу почалося в 1837 році і тривало шість років.





**Рис. 1.12.** «Червоний корпус»  
Київського національного університету

Із загальним підйомом будівництва у другій половині XVIII ст. пов'язаний і початок інтенсивних досліджень по отриманню нових ефективних будівельних матеріалів, систематизації наявного емпіричного досвіду по отриманню і застосуванню традиційних матеріалів. У цей період були винайдені і почали застосовуватися для отримання водостійких розчинів і бетонів гідралічне вапно та романцемент, а трохи пізніше, на початку XIX ст. – портландцемент.

Гідралічне вапно винайдене Джоном Смітоном (1793 р.) у зв'язку з необхідністю будівництва маяка на Едістонській скелі (рис. 1.13). Рішення про будівництво маяка було прийняте ще в 1756 р. Внаслідок обширних експериментальних досліджень Смітоном була встановлена можливість отримання вапна, що повільно тверднуло у воді, з вапняків з підвищеним вмістом глинистих домішок. Для будівництва маяка Смітон обрав розчин на основі гідралічного вапна і добавки пуцолани. Результати своїх досліджень Смітон описав у написаній ним книзі. Проте гідралічне вапно ще довгий час не знаходило широкого використання і будівельники для водостійких



розчинів віддавали перевагу суміші вапна повітряного тверднення і пуцоланових добавок.



**Рис. 1.13.** Едістонський маяк

Розвиваючи дослідження Д. Смітона, Джеймс Паркер в 1796 р. запатентував романцемент (назва цьому цементу дана з рекламних міркувань і не відповідає суті «римського цементу»), здатний швидко тужавити, тверднути без попереднього гашення і набувати підвищеної міцності. Цемент Д. Паркера широко застосовувався у будівництві до середини ХІХ ст., коли він почав витіснятися портландцементом.

У 1818 р. французький вчений Луї Жозеф Віка опублікував роботу «Експериментальні дослідження будівельного вапна, бетонів і звичайних розчинів». У ній запропонована класифікація гідралічного вапна залежно від масового співвідношення кремнезему і глинозему до оксиду кальцію. Ця класифікація застосовується до теперішнього часу. Луї Віка, давши рецепт отримання штучного гідралічного вапна випалюванням суміші спільно подрібненої крейди і глини, став одним з «батьків» портландцементу.

Професор Петербурзького інституту корпусу інженерів шляхів сполучення французький вчений Антуан де Шарлевіль



опублікував в 1822 р. «Трактат про мистецтво виготовляти хороші будівельні розчини», в якому наводить результати досліджень вапнякових порід Петербурзької губернії з метою отримання повітряного і гідравлічного вапна. У трактаті викладаються основи технології отримання гідравлічних добавок, спосіб підбору складу розчинів.

Ідея отримання гідравлічного в'язучого випалюванням штучної суміші вапнякового і глинистого компонентів була розвинена незалежно один від одного Джозефом Аспдіном (Англія) і Єгором Челієвим (Росія).

Д. Аспдін отримав (1824 р.) патент на «удосконалення способу отримання штучного каменю» який названий ним портландцементом (через схожість з вапняками з каменоломень на острові Портленд). Д. Аспдін рекомендував виготовляти цемент з вапнякового пилу, зібраного на дорогах, вимощених вапняком, який після випалу на вапно змішують з глиняним шламом. Масове співвідношення компонентів в патенті не вказувалося, а випалювання суміші рекомендувалося лише до повного видалення  $\text{CO}_2$ . Цемент Д. Аспдіна був використаний в 1828 р. у роботах по спорудженню тунелю під Темзою.

У соту річницю винаходу Аспдіна в залі Міської Ради м. Лідса Американською портландцементної асоціацією була встановлена меморіальна бронзова дошка «Пам'яті Джозефа Аспдіна з Лідса, ... чий винахід портландцементу... з подальшим удосконаленням впродовж сторіччя його виробництва і використання зробив весь світ його боржником».

Є. Челієв запропонував виготовляти цемент із суміші вапна і глини при ретельному змішуванні компонентів та випалюванні при температурі «білого жару» ( $1100...1200^\circ \text{C}$ ). Для покращення якості готового цементу Є. Челієв рекомендував додавати до нього гіпс.

Цемент Є. Челієва був використаний у відновлювальних роботах у Москві після війни 1812 р. Результати роботи Є. Челієва викладені в книзі «Повна настанова як виготовляти дешевий і кращий мертель або цемент, досить міцний для підводних будівель, як каналів, мостів, басейнів, гребель,



підвалів і штукатурки кам'яних і дерев'яних будівель» (1825 р.)  
(рис. 1.14).

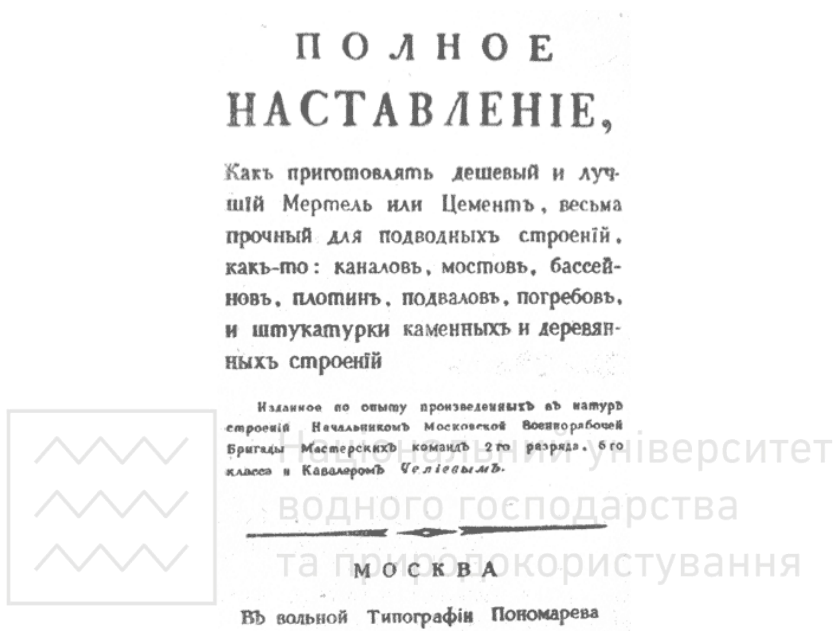
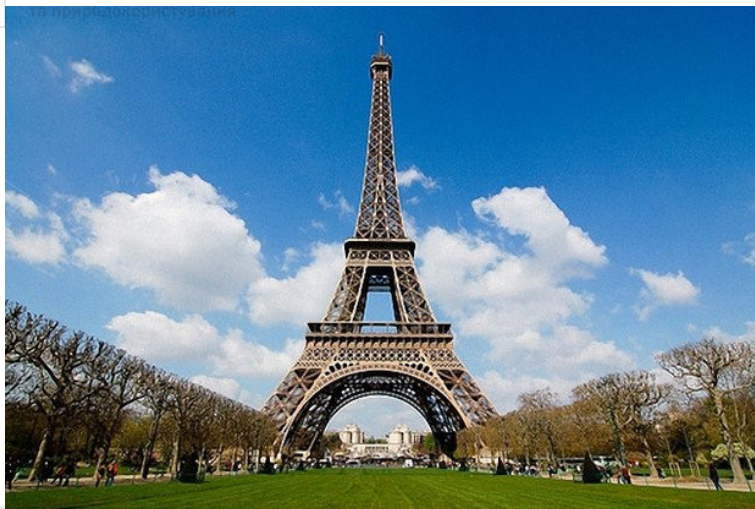


Рис. 1.14. Титульний лист книги Єгора Челієва

Англійський винахідник І.Ч. Джонсон вже в 40-х роках XIX ст. істотно удосконалив технологію портландцементу, знайшовши необхідне співвідношення вапняку і глини в сировинній суміші і застосувавши підвищену температуру для випалення сировини й утворення клінкеру.

**Архітектура модерну.** Наприкінці XIX в Європі набуває поширення *архітектура модерну* з широким використанням металу, портландцементу, бетону, залізобетону. Цей напрямок сформувався на протигагу еkleктиці, яка змішувала деталі з різних стилів. Характерні риси стилю модерн: плавність, пластичність, декоративність. Розповсюдженню стилю сприяли широке промислове виробництво бетону, скла великого розміру, металоконструкцій, кераміки (рис. 1.15).



**Рис. 1.15.** Ейфелева вежа

Яскравим прикладом архітектури модерну є Ейфелева вежа у Парижі (1889 р.), висота якої сягає 324 м

Ера портландцементу, склади і технологія якого наближаються до сучасних, починається з 60-х років XIX ст. Перші цементні заводи з'явилися в Англії, а потім виробництво цементу поширилося по всьому світу. Основний агрегат для виробництва цементного клінкеру – обертова піч, був винайдений в 1877 р. (патент Кремптона і Ренсома). Одна з перших печей мала довжину 11 м і діаметр 1,5 м, а в 1900 р. вже були печі діаметром 2 м і довжиною 35 м. Їх добова продуктивність складала 30 т (сучасні обертові печі мають діаметр до 7 м, довжину до 230 м і продуктивність до 3000 т за добу). Дробарку (млин) для подрібнення клінкеру винайшов у 1892 р. французький інженер Девідсен. Усередині вона була футерована кварцовими плитками, в якості мелючих тіл використовувалася морська галька.

У Російській імперії перший цементний завод з виробництва портландцементу був побудований в 1856 р. у м. Гродзеце.



В Україні перший цементний завод було введено в дію у Амвросіївці в 1896 р. У 1898 р. був збудований Здолбунівський цементний завод. До першої світової війни цементна промисловість України випускала 250 тис. т. цементу за рік. Це становило близько 17% загального виробництва цементу в Російській імперії.

У кінці XIX ст. інтенсивно розвиваються експериментальні дослідження хіміко-мінералогічного складу цементу, пропонуються основні теоретичні гіпотези механізму його тверднення.

У 1881 р. були розроблені перші російські норми на портландцемент з методами визначення його властивостей. Д.І. Менделєєвим в книзі «Основи хімії» (1868–1870 рр.) розглянута низка питань по хімії цементів. М.А. Белелюбським розроблено ряд методів випробувань матеріалів, що увійшли до міжнародної практики.

Відомий французький хімік Ле Шательє, використовуючи оптичні методи і X-промені, в 1882 р. показав, що портландцементний клінкер містить 4 основних мінерали, названих у 1897 р. Торнебомом алітом, белітом, целітом і фелітом. Ле Шательє в 1887 р. опублікував кристалізаційну теорію тверднення цементу. У цей же період (1893 р.) німецький хімік В. Міхаеліс пропонує колоїдну теорію тверднення.

У XIX ст. було запропоновано основний конструкційний матеріал нашого часу – залізобетон. По впливу на розвиток світової цивілізації винахід залізобетону можна поставити в один ряд з відкриттями електрики або появою авіації. Практичне застосування цих відкриттів в країнах Європи і Північної Америки почалося приблизно одночасно. Спочатку з армоцементу були виготовлені човен (Ж. Ламбо, 1848 р.), садові діжки (Ж. Моньє, 1849 р.), а потім французький винахідник Моньє в 1867 р. отримав патенти на виготовлення залізобетонних будівельних виробів.

Архітектурний стиль модерн найбільш широко використовувався особливо при побудові суспільно значимих споруд – вокзалів, театрів, універмагів та ін. (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Головний залізничний вокзал м. Прага

## 1.2. Сучасна матеріальна база архітектури

Головними особливостями сучасної архітектури є практичність та естетичність. З початку ХХ століття розвивається такий архітектурний стиль, як *функціоналізм*. Відповідно до концепції функціоналізму інфраструктура та будівельні об'єкти повинні створюватися як єдине середовище, що суворо відповідає побутовим та виробничим умовам життя людини, що формується відповідно до соціальних технічних та естетичних вимог.

В якості основних матеріалів для будівництва будівель та споруд рекомендується бетон та залізобетон. Двадцяте століття стало «золотим століттям» бетону. Інтенсивний розвиток всіх областей будівництва дав потужний поштовх у розвитку теорії та технології бетону. Досліджуються питання довговічності бетону, його різноманітні властивості, складні взаємозв'язки структури, складу та властивостей бетону різних видів. Бетон і залізобетон стають основними матеріалами, що використовуються для будівництва капітальних споруд. Бетон з успіхом застосовується в суднобудуванні, машинобудуванні та інших галузях техніки. Інтенсивно розвивається технологія



бетону та залізобетонних виробів. Французький інженер Е. Фрейсіне у 1917 р. на будівництві мостів та ангарів застосовує зовнішнє вібрування для ущільнення бетону. На будівництві гребель США почали застосовувати спочатку поверхневі, та пізніше глибинні вібратори. У 1903 р. у Німеччині почали виготовляти товарні бетонні суміші на заводі шляхом дозування та змішування цементу з іншими вихідними матеріалами. Було розроблено промислові бетонозмішувачі. У 20-х роках у США з'явилися перші автобетонозмішувачі, а вже у 1930 р. там функціонує близько сотні бетонних заводів.

Ще в 1880 р. В.Михаєлис почав застосовувати для прискорення твердіння бетону та отримання вапняно-піщаного каміння гостру пару. Тепловологісна обробка пропарюванням стає основним способом прискорення твердіння бетону в заводській технології залізобетонних виробів. Розвивається також технологія автоклавних силікатних виробів.

До революціонізуючих ідей у виробництві залізобетонних конструкцій стала ідея попереднього напруження, що належить Е. Фрейсіне, який отримав патенти і опублікував сутність методу в 1933 р. у статті під назвою «Нові ідеї та погляди». Ці ідеї надалі були уточнені у книзі «Виклад загальних ідей попереднього напруження» (1949).

З початку промислового освоєння цементний бетон застосовувався як у монолітних, так і збірних конструкціях та спорудах.

Виробництво збірного залізобетону виросло в потужну галузь промисловості в 50-х роках ХХ ст. Були створені потужні підприємства з виготовлення збірних конструкцій цивільних та промислових будівель, труб, шпал, опор ЛЕП та ін. В СРСР у 1954 р. було виготовлено 28 млн м<sup>3</sup> збірних залізобетонних виробів, через 10 років у 18 разів, а в 1975р. – у 40 разів більше. Розвиток збірного будівництва зіграло, безсумнівно, позитивну роль в індустріалізації і механізації будівництва.

Розвивалося також виробництво монолітного бетону. Традиційними напрямками застосування монолітного бетону є гідротехнічне та дорожнє будівництво.





Найбільші обсяги монолітного бетону застосовуються при зведенні гідротехнічних споруд. Систематичне використання бетону в греблібудуванні призвело до витіснення гребель з кам'яної кладки. У 20–30-х роках минулого століття починає розвиватись технологія гідротехнічного бетону (рис. 1.17).



Рис. 1.17. Бетонна гребля ДніпроГЕС (1932 р.)

Зводяться такі бетонні греблі як: у США-Боулдер (Гувер), Норріс і Хайвоссі, у Німеччині – Шварценбах та Блейлох, у СРСР – Волховській, Дніпровській, Нижньо-Свірській ГЕС та ін. У 60–70 рр. будуються також висотні греблі Братської ГЕС (висота 125 м, обсяг бетонної кладки 4415 тис. м<sup>3</sup>), Красноярської ГЕС (висота 124 м, об'єм бетону 4600 тис. м<sup>3</sup>), Саяно-Шушенської ГЕС (висота 240 м<sup>3</sup>), обсяг бетону 8730 тис. м<sup>3</sup> (рис. 1.18).

З розвитком технології будівництва монолітний бетон у великих масштабах застосовується у будівництві. Перевага збірного чи монолітного варіанту зведення будівель визначається техніко-економічними, архітектурними та іншими вимогами. Залізобетон має низку переваг у порівнянні з металом при використанні в каркасах висотних будівель. З розробкою бетонів високої міцності з сумішей високої рухомості подача матеріалу на висоту здійснюється бетононасосами, що набагато



ефективніше за кранові операції.



**Рис. 1.18.** Саяно-Шушенська ГЕС

Поряд із розвитком технології важкого бетону у ХХ ст. розвивалася технологія виробництва легких та пористих бетонів. Застосування природних пористих заповнювачів для легкого бетону відоме було з давніх-давен. Ще римлянами запропоновано змішувати 1 ч. вапна, 2 ч. пуццолани і 1 ч. товченого туфу. Цей рецепт протягом багатьох століть застосовувався під час зведення гідротехнічних споруд. У 1917 р. американцю Хейду було видано патент на виробництво спучених глини та сланцю, прообразів пористих заповнювачів типу керамзиту. Застосування легких бетонів на пористих заповнювачах набуло найбільшого розвитку в США і СРСР. Область їх застосування охоплює велику номенклатуру конструкційно-теплоізоляційних виробів та несучих конструкцій. Легкі бетони стають одним із основних стінових матеріалів (рис. 1.19, 1.20). Вони застосовуються також у промисловому будівництві, в автодорожніх мостах, у дорожніх та аеродромних покриттях та ін. У США є досвід застосування легкого бетону в будинках висотою до 200 м. (рис. 1.20) на Алясці через р. Канаї споруджений чотирипролітний керамзитозалізобетонний міст.



**Рис. 1.19.** Будівництво багатоповерхових будівель із застосуванням блоків з керамзитобетону



Блок  
Стандарт



Повнотілий  
блок



Вентиляційний  
блок



Двохпустотний  
блок



Перегородкові блоки



**Рис. 1.20.** Керамзитобетонні блоки



Поряд з легкими бетонами на пористих заповнювачах розвивається виробництво пористих та багатьох спеціальних видів бетону.

Технологія бетону, що розвивається, і область його застосування, що постійно розширюється, ставить нові завдання перед цементною промисловістю. Збільшується обсяг виробництва цементу, покращуються його якісні показники. Випуск цементу в середньому у всьому світі на душу населення наблизився до 200 кг, досягаючи в економічно розвинених країнах 350–700 кг.

У загальному випуску цементу переважаючими стали цементи марок 400 і 500. Було освоєно виробництво портландцементу марок 600...800, сульфатостійкі, пластифіковані, білий та кольорові, дорожній, що розширюються, тампонажні та інші види цементів.

Набула розвитку ресурсозберігаюча технологія виробництва цементу та бетону за рахунок широкого застосування побічних продуктів та відходів промисловості. Особливо слід відзначити використання доменних шлаків, золи-внесення, інших активних мінеральних добавок, що дозволяють не лише знизити витрати портландцементного клінкеру та енергетичних ресурсів, але й покращити ряд властивостей матеріалів – їх водо- та сульфатостійкість, термічну тріщиностійкість та ін.

Поряд з активними мінеральними добавками в бетони стали все ширше використовуватися добавки-модифікатори різних властивостей цього матеріалу, що вводяться в порівняно невеликій кількості – від сотих часток до кількох відсотків від маси цементу.

З 80-х років минулого століття представилися можливості для радикальної зміни якісних показників бетонних сумішей та бетонів у зв'язку з виробництвом суперпластифікуючих добавок. Виробництво суперпластифікаторів вперше було організовано в Японії і трохи згодом у ФРН. Суперпластифікатори дозволили розробити нові технології литих та самоущільнюваних бетонних сумішей з помірним водозмістом, високоміцних бетонів, бетонів з високою непроникністю, покращеною якістю поверхні.



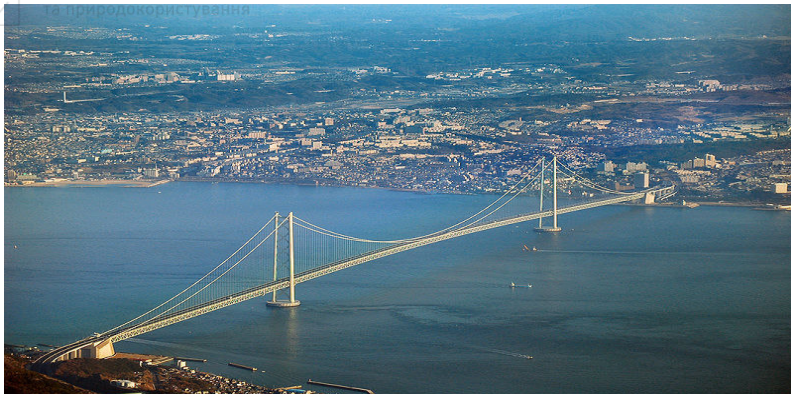
Високоміцні бетони нового покоління дозволили реалізувати проекти тунелю під Ла-Маншем.

Збудувати найбільш високий хмарочос в світі «Бурдж-Халіфа» (рис. 1.21), м. Дубаї, міст через протоку Акасі в Японії з центральним прольотом 1991 м (рис. 1.22).

Теорія та технологія бетону інтенсивно розвиваються у всіх економічно розвинених країнах. У розвиток основних робіт Д. Абрамса, М. Боломея, О. Графа та Р. Фере, Б.Г. Скрамтаєв, Ю.М. Баженов та ін. розробили розрахунково-експериментальний метод проектування складів бетону із заданими значеннями міцності та показників зручноукладальності.



**Рис. 1.21.** Бурдж-Халіфа



**Рис. 1.22.** Висячий міст Акасі—Кейкіо між островами Хонсю та Сікоку (Японія). Головний проліт 1991 м. (1998 р.)

Виконано фундаментальні роботи з теорії міцності цементів та бетонів з урахуванням умов роботи його в конструкціях та спорудах, особливостей структури та складу.

Вже на початку ХХ ст. (1902–1904 рр.) виникла проблема забезпечення довговічності бетону у конструкціях та спорудах. Перші дослідження корозійної стійкості бетону (О.О. Байков, А.Р. Шуляченко, В.І. Чарномський) були присвячені обстеженню бетонних та залізобетонних споруд, що експлуатуються у морській воді. Значний внесок у вивчення механізму різних видів корозії бетону та підвищення його стійкості належить В.І. Бабушкіну, Ф.М. Іванову, В.М. Москвіну, А.Ф. Полаку та ін.

У ХХІ ст. бетон увійшов як основний будівельний матеріал, що значною мірою визначає рівень сучасної цивілізації. Світовий обсяг застосування бетону сягнув 2 млрд м<sup>3</sup>. Переваги бетону – необмежена сировинна база та порівняно низька вартість, екологічність, можливість застосування у різних експлуатаційних умовах та досягнення високої архітектурно-будівельної виразності, доступність технології та можливість забезпечення високого рівня механізації та автоматизації технологічних процесів – зумовлюють привабливість цього матеріалу та його провідні



позиції на найближчу перспективу. Досягнення бетонознавства та технології бетону дозволяють проектувати бетон, виробити та сконструювати з необхідними властивостями, прогнозувати та керувати його властивостями.

Бетон належить до найбільш універсальних матеріалів, що дозволяють інтенсивно використовувати його у всіх галузях будівництва. Номенклатура бетонів, що застосовуються у сучасному будівництві надзвичайно велика і постійно розширюється. Запропоновано технології суперлегких теплоізоляційних бетонів (з густиною менше  $100 \text{ кг/м}^3$ ) та високоміцних конструкційних бетонів (з міцністю на стиск понад 200 МПа). Основними різновидами високоміцних бетонів є високоякісні, високотехнологічні бетони. Бетони цієї групи мають високу міцність та довговічність, надійні захисні властивості по відношенню до сталевих арматур, бактеріцидність. Вони виготовляються з високорухливих сумішей з обмеженою водо потребою, мають міцність на стиск у віці 28 днів 60–150 МПа, морозостійкість F600 і вище, водонепроникність не менше W12, водопоглинання до 1...2%, стирання не більше 0,3...0,4 г/см<sup>2</sup>, регульовані показники деформативності, в т.ч. з компенсацією усадки у віці 14...28 днів. Прогнозований термін служби таких бетонів – понад 200 років.

Організація промислового виробництва суперпластифікуючих та водоутримуючих добавок, застосування сучасних насосів та інших транспортних засобів дають можливість все ширше застосовувати литі та самоущільнюючі бетони, що дозволяють забезпечувати високу продуктивність бетонних робіт при їх порівняно низькій трудотажності, необхідну якість поверхні конструкцій. Все ширше застосовуються дрібнозернисті бетони, які при оптимальному гранулометричному складі заповнювача, застосуванні органічних модифікаторів дозволяють виготовляти вироби як методом пресування з негайною розпалубкою, так і методом лиття. Вони використовуються при отриманні тонкостінних та шаруватих конструкцій, матеріалів архітектурно-будівельного призначення.



Нові можливості вдосконалення властивостей бетонів і близьких до них будівельних композитів становлять надшвидкі, високоміцні цемента, багатокомпонентні в'язучі низької водопотреби, нові гіпсові, шлакові, силікатно-фосфатні та інші в'язучі. При використанні, наприклад, в'язучих низької водопотреби (ВНВ) коефіцієнт ефективності (відношення витрати в'язучого в кг до їх міцності в МПа) становить 1,7–2,4, в той час як рядових цементів 6–9. Виробництво ВНВ дозволяє майже вдвічі скоротити викиди промислових газів у цементній промисловості та залучити до виробництва різноманітну техногенну сировину.

Низка нових в'язучих у поєднанні з хімічними модифікаторами дозволяє досягти високу ранню міцність бетонів, виготовляти вироби за безпрогрівною технологією. Ці бетони завдяки високому темпу затвердіння можуть бути використані і для зимового бетонування.

На основі нових в'язучих розроблені ефективні ремонтні, жаростійкі, електропровідні та інші бетони та розчини.

*Бетони нового покоління* – високотехнологічні та високодовговічні бетони із заданим комплексом будівельно-технічних властивостей. Їх характерною ознакою є багатокомпонентність – включення до складу бетонних сумішей добавок суперпластифікаторів та інших регуляторів властивостей бетонних сумішей, дисперсних активних мінеральних добавок природного та техногенного походження, що модифікують структуру бетону, застосування двох-трьох фракційних заповнювачів. Бетони нового покоління, що отримуються при низьких значеннях водоцементного відношення і мають високу щільність, дозволяють досягати міцності при стисканні більше 200 МПа, високі показники морозостійкості та корозійної стійкості.

Характерними представниками таких бетонів є:

- *високофункціональний бетон* (High Performance Concrete – HPC);
- *бетон, що самоущільнюється* (Self-compacting Concrete – SCC);
- *реакційно-порошковий бетон* (Reactive Powder





Concrete – RPC);

- *бездефектний бетон* (Macro – Defect – Free Concrete – MDFC).

Однією з важливих особливостей бетонів нового покоління є значно нижче ніж у традиційних бетонів співвідношення витрати цементу до міцності, що досягається та дозволяє забезпечити їх ефективне використання в конструкціях.

Розвиваються *нанотехнології бетонів* з використанням нанорозмірних добавок – фулеренів, нанотрубок, моноволокон та ін. При переході від макро до нанорозмірів відбуваються значні зміни в електронній провідності, оптичному поглинанні, реакційній здатності матеріалів. Позитивні особливості наномодифікованих бетонів – ультрависокі значення міцності, показників пружності, тріщиностійкості, теплостійкості та ін.

До широко використаних матеріалів при зведенні архітектурних об'єктів відносяться *метали*. Поряд із бетонами до основних конструкційних матеріалів можна віднести сталь. Конструкції зі сталі застосовуються для каркасів промислових будівель, будівництві мостів, шляхопроводів, різних споруд спеціального призначення. Порівняльна легкість, простота монтажу, висока міцність обумовлюють також широке застосування у будівництві *алюмінієвих сплавів* (рис. 1.23).



**Рис. 1.23.** Хмарочос з застосуванням скла і алюмінієвих рам для світлопрозорих фасадів, Лондон Великобританія



Для стінових та покрівельних огорож сталь та алюміній застосовують у вигляді збірних конструкцій панельного типу (каркасних та безкаркасних). Профільний та листовий метал широко використовується в ненесучих стінових огорожах багатопверхових будівель, виставкових павільйонів та ін. Особливу сферу застосування металів у зовнішніх огорожах будівель становлять огорожі балконів, лоджій та веранд. Метали займають також одне з провідних місць у внутрішніх конструкціях – перегородках і підвісних стелях, вони широко використовуються також як покрівельні матеріали.

Унікальні будівлі та споруди дозволяють зводити вироби з *кераміки*, які займають провідні позиції серед конструкційних та оздоблювальних матеріалів. Асортимент керамічних будівельних виробів надзвичайно широкий. В нього входять стінові, облицзовальні, покрівельні, санітарно-технічні, дорожні, каналізаційні вироби, труби, вироби спеціального призначення (теплоізоляційні, кислототривкі, вогнетривкі). Сучасна технологія дозволяє забезпечувати високі експлуатаційні властивості керамічних виробів, їхню довговічність.

Найбагатшу історію та великий досвід застосування у сучасному будівництві має також *скло*. В даний час скло застосовується не тільки як прозоре заповнення прорізів, а й як ефективний стіновий, покрівельний, декоративний та навіть конструкційний матеріал (рис. 1.24). Ефективними матеріалами для застосування в цивільному та промисловому будівництві є склокристалічні матеріали-ситали та шлакоситали.



**Рис. 1.24.** Світлопрозорий скляний дах і скляні гвинтові сходи



У XX столітті у будівництві почали застосовуватися *полімерні матеріали* та масштаби їх використання постійно збільшуються. Перші штучні полімери були отримані у другій половині XIX ст. С.1907 р. на їх основі у США було освоєно промислове виробництво пластмас. Перші будинки з панелями з полівінілхлориду та підлогами з полівінілхлоридних плит були представлені на виставці Чикаго в 1933 р. У 1935 р. в будівництві почали застосовуватися такі високоміцні матеріали як склопластики. У 30-х р.р. XX ст. промислове значення набули сечовиноформальдегідні, поліефірні та інші синтетичні полімери. Розширилося виробництво пластмас на основі полістиролу, полівінілацетату, полівінілхлориду, поліметилметакрилату та ін.

Головною перевагою пластмас перед іншими будівельними матеріалами є низька густина. Властивості пластмас регулюються з додаванням пластифікаторів, стабілізаторів та ін. З пластмас можна виготовляти вироби складної геометричної форми, завдяки використанню різних наповнювачів можна отримувати пластмаси, що мають високу жорсткість і низьку деформативність.

Область застосування пластмас у будівництві постійно розширюється. Вони використовуються як конструктивні матеріали при виготовленні елементів обладнання будівель, декоративних виробів та меблів. Для вирішення завдань архітектурної організації докільця призначаються світлопрозорі листові полімерні матеріали непрозорі та пофарбовані пластмаси, ізоляційні матеріали-спінені волокнисті маси, плівки. Рідкі та пастоподібні полімери використовуються як герметизуючі мастики, лаки для захисту від корозії різних матеріалів, у виробництві фарб до переваг полімерних матеріалів можна віднести необмеженість сировинної бази. Сировинні компоненти для їх отримання можна отримувати з кам'яного вугілля, нафти, різних газів тощо.

Протягом усього розвитку архітектури були затребуваними матеріали з *деревини*. Піддаючи деревину різним видам обробки будівельники і в даний час широко використовують її для різних конструкцій та елементів будівель



та споруд. Висока екологічність, естетичність, механічні, теплоізоляційні та акустичні властивості – безперечні переваги матеріалів на основі деревини, як в екстер'єрі, так і в інтер'єрі (рис. 1.25).



**Рис. 1.25.** Деревина в інтер'єрі

Номенклатура дерев'яних будівельних виробів включає сотні найменувань та постійно збільшується. Якщо в минулому деревина використовувалася тільки в природному вигляді (колоди, бруси, дошки, рейки та ін.) то тепер на будовах широко використовуються готові і до застосування укрупнені конструктивні елементи з деревини, деталі облицювань і декору.

Налагоджено виробництво клесних дерев'яних конструкцій, що дозволяють створювати складні форми оболонки, склепіння, куполів та покриттів. Великий попит мають



збірні житлові будинки з конструктивних елементів на основі деревини.

Для термо- та звукоізоляції стін перегородок, підлог, стель, щитових дверей, меблів використовують деревноволокнисті та деревостружкові плити. Для оздоблювальних робіт, виготовлення меблів широко використовується фанера, яка отримується шляхом склеювання тонких листів деревини-шпону. В даний час виготовляють звичайну та шліфовану, декоративну та водостійку фанеру.

Одним із найпопулярніших матеріалів з деревини залишається паркет. Паркетна підлога не вимагає додаткового утеплення, має високу звуконепроникність, стійкість до механічних впливів, ремонтприготування. Із застосуванням художнього паркету створюються покриття, що володіють високим рівнем естетичності.

Один із перших будівельних матеріалів, використаних людиною для зведення як житлових будівель, так і монументальних архітектурних об'єктів є *природний камінь*. Він залишається символом міцності і надійності, що має високі естетичні якості. Нові індустріальні методи обробки розширили можливості каменю як конструктивного та оздоблювального матеріалу.



## 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1. Загальна класифікація будівельних матеріалів

Єдиної класифікації будівельних матеріалів не розроблено, існує дуже багато класифікаційних ознак і між окремими групами матеріалів існує складна структура зв'язків.

Класифікаційні ознаки будівельних матеріалів розділяють на фізичні, хімічні, фізико-хімічні, механічні, структурні, технологічні і функціональні.

По походженню будівельні матеріали розділяють на природні і штучні. Природні матеріали одержують із природної сировини шляхом механічної обробки без зміни їхнього хімічного складу і структури.

За винятком природних каменів і деревини, будівельні матеріали – це штучні продукти, в основі одержання яких лежать хіміко-технологічні процеси. Штучні матеріали по складу і властивостям можуть істотно відрізнитися від природної сировини.

Розповсюдженю є класифікація будівельних матеріалів за призначенням. М.А. Попов запропонував розділяти будівельні матеріали на дві групи: матеріали універсального типу, придатні для несучих конструкцій, і матеріали спеціального призначення. У першу групу входять природні і штучні кам'яні матеріали, метали, конструкційні пластмаси і лісові матеріали, у другу – теплоізоляційні, акустичні, гідроізоляційні, покрівельні, герметизуючі, оздоблювальні, антикорозійні і вогнетривкі матеріали.

*Матеріали для несучих конструкцій* підбирають з урахуванням особливостей конструктивних елементів і техніко-економічних обґрунтувань. З цією метою широко використовують сталевий і алюмінієвий прокат, бетон і залізобетон, цеглу, клеєну деревину і т.п.

*Матеріали для огорожувальних конструкцій* є самонесучими і не зазнають впливу великих навантажень. Зовнішні огорожуючі конструкції можуть сприймати сніжні і



вітрові навантаження, а також піддаватися агресивному впливові навколишнього середовища.

*Оздоблювальні матеріали* додають поверхням конструкцій будинків і споруджень захисні і декоративні властивості. Розрізняють оздоблювальні й оброблювально-монтажні матеріали. Перші застосовують для влаштування захисно-декоративних покриттів на поверхні конструкцій (штукатурка, лаки, фарби, шпалери), інші поєднують як оздоблювальні, так і конструктивні функції (склоблоки, профільне скло, деревно-стружкові і деревно-волокнисті плити, азбестоцементні й алюмінієві вироби).

Функціональне призначення *теплоізоляційних матеріалів* полягає в зменшенні втрат теплоти при експлуатації будинків і споруджень, а також теплових агрегатів і трубопроводів. Конструкційно-теплоізоляційні матеріали використовують для самонесучих конструкцій будівель і малоповерхових конструкцій (ніздрюваті бетони, арболіт, фіброліт і т.п.).

До теплоізоляційних матеріалів за структурою близькі *акустичні матеріали*, що призначені для зниження енергії звукових коливань (рівня шуму). Їх поділяють на *звукопоглинаючі і звукоізоляційні*.

Для захисту будівельних конструкцій будинків і споруджень від впливу води і водних розчинів агресивних речовин застосовують *гідроізоляційні матеріали*. Залежно від призначення такі матеріали розділяють на антифільтраційні, антикорозійні і герметизуючі.

Верхнім водозахисним шаром у конструкції покрівель є покрівельне покриття. Деякі матеріали (рулонні, мастики) можна використовувати як для покрівель, так і для гідроізоляції, а інші (азбестоцементні листи, черепиця, покрівельна сталь) тільки для покрівель.

До будівельних матеріалів відносять також *санітарно-технічні вироби* – ванни, раковини, мийки, прилади для опалення кухонь, устаткування санвузлів.

До окремої групи можна віднести *будівельні матеріали спеціального призначення* – дорожні, жаростійкі, кислотостійкі, електротехнічні, трубопровідні й ін.



Розгорнута класифікаційна система для штучних будівельних матеріалів запропонована І.О. Риб'євим. В її основу покладене виділення трьох типів матеріалів: 1) твердіючих при звичайних температурах; 2) в умовах автоклавів, тобто при підвищених температурах і тиску пари; 3) при охолодженні вогненно-рідких розплавів, що виконують функцію в'язучих речовин. В межах кожного типу штучні матеріали групують залежно від виду в'язучих речовин. У матеріалах безвипалювального типу цементуюча частина представлена неорганічними, органічними і комплексними в'язучими, випалювального – керамічними, скляними, шлаковими та ін. розплавами. У матеріалах автоклавного типу типовими є в'язучі переважно автоклавного твердіння. Дана класифікаційна схема є, як відзначає і сам її автор, неповною і умовною, що не завжди дозволяє провести чітку границю між окремими типами і групами матеріалів.

У будівельному матеріалознавстві найбільше поширення одержала змішана система класифікації будівельних матеріалів, в якій враховується комплекс різних ознак – склад сировини і готових продуктів, їхня структура і призначення.

Будівельні матеріали здебільшого відносяться до композиційних матеріалів (композитів). *Композиційними* називають природні або штучні гетерогенні матеріали, загальною ознакою яких є наявність поверхні розділу між компонентами (фазами), що їх утворюють. У композиційному будівельному матеріалі (КБМ) розрізняють першу фазу, або матрицю – безперервний зв'язуючий компонент, що знаходиться у твердому кристалічному або аморфному стані, і другу фазу – речовину або кілька речовин, диспергованих у матриці, що можуть знаходитися в будь-якому агрегатному стані.

В якості другої фази КБМ служать тонкодисперсні порошкоподібні або волокнисті матеріали різної природи, які є зміцнюючими або армуючими компонентами. Порошкоподібні або зернисті наповнювачі (заповнювачі), вводяться часто в будівельні композити, поліпшуючи ряд їхніх властивостей, сприяють також зменшенню витрати зв'язуючого компонента і здешевленню матеріалів.





Матриця забезпечує монолітність композитів, фіксує форму виробів, розподіляє діючі напруження по об'єму матеріалу. Матеріал матриці визначає метод виготовлення виробів, можливість виконання конструкцій із заданими параметрами.

За призначенням КБМ розділяють на силові, несилові і спеціальні. Силові КБМ (склопластики, азбестоцемент, бетони та ін.) повинні мати відповідні механічні властивості, що дозволяють сприймати значні навантаження. До несилових КБМ, які не призначені для сприйняття значних навантажень, відносяться, наприклад, теплоізоляційні матеріали на основі різних волокон (фіброліт, мінераловатні плити та ін.), піно- і газобетони, піноскло, пінопластики.

КБМ спеціального призначення можуть працювати в умовах високих температур (жаростійкі, вогнестійкі), хімічної агресії (луго- і кислотостійкі), електричної напруги (електроізоляційні, електропровідні). До них відносяться також звуко- і теплоізоляційні, декоративні, безусадочні, розширні та інші КБМ.

За матеріалами матриці КБМ розділяють на цементні, гіпсові, керамічні, металеві та ін. Наповнювачі досить різноманітні. У табл. 2.1 приведені приклади КБМ із застосуванням волокнистих і шаруватих наповнювачів, використаних в якості зміцнюючих компонентів. Армування КБМ волокнами може бути як орієнтоване (залізобетон, склоцемент, склопластики), так і дисперсне (фібробетон).

Таблиця 2.1

Приклади армованих КБМ

Матриця	Армуючий компонент	Будівельний матеріал
Скляні і керамічні матеріали		
Скло	металева сітка полімерна плівка кристалічні включення	армоване скло триплекс (багатошарове скло) ситали, шлакоситали
Випалена глина	каолінові, мулітові, корундові, вуглецеві волокна	вогнетривкі і спеціальні керамічні матеріали



Матриця	Армуючий компонент	Будівельний матеріал
<b>Матеріали на основі неорганічних в'язучих речовин</b>		
Неорганічні гідравлічні в'язучі речовини	сталева, базальтова полімерна фібра металева арматура азбест деревне волокно і подрібнена деревина	фібробетони  залізобетон азбестоцемент арболіт, фіброліт
Гіпсові в'язучі речовини магнезіальні в'язучі	картон паперова макулатура деревна стружка деревна тирса	гіпсокартонні листи гіпсоволокнисті листи гіпсостружечні плити ксилоліт
<b>Матеріали на основі деревини</b>		
Полімерні в'язучі речовини	шпон стружка волокна	фанера, клеєна деревина деревностружкові плити деревноволокнисті плити
<b>Бітумні, дьогтьові полімерні матеріали</b>		
Бітум і бітумно-полімерні в'язучі речовини, дьоготь полімерні в'язучі	картон, фольга, скловолокно, азбест, картон, скляне волокно ткани і неткані матеріали	руберойд, фольгоізол, склоруберойд, гідроізол, толь, склопластик лінолеум, килимові покриття та ін.

Особливо поширені КБМ із зернистими наповнювачами (бетони, розчини, мастики). При малому вмісті наповнювача (заповнювача) властивості КБМ визначаються в основному властивостями матриці, а у випадку росту вмісту наповнювача їхні властивості можуть істотно змінюватися, здобуваючи специфічні ознаки, що властиві тільки даному видові КБМ.

Різновидом композиційних матеріалів є *штучні будівельні конгломерати (ШБК)*. За І.О. Риб'євим штучними будівельними конгломератами називають матеріали, у яких заповнювач цементується в'язучими речовинами або первинними зв'язками (хімічними, електричними, металевими і ін.) у моноліт. До природних конгломератів відносяться гірські породи, до



штучних – насамперед різні бетони і розчини. У класифікації ШБК запропоновано виділити два типи таких матеріалів – *безвипалювальні*, які утворюються в результаті низькотемпературних фізико-хімічних процесів твердіння в'язучих речовин, і *випалювальні*, утворені при охолодженні з розплавів або контактному спіканні.

*Сировинними компонентами* будівельних матеріалів можуть бути тверді, рідкі і газоподібні речовини. Велика частина твердої сировини представлена гірськими породами, деревиною і промисловими відходами (шлаки, золи, відсів і т.д.). Рідкими сировинними матеріалами є нафтопродукти, рідкі відходи хімічних підприємств, водні розчини. Переробляючи нафту і кам'яне вугілля, одержують газоподібні продукти, які можна використовувати для виробництва полімерних матеріалів.

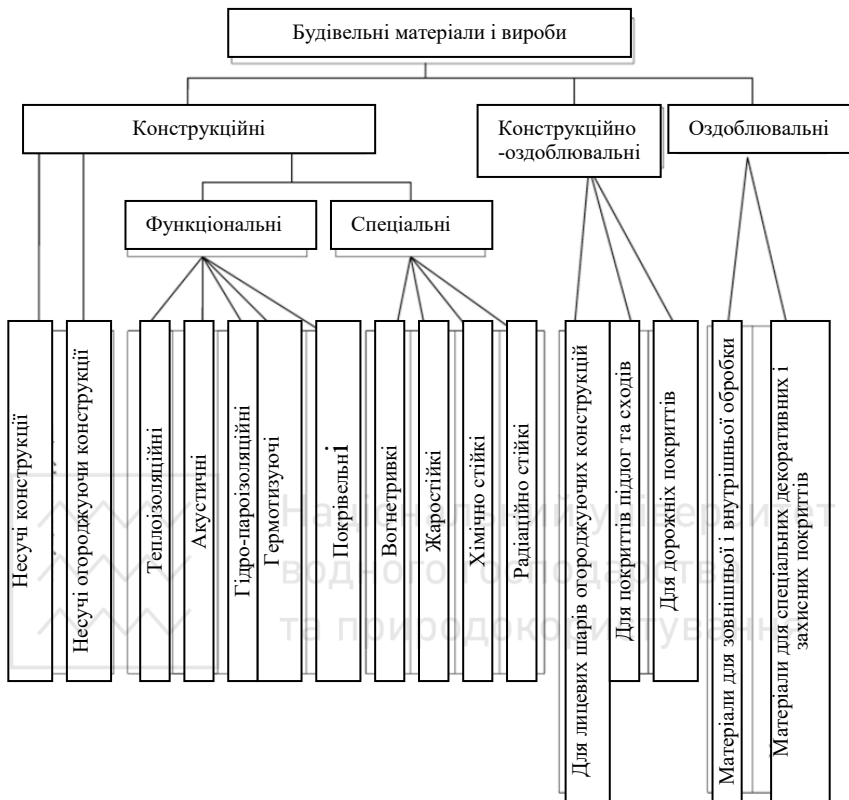
З неорганічних сировинних матеріалів найбільш поширені силікатні матеріали, що переважають (66,5%) у складі земної кори. До мінеральної сировини багатощільового призначення відносяться глина, карбонатні породи, піски та ін.

## 2.2. Архітектурно-будівельна класифікація

В архітектурно-будівельній практиці будівельні матеріали класифікують на три основні групи: конструкційні, конструкційно-оздоблювальні та оздоблювальні.

У групі конструкційних виділяють матеріали, призначені для несучих та несучих огорожувальних конструкцій, а також функціональні та спеціальні матеріали. Перші призначені для теплоізоляційних, акустичних, гідро-пароізоляційних, герметизуючих та покрівельних конструкцій, другі для вогнетривких, жаростійких, хімічно та радіаційно стійких конструкцій.

Спеціальні будівельні матеріали призначені для сприйняття навантажень в екстремальних умовах експлуатації конструкційно-оздоблювальні матеріали виконують функції як конструкційних так і оздоблювальних матеріалів одночасно, а оздоблювальні захисні та декоративні функції (рис. 2.1).



**Рис. 2.1.** Класифікація будівельно-архітектурних матеріалів і виробів

### 2.3. Стандартизація та оцінка якості матеріалів

Основні вимоги до якості матеріалів і виробів масового застосування встановлюються Державними стандартами (ДСТ), галузевими стандартами (ГСТ), стандартами підприємств (СТП), технічними умовами (ТУ). У цих нормативних документах можуть міститися терміни та визначення, короткий опис матеріалів і способи їх виготовлення, вимоги до якості, правила



транспортування, приймання та зберігання, а також методи випробувань.

Поряд з національними в системі стандартизації знаходять застосування стандарти ISO – Міжнародної організації зі стандартизації.

Вказівки щодо застосування будівельних матеріалів і вимоги до їх властивостей наведені також у будівельних нормах і правилах, де регламентуються основні положення будівельного проектування і виробництва.

Нормативні вимоги до провідних властивостей матеріалів, що визначають їх застосування, виражені у вигляді марок або класів. *Марка* обчислюється зазвичай як середнє арифметичне результатів випробувань певного числа зразків, *клас* є чисельною характеристикою певної властивості матеріалу, що приймається з гарантованою забезпеченістю, тобто з урахуванням її можливого діапазону, що вимірюється статистичними показниками.

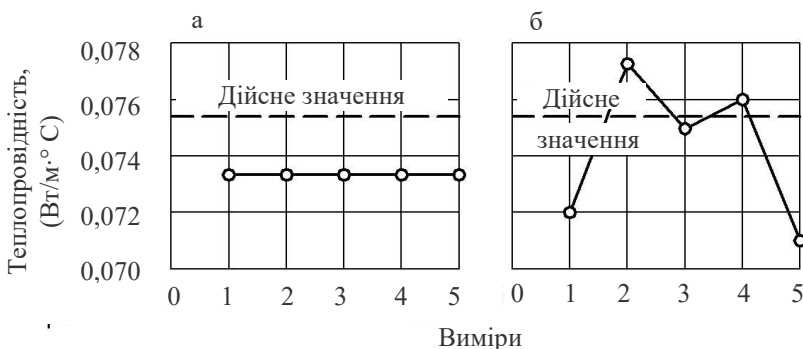
Методичною основою стандартизації розмірів при проектуванні і виготовленні будівельних виробів є Модульна координація розмірів у будівництві (МКРБ), що дозволяє уніфікувати кількість типорозмірів і забезпечити взаємозамінність виробів з різних матеріалів. *Основний модуль* (М) становить 100 мм. Розміри об'ємно-планувальних параметрів будівель і споруд (ширину прольотів, крок колон, рам) і великих будівельних виробів (стінових панелей, блоків, плит) призначають кратними укрупненим модулям (2 М, 3 М, 6 М, 12 М, 30 М, 60 М). Для призначення малих розмірів конструктивних елементів і деталей поряд з основним використовують *дробові модулі*, мм: 1 (1/100 М), 2 (1/50 М), 5 (1/20 М), 10 (1/10 М), 20 (1/5 М), 50 (1/2 М).

Якість матеріалів характеризує ступінь їх відповідності вимогам споживача. Використовуються різноманітні методи визначення показників якості: *інструментальний* – вимірювання властивостей приладами; *органолептичний* – оцінка властивостей аналізом відчуттів людини, порівнянням досліджуваних матеріалів, що досліджуються, з еталоном; *експертний*, оснований на оцінках досвідчених фахівців-експертів; *соціологічний*, оснований на аналізі оцінок



споживачів продукції; *розрахунковий* – розрахунок показників якості залежно від параметрів його складу та структури з урахуванням особливостей технологічного процесу.

Найбільш широко застосовуються інструментальні методи оцінки якості матеріалів. Інструментальні методи базуються на *метрології* – науці про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. Результати всіх вимірювань містять похибки, викликані недосконалістю приладів і методів, непостійністю умов спостережень, недостатнім досвідом спостерігача або особливостями його органів чуття. *Систематичні похибки* в процесі послідовних вимірювань залишаються постійними (рис. 2.2) або змінюються за певним законом. Наприклад, при визначенні марки цементу систематичну помилку вносить використання пластинок з шорсткою поверхнею. Таку помилку можна усунути шляхом підшліфовки та додаткового загартування пластинок. Систематичні похибки у випадку неможливості їх усунення можуть бути вивчені і враховані у вигляді поправок. На відміну від систематичних *випадкові похибки* при повторних вимірах однієї і тієї ж величини приймають різні значення. Їх не можна виключити з результатів вимірювань, їх вивчають і враховують, обробляючи результати повторних дослідів з використанням математичної статистики і теорії ймовірності.



**Рис. 2.2.** Приклад похибок вимірювань:  
а – систематична; б – випадкова



Похибки, що значно перевищують об'єктивно допустимі, виникають з ряду причин і оцінюються за допомогою статистичних критеріїв.

Значення величин, що вимірюються, залежно від способу отримання ділять на чотири види: прямі, непрямі, спільні та сукупні.

*Прямі* вимірювання полягають в експериментальному порівнянні величини, що вимірюється, з її мірою або у відліку показань приладу, що дає значення вимірюваної величини

*Непрямі* вимірювання отримують на основі прямих, пов'язаних з вимірюваною величиною відомими залежностями (густина – маса одиниці об'єму, границя міцності – відношення руйнуючого зусилля до площі поперечного перерізу зразка і т.д.).

*Спільними* називають одночасно зроблені вимірювання двох або декількох неоднорідних величин для знаходження залежності між ними. При цьому значення вимірюваних величин знаходять за даними повторних прямих або непрямих вимірювань. Так, для визначення модуля пружності бетону вимірюють напруження у бетоні при різних значеннях відносної деформації ( $\varepsilon$ ). При напруженні, наприклад, рівному 0,2 границі міцності  $R$  початковий модуль пружності обчислюють за формулою:

$$E_n = 0,2R / \varepsilon . \quad (2.1)$$

При визначенні температурного розширення також треба виконати вимірювання температури  $t$  і розрахувати відповідні значення відносного видовження  $\varepsilon_t$ . Для розрахунку  $\varepsilon_t$  необхідно за допомогою системи рівнянь визначити коефіцієнти у формулі:

$$\varepsilon_t = at + bt^2 + \dots \quad (2.2)$$

На відміну від спільних *сукупні вимірювання* проводяться для декількох однойменних величин.

Для промислової продукції методи і засоби вимірювань усіх основних властивостей, які характеризують якість виробів, стандартизуються. Стосовно будівельних матеріалів стандартизовані методи і засоби вимірювань параметрів стану і



характеристики структури, фізичних, механічних і хімічних властивостей.

*Рівень якості продукції* оцінюється системою показників призначення, надійності та довговічності, технологічності, ергономіки, економічності та ін.

*Показники призначення* характеризують корисний ефект від використання матеріалів за призначенням і область їх застосування. До них належать переважно технічні властивості матеріалів, показники їх складу і структури, транспортбельність і т.д.

*Показники надійності* характеризують стабільність властивостей матеріалів в заданих межах, що забезпечують їх нормальну експлуатацію (працездатність).

Стан, при якому матеріал повністю або частково втрачає працездатність називають *відмовою*. Під безвідмовністю розуміють здатність матеріалів зберігати працездатність при певних умовах протягом певного часу без ремонту. Здатність матеріалів зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами на ремонт характеризується *довговічністю*. Довговічність вимірюють терміном служби матеріалів. На практиці часто поняття надійності і довговічності ототожнюють.

*Показники технологічності* характеризують здатність матеріалів перероблятися у виробі та конструкції. До таких показників належать здатність до формування, зварюваність та ін.

*Ергономічні показники* якості об'єднують гігієнічність, антропометричні, психологічні та ряд інших показників у системі «людина-середовище-виріб».

*Техніко-економічні показники* характеризують витрати на розробку, виготовлення та експлуатацію матеріалів. До них належать також матеріалоемність продукції, яка визначається відношенням кількості або вартості витрачених на її виробництво матеріальних ресурсів до обсягу, енерго-, трудо-, металоємність та ін.

Класифікація показників якості умовна: один і той же показник може належати до різних груп та підгруп. За





сукупністю показників визначають сорти, класи, групи, марки та інші якісні градації матеріалів.

При оцінюванні рівня якості матеріалів використовують диференційований, комплексний та змішаний методи. При диференційованому методі показники якості матеріалів порівнюють з базовими показниками, наведеними у стандартах. Наприклад, якщо при необхідній (базовій) середній міцності бетону 20 МПа вдалося забезпечити (без перевитрати ресурсів) міцність 25 МПа, то рівень якості бетону за міцністю  $25/20=1,25$ . Аналогічно розраховують і відносні показники якості за іншими нормованими властивостями.

Якщо рівень якості необхідно охарактеризувати одним узагальненим показником, застосовують комплексний метод. У цьому випадку використовують інтегральні показники якості, наприклад, корисний ефект (E) на 1 грн. витрат:

$$E = \Pi_{\Sigma} / (Z_o + Z_e), \quad (2.3)$$

де  $\Pi_{\Sigma}$  – сумарний корисний ефект, грн;

$Z_o$  – витрати на отримання матеріалу, грн;

$Z_e$  – витрати на використання матеріалу, грн.

Якщо можна встановити коефіцієнт значущості  $m_i$  для кожного окремого показника  $q_i$  у системі показників, то комплексну оцінку можна виконати методом визначення середньозваженого інтегрального показника Q:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i q_i, \quad (2.4)$$

де  $q_i = P_i / P_{i,б}$  – відносний показник якості за і-тою ознакою;

$P_i$  – показник якості для даного матеріалу;

$P_{i,б}$  – базовий (еталонний) показник якості.

#### 2.4. Будівельні матеріали як стохастичні об'єкти

Сучасні будівельні матеріали – складні гетерогенні системи, які характеризуються великою кількістю як внутрішніх, так і зовнішніх зв'язків на мікро- та макрорівнях, які формують їх структуру та властивості.



Залежно від ступеня невизначеності всі зв'язки можна розділити на *детерміновані* та імовірнісні або *стохастичні*. Перші є строго зумовленими і передбачуваними. Наприклад, знаючи густину речовини, з якої складається матеріал (дійсна густина) і густину матеріалу (середня густина), можна точно розрахувати його загальну пористість, знаючи кількість кулястих зерен і розподіл їх за діаметрами, можна визначити питому поверхню суміші.

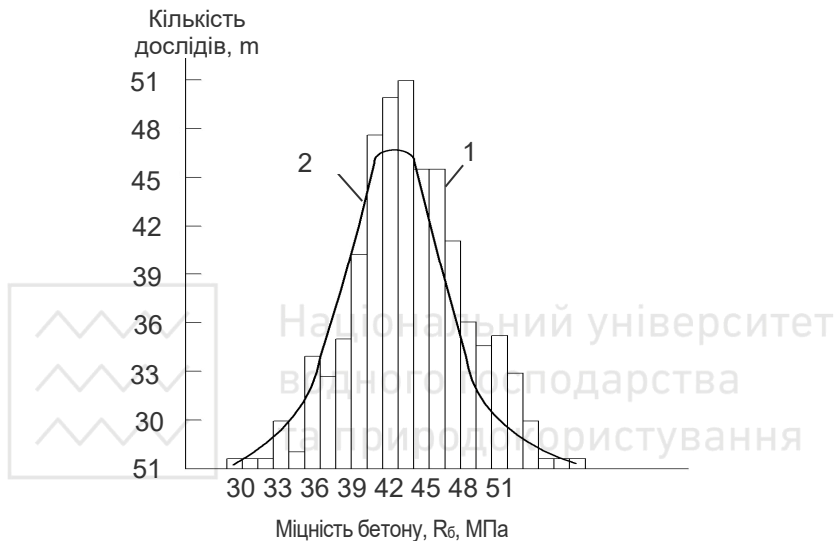
Разом з тим більшість зв'язків і, як наслідок, якісних показників матеріалів є стохастичними, тобто характеризуються з певною ймовірністю, та відповідно, мають деяку невизначеність. До найбільш характерних стохастичних зв'язків належать зв'язки між параметрами складу або структури матеріалу та їх властивостями, параметрами впливу зовнішнього середовища та реакціями матеріалів на них. Стохастичність таких зв'язків зумовлена:

- неоднорідностями та дефектами структури матеріалів, починаючи від атомно-молекулярного рівня речовин, що їх складають, до макрорівня, що характеризується просторовим розташуванням і взаємодією основних фаз;
- складним, часто різноспрямованим впливом багатьох факторів, їх мінливістю, процесами «життєдіяльності» матеріалу в часі (тепло- і масообмін, фізико-хімічні зміни, деструкція).

Поведінка всіх стохастичних систем, в тому числі і будівельних матеріалів на всіх етапах їх технології та експлуатації можна прогнозувати в заданих умовах з деякою ймовірністю відповідно до закономірностей, що мають статистичний характер. З поглибленням теоретичних уявлень про механізми структуроутворення та «синтез властивостей» матеріалів, закономірності їх функціонування у конкретному середовищі, точність та надійність прогнозів, пов'язаних з поведінкою матеріалів, збільшується, хоча імовірнісний їх характер залишається. Стохастичні закономірності в певних фізичних і хімічних системах служать базисом для розробки нових матеріалів із заданими властивостями.

Імовірнісний характер основних оцінок та висновків при дослідженні будівельних матеріалів зумовлює необхідність

широкого використання методології статистичного аналізу. Вона включає експериментальне визначення закону розподілу досліджуваного параметра, необхідне для вибору статистичного методу розв'язання задачі, розрахунок числових характеристик розподілу, установку їх довірчих границь.



**Рис. 2.3.** Гістограма (1) та крива нормального розподілу (2) для бетону

При експериментальному визначенні властивостей будівельних матеріалів криві розподілу наближаються за характером, як правило, до нормальної кривої Гауса, (рис. 2.3), яка відповідає рівній ймовірності появи як позитивних, так і негативних відхилень від центру. Для характеристики певної вибірки експерименту, що включає  $n$  спостережень, використовують середні величини, що вимірюються, – середнє арифметичне та середнє квадратичне відхилення.



*Середнє арифметичне:*

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.5)$$

де  $\sum_{i=1}^n x_i$  – сума вимірених величин;

$n$  – кількість спостережень.

*Середнє квадратичне відхилення* (стандарт) показує границі мінливості досліджуваного параметра, тобто ступінь розходження окремих його значень відносно середнього:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (2.6)$$

Середнє квадратичне відхилення є квадратним коренем дисперсії  $\sigma$ .

Якщо дисперсія і середнє квадратичне відхилення характеризують абсолютну мінливість властивості, то для вираження відносної мінливості служить *коефіцієнт варіації*:

$$c_v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \%. \quad (2.7)$$

Цей коефіцієнт широко використовується у технології будівельних матеріалів, характеризуючи рівень технологічної дисципліни при випуску продукції, надійність контрольованих параметрів.

Для того щоб за середнім арифметичним даної обмеженої вибірки робити висновки більш точно про середню величину вимірюваної властивості, знаходять *середню помилку* середнього арифметичного:

$$m = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (2.8)$$



Відношення величини середньої помилки до величини середнього арифметичного називається *показником точності*:

$$\varepsilon = \pm \frac{m}{x} \cdot 100 \% . \quad (2.9)$$

Статистична обробка результатів випробування, крім визначення мінливості вимірюваного показника якості і точності дослідження, передбачає оцінку *довірчої ймовірності* чи *рівня значущості* отриманого результату.

Рівнем значущості називають кількість (або відсоток) таких малоймовірних випадків, у яких дослідник ризикує помилитися, визнавши отриманий результат правильним. Кількість або відсоток достовірних (що не викликають сумнівів) значень досліджуваної властивості називають довірчою ймовірністю. Зазвичай у дослідницькій практиці вивчення будівельних матеріалів приймають два пороги довірчої ймовірності: 0,95; 0,99 та відповідні їм рівні значущості: 0,05 (5%) і 0,01 (1%). Величина довірчої ймовірності або рівень значущості встановлюється залежно від ступеня точності, з якою проводиться дослідження, і відповідальності висновків, що впливають з нього.

Кількість спостережень, необхідних для отримання достатньо надійних і достовірних результатів:

$$n = \frac{c_v^2 t^2}{\varepsilon^2} , \quad (2.10)$$

де  $t$  – критерій Стюдента, який визначається при відповідних довірчій ймовірності та числі ступенів свободи за довідковими даними.

До актуальних у будівельному матеріалознавстві завдань, що вирішуються із застосуванням статистичних методів, належать визначення обсягу експериментальних даних, необхідних для репрезентативних оцінок, порівняння результатів кількох груп випробувань, визначення метрологічних характеристик експериментів та ін.



## 3. СКЛАД ТА СТРУКТУРА МАТЕРІАЛІВ

### 3.1. Склад матеріалів

Склад матеріалу характеризує вміст в ньому окремих компонентів, який виражається, зазвичай у відсотках. Розрізняють хімічний, мінералогічний, фазовий і речовинний склад.

*Хімічний склад* відображає вміст у матеріалі окремих елементів або їх оксидів. Вмістом окремих хімічних елементів прийнято характеризувати склад металевих і органічних матеріалів, оксидів – неметалічних неорганічних матеріалів. Наприклад, хімічний склад звичайних вуглецевих сталей, крім основного хімічного елементу – заліза включає до 0,27% вуглецю, 1,1% марганцю, 0,03% кремнію, 0,07% фосфору (до 0,07%), 0,06% сірки, 0,3% хрому, 0,3% нікелю і 0,3% міді. До складу бітуму входить 70–87% вуглецю, до 15% водню, 10% кисню, 15% сірки і менше 1% азоту.

Склад неорганічних неметалевих будівельних матеріалів переважно характеризують оксиди:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ . Наприклад, хімічний склад напівфабрикату для виробництва портландцементу – клінкеру:  $\text{CaO}$  – 64–67%,  $\text{SiO}_2$  – 21–24%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4–8%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2–4%,  $\text{MgO}$  – < 5%, віконного скла –  $\text{SiO}_2$  – 71–72%,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13–15%,  $\text{CaO}$  – 6,5–9%,  $\text{MgO}$  – 3,8–4,3%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,5–2%.

Хімічні елементи і їх оксиди в неорганічних матеріалах можуть об'єднуватися в хімічні сполуки – мінерали, більшість яких характеризуються конкретною кристалічною будовою. *Мінералогічний (мінеральний) склад* неорганічних матеріалів різноманітний. Найбільш часто зустрічаються у складі будівельних матеріалів такі мінерали як силікати, карбонати і сульфати. В табл. 3.1 наведені основні мінерали, які утворюють гірські породи, що застосовуються при виробництві будівельних матеріалів.

Поряд з природними при отриманні будівельних матеріалів можуть синтезуватися, наприклад, при високих температурах штучні мінерали. Наприклад, при випалі портландцементного



клінкеру утворюються такі мінерали як аліт –  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , беліт –  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , трикальцієвий алюмінат –  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  і чотирьохкальцієвий алюмоферит –  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Від їх співвідношення у клінкері суттєвим чином залежать властивості портландцементу.

Таблиця 3.1

Основні породоутворюючі мінерали

Мінерал	Хімічна формула	Мінерал	Хімічна формула
Кварц	$\text{SiO}_2$	Гіпс	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ортоклаз	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	Ангідрит	$\text{CaSO}_4$
Альбіт	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	Кальцит	$\text{CaCO}_3$
Анортит	$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	Магнезит	$\text{MgCO}_3$
Біотит	$\text{R}[(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2]$	Доломіт	$\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$
Піроксен	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$		

*Фазовий склад* вказує вміст в матеріалі частин (фаз), однорідних за хімічним складом і фізичним властивостям і відділених одна від одної поверхнями розділу. Роль фаз можуть виконувати певні мінерали, речовини, які утворюють «каркас» матеріалу, і пори, які заповнені повітрям або водою. При замерзанні води в порах матеріалу утворюється лід і фазовий склад відповідно змінюється. Відповідно змінюються і властивості матеріалу.

*Речовинний склад* характеризує вміст різних речовин в композиційному матеріалі. Наприклад, портландцемент, крім основного компоненту – клінкеру, вміщує добавку гіпсу для регулювання строків тужавлення, а також часто активну мінеральну добавку (доменний шлак, каменноугільну золу, ряд вулканічних або осадових гірських порід) для економії клінкеру і покращення деяких властивостей цементу.

Склад матеріалів визначають методами аналізу, що базуються на використанні характерних хімічних реакцій або фізико-хімічних і фізичних процесів. Поряд з хімічним аналізом для визначення складу матеріалів використовують мікроскопічні, рентгенівські, диференціально-термічні, спектроскопічні та інші методи.



Для розробки технологічних процесів одержання матеріалів із заданими властивостями потрібно знати умови існування окремих фаз, поведження досліджуваних систем при зміні температури і тиску. З цією метою застосовують *діаграми стану* – графічні зображення співвідношення між параметрами стану фізико-хімічних систем. Найбільше значення в будівельному матеріалознавстві мають діаграми типу склад - властивість і особливо концентраційно-температурні діаграми, їх будують за експериментальними даними, отриманими за допомогою різних фізико-хімічних методів аналізу. Кожній фазі на діаграмі стану відповідає визначений геометричний образ – крапка, лінія або поверхня. Початкової кристалізації відповідає лінія *ліквідусу*, вище якої розміщена область існування рідкої фази, а кристалізації – лінія *солідусу*, нижче якої лежить область існування твердої фази.

На рис. 3.1. приведена діаграма стану двохкомпонентної системи  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ , яка використовується на практиці при теоретичних обґрунтуваннях технологічних процесів керамічного виробництва. Діаграма складається з восьми областей: I – розплав обох компонентів; II – суміш розплаву з кристалами *кристобаліту* – однієї з поліморфних різновидів кремнезему, що знаходиться в стабільному стані при температурах  $1470^\circ\text{C} - 1728^\circ\text{C}$ ; III – розплав з вмістом кристалів, *муліту* що змінюється, (муліт – мінерал  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ); IV – суміш розплаву з *кристалами* корунду ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ); V – суміш розплаву і твердого розчину муліту; VI – твердий розчин муліту; VII – суміш твердого розчину муліту і кристалів корунду; VIII – суміш кристалів кристобаліту і муліту.

У системі  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  є дві евтектичні точки – А при  $1585^\circ\text{C}$  і В при  $1850^\circ\text{C}$  і один максимум С, що відповідає муліту з температурою плавлення  $1910^\circ\text{C}$ .

У трикомпонентних системах склади показують за допомогою рівностороннього трикутника концентрацій. Вершини трикутника А В С означають 100% відповідного компонента. Точки у середині трикутника відображають визначені співвідношення трьох компонентів.



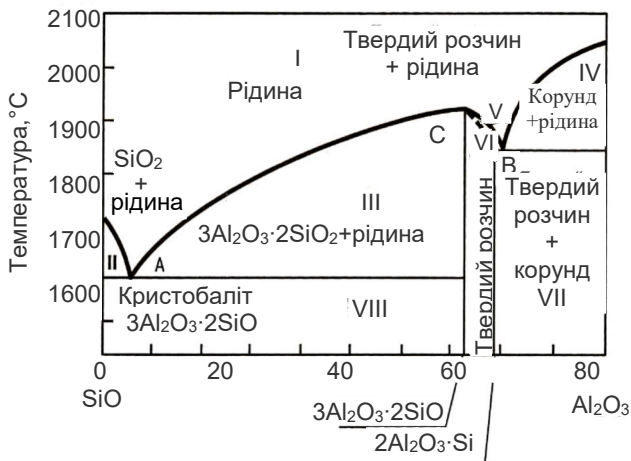


Рис. 3.1. Діаграма стану системи  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$

Так, на рис. 3.2 склад, заданий точкою D, характеризується таким вмістом компонентів: 40% A, 30% B, 30% C.

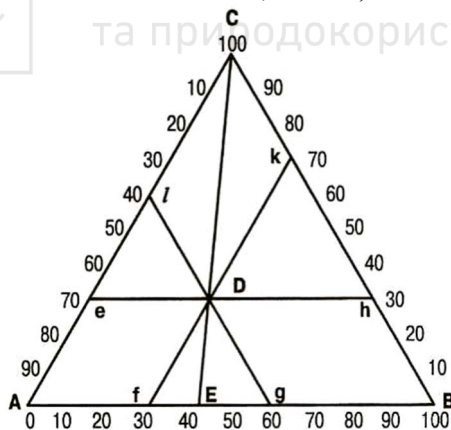
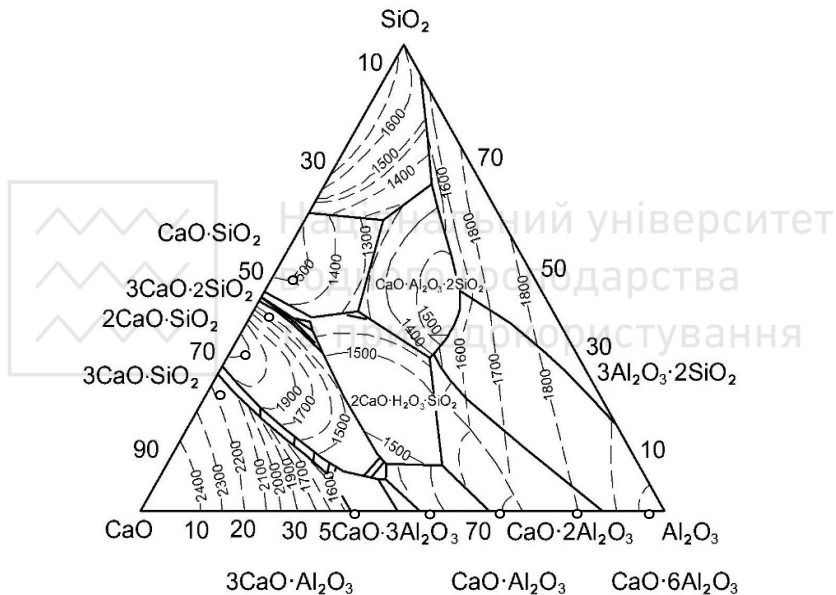


Рис. 3.2. Рівносторонній трикутник концентрацій

У виробництві силікатних будівельних матеріалів важливе місце належить таким потрійним системам, як  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . Система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  широко використовується у вогнетривкій, цементній і керамічній



промисловості. Діаграма стану цієї системи представлена на рис. 3.3. У системі є 15 хімічних сполук, з яких три – прості оксиди, дві – потрійні, інші – бінарні сполуки. Потрійними (тобто які включають три оксиди) сполуками є *анортит*  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  і *геленіт*  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$  (температури плавлення відповідно  $1553$  і  $1593^\circ\text{C}$ ). Анортит – мінерал, що часто зустрічається в гірських породах, а геленіт – у різних металургійних шлаках.



**Рис. 3.3.** Діаграма стану системи  $\text{CaO}\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Серед подвійних сполук особливо важливими є  $3\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$  – мінерали портландцементного клінкеру;  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  – основний мінерал глиноземистого цементу;  $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  – муліт, що входить у керамічні вироби і додає їм вогнетривкості, підвищені електроізоляційні властивості і т.п.



### 3.2. Структура матеріалів

Під *структурою* матеріалів розуміють їх будову, яка визначається взаємним розташуванням, формою і розмірами структурних елементів. Структурними елементами можуть бути атоми, іони, молекули, тверді частинки (зерна) різної дисперсності, агрегати частинок, пори, порожнини між часточками, заповнені рідкою або газоподібною фазою.

Структуру матеріалів, її загальні ознаки і особливості можна розглядати на різних рівнях залежно від розмірів структурних елементів ( $l$ ). Виділяють чотири рівні структури будівельних матеріалів:

атомно-молекулярний	( $l < 10^{-9}$ м);
наноструктурний	( $l = 10^{-9} \dots 10^{-7}$ м);
мікроструктурний	( $l = 10^{-7} \dots 10^{-4}$ м);
макроструктурний	( $l > 10^{-4}$ м);

**Атомно-молекулярна структура матеріалів.** Більшість будівельних матеріалів належать до твердих тіл, які можуть мати кристалічну або аморфну будову. Кристалічні матеріали на відміну від аморфних характеризуються впорядкованим розташуванням частинок у просторі, що утворюють кристалічну решітку.

Розглядаючи структуру матеріалу на атомно-молекулярному рівні, вивчають для кристалічних матеріалів особливості будови елементарних комірок, а для аморфних - особливості агрегатів молекул, атомів або іонів, які не утворюють упорядкованих решіток.

До *кристалічних матеріалів* належить велика група природних або штучних матеріалів, що мають переважно полімінеральний склад. Ряд матеріалів (наприклад, цементи, полімери, шлаки) містять як кристалічні, так і аморфні компоненти.

Кристалічний стан тіла є найбільш стійким, оскільки енергія матеріалу при цьому стані мінімальна. Енергію кристалічної решітки речовин можна оцінити, представляючи їх



хімічну формулу у вигляді нейтральних груп і розрахувавши енергію кожної групи окремо. Наприклад, представивши хімічну формулу мінералу анортиту  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , що входить у доменні шлаки та інші матеріали у вигляді  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , енергію його кристалічної решітки ( $U$ ) можна обчислити як суму енергій більш простих речовин:

$$U = U_{\text{CaO}} + U_{\text{Al}_2\text{O}_3} + U_{2\text{SiO}_2}.$$

Енергія іонної кристалічної решітки за О.Є. Ферсманом дорівнює сумі енергій окремих іонів, які її складають. Енергетичну характеристику, або константу іонів (ЕК) визначають за формулою:

$$EK = \frac{W_i^2}{2l_u}, \quad (3.1)$$

де  $W_i$  – валентність іона;

$l_u$  – відстань між центрами іонів.

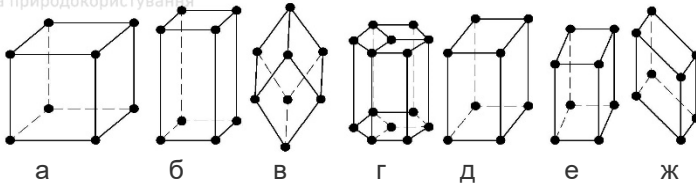
Елементарні комірки кристалів поділяють на примітивні і складні. У примітивних комірках атоми або іони розміщені у вершинах елементарного паралелепіпеда. Примітивні елементарні комірки залежно від довжини кристалографічних осей і величини кутів між ними розділяють на сім типів (табл. 3.2, рис. 3.4).

Таблиця 3.2

Типи примітивних елементарних комірок

Тип решітки	Кут між осями	Співвідношення розмірів осей
Триклинна	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
Моноклинна	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	$a \neq b \neq c$
Ромбічна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
Кубічна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$
Ромбоєдрична	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b \neq c$
Гексагональна	$\alpha = \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$	$a = b \neq c$
Тетрагональна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$

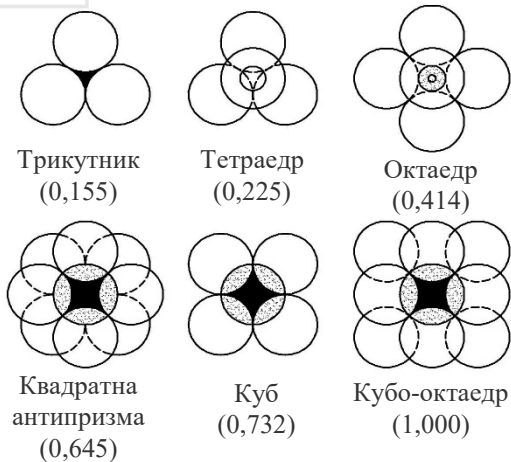
У складних елементарних комірках на середині ребер або граней розміщені додаткові іони (атоми).



**Рис. 3.4.** Форми елементарних примітивних комірок кристалів: а – кубічна; б – тетрагональна; в – тригональна (ромбоєдрична); г – гексагональна; д – ромбічна; е – моноклинна; ж – триклинна

Теорію побудови просторових решіток кристалів заснував Є.С. Федоров у 1890 р. Він встановив 230 варіантів комбінацій у просторі елементів симетрії просторових решіток або просторових груп.

Щільність кристалічної решітки характеризується *координаційним числом*  $K$ , під яким розуміють кількість атомів, найближчих до даного атому (рис. 3.5). Наприклад, в елементарній комірці об'ємно-центрованої кубічної решітки найменша відстань між атомами  $l_a=0,5/\sqrt{3}$ . На цій відстані від даного атома знаходиться вісім інших. Координаційне число такої решітки становить 8.



**Рис. 3.5.** Деякі угруповання аніонів навколо катіона (для кожного випадку вказано мінімальне співвідношення радіусів катіон: аніон)



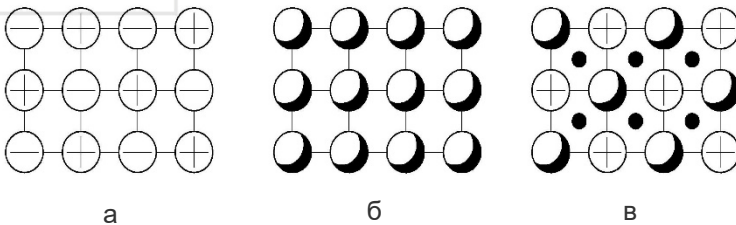
Найбільш щільні решітки – гексагонального та граничноцентрованого типу з координаційним числом 12, коефіцієнтом компактності 74% (відношення об'єму атомів до об'єму комірки).

Половину найменшої відстані між атомами або іонами в кристалічній решітці називають *атомним (іонним) радіусом*. Із зростанням координаційного числа атомний радіус зменшується, оскільки збільшується відстань між атомами.

Неоднакова щільність іонів або атомів в різних напрямках обумовлює відповідну неоднаковість властивостей кристалів – *анізотропію*.

Будівельні матеріали мінерального походження здебільшого знаходяться у стані полікристалів, до складу яких входить значна кількість нечітко орієнтованих кристалів, що зменшує анизотропію. Деякі способи обробки можуть супроводжуватися просторовою орієнтацією кристалів та бути причиною анизотропії властивостей матеріалів.

Між структурними елементами кристалів можливі іонний, атомний (ковалентний), металевий (рис. 3.6), молекулярний та водневий зв'язки.



**Рис. 3.6.** Схеми кристалічних решіток:  
а – іонної; б – атомної; в – металічної

*Іонний зв'язок* – хімічний зв'язок, що виникає в результаті електростатичного притягування катіонів і аніонів.

Більшість катіонів має менший розмір, ніж аніони, і кристалічна решітка іонних сполук утворюється за рахунок розміщення катіонів у пустотах між аніонами. Характерні властивості іонних кристалів – низька електропровідність, теплопровідність, крихкість та висока температура плавлення.



У вузлах *атомних* кристалічних решіток містяться нейтральні атоми, об'єднані ковалентним зв'язком. Ці зв'язки досить міцні. Речовини, які мають такі решітки, тверді, тугоплавкі і практично нерозчинні (алмаз, кремній, сполуки деяких елементів з вуглецем і кремнієм – карбіди і силіциди). Ковалентні кристали на відміну від іонних утворюються з атомів, що мають близькі значення електронегативності. Під *електронегативністю* розуміють здатність атомів притягувати електрони при зв'язуванні з іншими атомами. Якщо збільшується різниця у електронегативності елементів, то зростає ступінь переходу ковалентного зв'язку в іонний.

Для силікатів характерні хімічні зв'язки проміжного типу – іонно-ковалентні.

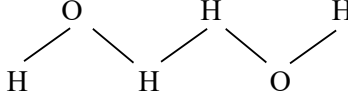
У *металевих* кристалах визначальна роль належить електронам. Вони вільно переміщуються між атомами. У вузлах таких кристалів коливаються позитивні іони металу, а валентні електрони можуть пересуватися через решітку у різних напрямках. Сукупність вільних електронів іноді називається електронним газом. Така будова решітки зумовлює високі тепло- і електропровідність та пластичні властивості металів. Механічне деформування кристалічної решітки в певних межах не викликає руйнування кристалів, оскільки іони, які входять до їх складу, ніби плавають в хмарі електронного газу.

У вузлах *молекулярних* кристалічних решіток розміщені групи атомів або молекули, пов'язані між собою Ван-дер-Ваальсовими силами та дипольними взаємодіями. Сили Ван-дер-Ваальса зростають у випадках, якщо збільшується кількість атомів у молекулі і їх полярність. Молекулярні сили порівняно слабкі, тому молекулярні кристали, характерні для ряду органічних речовин, легкоплавкі, летючі і мають низьку твердість. Наприклад, кристали парафіну з молекулярною решіткою дуже м'які, хоча ковалентні зв'язки C-C між атомами вуглеводневих молекул досить міцні.

Поширений тип зв'язку у кристалах неорганічних речовин – через іон водню, який розміщений між двома аніонами і міцно пов'язує їх. Утворення *водневого* зв'язку має велике значення у структурах води і багатьох інших речовин, до складу яких



входять водень і кисень. Утворенням водневого зв'язку пояснюється 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 виникненням двох водневих зв'язків:



За полімеризаційною теорією молекули води можуть існувати у формах гідролу  $\text{H}_2\text{O}$  (рис. 3.7, а), дигідролу  $(\text{H}_2\text{O})_2$ , а також тригідролу  $(\text{H}_2\text{O})_3$ .

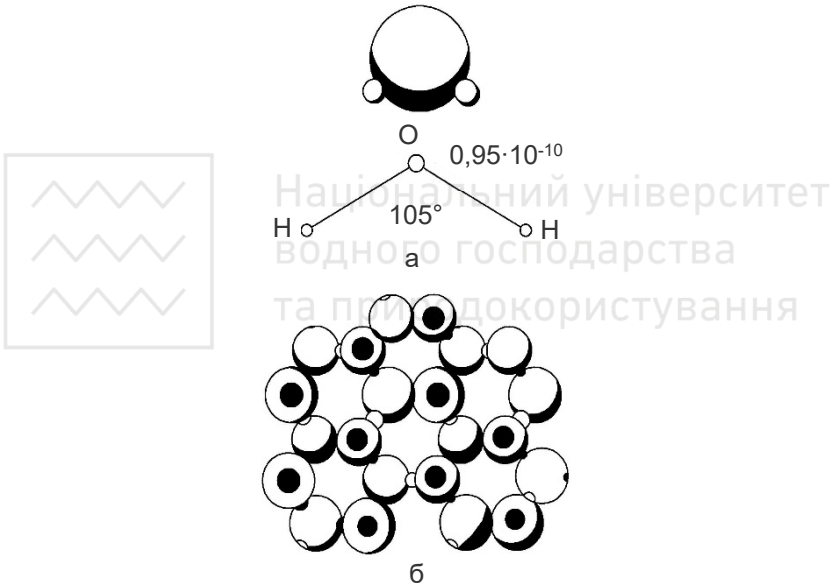


Рис. 3.7. Структура молекули:  
а – води; б – льоду

Лід (рис. 3.7, б) складається переважно з молекул тригідролу, які характеризуються найбільшим об'ємом порожнечі а тому найменшою для води густиною, а водяна пара – з молекул гідролу.

Водневим зв'язком значною мірою пояснюються аномальні властивості води: висока діелектрична постійна,



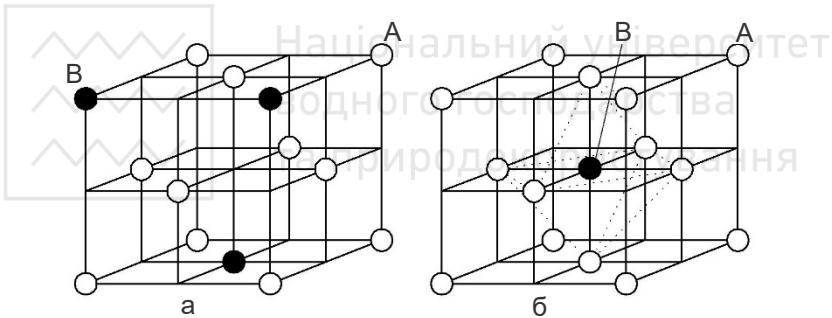


поверхневий натяг, здатність до змочування і розчинення багатьох речовин.

У реальних матеріалах завжди є різні дефекти кристалічної решітки.

Якщо речовина кристалізується з розчину або розплаву при наявності сторонніх атомів, то ці атоми можуть увійти до решітки основної речовини та утворити *тверді розчини*. Сторонні атоми проникають до решітки основного кристала двома шляхами (рис. 3.8):

- 1) займають вузлові точки кристалічної решітки, заміщаючи частинки основного компонента (*тверді розчини заміщення*);
- 2) розміщуються між вузлами кристалічної решітки (*тверді розчини проникнення*).



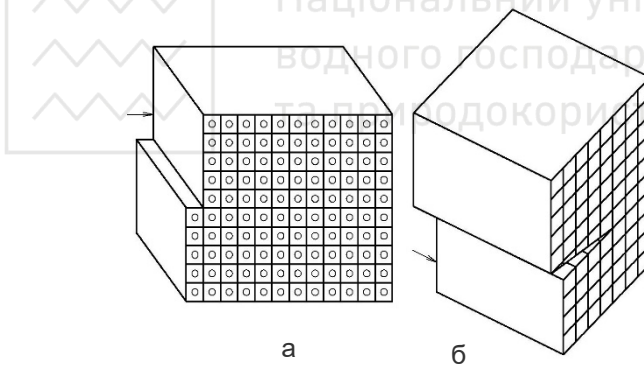
**Рис. 3.8.** Кристалічна решітка твердого розчину: а – заміщення; б – проникнення

Утворення твердих розчинів заміщення характерне при отриманні багатьох керамічних матеріалів, цементного клінкеру та ін.

Тверді розчини проникнення характеризуються змінним складом. Зазвичай, між вузлами здатні проникати атоми і іони невеликих розмірів або співмірні з пустотами кристалічної решітки. Найчастіше розчини проникнення характерні для металевих матеріалів.



Основними видами лінійних дефектів кристалів є дислокації, уздовж і поблизу яких порушується порядок у розташуванні атомних площин. Розрізняють крайові та гвинтові дислокації (рис. 3.9). Крайова дислокація – локалізоване спотворення кристалічної решітки, викликане наявністю в ній «зайвої» атомної півплощини (екстраплощини). Гвинтова дислокація – лінія, утворена атомними площинами у вигляді гвинтової поверхні. Дислокація утворюється внаслідок зсуву частин кристала уздовж площини ковзання, паралельної одній з площин кристалічної решітки. Дислокація є крайовою, якщо вона паралельна напрямку ковзання. Дислокації характеризує вектор Бюргера, що є одиницею відстані зсуву і паралельний напрямку ковзання. Його визначають, підраховуючи кількість міжатомних відстаней по контуру дислокації. Під щільністю дислокації розуміють їх сумарну довжину, яка припадає на одиницю об'єму даного кристала.



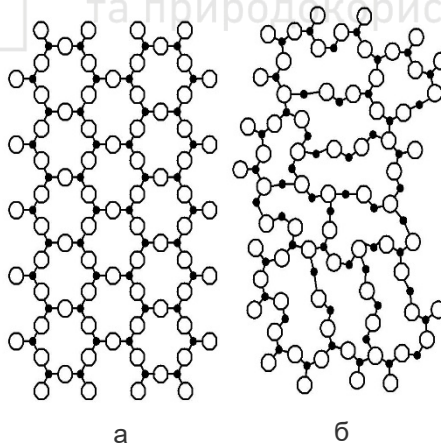
**Рис. 3.9.** Дислокації, що утворилися при пластичній деформації кристалу:  
а – крайові; б – гвинтові

Під дією дотичних напружень дислокації можуть рухатися, за рахунок чого у кристалах виникають пластичні деформації. Дислокації є джерелами внутрішніх напружень, ділянки кристалу поблизу них знаходяться у пружно напруженому стані. Навіть незначна кількість дислокацій може знизити міцність матеріалів на декілька порядків.



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

Структура *аморфних матеріалів* (рис. 3.10), як і структура рідин характеризується так званим ближнім порядком, коли упорядкований стан спостерігається тільки між сусідніми частинками матеріалу. До головних відмінних рис аморфних, в тому числі склоподібних структур, належать ізотропність властивостей і відсутність постійної температури плавлення. Відсутність кристалічної решітки веде до плавної зміни властивостей аморфних матеріалів при переході їх, наприклад, з твердого стану в рідкий. Аморфні тіла можна розглядати як переохоложені рідини. На відміну від рідин в них не відбувається швидкого обміну місцями між сусідніми частинками, що зумовлює їх високу в'язкість.



**Рис. 3.10.** Схема просторової  
решітки кремнезему:  
а – кристалічного; б – аморфного



До найважливіших методів дослідження структур матеріалів належать *рентгенівські методи*. Рентгенівські промені, проходячи крізь кристалічні решітки, зазнають дифракцію, оскільки міжатомні відстані у них співмірні з довжиною хвиль рентгенівського випромінювання.

Розшифрувавши рентгенограми, можна визначити реальні відстані між атомними площинами у кристалічних решітках за формулою Вульфа-Брегга:

$$n\lambda = 2d\sin\theta, \quad (3.2)$$

де  $n$  – порядок відбиття променів;

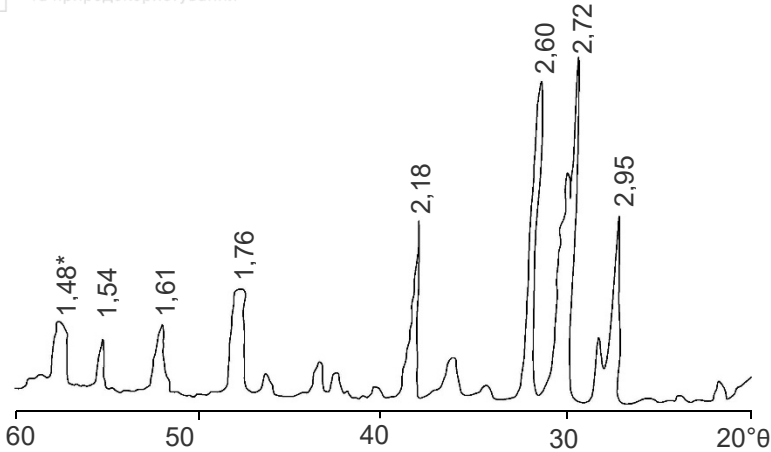
$\lambda$  – довжина хвиль рентгенівських променів;

$d$  – відстань між площинами;

$\theta$  – кут між напрямом пучка та площинами, які відбивають промені.

Кристали на рентгенограмах дають характерні лінії, що відрізняються розташуванням та інтенсивністю (рис. 3.11). Визначивши відстань між площинами та відносну інтенсивність ліній, можна порівнянням з табличними даними, складеними попередньо для відомих речовин, визначити фазовий склад досліджуваного матеріалу. Розшифровка рентгенограм також дає можливість визначити характер дефектів, тип елементарної комірки, положення атомів або іонів та інші особливості атомно-молекулярної структури матеріалів.

Рентгенівські промені не розсіюються атомними ядрами і слабо розсіюються легкими атомами. Для вивчення таких структур застосовують *електронно-графічний аналіз*, заснований на використанні електронних хвиль, які мають довжину на один-два порядки менше ніж рентгенівські хвилі і тому здатні проникати в решітку на глибину не більше ніж 10 атомних шарів. Електронні хвилі отримують у закритій скляній трубі з вакуумом за рахунок пучка електронів від нитки вольфрамового сплаву під дією струму з високою напругою. Використання пучка електронів з довжиною хвиль на кілька порядків менше довжини хвиль видимого світла покладено також в основу *електронної мікроскопії*, яка дає можливість вивчати об'єкти розміром 6...10 мкм при збільшенні до 200 тис. разів.



**Рис. 3.11.** Рентгенограма трикальцієвого силікату  
(\* – над аналітичними лініями вказані міжплощинні  
відстані (d) у  $10^{-10}$  м)

На квантових уявленнях засновані *спектроскопічні методи* дослідження структури матеріалів. Для якісного фазового аналізу застосовують інфрачервону спектроскопію, засновану на здатності хімічних сполук вибірково поглинати промені в інфрачервоних областях спектру.

Рентгенівську спектроскопію застосовують, вивчаючи енергетичні особливості атомно-молекулярної структури та при хімічному експрес-аналізі.

На явищі *електронного парамагнітного резонансу*, який полягає у резонансному поглинанні енергії радіочастотного поля в речовинах, що містять парамагнітні частинки, при накладенні магнітного поля, заснований метод, який дає можливість досліджувати характер хімічних зв'язків у матеріалах, їх валентні стани та ряд інших структурних особливостей.

**Наноструктура.** Наноструктуру мають об'єкти, розміри яких лежать в межах від 0,1 до 100 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

Наноструктури класифікують на суцільні та пористі. До перших належать нанокристали та нанокластери, наноплівки,



нановолокна, до пористих – нанотрубки та об'ємні наноструктури.

*Нанокристали* мають безперервну кристалічну решітку, що характеризується анізотропією властивостей та має хоча б один розмір не більше 100 нм. Кристалічні наночастинки утворюють монокристали, що не мають дефектів та міжзернових границь.

У нанокристалічному стані речовини набувають нових властивостей, нехарактерних при макроскопічних розмірах. Нанокристали здатні змінювати свої властивості під дією зовнішніх впливів (світла, механічного напруження, електричних і магнітних полів, радіації, температури, тиску). Нанокристали можна отримувати різними способами з розплавів і розчинів. Наприклад, з розчинів нанокристали можуть бути вирощені низькотемпературним способом у кристалізаторі, де створюється необхідне для росту кристалів перенасичення, високотемпературним способом за допомогою розплавлених солей і ін., а також гідротермальним способом за рахунок високого тиску (до 300 МН/м<sup>2</sup>).

До наноструктур можна віднести *колоїдні системи*, які мають особливо велике значення у технології будівельних матеріалів.

Колоїдні частинки характеризуються певними зарядами та переміщуються в електричному полі до протилежно зарядженого електроду (*електрофорез*). Внаслідок різниці потенціалів рідка фаза в колоїдній системі здатна переміщатися відносно нерухомого твердого пористого середовища (*електроосмос*).

Електрокінетичні явища, характерні для колоїдів, використовують в техніці, у тому числі в технології будівельних матеріалів. Так, за допомогою електрофорезу можна підготувати керамічні маси для формування фарфоро-фаянсових виробів, відокремити від них дрібні частинки, які не піддаються фільтрації, отримати гумові вироби з латексів та ін. Електроосмос використовують при зневодненні деревини та інших видах промислової обробки різноманітних пористих матеріалів.

В результаті перерозподілу електричного заряду на межі поділу двох фаз різного хімічного складу виникає *подвійний*



*електричний шар*, що складається з двох частин: більш щільного внутрішнього та дифузного зовнішнього. Різницю потенціалів між двома частинами подвійного електричного шару називають *електрокінетичним* або  $\xi$ -*потенціалом*, ( $\xi$ -дзета). Потенціал визначають за швидкістю електроосмосу або електрофорезу. Він має велике значення для характеристики колоїдних систем, зокрема, характеризує їх стійкість. На величину і знак  $\xi$ -потенціалу суттєво впливають добавки ПАР та електrolітів. Якщо  $\xi$ -потенціал дорівнює нулю (ізоелектричний стан), то система не здатна мати електрокінетичні властивості. Якщо  $\xi$ -потенціал складає 25...30 мВ, то відбувається коагуляція, тобто агрегація колоїдних частинок. Внаслідок зчеплення хаотично розподілених твердих частинок дисперсної фази у суспензіях і колоїдних розчинах утворюється просторова сітка або *коагуляційна структура*.

Утворення коагуляційних структур характерне для багатьох матеріалів, наприклад, на основі в'язучих речовин у перший період їх твердіння. Характерною ознакою їх початкового твердіння є виникнення коагуляційних контактів, які відновлюються після руйнування.

Сила зв'язку коагуляційних контактів різко зменшується, якщо поверхні частинок покриті ПАР. Адсорбуючись, ПАР розсовують частинки щонайменше на відстань двох молекулярних шарів, екрануючи енергетично найбільш активні ділянки частинок. Коагуляційні структури іноді називають *гельми*.

Коагуляційні структури розріджуються також під впливом механічних дій при змішуванні, струшуванні або вібрації. Цей ізотермічний процес, який протікає за типом гель-золь, називають *тиксотропією*. Явище тиксотропії свідчить про те, що у коагуляційних колоїдних системах структуроутворення відбувається за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил. Після припинення механічних дій зв'язки, зруйновані у коагуляційній структурі, відновлюються.

Тиксотропію широко використовують у технологіях будівельних матеріалів, наприклад, для вібраційного ущільнення бетонних сумішей.



**Мікроструктура.** На мікрорівні вивчають такі елементи структур матеріалів, які можна виявити за допомогою оптичного або електронного мікроскопа. Їх розміри складають  $10^{-4} \dots 10^{-7}$  м, вони характерні для елементів мікрогетерогенних систем. Для бетонів це елементи структури цементного каменю та контактного шару, кераміки – кристалічні та склоподібні фази.

Типові мікрогетерогенні системи – це порошки, суспензії, емульсії та піни. Для мікрогетерогенних систем на відміну від колоїдних броунівський рух не характерний. Частинки в таких системах переміщуються під впливом ваги, тому вони седиментаційно нестійкі.

*Порошки*, що широко використовуються в технології будівельних матеріалів, можна розглядати як дисперсні системи, дисперсійним середовищем в яких є повітря. Порошки отримують, переважно використовуючи різні методи подрібнення. Дисперсність порошоків контролюють за величиною питомої поверхні і зерновим складом.

*Суспензії та емульсії* – це мікрогетерогенні системи, у яких тверда або рідка дисперсні фази розподілені у рідкому дисперсійному середовищі. В суспензіях дисперсна фаза представлена твердими речовинами, в емульсіях – рідинами. У виробництві будівельних матеріалів суспензії широко використовують при отриманні сировинних шламів, шлікерів, розчинів. Емульсії застосовують зокрема як лакофарбові матеріали. Концентровані суспензії називають *пастами*.

Для забезпечення *агрегативної стійкості* суспензій та емульсій, тобто запобігання коагуляції (злипання крапель емульсії називають *коалесценцією*), потрібно, щоб їх частинки були покриті оболонками з молекул дисперсійного середовища (*сольватними оболонками*). Це можливо, якщо дисперсійне середовище змочує частинки дисперсної фази. Змочуваність часточок можна поліпшити, використовуючи добавки ПАВ. Стабілізації системи сприяє утворення навколо мінеральних частинок подвійного електричного шару іонів.

Як будівельні матеріали широко застосовують емульсії на основі органічних в'язучих речовин – бітуму, дьогтю, полімерів та ін.





Емульсії бувають аніонними та катіонними. Для отримання перших використовують аніонні ПАВ, других – емульгатори катіонного типу.

До пін належать висококонцентровані системи, в яких дисперсна фаза – газ, дисперсійне середовище – рідина. Як будівельні матеріали, переважно теплоізоляційні, застосовують тверді піни, в яких перегородки між газовими бульбашками представлені твердою фазою (пінопласти, піноскло, газо- та пінобетон). Для отримання стійких пін використовують піноутворювачі – високомолекулярні речовини, мила та інші сполуки, які мають високу поверхневу активність.

Ряд будівельних матеріалів, зокрема на основі в'язучих речовин і заповнювачів, утворює конгломератний тип структури. Термін «конгломерат» (від лат. Conglomeratus) означає механічне об'єднання різноманітних компонентів. На мікроструктурному рівні вивчають в'язучу частину конгломератів.

Найважливішими елементами мікроструктури матеріалів, що визначають їх властивості, є *пори*. Найдрібніші пори (ультра-мікропори) виникають внаслідок анізотропії властивостей кристалів і частинок конденсаційних структур, а також їх орієнтації у просторі в процесі росту. Прикладами таких пор є пори в частинках гідратованого цементу (так звані *гелеві пори*), розмір яких складає  $(15-30) \cdot 10^{-8}$  м. Більші пори штучних матеріалів здебільшого мають технологічне походження. Вони виникають внаслідок нещільного укладання суміші, защемлення повітря, випаровування надлишкової води, деструктивних процесів вилугування, дегідратації, вивірювання та ін.

Пори можна розділити на дві групи: *капілярні* та *некапілярні*. В капілярних порах поверхня рідин набуває форми, що зумовлена силами поверхневого натягу, та мало спотворюється за рахунок ваги. Для капілярів з радіусом  $r$  характерний підйом рідини за рахунок дії капілярних сил. Висота капілярного всмоктування  $h$  визначається за формулою Жюрена:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r g \rho_p}, \quad (3.3)$$



де  $\sigma$  – поверхневий натяг;  
 $\theta$  – крайовий кут змочування;  
 $g$  – прискорення вільного падіння;  
 $\rho_p$  – густина рідини.

Щоб оцінити вплив структури на властивості матеріалів, застосовують поняття *пористості* – відношення об'єму пор до загального об'єму матеріалу. Інтегральними параметрами порового простору служать істинна (або повна), відкрита (або уявна), умовно-замкнута пористість. При цьому важливо розрізняти пори за їх розмірами, формою, походженням та ін.

**Макроструктура.** На макроскопічному рівні структуру матеріалів розглядають, якщо розміри частинок складають понад  $10^{-4}$  м. Макроструктуру вивчають неозброєним оком або при незначному збільшенні. При цьому можна визначити особливості будови та дефектів матеріалів, зумовлених процесами їх формування, виробництва та експлуатації (наприклад, дефекти ливарного походження у металах, вади деревини, бульбашки та сторонні вclusions у склі, тріщини та раковини в бетоні).

Вивчення макроструктури матеріалів конгломератного типу дає можливість визначити відносну кількість в'язучих матеріалів та заповнювачів, їх розподіл, а іноді і мінералогічний склад, розмір та форму зерен, характер поверхні, форму та кількість макропор та ін.

У ряді випадків складні багатокомпонентні структури можна звести на макрорівні до двокомпонентних. Наприклад, макроструктуру бетону можна розглядати як систему цементний камінь – заповнювач.

Двокомпонентні структури можна розділити на паралельно і послідовно складені (рис. 3.12). Однак найбільш часто зустрічаються змішані паралельно-послідовні структури.

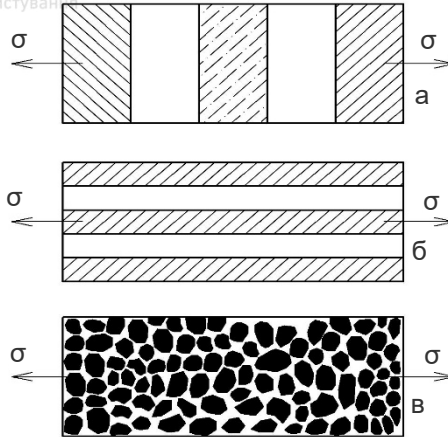
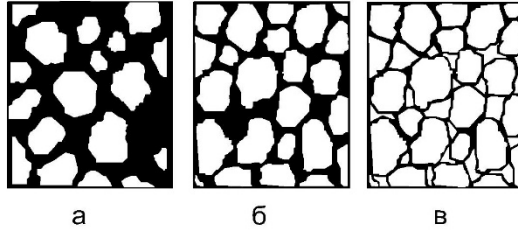


Рис. 3.12. Схеми структур:

а – послідовно складеної; б – паралельно складеної;  
в – конгломератного матеріалу

Конгломератні двокомпонентні структури (рис. 3.13) поділяють на три групи (за І.М. Грушко) залежно від ступеня розсунення зерен заповнювача. Якщо структура матеріалу з базальною цементацією, то зерна заповнювачів не утворюють контакти між собою, вони як би плавають у сполучній масі. Властивості матеріалу при такій макроструктурі зумовлені переважно властивостями матричної частини. Заповнювачі, діючи як концентратори напружень, можуть погіршувати механічні властивості конгломерату. При насиченні структури зернами заповнювача утворюється щільний каркас, склеєний тонким прошарком штучного або природного в'язучого. Таку структуру називають *поровою*. Вона сприятлива як з точки зору витрат в'язучого, так і надання матеріалам необхідних технічних властивостей.

*Контактна структура* характеризується максимальним насиченням матеріалу, коли в'язучого недостатньо для заповнення пустот між зернами заповнювача, і у ряді випадків, для утворення суцільної оболонки на їх поверхні.



**Рис. 3.13.** Схеми макроструктур конгломератного типу:  
а – з базальною цементацією; б – порова; в – контактна

Структура будівельних матеріалів з плином часу змінюється під впливом процесів, зумовлених як їх внутрішньою природою, так і навколишнім середовищем. Ці процеси можуть бути конструктивними, такими, що поліпшують структуру і властивості матеріалу, і деструктивними. Так, розвиток новоутворень у процесі гідратації підвищує міцність бетонів, покращує ряд інших властивостей, але разом з тим під впливом агресивних чинників навколишнього середовища відбуваються корозійні процеси, які мають руйнівний характер. Висока довговічність матеріалу досягається при формуванні такої його структури, при якій вплив деструктивних процесів стає мінімальним. Характерним прикладом спрямованого формування такої структури є утворення в бетоні за допомогою добавок ПАР повітряних пор, рівномірно розподілених в усьому об'ємі. Такі пори запобігають збільшенню тиску води, яке виникає при її замерзанні, а також зменшують капілярне підсмоктування води внаслідок гідрофобізації поверхні капілярів.

На розвиток деструктивних процесів впливають дефекти структури матеріалів – відкриті пори, тріщини та ін.



## 4. ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Властивості матеріалів характеризують особливості їх фізичного стану і відношення до різних фізичних, хімічних і технологічних факторів. Їх можна розглядати як «відгуки» структури і складу матеріалу на вплив факторів навколишнього середовища.

### 4.1. Фізичні властивості

До фізичних належать властивості матеріалів, що характеризують параметри їх стану і відношення до дії фізичних факторів: води, температури, електричного струму, магнітного поля та ін.

**Параметри стану.** Найважливішими фізичними параметрами стану матеріалів є густина і пористість.

*Густина* визначається відношенням маси матеріалу до його об'єму. Для будівельних матеріалів розрізняють дійсну  $\rho$  і середню густину  $\rho_0$ . *Дійсна густина* (або просто густина) характеризує масу матеріалу в одиниці об'єму прийнятого в абсолютному щільному стані  $V_a$ , а *середня густина* – з урахуванням наявних у ньому пор і пустот –  $V$ :

$$\rho = m / V_a, \quad (4.1)$$

$$\rho_0 = m / V. \quad (4.2)$$

Для сипучих матеріалів разом з середньою густиною зерен визначають *насищену густину*, що враховує міжзернову пустотність.

Дійсна густина більшості неорганічних матеріалів становить 2200–3300 кг/м<sup>3</sup>, сталі – 7600–7900 кг/м<sup>3</sup>, сплави алюмінію – 2600–2900 кг/м<sup>3</sup>, поліетилену – 910–970 кг/м<sup>3</sup>. Середня густина матеріалів змінюється у широкому діапазоні (табл. 4.1), наприклад, для найлегших пористих пластмас вона становить 10–20 кг/м<sup>3</sup>, а для найбільш щільних – 2000 кг/м<sup>3</sup> і більше.

Густина матеріалів зростає при збільшенні тиску і зменшується з підвищенням температури. Виняток становить вода, що має максимальну густину при 4° С. При фазових



перетвореннях густина матеріалів змінюється стрибкоподібно, збільшуючись при переході з рідкого стану в твердий. Вода, а також чавун і ряд інших матеріалів при затвердінні стають менш щільними. Густина матеріалів визначають пікнометричним методом, гідростатичним зважуванням та ін.

Таблиця 4.1

Густина та пористість матеріалів

Матеріал	Дійсна густина, кг/м <sup>3</sup>	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Загальна пористість, %
Граніт	2650–2700	2600–2700	0–2
Вапняк	2700	1300–2700	11–13
Бетон важкий	2600	1800–2400	8–31
Пінобетон	2600	300–600	77–85
Деревина:			
сосна	1500	400–500	67–73
дуб	1500	610–750	50–60
Скло віконне	2400–2650	2450–2650	–
Сталь	7800–7850	7800–7850	–

Для будівельних матеріалів визначають також *відносну густину*  $\rho_{від}$  як відношення об'єму речовини зразка до повного його об'єму або відношення його середньої та дійсної густини:

$$\rho_{від} = \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

З густиною матеріалів нерозривно пов'язана їх пористість. *Загальну пористість*, %, можна визначити за формулою:

$$П = \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

Для сипучих матеріалів загальна пористість характеризується ступенем заповнення порами окремих зерен та об'ємом міжзернових порожнин.

Пористість матеріалів істотно впливає на ряд їх властивостей і, зокрема, тепло- та електропровідність, міцність, проникність.



Розрізняють відкриту і закриту пористість. *Відкриту (уявну) пористість* можна визначати за об'ємним водонасиченням матеріалу. Для більш точного визначення відкритої пористості застосовують методи, що базуються на вдавлюванні ртуті у пори, просочуванні зразків рідиною з подальшим її витісненням, відсмоктуванні повітря з пор та ін. *Закриту пористість* визначають за допомогою мікроскопа, малокутового розсіювання рентгенівських променів та ін.

Регулювання пористості – ефективний технологічний спосіб цілеспрямованої зміни властивостей матеріалів.

При порівняно невеликих значеннях пористості ( $P \leq 10\%$ ) більшість показників фізичних властивостей змінюється лінійно у разі її збільшення та може бути розрахована за формулою:

$$\gamma = \gamma_0 (1 - KP), \quad (4.5)$$

де  $\gamma$  – показник властивості пористого матеріалу;

$\gamma_0$  – показник властивості матеріалу без пор;

$K$  – коефіцієнт, що залежить від особливостей структури матеріалу та конкретної властивості (наприклад, для електро- та теплопровідності середнє значення  $K$  становить 1,5, міцності – 3...6).

У широкому інтервалі пористість пов'язана з показниками фізико-механічних властивостей залежністю:

$$\gamma = \gamma_0 (1 - P)^K. \quad (4.6)$$

Вплив пор на властивості матеріалів пов'язаний не тільки з їх відносним об'ємом, але й залежить від їх розміру, форми, відкритого або закритого характеру. Наприклад, при однаковій загальній пористості матеріали з великим об'ємом закритих пор більш морозостійкі. Збільшення об'єму відкритих пор сприяє підвищенню звукопоглинання матеріалів. Відкрита пористість збільшує хімічну активність матеріалів і знижує їх корозійну стійкість. Будівельно-технічні властивості матеріалів, як правило, поліпшуються при дрібнопористій будові і рівномірному розподілі пор.



Для дисперсних матеріалів важливою характеристикою є *питома поверхня* – відношення площі поверхні до одиниці об'єму або маси. Величина питомої поверхні  $S_{\text{пит}}$  обернено пропорційна розміру частинок. Для частинок кулястої форми вона дорівнює:

$$S_{\text{пит}} = 3 / r, \quad (4.7)$$

де  $r$  – радіус частинки.

Зі збільшенням питомої поверхні матеріалів зростає їх поверхнева енергія та реакційна здатність. Питому поверхню дисперсних матеріалів вимірюють, визначаючи опір проходженню повітря через шар порошку, а також адсорбційним та іншими методами.

Енергетичною характеристикою стану матеріалів є *поверхнева енергія* – надлишок енергії поверхневого шару на межі розділу двох фаз. Наприклад, значення поверхневої енергії на межі з повітрям зокрема для міді становить  $1,43 \text{ Дж/м}^2$  (при  $1100^\circ \text{C}$ ), силікатного скла –  $0,3 \text{ Дж/м}^2$  (при  $650^\circ \text{C}$ ). Зі збільшенням температури поверхнева енергія знижується, вона значною мірою залежить від складу матеріалу, виду і концентрації домішок. Значення поверхневої енергії матеріалів прямо пов'язане з величиною *поверхневого натягу* ( $\sigma$ ), що характеризує роботу переходу атомів з внутрішніх шарів на поверхню при утворенні  $1 \text{ см}^2$  нової поверхні. Поверхневий натяг визначають для рідин за допомогою досить добре розроблених експериментальних методів. Про величину поверхневої енергії твердих тіл судять за допомогою розрахункових методів і, опосередковано, вимірюванням деяких механічних характеристик.

Відповідно до рівняння Гіббса-Гельмгольца вільна питома поверхнева енергія визначається з рівняння:

$$I = \sigma - Td\sigma / dT, \quad (4.8)$$

де  $Td\sigma / dT$  – теплота утворення одиниці поверхні.

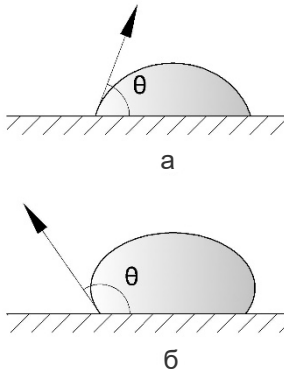
Ефективним засобом збільшення поверхневої енергії матеріалів є їх механо-хімічна обробка.





**Гідрофізичні властивості.** Ця група властивостей матеріалів відображає їхнє відношення до води. Фізична взаємодія води (як і інших рідин) з поверхнею твердих тіл проявляється у *змочуванні*, зумовленому силами молекулярної взаємодії. Змочують тверду поверхню лише ті речовини, які зменшують поверхневий натяг твердого тіла на границі розділу з повітрям.

Здатність твердого тіла до змочування визначається, перш за все, хімічною природою його поверхні і природою змочуючої рідини. Водою змочуються *гідрофільні* – зазвичай високополярні речовини з іонним або полярним зв'язком, тобто більшість будівельних матеріалів, таких як бетон, кераміка, деревина та ін. Для *гідрофобних матеріалів* – бітумів, дьогтів, синтетичних полімерів та ін., характерна низька полярність молекулярних сил, що діють на межі з повітряним середовищем. Такі матеріали змочуються неполярними рідинами, наприклад, рідкими вуглеводнями, тобто речовинами, спорідненими їм за хімічною будовою. Мірою змочуваності є крайовий кут  $\theta$ , що утворюється краплею рідини на твердій поверхні. Для гідрофільних матеріалів кут  $\theta$  гострий, для гідрофобних – тупий (рис. 4.1).



**Рис. 4.1.** Положення краплі води на поверхні:  
а – гідрофільній; б – гідрофобній



Ступінь гідрофобності матеріалів можна істотно змінювати обробкою їх поверхнево-активними речовинами (ПАР). Прикладом гідрофобізації у технології будівельних матеріалів є отримання гідрофобного цементу помелом цементного клінкеру з введенням добавок гідрофобізуючих ПАР – жирних кислот і їх солей. Набула поширення також поверхнева гідрофобізація матеріалів кремнійорганічними рідинами.

Пористі гідрофільні матеріали гігроскопічні, тобто здатні поглинати вологу з навколишнього повітря. *Гігроскопічність* зумовлена адсорбцією води на поверхні матеріалу і її конденсацією в мікрокапілярах. Процес гігроскопічного зволоження є оборотним і поглинання вологи з повітря відбувається до встановлення рівноваги. Гігроскопічна вологість матеріалів залежить від багатьох факторів. Вона збільшується з підвищенням відносної вологості і зниженням температури повітря, зменшенням повітряних теплових потоків, ростом питомої поверхні матеріалів. Гігроскопічність залежить також від хіміко-мінералогічного складу матеріалів і їх розчинності.

Гігроскопічна вологість залежно від виду матеріалів змінюється у широких межах – для більшості неорганічних матеріалів у діапазоні 1–3%, деревини – 12–18%. Гігроскопічне зволоження зазвичай погіршує якість будівельних матеріалів: знижує активність цементу, призводить до набухання деревини і зниження її міцності, збільшення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів та ін.

При безпосередньому контакті матеріалів з водою вони звожуються в результаті капілярного всмоктування, дифузії і гідростатичного заповнення водою відкритих пор.

*Капілярне всмоктування* викликається силами поверхневого натягу, що виникають на межі розділу двох фаз – твердої і рідкої. З явищем капілярного всмоктування пов'язаний підйом води у бетоні, цегляній кладці, який може досягати значної висоти. Капілярне всмоктування знижує стійкість до хімічної корозії і морозостійкість будівельних матеріалів. При капілярному всмоктуванні мінералізованих вод у порах природних і штучних кам'яних матеріалів відкладаються солі (сольова корозія) при одночасному випаровуванні з них води.



Такий процес супроводжується сильним тиском кристалів на стінки капілярів, що викликає руйнівні напруження. Відповідна капілярному тиску висота підйому води може бути знайдена з рівняння:

$$h = \frac{2\sigma \cos \varphi}{rg\rho_e}, \quad (4.9)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг води на границі з повітрям (при 20° С рівний 0,0728 Н/м);

$\varphi$  – крайовий кут змочування;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\rho_e$  – густина води;

$r$  – радіус капілярів.

З рівняння (4.9) випливає, що для гідрофобних матеріалів  $\varphi > 90^\circ$ , функція  $\cos \varphi$  приймає від'ємне значення і капілярного всмоктування не спостерігається. При цьому капілярний тиск, що виникає, перешкоджає проникненню води у пори. Наприклад, гідрофобізований матеріал з діаметром пор близько 10 мкм може чинити опір гідростатичному тиску, рівному приблизно 0,03 МПа.

Можливість зволоження матеріалів за рахунок капілярного всмоктування необхідно враховувати при експлуатації будівель і споруд. Наприклад, для запобігання зволоження ґрунтовими водами нижніх частин будівель влаштовують гідроізоляційний шар, що відокремлює їх від фундаментів. Капілярне всмоктування можна використовувати для просочення пористих матеріалів захисними речовинами.

*Дифузійне зволоження* характерне для таких високоцілних матеріалів як бітуми і полімери. Швидкість проникнення води в результаті дифузії, наприклад, у середовищі в'язкого бітуму становить близько 1,0 мм на добу. Вона істотно залежить від температури.

Ступінь заповнення пор матеріалів водою характеризується їх *водопоглинанням*. Розрізняють водопоглинання:



- за масою  $B_m$ :

$$B_m = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

- за об'ємом  $B_v$ :

$$B_v = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100\%. \quad (4.11)$$

де  $m_1$  – маса зразка, насиченого водою;

$m$  – маса сухого зразка;

$V$  – об'єм сухого зразка.

З рівнянь (4.11) и (4.12) випливає взаємозв'язок цих показників:

$$B_v = \rho_0 B_m, \quad (4.12)$$

де  $\rho_0$  – середня густина матеріалу.

Водопоглинання за об'ємом характеризує відкриту або «уявну» пористість. На відміну від масового об'ємне водопоглинання завжди менше 100%. Для металів, скла, фарфору водопоглинання (за масою) практично дорівнює нулю, граніту – 0,5–0,7%, щільного бетону – 2–4, керамічної цегли – 8–20, ряду високопористих теплоізоляційних матеріалів – більше 100%. Водопоглинання пов'язане з іншими властивостями матеріалів – міцністю, морозостійкістю, проникністю та ін., і при необхідності, нормується.

*Вологість* – вміст води у порах та на поверхні матеріалу. Визначають у відсотках за масою або об'ємом. Розрізняють абсолютну та відносну вологість. Абсолютну вологість визначають як відношення маси вологи, яка знаходиться у матеріалі, до маси сухого матеріалу, відносну вологість – до маси матеріалу у вологому стані.

Матеріали, перебуваючи на повітрі, зберігають свою вологість тільки за умови певної рівноважної відносної вологості навколишнього середовища. Якщо вологість навколишнього середовища, нижча рівноважної, матеріал починає віддавати вологу (висушується). Швидкість вологовіддачі залежить від різниці між вологістю матеріалу та відсноною вологістю повітря,



швидкості нагріву та руху повітря, пористості, величини частинок та природи матеріалу.

*Вологовіддача* характеризується швидкістю виділення вологи, тобто кількістю води, що втрачається протягом доби при відносній вологості повітря 60% з температурою 20° С, та виражається у відсотках від маси зразка. Рівноважний стан між вологістю матеріалу та повітря називається повітряно-сухим станом матеріалу. Рівноважна вологість деревини у повітряно-сухому стані – 12–18%, стінових матеріалів – 5–7%.

Для ряду матеріалів, що застосовуються при будівництві гребель, резервуарів, колекторів та інших напірних споруд, важливою властивістю є *водопроникність* – здатність пропускати воду під тиском. Водопроникність матеріалів характеризується *коефіцієнтом фільтрації*  $K_{\phi}$ , що визначає кількість води  $V_{\phi}$ , яка просочилася протягом певного часу  $\tau$  через площу  $S$  матеріалу, який випробовується, товщиною  $\delta$  при перепаді гідростатичного тиску  $\Delta P$ :

$$K_{\phi} = \frac{V_{\phi} \delta}{S \Delta P \tau} \quad (4.13)$$

Поряд з коефіцієнтом фільтрації можливе використання й інших показників водопроникності (водонепроникності): граничного тиску, який витримує матеріал, або максимально можливої тривалості при заданому тиску без появи ознак фільтрації води.

Водопроникність матеріалів визначається, перш за все, наявністю шляхів фільтрації, відкритими сполученими порами і тріщинами. Зменшення водопроникності, як і проникності по відношенню до інших флюїдів досягається регулюванням пористої структури матеріалів, їх гідрофобізацією, кольматацією (закупоркою) пор, введенням у їх склад деяких добавок або просоченням, а також нанесенням захисних покриттів.

З особливостями пористої структури пов'язана також газопроникність (паропроникність) матеріалів.

*Газопроникність* – здатність матеріалів пропускати гази через пори і тріщини. Характеризується коефіцієнтом газо-, паропроникності, що показує масу газу або пари, що пройшли



через стінку з певною площею поверхні  $1 \text{ м}^2$  і товщиною  $1 \text{ м}$  за одну годину при різниці на поверхнях тиску матеріалу  $1 \text{ Па}$ . При визначенні коефіцієнта газопроникності об'єм газу, що проходить, приводять до нормальних умов.

Газо- та паропроникність великою мірою залежить від густини і пористості матеріалів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Відносні значення газо- та паропроникності деяких матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Пористість, %	Відносне значення	
			паропро- никності	газопро- никності
Цегла керамічна	1800	31	1	1
Легкий бетон	1800	31	0,8	0,9
Цегла трепельна	1100	58	2,2	4,2
Вапняк	2000	23	0,7	1,2
Бетон на гравію	2200	15	0,25	0,1

При зволоженні матеріалів їх механічні властивості можуть істотно змінюватися за рахунок створення адсорбційно-активного середовища і розклинюючої дії тонких плівок води (ефект П.О. Ребіндера), розчинення контактів зрощення кристалів, набухання глинистих мінералів та ін. Здатність матеріалів зберігати міцність у насиченому водою стані – *водостійкість*, характеризується *коефіцієнтом розм'якшення*:

$$K_p = R_n / R_c, \quad (4.14)$$

де  $R_n$  – міцність зразка в насиченому водою стані;

$R_c$  – міцність сухого зразка.

Коефіцієнт розм'якшення може змінюватися практично від нуля (повітряне вапно, глина, що розмокає) до одиниці (метали, полімери). Для гідравлічних в'язучих та бетонів, які тверднуть у водному середовищі, при відсутності корозійного впливу величина  $K_p$  може бути більшою одиниці.

До водостійких належать матеріали з коефіцієнтом розм'якшення не менше  $0,8$ . Підвищення водостійкості забезпечується зниженням розчинності та пористості матеріалів,



їх гідрофобізацією, просоченням та покриттям водостійкими складами.

Здатність матеріалів чинити опір при поперемінному заморожуванні та відтаванні води характеризує їх *морозостійкість*.

Руйнівний вплив води при її поперемінному заморожуванні і відтаванні пояснюється розвитком значних внутрішніх напружень у результаті процесу кристалізації льоду, який супроводжується збільшенням об'єму у заповнених водою порах. При чергуванні циклів заморожування і відтавання в матеріалі накопичуються залишкові деформації, що призводять до руйнування. Руйнуванню бетону при циклічному заморожуванні і відтаванні сприяють також напруження, що виникають в результаті відмінності коефіцієнтів термічного розширення окремих компонентів. Інтенсивність руйнування збільшується зі збільшенням водопоглинання, об'єму відкритих пор, зниженням температури заморожування, тобто збільшенням, в результаті, об'єму льоду, утвореного в матеріалі. На морозостійкість впливає також характер напруженого стану матеріалів.

Кількісно морозостійкість матеріалів оцінюється нормованими показниками – марками, рівними кількості циклів заморожування та відтавання, яку витримують зразки при допустимому зниженні їх міцності (наприклад, для бетону не більше 5%) або маси. Морозостійкість матеріалів змінюється у широкому діапазоні залежно від виду матеріалу, його складу, характеру пористості та ін. Наприклад, для цегли встановлені марки за морозостійкістю F15...F50, для важкого бетону F50...F1000.

Морозостійкість характеризують також *коефіцієнтом морозостійкості*:

$$K_F = R_2 / R_1, \quad (4.15)$$

де  $R_2$  і  $R_1$  – границі міцності при стиску зразків матеріалу у водонасиченому стані відповідно випробуваних і тих, що не пройшли випробування.



Випробування водонасичених зразків на морозостійкість проводять у морозильних камерах послідовним заморожуванням і розморожуванням зразків. Утворення льоду в найбільш характерних капілярних порах матеріалів відбувається при температурі від  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для прискореного випробування на морозостійкість зразки випробовують у сольових розчинах і при більш низьких температурах. Показниками деструктивних змін у матеріалі, який випробовують також поряд зі зменшенням міцності при прискорених випробуваннях, є залишкові деформації і видимі руйнування у вигляді луцення поверхні зразків, появи сітки мікротріщин та ін., (рис. 4.2).

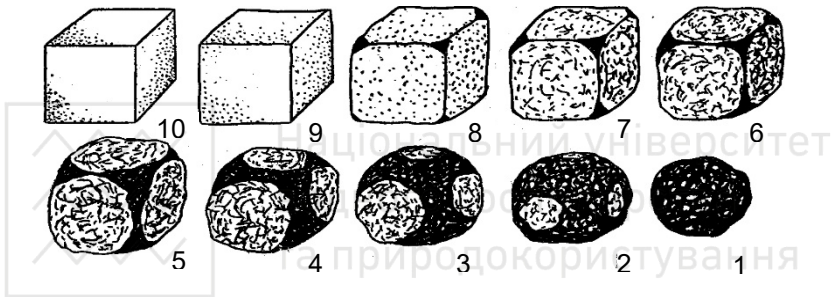


Рис. 4.2. Оцінка стану зразків при випробуванні на морозостійкість за десятибальною шкалою

Збільшення морозостійкості матеріалів досягається, перш за все, зменшенням відкритої доступної для води пористості, а також збільшенням об'єму закритих рівномірно розподілених повітряних пор, розміром менше  $0,5$  мм при оптимальній відстані між ними. Такі пори служать «резервними» ємностями, де накопичується замерзаюча вода, що знижує виникаючі напруження. На морозостійкість позитивно впливають підвищення водостійкості матеріалів і їх міцності на розтяг.

**Теплофізичні властивості.** До цієї групи належить ряд властивостей, які характеризують відношення матеріалів до теплового впливу.

Кількість теплової енергії, що необхідна для підвищення температури матеріалів на один градус, називається *теплоємністю*. Її визначають експериментально з





використанням калориметрів на основі рівняння теплового балансу системи. Теплоємність залежить від хімічного складу і будови матеріалів, їх температури і вологості. Питома теплоємність, тобто теплоємність одиниці маси або об'єму, природних і штучних кам'яних матеріалів змінюється в широких межах (табл. 4.3, рис. 4.3).

Таблиця 4.3

Питома теплоємність для деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Масова теплоємність, кДж/(кг·°С)	Об'ємна теплоємність кДж/(дм <sup>3</sup> ·°С)
Асфальт	0,92	1,2
Цегла керамічна	0,84	1,344
Цегла силікатна	1	1,7
Бетон важкий	0,88	1,7
Скло віконне	0,84	2,1
Граніт	0,84	2,1
Гіпс	1,09	2,507
Пісок кварцовий	0,835	1,2
Сталь	0,47	3,713
Деревина	1,7	1

Для органічних матеріалів теплоємність значно вища, ніж для неорганічних.

Теплоємність (С) матеріалів залежно від температури визначають за допомогою рівняння:

$$C = C_0 + at + bt^2 + \dots, \quad (4.16)$$

де  $C_0$  – питома теплоємність при 0°С;

$a, b$  – постійні коефіцієнти.

Для технічних розрахунків часто приймають лінійну залежність:

$$C = C_0 + at. \quad (4.17)$$

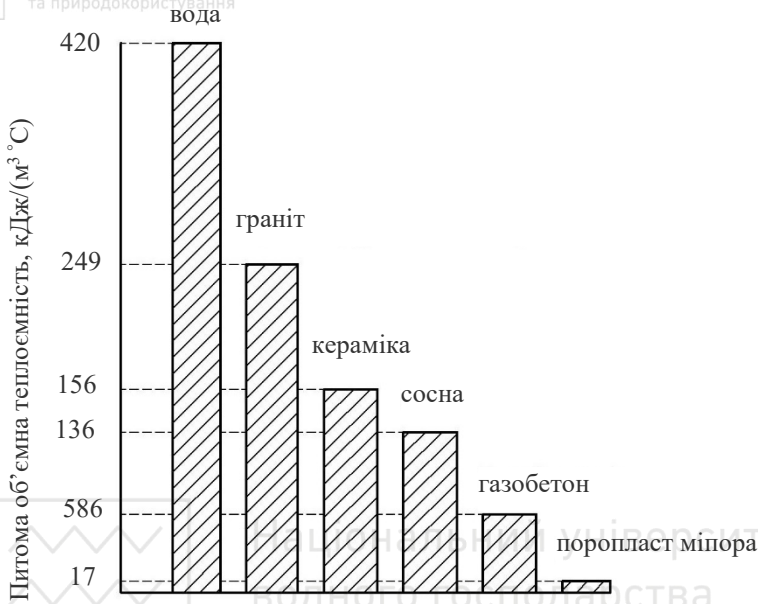


Рис. 4.3. Питома теплоємність різних матеріалів

Починаючи з т.зв. температури Дебая, що відповідає максимально можливій частоті коливань атомів у вузлах кристалічної решітки без її руйнування (0,2...0,5 температури плавлення), підвищення теплоємності зі збільшенням температури стає незначним.

Теплоємність матеріалів враховують при конструюванні огорожувальних конструкцій, в тому числі теплостійких (стіни, перекриття, печі, сушарки та ін.), розрахунку термосного режиму твердіння бетону та ін.

При наявності різниці температур у матеріалах відбувається передача теплоти в напрямку від менш нагрітих до більш нагрітих ділянок, зумовлена коливальним рухом частинок (кераміка, природні камені, скло) або рухом вільних електронів (метали). Це явище отримало назву *теплопровідності*. Для мінеральних кристалічних матеріалів теплопровідність зменшується з підвищенням температури, а для аморфних матеріалів характерна зворотна залежність. З підвищенням



температури зменшується також теплопровідність металів.

Мірою теплопровідності матеріалу є кількість теплоти, що передається за одиницю часу через одиницю його поверхні при градієнті температур у  $1^\circ\text{C}/\text{м}$ . Вона отримала назву *коефіцієнта теплопровідності*  $\lambda$ . Її знаходять експериментально, ґрунтуючись на законі теплопровідності Фур'є:

$$Q = \lambda \frac{F\tau\Delta t}{\delta}, \quad (4.18)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, Дж;

$F$  – площа перерізу, перпендикулярна напрямку теплового потоку,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  – різниця температур,  $^\circ\text{C}$ ;

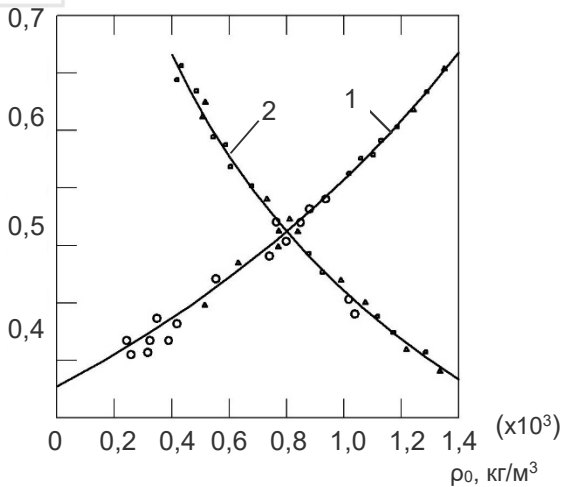
$\delta$  – товщина матеріалу, м;

$\tau$  – час, с.

Найбільшою мірою на теплопровідність впливає пористість матеріалів (рис. 4.4). Зі збільшенням об'єму пор у матеріалах вони більшою мірою можуть заповнюватися повітрям, яке має найменшу теплопровідність з відомих речовин.

$\lambda$ , Вт/(м $\cdot$ °C)

40 50 60 70 80 90 П, %



**Рис. 4.4.** Залежність теплопровідності керамічних вогнетривів від: 1 – середньої густини ( $\rho_0$ ); 2 – пористості (П)



Нижче для порівняння наведена теплопровідність деяких матеріалів  $\lambda$ , з різною середньою густиною  $\rho$ , відповідно, пористістю:

	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м <sup>o</sup> С)
Граніт	2600–2800	2,8–3,4
Сосна	530	0,17
Сталь	7860	58,00
Мінеральна вата	200–400	0,06
Цегла	1200	0,44
	1900	0,8

Для зниження теплопровідності матеріалів бажане створення дрібнопористої структури, при якій має місце незначне перенесення теплоти за рахунок конвекції, тобто переміщення нагрітого повітря у порах. Теплопровідність зменшується також з ускладненням хімічного складу матеріалів, переходом від кристалічної структури до аморфної.

Запропоновано ряд формул для розрахунку теплопровідності залежно від пористості. Найбільш прості з них, рекомендовані до використання до температури 500<sup>o</sup> С, мають вигляд:

$$\lambda = \lambda_0(1 - KP), \quad (4.19)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність пористого матеріалу;

$\lambda_0$  – теплопровідність матеріалу при відсутності пор;

$P$  – загальна пористість (в частках одиниці);

$K$  – коефіцієнт, що враховує особливості складу та структури матеріалу.

Для розрахунку орієнтовного значення теплопровідності повітряносухих (вологістю 1–7%) мінеральних матеріалів залежно від густини В.П. Некрасов запропонував формулу:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (4.20)$$

де  $d$  – відносна густина.

Теплопровідність металів з підвищенням температури зменшується, для більшості інших матеріалів зростає. Це



особливо необхідно враховувати при виборі матеріалів для теплової ізоляції паропроводів, котельних установок та ін.

Розрахункові значення теплопровідності матеріалів лінійно змінюються зі зміною вологості  $W$ :

$$\lambda_w = \lambda_c + \Delta\lambda W, \quad (4.21)$$

де  $\Delta\lambda$  – приріст теплопровідності, % на кожний процент зміни вологості матеріалу (для мінеральних матеріалів  $\Delta\lambda=0,0023$  при додатних температурах і  $0,047$  при від’ємних);

$\lambda_c$  – теплопровідність сухого матеріалу.

У порах матеріалів діаметром  $0,027\text{--}0,1$  мм теплопровідність повітря при  $0^\circ\text{C}$  складає  $0,024\text{--}0,031$  Вт/(м $\times$ °C), води –  $0,58$ , льоду –  $2,326$  Вт/(м $\cdot$ °C).

Теплопровідність – один з визначальних показників якості теплоізоляційних і конструкційно-теплоізоляційних матеріалів. З теплопровідністю однозначно пов’язаний *термічний опір*  $R_m$ , що характеризує опір матеріалів теплопередачі:

$$R_m = \delta / \lambda, \quad (4.22)$$

де  $\delta$  – товщина матеріалу.

Величина термічного опору – один з найважливіших нормованих показників для огорожувальних конструкцій, що встановлюється залежно від температурної зони їх експлуатації. Наприклад, для зовнішніх стін з цегли, каменів і дрібних блоків при використанні утеплювачів термічний опір приймається рівним  $1,7\text{--}2,2$ , покриттів і перекриттів  $2\text{--}2,7$ , вікон і балконних дверей –  $0,39\text{--}0,5$  (м $^2$  $\times$ °C)/Вт. Для багатошарових огорожуючих конструкцій величина термічного опору обчислюється за формулою:

$$R_m = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4.23)$$

де  $\delta_i$ ,  $\lambda_i$  – товщина та коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го шару конструкції.



Збільшення амплітуди коливань атомів і молекул при нагріванні призводить до зміни міжатомної відстані і теплового розширення твердих тіл. Для характеристики теплового розширення використовується зазвичай *температурний коефіцієнт лінійного розширення*  $\alpha_p$  (коефіцієнт термічного розширення – к.т.р.), що враховується при облаштуванні температурних швів, нанесенні захисних покриттів, підборі складів композиційних матеріалів. Він характеризується відносним подовженням зразка при нагріванні його на  $1^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_p = \Delta l / l \Delta t, \quad (4.24)$$

де  $\Delta l$  – зміна розміру зразка після нагрівання;

$l$  – початковий розмір зразка;

$\Delta t$  – зміна температури при нагріванні зразка.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення органічних матеріалів значно більший, ніж неорганічних. Так, якщо для кварцового скла, він рівний  $0,5 \cdot 10^{-6}$ , дюралюмінієвого сплаву  $2,2 \cdot 10^{-6}$ , сталі  $12 \cdot 10^{-6}$ , то для полівінілхлориду  $\alpha_p = (80 \dots 90) \cdot 10^{-6}$ ; поліетилену  $(160 \dots 230) \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ .

Зі зменшенням температурного коефіцієнта лінійного розширення зростає *термостійкість* – здатність матеріалів зберігати механічні характеристики при одно- і багаторазових термічних впливах.

До матеріалів високої термостійкості належать матеріали з температурним коефіцієнтом лінійного розширення меншим  $45 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ . Наприклад, вироби з плавленого кремнезему ( $\alpha_p < 7 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ ) не руйнуються навіть при найбільш різких змінах температури.

Термостійкість матеріалів визначають температурою, нагрівання до якої з наступним швидким охолодженням різко зменшує міцність матеріалів. Можлива характеристика термостійкості числом теплосмін, що витримується матеріалом при певній температурі. Термостійкість матеріалів збільшується з підвищенням їх теплопровідності і міцності, зменшенням модуля пружності, збільшенням їх однорідності.



Здатність матеріалу протистояти дії високих температур, не розплавляючись, називають *вогнетривкістю*. Її характеризують зазвичай температурою, при якій зразок пірамідальної форми при деформації торкається вершиною основи. Висока вогнетривкість і температура плавлення характерні для однокомпонентних систем (наприклад, чистих оксидів). Для багатоконпонентних матеріалів поява розплаву і відповідно розм'якшення при нагріванні спостерігається при більш низьких температурах.

До вогнетривких належать матеріали з вогнетривкістю 1580–1770 (динасові, кварцові, шамотні та ін.), високовогнетривкими – вище 1770° С (високоглиноземисті, хромітові, карборундові та ін.).

Для матеріалів, які працюють при високих температурах, вирішальне значення має здатність зберігати високі механічні властивості (*жароміцність*) та протистояти розвитку корозійних процесів (*жаростійкість*). Прикладами жароміцних матеріалів є сплави на основі нікелю та кобальту, складні металооксидні, металокарбідні та інші композиційні матеріали, жаростійких – кераміко-металічні, вуглеграфітові, склокристалічні матеріали.

Жаростійкість можна поліпшити армуванням за допомогою ниткоподібних кристалів та полікристалічних волокон або нанесенням жаростійких покриттів.

Здатність матеріалів не погіршувати фізико-механічні властивості під дією відкритого полум'я характеризує їх *вогнестійкість*. Границя вогнестійкості будівельної конструкції вимірюється тривалістю дії відкритого полум'я до появи наскрізних тріщин або отворів, через які вільно проникають вогонь і продукти горіння. Границя вогнестійкості досягається також тоді, коли підвищення температури на поверхні, що не обігрівається, становить більше 220° С і конструкція втрачає несучу здатність. Для незахищених металевих конструкцій границя вогнестійкості становить 0,5 год, залізобетону – 1–2, бетону – 2–5 годин.

Головним показником пожежної безпеки матеріалів є їх *спалімисть*. За спалімистю будівельні матеріали поділяють на три групи:



- неспалими – не здатні горіти на повітрі;
- важкоспалими – здатні займатися під впливом джерела горіння, затухаючи після його видалення;
- спалими – здатні самостійно горіти у повітряному середовищі.

До неспалимих належать природні та штучні неорганічні матеріали, важкоспалимих – матеріали, що складаються з негорючих та горючих компонентів (асфальтобетон, бетонні вироби на органічних заповнювачах та ін.), спалимих – багато органічних матеріалів без добавок антипіренів (амонійних, борно- та фосфорнокислих солей та ін.).

**Оптичні властивості.** Для багатьох, особливо оздоблювальних будівельних матеріалів, важливе значення мають такі оптичні властивості, як колір, блиск, прозорість.

*Колір матеріалів* фізично можна пояснити вибірковою поглинанням видимої області спектра. Розрізняють дві групи забарвлення: ахроматичну (чорно-білу), що має перехідні відтінки, і хроматичну з певною насиченістю кольору, тобто ступенем наближення до чистого спектрального забарвлення. До основних спектрально чистих кольорів, одержаних при розкладанні білого променя, що проходить через прозору призму, належать червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий. З огляду на асоціативне сприйняття кольору, розрізняють відтінки льоду і вогню або холодні (короткохвильові – блакитні, сині, фіолетові) і теплі (довгохвильові – червоні, помаранчеві, жовті).

Колір природних мінеральних матеріалів зумовлений характером електронної взаємодії елементів, що їх складають, а також структурними дефектами, видом та концентрацією домішок.

*Хромофорні властивості*, тобто здатність надавати матеріалам певний колір мають іони перехідних металів – титану, ванадію, хрому, заліза, марганцю, кобальту, нікелю та міді. Особливе місце серед хромофорів належить залізу. Найбільш інтенсивне забарвлення дає  $Fe^{3+}$  (червоне, буре, жовте, зелене). Іон  $Fe^{2+}$  викликає більш бліде, ніж  $Fe^{3+}$  зеленувате та





блакитнувате фарбування. Поєднання іонів  $Fe^{3+}$  та  $Fe^{2+}$  надає синьо-чорного забарвлення мінералам.

На колір матеріалів істотно впливають умови їх утворення, головним чином, температура та характер навколишнього середовища, а також різні домішки.

Для отримання різноманітних кольорових сумішей у будівництві застосовують переважно мінеральні фарби (пігменти), що представлені, в основному, оксидами та солями як природного, так і штучного походження.

*Блиск* – здатність матеріалів відбивати падаюче на них світло. Кількісно він виражається *коефіцієнтом відбивання*  $K_{відб}$ , функціонально пов'язаним з *показником заломлення*  $n$ , а для непрозорих матеріалів і *коефіцієнтом поглинання*  $K_{погл}$ :

$$K_{відб} = \frac{(n-1^2) + n^2 K_{погл}}{(n+1^2) + n^2 K_{погл}}. \quad (4.25)$$

Для мінералів, що складають природні кам'яні матеріали, часто (до 70%) зустрічається скляний блиск ( $n=1,5-1,8$ ), рідше (до 1-2%) – алмазний і металевий блиск ( $n=2,7-3,4$ ). Блиск залежить від гладкості поверхні матеріалів. Високого блиску поверхні досягають, поліруючи її або використовуючи глазури та емалі.

*Прозорість* – властивість матеріалів пропускати світло без розсіювання. Мірою прозорості є *коефіцієнт прозорості*:

$$K_{пр} = I' / I_0, \quad (4.26)$$

де  $I'$  і  $I_0$  – відповідно інтенсивність світла, що пройшло через поверхню і впало на поверхню матеріалу.

*Світлопропускання* будь-якого матеріалу характеризується *коефіцієнтом прозорості* ( $K_{пр}$ ) і експоненціально пов'язане з коефіцієнтом поглинання  $K_{погл}$  та товщиною поглинаючого шару  $\delta$  (закон Ламберта-Байєра):

$$K_{пр} = e^{-K_{погл} \delta}. \quad (4.27)$$



При  $K_{np}=0$  матеріал непрозорий. Коефіцієнт прозорості наближається до одиниці для оптичного скла, з якого виготовляють лінзи і світловоди. Разом з коефіцієнтом прозорості використовують показник *оптичної густини*:

$$\rho_{opt} = -\lg K_{np}. \quad (4.28)$$

Зменшити прозорість матеріалу можна введенням різних домішок, утворенням мікротріщин та відносно великих дислокацій.

Втрата прозорості склом – *глушіння* забезпечується утворенням дрібних кристаликів, наприклад, оксидів олова, титану, цирконію. Показники заломлення скла як дисперсійного середовища, та кристалів як дисперсної фази, повинні у глушеному склі суттєво відрізнятися. Цей принцип використовують також для глушіння лакофарбових покриттів, що містять плівкоутворюючі речовини та пігменти.

**Акустичні властивості.** Для будівельних матеріалів, що використовуються у конструкціях, враховують при необхідності акустичний опір та звукопоглинання.

*Акустичний опір* характеризує відношення амплітуди акустичного тиску та швидкості коливань часток матеріалу під впливом цього тиску. Питомий акустичний тиск знаходять за формулою:

$$Z = A_{a.m} / A_{ш}, \quad (4.29)$$

де  $A_{a.m}$  і  $A_{ш}$  – відповідно комплексна амплітуда акустичного тиску та лінійна швидкість коливань частинок середовища.

Якщо не враховувати втрати при поширенні звукових хвиль, то питомий акустичний тиск можна знайти як добуток швидкості поширення звуку у даному середовищі на його густину. На значення питомого акустичного опору істотно впливає частота коливань середовища. Для визначення акустичного опору матеріалів вимірюють акустичний тиск у трубі, закритій з одного боку зразком.

*Звукопоглинання* матеріалів характеризується ступенем або коефіцієнтом поглинання звуку. Здатність матеріалів поглинати звук зумовлена їх пористістю, вона зростає з підвищенням



кількості відкритих пор, максимальний діаметр яких не перевищує 2 мм. На середніх частотах матеріали здатні поглинати до 40% звукової енергії хвиль. Звукопоглинаючі матеріали забезпечують також необхідну тривалість *реверберації* – поступового згасання звуку у приміщеннях. Тривалість реверберації залежно від інтер'єру приміщення і частоти коливань становить 0,2–2,0 с.

До поширених звукопоглинаючих матеріалів належать мінераловатні та скловолкнисті плити, які мають відкриту пористість не менше ніж 75%.

Для підвищення звукопоглинання конструкцій в області низьких частот збільшують товщину матеріалів та забезпечують наявність повітряних прошарків. Високе звукопоглинання у широкому діапазоні частот забезпечується комбінацією перфорованого покриття з пористим матеріалом.

**Електрофізичні властивості.** Однією з основних електрофізичних властивостей матеріалів є *електропровідність* – здатність пропускати електричний струм. Її вимірюють відношенням густини струму до напруженості електричного поля (питома електрична провідність). Цей показник для електропровідних матеріалів дорівнює  $10^4$ – $10^6$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup> напівпровідників  $10^{-10}$ – $10^4$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>, електроізоляційних – менше  $10^{-10}$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. Для провідників і напівпровідників характерна електронна провідність, для різних видів електроізоляторів (діелектриків) – переважно іонна. Іонна електропровідність зростає з підвищенням температури (рис. 4.5). Домішки, підвищуючи коефіцієнт дифузії, також сприяють збільшенню іонної електропровідності. Вплив пористості на електропровідність близький до її впливу на теплопровідність. При наявності порівняно невеликої кількості ізольованих рівномірно розподілених пор електропровідність зменшується майже пропорційно збільшенню пористості. При підвищеній пористості вплив її на електропровідність зростає.

Характерними твердими електропровідними матеріалами є метали та їх сплави, електроізоляційними – кераміка, скло, слюда, азбест.



Властивістю, зворотною електропровідності, є *електричний опір*. Він залежить від мінерального та хімічного складу, структури та вологості матеріалу, тиску та температури (рис. 5.20). Наприклад, оксиди  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  підвищують електричний опір, а  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  – зменшують.

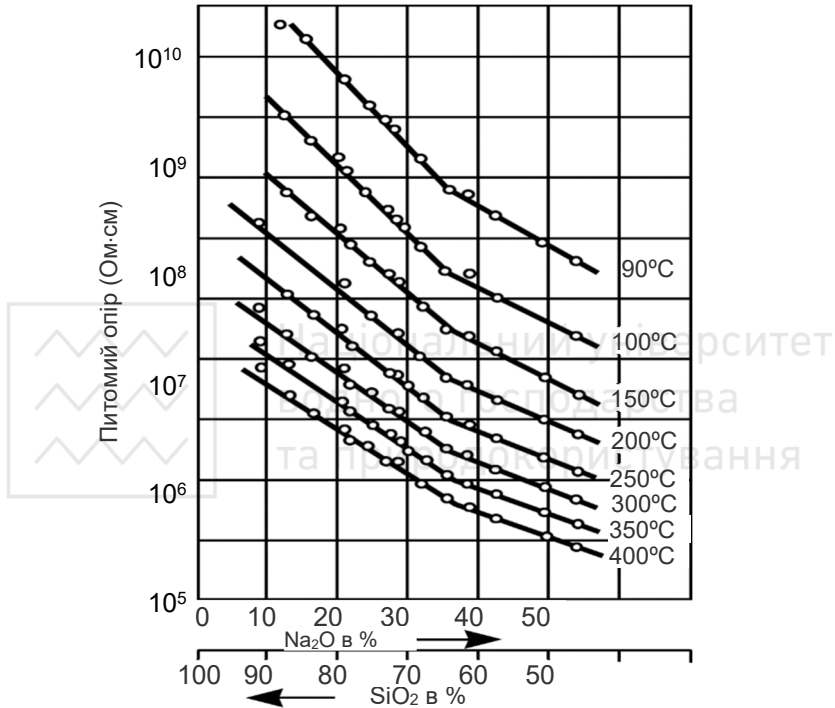
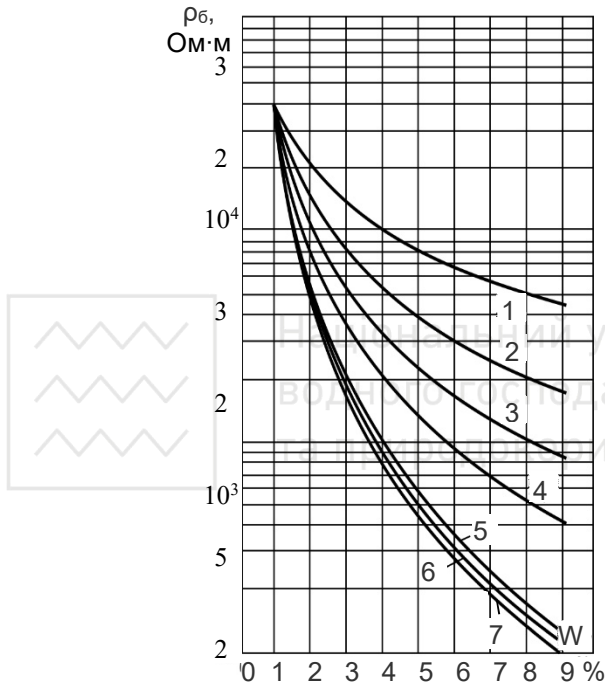


Рис. 4.5. Електропровідність скла у системі  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2$

Характерним процесом для матеріалів, що входять у групу діелектриків, є *поляризація* – обмежене зміщення зарядів або орієнтація дипольних молекул. Поляризація діелектриків супроводжується розсіюванням енергії, що викликає їх розігрів. Про ефект поляризації судять за значеннями діелектричної проникності і величиною кута діелектричних втрат. Будь-який діелектрик може бути використаний при напругах, що не перевищують граничних значень, характерних для нього в



певних умовах експлуатації. При більш високих напругах настає явище пробою діелектриків і повна втрата ними ізоляційних властивостей. Здатність матеріалів витримувати напругу (електрична міцність) характеризується величиною пробивної напруги електричного поля.



**Рис. 4.6.** Залежність питомого опору бетону класу В15 від температури і вологості (W):  
1 – при  $-10^{\circ}\text{C}$ ; 2 – при  $-7^{\circ}\text{C}$ ; 3 – при  $-5^{\circ}\text{C}$ ; 4 – при  $-3^{\circ}\text{C}$ ;  
5 – при  $0^{\circ}\text{C}$ ; 6 – при  $+5^{\circ}\text{C}$ ; 7 – при  $+10^{\circ}\text{C}$

**Радіаційно-фізичні властивості.** Основними характеристиками радіаційно-фізичних властивостей матеріалів є здатність матеріалів поглинати іонізуючі випромінювання, перш за все, нейтрони та  $\gamma$ -промені і стійкість до них (*радіаційна стійкість*). Ці властивості враховуються при зведенні



конструкцій атомних електростанцій, підприємств з виробництва ізоотопів та ін. З усіх відомих експлуатаційних факторів, що впливають на матеріали, іонізуючі опромінення належить до числа найсильніших. Основними параметрами іонізуючого випромінювання є щільність потоку частинок або квантів і їх енергія.

Теплові нейтрони ефективно поглинаються матеріалами, що містять атоми бору, кадмію, гафнію та ін. Для послаблення потоку швидких нейтронів, крім того, використовують матеріали, що містять такі легкі елементи як водень, літій, берилій, вуглець. Для матеріалів, що поглинають нейтронне випромінювання, часто використовують елементарний бор, нітрид або карбід бору. З цією метою використовують боровмісну сталь.

Поглинання  $\gamma$ -випромінювання посилюється з підвищенням густини матеріалів. Для поглинання випромінювання цього виду нарівні з металами використовують особливо важкий бетон, густина якого досягає  $6000 \text{ кг/м}^3$  і більше. Підвищення вмісту в бетоні легких елементів (водню, бору та ін.) дає можливість використовувати бетон для поглинання як  $\gamma$ -, так і нейтронного випромінювання.

Під впливом іонізуючих випромінювань на матеріали відбувається розрив хімічних зв'язків, утворення вільних радикалів, зміщення атомів з рівноважного положення в кристалічній решітці і її деформація. Передача енергії випромінювання матеріалу може призводити до нагрівання його до високих температур і оплавлення, переходу з кристалічного стану в аморфний. Ступінь і глибина якісних змін матеріалів залежить від дози опромінення.

Виникаючі радіаційні дефекти структури матеріалів при їх опроміненні призводять до розвитку в матеріалах внутрішніх напружень і деформацій, утворення тріщин. Змінюються також пружні характеристики, температурна деформативність, теплопровідність, густина та інші властивості.

Радіаційна стійкість матеріалів залежить від їх складу і структури. Високу радіаційну стійкість мають нержавіючі сталі, сплави хрому, цирконію, ванадію та ін. Радіаційна стійкість



гірських порід і штучних кам'яних матеріалів зростає, якщо збільшується у їхньому складі вміст аморфної фази і зменшуються розміри кристалів. Для бетонів і розчинів позитивне значення мають збільшення вмісту цементного каменю, зменшення крупності заповнювача. Встановлено, що при значних дозах опромінення міцність бетону на стиск знижується у 4 рази, а на розтяг більш ніж у 2 рази.

Допустима інтенсивність опромінення бетонів ( $10^{19}$  нейтр-см<sup>-2</sup>) залежить від виду крупного заповнювача:

Граніт, діорит, сієніт, габбро, лабрадорити	2–5
Дуніти, базальт, діабаз, андезит, олівініт	5–15
Серпентиніт	10–50
Вапняк	10
Магнетит, гематит	10–100
Хроміт	200

*Радіоактивність* будівельних матеріалів характеризується вмістом в них атомів хімічних елементів, здатних до радіоактивного розпаду (радіонуклідів).

Для вихідної сировини і готових будівельних матеріалів і виробів характерна природна радіоактивність. Вона зумовлена вмістом у матеріалах природних радіонуклідів: радію-226, торію-232, калію-40. Основною характеристикою радіоактивності будівельних матеріалів є *ефективна питома активність природних радіонуклідів* ( $A_{\text{еф}}$ ) (відношення активності радіонуклідів у зразку до маси зразка, Бк/кг). Її величину визначають за формулою:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}}, \quad (4.30)$$

де  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  – питомі активності відповідно радію – 226, торію – 232 та калію – 40.

За величиною ефективної питомої активності радіонуклідів будівельні матеріали поділяють на класи, для яких встановлено можливі галузі використання (табл. 4.4).



Таблиця 4.4

Класи матеріалів за  $A_{\text{эф}}$

Ефективна питома активність ( $A_{\text{эф}}$ ), Бк/кг	Клас матеріалу	Область застосування
До 370	I	Всі види будівництва
Від 370 до 740	II	Дорожнє будівництво в межах населених пунктів та зон перспективної забудови, будівництво виробничих споруд
Від 740 до 1500	III	Дорожнє будівництво поза населеними пунктами
Від 1500 до 4000	IV	Питання про будівництво вирішується за узгодженням з відповідним контрольним органом

## 4.2. Механічні властивості

Найважливішими для будівельних матеріалів є механічні властивості, що характеризують їх відношення до зовнішніх силових дій (табл. 4.5). Механічні властивості нерозривно пов'язані зі структурою матеріалів, силами зчеплення між частинками, особливостями їх теплового руху.

Таблиця 4.5

### Механічні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Границя міцності, МПа		Твердість, МПа	Стіраність $г/см^2$	Ударна в'язкість, $кДж/м^3$	Модуль пружності, $10^3$ МПа
	стиск	розтяг				
Граніт, сієніт, діорит	100–250	5–6,5	–	0,05–0,1	–	30–60
Вапняк	3,5–200	6,7–7,5	–	2–5	–	10–60
Бетон важкий	5–80	1,1–3,5	220–800	0,6–1,5	2–4,5	19–40
Чавун	800–1000	–	2000	–	10–20	80–160

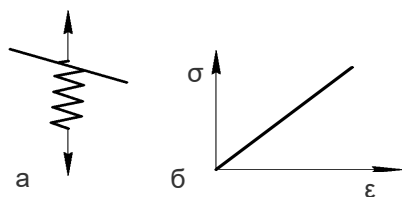




продовження табл. 4.5

Матеріал	Границя міцності, МПа		Твердість, МПа	Стіраність г/см <sup>2</sup>	Ударна в'язкість, кДж/м <sup>3</sup>	Модуль пружності, 10 <sup>3</sup> МПа
	стиск	розтяг				
Цегла клінкерна	40–100	–	–	0,2–0,4	–	–
Сосна(вздовж волокон, вологість 12%)	36–48	70–130	21–26	–	42	12
Скло віконне	600–700	30–35	4000–6000	–	2	48–83
Шлакоситали	500–650	–	100–400	0,015	4,5–6	–
Склотекстоліт	–	110–300	200–220	–	50–116	11–21

**Деформативні властивості.** Силкові дії на матеріал викликають зміни відстані між частинками, що його складають, або їх зсув. Здатність матеріалів відновлювати форму і об'єм (тверді матеріали) або тільки об'єм (рідкі та газоподібні матеріали) після припинення дії зовнішніх сил називають *пружністю*. Для кристалічних матеріалів пружність спричиняється силами при тяжіння між частинками, що утворюють просторову решітку. Розсунуті під впливом механічних зусиль елементи решітки після розвантаження намагаються повернутися у початкове положення (рис. 4.7).

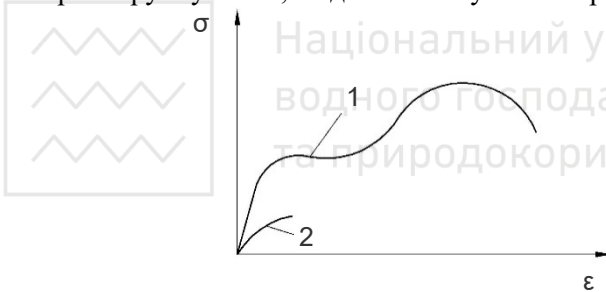


**Рис. 4.7.** Модель ідеального твердого тіла, що підпорядкована закону Гука: а – модель пружного тіла; б – графік;  $\sigma$  – напруження;  $\epsilon$  – відносна деформація



Властивість матеріалів набувати значні пружні деформації під дією порівняно невеликих навантажень і відновлювати розміри і форму після їх зняття називається *еластичністю*. Високоеластичні матеріали (гума, поролон та ін.) після зняття напруження практично миттєво відновлюють форму і розміри. Еластичні деформації мають зазвичай виражений анізотропний характер.

Напруження, що розвиваються в матеріалах при їх навантаженні, досягають певного критичного значення, після чого починають проявлятися незворотні (пластичні) деформації (рис. 4.8). Строго визначити межу між пружним та пластичним станом важко, тому зазвичай визначають умовну границю пружності – напруження, при якому в матеріалі спостерігається залишкова деформація 0,01%. Слід зазначити, що крихкі матеріали руйнуються, не досягаючи умовної границі пружності.



**Рис. 4.8.** Вплив напружень на відносні деформації матеріалів:  
1 – сталь; 2 – бетон

Відносні деформації матеріалів у пружній області пропорційні діючим напруженням (закон Гука):

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (4.31)$$

де  $\sigma$  – нормальне напруження;

$E$  – модуль пружності при розтягу;

$\varepsilon$  – відносна деформація.

*Модуль пружності* матеріалів визначається міцністю міжатомних зв'язків та пов'язаний з такими властивостями як міцність, твердість, температура плавлення та ін.



Експериментальні методи визначення модуля пружності поділяють на статичні та динамічні. При статичних методах зразок матеріалу піддають дії постійного або змінного навантаження та визначають деформації, які виникають. Співвідношення значень деформацій у поперечному та поздовжньому напрямках у пружно розтягнутому матеріалі називають *коефіцієнтом Пуассона*.

При застосуванні динамічних методів на зразок впливають імпульсами високочастотних коливань. *Динамічний модуль пружності*  $E_d$  визначають за швидкістю поширення пружної хвилі  $V_{п.х}$ , що виникає у матеріалі, використовуючи формулу:

$$V_{п.х} = (E_d / \rho)^{1/2}, \quad (4.32)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу.

Застосовують також резонансний метод, заснований на визначенні власної частоти коливань зразка. Якщо зразки виготовлені у вигляді тонких стрижнів, то динамічний модуль пружності матеріалу дорівнює:

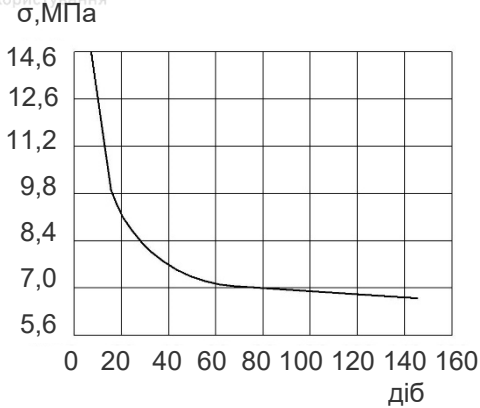
$$E_d = 4l\rho f_{новз}^2, \quad (4.33)$$

де  $l$  – довжина стрижня;

$f_{новз}$  – резонансна частота повздовжніх коливань у матеріалі.

Матеріали, що знаходяться під дією зовнішніх сил, здатні до зменшення внутрішніх напружень без зміни лінійних розмірів. Це явище пояснюється *релаксацією* – поступовим розсіюванням пружної енергії деформованого під навантаженням матеріалу (рис. 4.9) та переходом її у теплоту.

Релаксацією пояснюються принципові відмінності механічних властивостей та поведінки під навантаженням твердих та рідких тіл. Для твердих тіл період релаксації, протягом якого пружне навантаження падає до певного значення, дуже великий, а для рідин – навпаки. *Період релаксації* виражають відношенням в'язкості тіла до модуля пружності. Під в'язкістю рідких тіл розуміють опір їх витіканню, а твердих – здатність поглинати механічну енергію при їх деформуванні.



**Рис. 4.9.** Релаксація напружень у бетоні при постійній деформації  $360 \cdot 10^{-6}$

Період релаксації визначає тривалість релаксаційних процесів, в результаті яких досягнуте значення напруження зменшується без зміни показника деформації в  $\epsilon=2,718$  разів.

Крім періоду релаксації, в розрахунках використовують коефіцієнт релаксації ( $\phi$ ), що показує рівень падіння напруження за певний період:

$$\phi = \sigma_{\tau} / \sigma_0, \quad (4.34)$$

де  $\sigma_{\tau}$  – напруження в момент часу  $\tau$  при постійній деформації;  
 $\sigma_0$  – початкове напруження.

Якщо тривалість дії деформуючої сили на рідину значно менша періоду релаксації, то рідина поводить себе як пружне тверде тіло. Можна було б, наприклад, сміливо ходити по воді, якби тривалість кожного кроку не перевищувала  $10^{-13}$  с, що відповідає періоду релаксації для води.

Для в'язких рідин (наприклад, асфальтів) період релаксації зростає при зниженні температури. Тому взимку асфальт поводить себе як досить тверде тіло, а влітку, коли його в'язкість істотно знижується, вже під дією сили тяжіння протягом короткого часу на ньому залишаються сліди, зумовлені виникненням залишкових деформацій. Як в'язка рідина може



вести себе виконне скло. При значному підвищенні температури в'язкість скла зменшується настільки, що вона стає співмірною з в'язкістю рідин. У той же час при звичайних температурах скло поводить себе при навантаженнях як пружне тіло.

Внаслідок відмінностей кристалічної будови різні матеріали мають і різні періоди релаксації. При релаксації зміна структури призводить до перетворення пружних деформацій у пластичні зі збереженням їх сумарних значень.

*Пластичність* – властивість матеріалів зворотна пружності. Вона характеризує їх здатність під впливом навантаження змінювати без руйнування форму та розміри і зберігати їх після зняття навантаження.

Пластичність – найважливіша властивість, що визначає технологічність процесу формування матеріалів. Характерними прикладами пластичних матеріалів є висококонцентровані суспензії вапна, цементу, гіпсу і ряду інших високодисперсних речовин у воді. Пластичність суспензій багатьох мінеральних речовин тісно пов'язана з властивостями, які проявляють тонкі плівки води на поверхні частинок дисперсної фази.

Пластичні деформації кристалічних матеріалів під впливом механічних зусиль зумовлені переміщенням дислокацій – лінійних дефектів кристалів. Форма кристалів при цьому змінюється, подовжуючись у певному напрямку.

З підвищенням температури пластичність матеріалів зростає. Росте вона також зі зменшенням швидкості деформування, з переходом від ковалентних до металічних зв'язків.

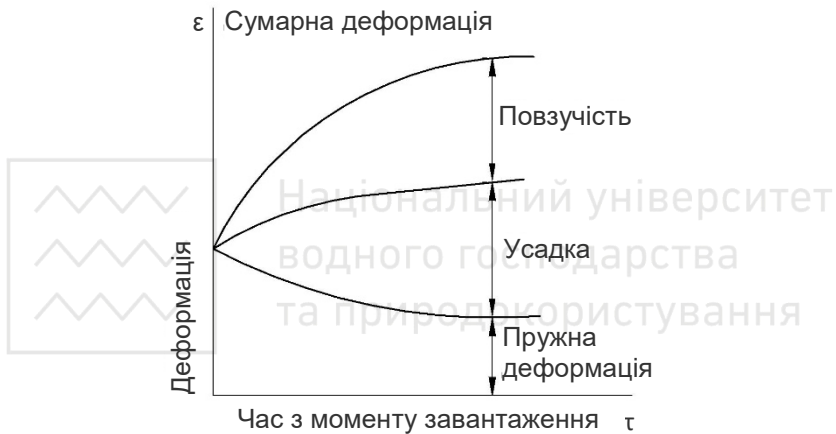
Матеріали, як правило, рідко проявляють яскраво виражені пружні, в'язкі або пластичні властивості від моменту навантаження до їх руйнування. Для багатьох матеріалів під навантаженням має місце складне поєднання пружних і в'язко-пластичних властивостей.

Зі збільшенням навантаження для пластичних матеріалів настає стадія, коли пластичні деформації продовжують розвиватися, незважаючи на практично постійне напруження. Найменше напруження, при якому матеріал деформується без подальшого помітного зростання навантаження називається



*границею текучості*. Текучість – важлива особливість структурованих дисперсних систем (цементного тіста, бетонної суміші, бітумів та ін.).

Для твердих матеріалів важливою механічною властивістю є *повзучість* – збільшення з часом деформацій під дією постійного навантаження (рис. 4.10). Деформації повзучості матеріалів у багатьох випадках небажані, оскільки вони можуть викликати, наприклад, підвищені прогини конструкцій, які враховуються при їх проектуванні.



**Рис. 4.10.** Види деформацій бетону  $\epsilon$ , що залежать від часу  $\tau$ , під дією постійного навантаження

Відмінність між повзучістю та релаксацією напружень полягає в тому, що при повзучості змінюються деформації, а напруження або навантаження постійні, тоді як при релаксації зменшуються напруження, а сумарна деформація залишається постійною. При цьому вирішальне значення має тривалість навантаження матеріалу. Повзучість може протікати одночасно з релаксацією. Вона характеризується *границею повзучості* – показником максимальних довготривалих напружень, при яких її швидкість наближається до нуля (у практичних вимірах не перевищує деяких допустимих значень).



Деформації повзучості супроводжуються змінами структури матеріалів – подрібнюються зерна, що їх складають, перерозподіляються домішки, відбувається утворення та зростання нових зерен, виділення нових фаз. У результаті в матеріалах накопичуються дефекти у вигляді пор та тріщин. Швидкість повзучості різко зменшується зі зниженням температури та напруження. Для більшості матеріалів (за винятком бетонів, ґрунтів, деяких металів) за звичайної температури практично повзучість не характерна.

Механізм повзучості складний. Для великої кількості матеріалів він пов'язаний з переміщенням дислокацій, дифузійними переміщеннями атомів і в'язкою текучістю.

Усадка – зміна лінійних розмірів і об'єму матеріалів, зумовлена зміною, головним чином, їх вологовмісту, а також пористості. Типова крива сушки матеріалів має два періоди – постійної швидкості, яка відповідає видаленню вологи з макропор і макрокапілярів, і падаючої швидкості, що відповідає видаленню вологи з перехідних мікрокапілярів. Деякі матеріали, такі як глина, дають усадку в період постійної швидкості сушіння, усадка припиняється при досягненні деякого критичного рівня вологості. Інші матеріали (деревина, цементний камінь та ін.) дають усадку тільки в період падаючої швидкості сушки, тобто після досягнення рівня критичної вологості.

При порівняно невеликому градієнті вологовмісту всередині речовини зміна її лінійних розмірів ( $l$ ) за зміни вологовмісту  $\omega$  описують лінійною залежністю:

$$l = l_0 (1 + \beta_t \omega), \quad (4.35)$$

де  $l_0$  – розмір абсолютно сухого зразка;

$\beta_t$  – коефіцієнт, що характеризує інтенсивність усадки за даної температури  $t$ .

При нерівномірному розподілі вологовмісту та температури в матеріалі розвивається об'ємно-напружений стан, що викликає утворення та розвиток тріщин аж до повного руйнування.

Усадка часто супроводжується викривленням речовини, коли разом з деформаціями об'єму відбуваються також

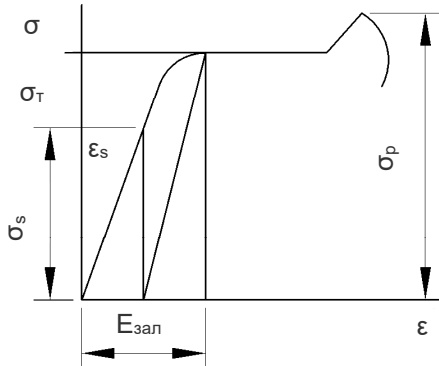


деформації форми. Викривленню піддаються більш сухі поверхні, тому щоб зменшити її, необхідно забезпечити відповідну швидкість видалення вологи з усіх поверхонь матеріалу.

Для зменшення усадки та запобігання утворенню тріщин підбирають необхідний склад матеріалів (наприклад, додають до глини пісок або інші опіснювальні добавки), застосовують вологий режим твердіння, а також спеціальні покриття, що уповільнюють швидке висихання.

Усадка ряду матеріалів відбувається не тільки у процесі їх сушіння. Для керамічних матеріалів вона відбувається і в процесі випалу, для металів та сплавів – при кристалізації та охолодженні.

Важливі показники деформативних властивостей матеріалів (границя пружності і текучості, модуль пружності, відносне видовження та звуження після розриву, питома робота деформації до руйнування та ін.) визначаються при випробуванні на розтяг (в окремих випадках на стиск і згин) побудовою діаграм напруження-деформації (рис. 4.11).



**Рис. 4.11.** Діаграма  $\sigma$ - $\epsilon$  при розтягу ( $\sigma_s$  – границя пружності, МПа;  $\sigma_p$  – границя міцності, МПа;  $\sigma_T$  – границя текучості, МПа;  $\epsilon_s$  – відносна пружна деформація;  $\epsilon_{зал}$  – залишкова деформація)





Навантажують зразки на випробувальних машинах з механічним або гідравлічним приводом. Для вимірювання навантажень використовують динамометри, а для вимірювання деформацій – тензометричні датчики, робота яких заснована на принципі перетворення механічних сигналів в електричні.

**Реологічні властивості.** *Реологія* – наука, що вивчає явища деформації та текучості речовин. Одним з основних завдань реології є пошук зв'язків між напруженнями і деформаціями, що виникають у структурованих системах в певний момент часу. Для таких систем характерним є прояв пружно-пластичних властивостей, пов'язаних з формуванням структури і можливістю фазових переходів з рідкого стану в твердий. Прикладами структурованих систем є цементне тісто, бітумні мастики, розчини полімерів та ін. Частинки дисперсної фази у таких системах знаходяться під впливом міжмолекулярних сил, утворюючи просторову сітку.

За П.О. Ребіндером і М.В. Михайловим виділяють справжні (*ньютонівські*) і структуровані (*неньютонівські*) рідини. Тверді системи представлені як пружно-крихкими, так і пружно-пластичними тілами.

При перемішуванні будь-якої рідини необхідно затратити певну кількість енергії для подолання сил внутрішнього тертя або в'язкості. Закони внутрішнього тертя вперше сформулював І.Ньютон для однорідних гомогенних рідин. Значення в'язкості  $\eta$  для ньютонівських рідин, не залежать від напруження зсуву  $\tau$  і градієнта швидкості  $dV/dX$  потоку:

$$\tau = \eta dV / dX . \quad (4.36)$$

Для структурованих дисперсних систем в'язкість може змінюватися в широкому інтервалі залежно від напруження зсуву і градієнта швидкості.

На відміну від ньютонівських структуровані рідини характеризуються не динамічною, а *ефективною* або *структурною в'язкістю*. Текучість структурованих рідин настає в момент, коли напруження зсуву  $\tau$  перевищує напруження  $\tau_0$ , яке називається *границею текучості*:



$$\tau - \tau_0 = \eta dV / dX. \quad (4.37)$$

Якщо напруження менше границі текучості, то структурована рідина поводить ся як пружне тверде тіло. Для неньютонівських рідин характерне поступове зменшення в'язкості зі збільшенням напруження зсуву.

Для твердих тіл при напруженнях нижчих границі текучості проявляється повзучість. Підвищення напруження зсуву до показника границі текучості призводить до стрибкоподібної зміни в'язкості, що вказує на лавиноподібне руйнування структури. При повному руйнуванні структури в'язкість стає мінімальною і знову не залежить від напруження зсуву. Так, для 10%-ї водної суспензії бентонітової глини найбільша в'язкість практично незруйнованої структури становить  $\eta_0 = 10^6 \text{ H} \cdot \text{c} / \text{m}^2$ , а найменша в'язкість гранично зруйнованої структури  $\eta_m = 0,01 \text{ H} \cdot \text{c} / \text{m}^2$ .

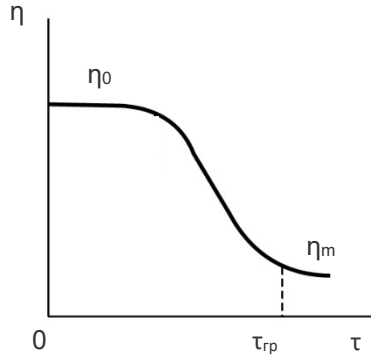
Твердий стан тіла і наявність у ньому просторової решітки виражені тим сильніше, чим більша різниця між  $\eta_0$  та  $\eta_m$  і чим вища границя текучості, яка характеризує міцність структури. Для пластичних матеріалів границя текучості яскраво виражена і її перевищення викликає різке зменшення значення ефективної в'язкості. Такі матеріали, як глиняне тісто при напруженнях, нижчих границі текучості, здатні зберігати будь-яку форму і як завгодно довго. За рахунок зменшення різниці значень в'язкості практично незруйнованої і гранично зруйнованої структури ( $\eta_0 - \eta_m$ ) і зниження границі текучості можна здійснювати безперервний перехід твердих тіл у рідкі. Прикладом такого переходу від пружно-крихких тіл до пластичних, а потім до структурованих і справжніх рідин при підвищенні температури може бути бітум.

Зміну ефективної в'язкості матеріалів, що характеризується ступенем руйнування структури залежно від інтенсивності механічних впливів, в усьому можливому діапазоні можна простежити за допомогою реологічної кривої. Наприклад, для пластичних матеріалів, які зі збільшенням зсуву різко змінюють ефективну в'язкість (рис. 4.12) повна реологічна крива може описуватися рівнянням Шведова-Бінгама:



$$\tau = \tau_{zp} + \eta_m dV / dX, \quad (4.38)$$

де  $\tau_{zp}$  – граничне напруження зсуву.



**Рис. 4.12.** Зміна структурної в'язкості бетонної суміші залежно від напружень зсуву:

$\tau_{гр}$  – граничне напруження зсуву;  $\eta_0$ ,  $\eta_m$  – пластична в'язкість системи відповідно для незруйнованої та гранично зруйнованої структури

Для багатокомпонентних систем реологічні рівняння досить складні і тому для їх опису використовують сукупності ідеалізованих моделей в'язких, пружних і пластичних тіл.

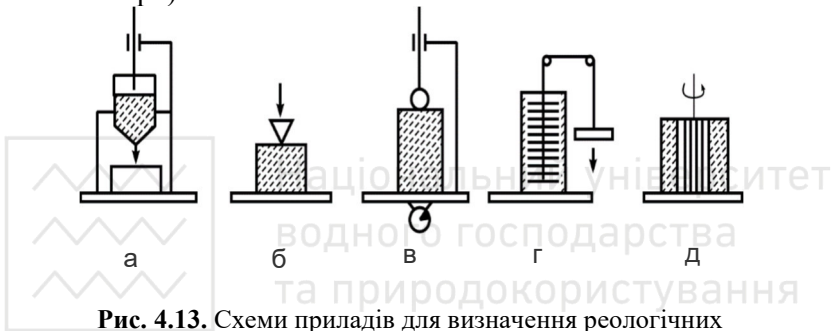
Вивчення реологічних властивостей матеріалів дає можливість науково обґрунтовано вибирати оптимальні параметри технологічного впливу на них. Здатність таких структурованих систем як бетонні суміші під дією механічних впливів – вібрації, струшування, пресування та ін. змінювати реологічні характеристики широко використовується у технології виготовлення виробів.

Для визначення реологічних властивостей матеріалів найбільш розповсюджені прилади (рис. 4.13), основані на:

- визначенні швидкості витікання з капілярів, трубок і отворів певної форми і розміру (капілярні, щілинні та інші віскозиметри);



- вимірюванні глибини проникнення в досліджуване середовище конуса або іншого тіла (конічний пластомір МДУ) та ін.;
- визначенні швидкості занурення або спливання кульки певної маси та розмірів (прилад О.Є. Десова та ін.);
- вимірюванні зусиль висмикування з в'язкопластичних тіл рифлених пластин стрижнів або циліндрів;
- вимірюванні частоти та необхідних зусиль обертання внутрішнього або зовнішнього коаксіальних (співвісних) циліндрів, між якими знаходиться досліджуване тіло (ротаційні віскозиметри).



**Рис. 4.13.** Схеми приладів для визначення реологічних властивостей структурованих рідин: а – за швидкістю витікання; б – за глибиною проникання конуса; в – за швидкістю занурення кульки; г – за силою висмикування; д – за силою обертання коаксіальних циліндрів

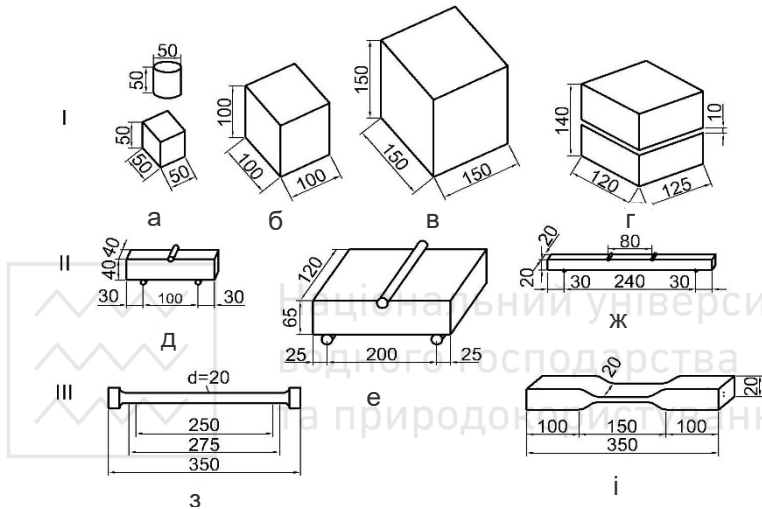
**Міцність.** Завершальною стадією силового впливу на матеріал є його руйнування. Здатність матеріалів чинити опір їх руйнуванню називається міцністю.

Розрахунки на міцність елементів конструкцій у напруженому стані ґрунтуються на певному критерії. Уже в одній з перших механічних теорій міцності, запропонованій Г.Галілеєм, міцність матеріалів визначається найбільшим нормальним напруженням, що розвивається в ньому при навантаженні. Критичне напруження, при якому порушується цілісність матеріалу, називають *границею міцності*. Його визначають впливом на зразок матеріалу зазвичай статичних навантажень, зростаючих з певною швидкістю. Зміна швидкості



росту навантаження і характеру його застосування (наприклад, повторно перемінне або динамічне навантаження) призводить до зміни міцності. Вона може істотно змінюватися від виду напруженого стану (розтяг, стиск, згин, кручення та ін.).

Границю міцності будівельних матеріалів визначають на стандартних зразках – кубах, призмах, циліндрах та ін. (рис. 4.14).



**Рис. 4.14.** Стандартні зразки для випробування матеріалів:

I – на стиск: а – щільний природний камінь; б – пористий природний камінь; в – бетон; г – цегла (куб склеєний з двох половинок); II – на згин: д – цементний розчин; е – цегла; ж – деревина; III – на розтяг: з – сталь; і – деревина

З усіх способів механічних випробувань найбільш поширені розтяг, стиск і згин. Їх виконують за допомогою спеціальних розривних машин і пресів (рис. 4.15). Границю міцності при розтягу  $R_p$  і стиску  $R_c$  визначають зазвичай у МПа відповідно до системи одиниць СІ ( $\text{МПа} \approx \text{МН}/\text{м}^2$ ) і розраховують за формулою:

$$R_{p(c)} = kP / F, \quad (4.39)$$

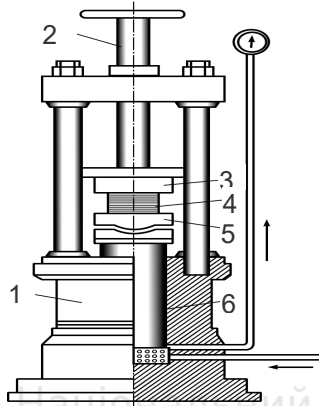
де  $k$  – коефіцієнт, що враховує розміри зразка, його вологість та



ін.;

$P$  – руйнуюча сила, МН;

$F$  – початкова площа поперечного перерізу зразка, м<sup>2</sup>.



**Рис. 4.15.** Схема гідравлічного преса:

1 – станина; 2 – гвинтовий пристрій; 3 – верхня опорна  
плита; 4 – зразок; 5 – нижня опорна плита; 6 – поршень.

Границю міцності при згині визначають за формулою:

$$R_{32} = M_{32} / W, \quad (4.40)$$

де  $M_{32}$  – найбільший згинаючий момент, МН·м;

$W$  – момент спротиву перерізу зразка, м<sup>3</sup>.

Міцність при згині зразка прямокутного перерізу під дією сконцентрованого зусилля  $P$ , прикладеного в середині прогону (рис. 4.14, II а, б), рівна:

$$R_{32} = 3Pl / 2bh^2, \quad (4.41)$$

де  $l$  – відстань між опорами, м;

$b$  і  $h$  – ширина та висота перерізу зразка, м.

При випробуваннях такого ж зразка, але вже двома силами  $P$ , відстань між якими дорівнює  $a$  (рис. 4.14, II в), міцність при згині розраховують за формулою:



$$R_{3z} = \frac{3P(l-a)}{2bh^2}. \quad (4.42)$$

Міцність будівельних матеріалів – одна з основних їх властивостей, що визначають несучу здатність і експлуатаційну надійність конструкцій. З міцністю тісно пов'язаний ряд інших властивостей матеріалів, які визначаються, у першу чергу, їх щільністю або пористістю. Для багатьох матеріалів отримані емпіричні залежності між міцністю  $R$  і пористістю  $\Pi$  у вигляді формул типу:

$$R = \sigma_0 (1 - \Pi)^n, \quad (4.43)$$

$$R = \sigma_0 \exp(-m\Pi), \quad (4.44)$$

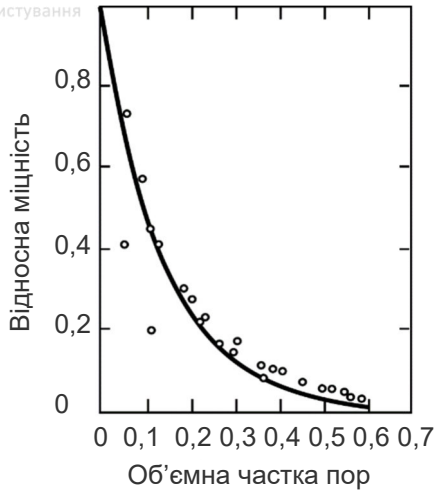
де  $n$  і  $m$  – константи, що враховують вид матеріалу;

$\sigma_0$  – міцність матеріалу за нульової пористості.

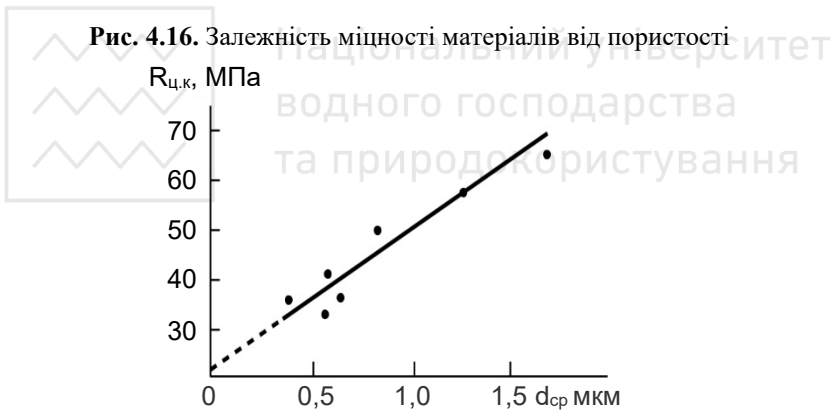
Разом із загальною пористістю (рис. 4.16) на міцність матеріалів впливає і розмір пор. Міцність дрібнозернистих матеріалів при однаковій пористості зазвичай вища, ніж крупнозернистих (рис. 4.17).

Міцність реальних твердих тіл у сотні і тисячі разів менша теоретичної міцності. Під останньою розуміють міцність ідеально однорідного матеріалу, яка характеризується максимальним напруженням, необхідним для розділу двох шарів атомів. Вона пропорційна модулю пружності  $E$  і поверхневій енергії твердого тіла  $\sigma_n$  і обернено пропорційна міжатомній відстані  $l_a$ :

$$R = \sqrt{\frac{2E\sigma_n}{l_a}}. \quad (4.45)$$



**Рис. 4.16.** Залежність міцності матеріалів від пористості



**Рис. 4.17.** Залежність міцності цементного каменю  $R_{ц,к}$  від середнього розміру кристалітів  $d_{ср}$

Наприклад, для металів теоретична міцність на розрив дорівнює  $10^4 \dots 10^5$  МПа, у той час як експериментально визначені значення становлять  $10^2 \dots 10^3$  МПа. Така різниця теоретичної і реальної міцності матеріалів зумовлена тим, що останні мають різні дефекти структури і перш за все мікротріщини. За теорією А. Гриффітса напруження у матеріалі біля вершини тріщини рівні:





$$\sigma_{\max} = 2\sigma_{\text{сер}} \sqrt{\frac{l}{r}}, \quad (4.46)$$

де  $\sigma_{\text{сер}}$  – середнє напруження в матеріалі;

$l$  – довжина тріщини;

$r$  – радіус кривизни вершини тріщини, рівний  $(1...4) \cdot 10^{-8}$  см, тобто декільком атомам.

Оскільки міцність залежить від розташування у матеріалі тріщин та інших дефектів структури, вона має статистичний характер. За статистичною теорією міцності крихких тіл ймовірність знаходження найнебезпечніших тріщин зростає при збільшенні об'єму зразка, що враховують при випробуванні, вводячи у формулу границі міцності так званий масштабний коефіцієнт.

Процеси руйнування матеріалів зводяться, головним чином, до поступового збільшення деформацій, утворення тріщин і накопичення інших локальних дефектів. Розрізняють крихке і пластичне руйнування матеріалів. Особливістю крихкого руйнування, характерного, наприклад, для природних каменів, кераміки, скла, та ін., є відсутність при максимально можливому напруженні помітних пластичних деформацій. Механічні напруження в матеріалі не встигають релаксувати і тріщини, що утворюються в площині, перпендикулярній дії напружень, швидко розвиваються. Крихкому руйнуванню сприяють циклічні навантаження (вібраційні, ударні та ін.), при яких спостерігається втома матеріалів, пов'язана з накопиченням ушкоджень, виникненням мікро-, а потім і макротріщин. Підвищенню крихкості матеріалів сприяють також зниження температури, збільшення швидкості деформування, вплив поверхнево-активного середовища.

Міцність матеріалів має кінетичний характер, вона залежить від тривалості  $\tau$  застосування механічного навантаження до руйнування. Для багатьох матеріалів залежність між  $\tau$  та руйнівним напруженням  $\sigma$  має експонентний характер:

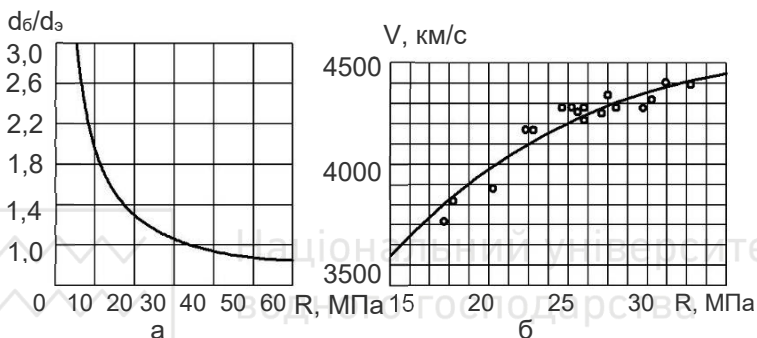
$$\tau = A_0 \exp(-\alpha\sigma), \quad (4.47)$$

де  $A_0$  і  $\alpha$  – коефіцієнти, що залежать від структури матеріалу і



температури.

Поряд з прямим визначенням міцності матеріалів руйнуванням зразків, для її прискореного визначення безпосередньо у конструкціях застосовують неруйнівні методи, основані на взаємозв'язку міцності з іншими властивостями твердих тіл – швидкістю поширення ультразвукових хвиль, твердістю та ін. (рис. 4.18).



**Рис. 4.18.** Графіки залежності міцності бетону  $R$ :

- а – від відношення діаметра відбитка стальної кульки на бетоні  $d_6$  і на еталоні  $d_3$ ; б – від швидкості проходження ультразвукових хвиль  $V$

До групи міцнісних властивостей належать адгезія та когезія. *Адгезією* називають зчеплення (прилипання) двох різнорідних твердих або рідких тіл, зумовлене міжатомними силами тяжіння. Зчеплення частинок в самому тілі або між однорідними за хімічним складом тілами називають *когезією*. Кількісною мірою адгезії і когезії є відношення роботи, витраченої на розділення тіл, до одиниці площі контакту. В системах, де немає хімічних міжфазових зв'язків, адгезія зумовлена, головним чином, Ван-дер-Ваальсовими (міжмолекулярними) силами, які залежать від електричної природи тіл і взаємодії утворених ними електричних полів. Чим більш полярні речовини, тим більше значення електростатичних сил і, відповідно, адгезійна взаємодія.



Добрими клеями, що проявляють у достатній мірі як когезійні, так і адгезійні властивості, є полімери, що містять гідроксильні (OH<sup>-</sup>), карбоксильні (COOH<sup>-</sup>), амідні (NHCO<sup>-</sup>), амініні (NH<sub>2</sub><sup>-</sup>) та інші полярні групи.

Розрив по контактній поверхні двох твердих тіл можливий тільки тоді, коли адгезійні сили набагато менші сил когезійної взаємодії, характерних для кожного з них. Часто розрив має змішаний адгезійно-когезійний характер.

У разі контакту твердого і рідкого матеріалів адгезійна взаємодія стає значно сильнішою, ніж при контакті двох твердих тіл, особливо за умови гарного змочування рідиною поверхні твердого тіла. Повнота змочування залежить від в'язкості рідкої фази, тиску та властивостей твердої поверхні. Змочуванню сприяє наявність заглиблень у твердій поверхні, особливо конічної або призматичної форми.

Адгезія має особливе велике значення при склеюванні, нанесенні покриттів, а також зварюванні, легуванні та пайці матеріалів.

До міцнісних властивостей матеріалів можна віднести *твердість* або міцність при вдавлюванні. Як і інші види міцності, твердість – структурно-чутлива властивість, що залежить від виду обробки поверхні, температури та інших факторів. Твердість вимірюється вдавненням у поверхню матеріалу, що випробовується, або переміщенням по ній під навантаженням наконечників, що мають сферичну, конічну або іншу форму (рис. 4.19).

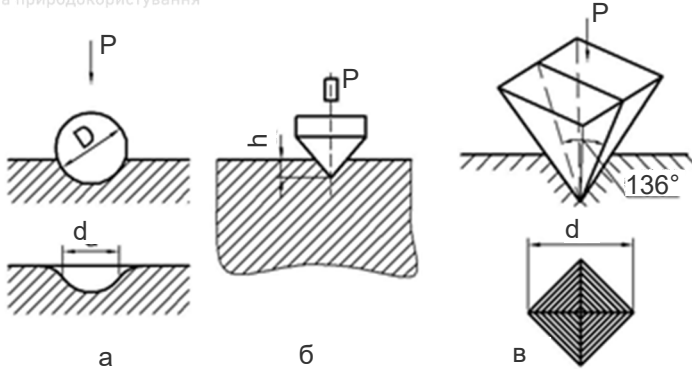
Мірою або *числом твердості* при цьому є відношення навантаження до площі поверхні відбитка. За методом Брінелля твердість (HB) знаходять за формулою:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left( d - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (4.48)$$

де  $P$  – навантаження;

$D$  – діаметр сферичного індентора (кульки діаметром 10; 5 або 2,5 мм);

$d$  – діаметр відбитка.



**Рис. 4.19.** Схеми визначення твердості за:  
а – Брінеллем; б – Роквеллом; в – Віккерсом

При визначенні твердості за Роквеллом (HR) у поверхню матеріалу вдавлюють алмазний конус з кутом біля вершини  $120^\circ$  або сталеву кульку діаметром 1,587 мм. Твердість за Роквеллом – безрозмірна величина, яка залежить від глибини проникнення індентора у матеріал при фіксованій величині навантаження.

Твердість за Віккерсом (HV) визначається вдавлюванням під дією навантаження  $P$  у зразок алмазного наконечника у вигляді правильної чотиригранної алмазної піраміди з кутом між протилежними гранями біля вершини  $136^\circ$  і вимірюванням діагоналі відбитка  $d$ :

$$HV = 0,189P / d^2. \quad (4.49)$$

Для тонких покриттів при вивченні окремих структурних складових матеріалів і у ряді інших випадків визначають *мікротвердість*, вдавлюючи алмазну пірамідку на ділянці, площа якої на кілька порядків менша, ніж у попередніх методах випробувань по визначенню твердості матеріалу. Число твердості  $H$  визначають аналогічно методу Віккерса.

Поряд з методами вимірювання твердості за допомогою статичного навантаження застосовують динамічні методи, коли індентор передає на поверхню ударне навантаження, падаючи з певної висоти.



Для орієнтовного визначення твердості гірських порід і інших крихких матеріалів використовують *метод Ф. Мооса*, який полягає у дряпанні поверхні матеріалу, що випробовують, за допомогою еталонних мінералів. При цьому твердість вимірюється в умовних одиницях, що відповідають номеру мінералу за десятибальною шкалою Мооса: тальк – 1, гіпс – 2, кальцит – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10.

Твердість ряду однорідних матеріалів пропорційна їх міцності на розтяг і стиск, що дає можливість використовувати відповідні залежності для неруйнівних методів механічних випробувань.

Для більшості будівельних матеріалів (за винятком пластмас) з твердістю пов'язаний їх опір стираючим впливам. *Стираність* матеріалів вимірюють за зменшенням маси зразків  $\Delta m$  після проведення експерименту, що відноситься до площі стирання  $F$ :

$$C = \Delta m / F \quad (4.50)$$

Високу стійкість до стирання мають деякі гірські породи, кам'яне лиття, керамічні матеріали, пластмаси. Наприклад, стираність кварциту становить  $0,06\text{--}0,12 \text{ г/см}^2$ , керамічних плиток для підлог –  $0,08 \text{ г/см}^2$ , одношарового полівінілхлоридного лінолеуму –  $0,06 \text{ г/см}^2$ . Для деяких дорожньо-будівельних матеріалів встановлюють марки за стираністю, пов'язані з максимально допустимими втратами їх маси у %. Так, для щебеню і гравію марок за стираністю Ст I, Ст II, Ст III і Ст IV, втрата маси складає відповідно до 25, 25–35, 35–45 і 45–60%. Стираність визначають на спеціальних машинах – кругах стирання або полчкових барабанах, де матеріал руйнується в результаті інтенсивного тертя.

Опір матеріалів руйнуванню при прикладанні ударних навантажень називають *ударною міцністю*. Для випробування матеріалів на удар застосовують копри. Ударну міцність характеризують відношенням величини роботи, витраченої на руйнування матеріалу, до одиниці його об'єму. Робота руйнування надрізаного зразка при випробуванні ударним приладом на маятниковому копрі характеризує *ударну в'язкість*.



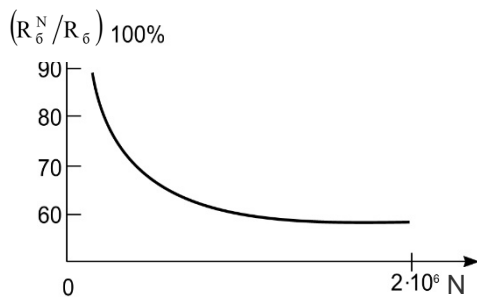
Опір удару важливий для матеріалів, що використовують при влаштуванні фундаментів машин, підлог промислових будівель, дорожніх покриттів. Ударна в'язкість має практичне значення при оцінці якості металів, азбестоцементних виробів та ін.

Опір матеріалу одночасній дії удару і стиранню характеризує *зносостійкість*. Її оцінюють за втратами маси зразка матеріалу в обертових барабанах, заповнених сталевими кулями.

Зміна механічних властивостей матеріалів при тривалій дії напружень, що циклічно змінюються в часі, називається *втомою*.

З накопиченням пошкоджень від втоми у матеріалах утворюються мікротріщини у структурних складових і на їх межах, які переростають у макротріщини і призводять до руйнування. Втома матеріалів істотно прискорюється при активному впливі середовища (підвищенні температури, корозія). Втома матеріалів призводить до зміни їх міцності, твердості, модуля пружності, електричного і магнітного опору, щільності.

Опір матеріалів втомі зазвичай характеризують кривою втоми (*витривалості*), яка описує залежність між відносною міцністю або деформацією і кількістю циклів до виникнення макротріщин або до остаточного руйнування (рис. 4.20).



**Рис. 4.20.** Характер залежності відносної границі витривалості бетону від кількості циклів навантаження  $N$ :  $R_6^N$ ,  $R_6$  – відповідно міцність бетону через  $N$  циклів та початкова міцність



Руйнуванням від втоми краще чинять опір матеріали з підвищеною міцністю, пластичністю і в'язкістю. Втомлюваність матеріалів з підвищеною чутливістю до концентрації напружень сильно залежить від стану поверхні і у зв'язку з цим від технології їх обробки. Опір втомі, наприклад, сталі, збільшують легуванням, використанням електропереплаву, що знижує вміст шкідливих домішок, термомеханічним зміцненням.

### 4.3. Хімічні властивості

До групи хімічних входять властивості матеріалів, що характеризують їх здатність до хімічних перетворень під впливом речовин, що знаходяться з ними у безпосередньому контакті.

Здатність матеріалів не руйнуватися в хімічно агресивних середовищах характеризує їх хімічну стійкість. *Корозія* (від лат. «corrosio» – роз'їдання) – руйнування матеріалів під впливом агресивного середовища. За ступенем впливу на будівельні конструкції середовища поділяють на неагресивні (Н), слабоагресивні (Сл), середньоагресивні (Ср) і сильноагресивні (Си). Критеріями агресивності середовища до тих або інших матеріалів є зниження їх міцності і зовнішні прояви ознак корозії при експлуатації конструкцій протягом одного року.

Розрізняють газоподібні, рідкі та тверді агресивні середовища. Залежно від виду і концентрації газоповітряні середовища умовно поділяють на чотири групи: А, В, С і D. Зі збільшенням розчинності газів у воді, підвищенням температури і вологості агресивність газоповітряних середовищ зростає. Наприклад, якщо при відносній вологості  $W < 60\%$  середовище групи С відносно бетону і азбестоцементу є слабоагресивним, то при  $W = 61-75\%$  воно стає середньо-, а при  $W > 75\%$  – сильноагресивним.

Під впливом кисню або озону розвивається окислювальна деструкція полімерів. Цьому сприяє також світло, вологість, теплота. Зміни, які при цьому відбуваються, називають *старінням полімерів*.

Ступінь агресивного впливу рідких середовищ визначається концентрацією агресивних речовин, температурою, тис-



ком або швидкістю руху рідини поблизу поверхні матеріалу. До агресивних речовин, розчинених у воді, належать кислоти, їдкі луги, деякі солі. Зокрема, для цементних бетонів агресивний вплив води залежить в основному від концентрації іонів водню (рН), вмісту вільної вуглекислоти, магнезійних солей та сульфатів. Загальний вміст солей в річкових водах не перевищує 0,3–0,5 г/л. Грунтові та підземні природні води містять підвищену кількість мінеральних солей та інших домішок. Морська (океанська) вода може містити до 35 мг/л солей, з них до 70% хлориду натрію, близько 11% сульфатів магнію, кальцію, калію.

Стійкість матеріалів до лужних і кислотних розчинів залежить від їх складу і структури. Неметалеві кислотостійкі матеріали за хімічним складом представлені переважно кислотними, лугостійкі – основними оксидами. Наприклад, силікатні матеріали (скло, кварцит, азбест та ін.), що містять, в основному, оксид кремнію, стійкі до дії кислот, але здатні взаємодіяти з лугами, а магнезит, вапняк, мрамур, до складу яких входить переважно оксид кальцію або магнію, лугостійкі, але руйнуються під дією кислот.

До найбільш хімічно стійких належать полімерні матеріали. Разом з тим, ряд з них за певних умов також піддаються хімічній деструкції. Порівняно легко розкладаються у гарячій воді, кислотах та лугах гетероланцюгові полімери, що містять у головному ланцюзі атоми кисню, азоту, сірки (поліаміди, тіоколи, силоскани, поліефіри та ін.). Легко реагують з кислотами полімери, структура яких характеризується подвійними зв'язками, наприклад, деякі види синтетичних каучуків та полівінілацетат.

Для металевих сплавів при одночасній дії циклічно змінних навантажень і зовнішнього корозійного середовища характерна *корозійна втома*. Опір корозійній втомі підвищують нанесенням на метали гальванічних, полімерних та ін. захисних покриттів, обробкою наклепом і загартуванням, легуванням.

Серйозні пошкодження для різних матеріалів можливі при впливі біологічних факторів (*біокорозія*). Наприклад, інтенсивну біокорозію бетону викликають денітрифікуючі, уролітичні та





інші бактерії. Денітрифікуючі бактерії окислюють сірчані сполуки, наявні в стічних водах спочатку до сірководню, а потім до сірчаної кислоти. Уролітичні бактерії діють, головним чином, на сечовину, гідролізуючи її. При цьому виділяються аміак та вуглекислота.

Бактерії, що утворюють кислоти, викликають активну корозію також ряду металів і сплавів.

Основні біологічні фактори, що впливають на деревину – гриби. Гриби виділяють особливий фермент – цитазу, що перетворює нерозчинну у воді целюлозу ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> у розчинну глюкозу ( $C_6H_{12}O_6$ )<sub>n</sub>.

До твердих агресивних середовищ, що впливають на матеріали, належать солі, аерозолі, пил. Ступінь їх агресивного впливу визначається дисперсністю, розчинністю у воді, гігроскопічністю.

Стійкість матеріалів до хімічної корозії підвищують, збільшуючи їх густину, підбираючи хіміко-мінералогічний склад і регулюючи структуру, вводячи спеціальні речовини, що сповільнюють корозійні процеси (*інгібітори*), застосовуючи різні захисні покриття.

До хімічних властивостей матеріалів належить їх *токсичність* (від грецьк. *toxicon* – отрута) – здатність до шкідливого впливу на живий організм, зумовлену наявністю отруйних речовин – токсикантів. Токсичність будівельних матеріалів оцінюють шляхом порівняння їх складу з гранично допустимими концентраціями (ГДК) токсичних речовин, що містяться в них і виділяються у навколишнє середовище. Основним можливим джерелом токсичних речовин у житлових будинках є деякі полімерні матеріали, наприклад, у разі незавершеності процесів полімеризації або старіння і деструкції під впливом експлуатаційних факторів. Матеріали, що застосовуються в будівництві, повинні відповідати вимогам екологічної безпеки, володіти задовільними санітарно-гігієнічними показниками, встановленими у нормативних документах.



## 5. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

Природними кам'яними матеріалами називають матеріали, які одержують як безпосередньо під час видобування, так і при подальшій механічній обробці гірських порід.

Природні кам'яні матеріали завдяки високій механічній міцності, довговічності, декоративності з давніх-давен широко використовують як стінові та облицювальні матеріали в будівництві при покритті доріг, зведенні гідротехнічних та інших споруд, для зміцнення та облицювання відкосів, набережних тощо. Особливо великим є попит на продукцію нерудних будівельних матеріалів – щебінь, гравій та пісок.

Таблиця 5.1

Застосування у будівництві різних видів каменю

Призначення	Матеріали і вироби
Фундаменти	Бутовий камінь, камінь пиляний та колотий
Стіни	Стінові (пиляні) камені, крупні стінові блоки, тесаний камінь
Опорядження зовнішнє	Облицювальні плити та камені, профільні елементи
Опорядження внутрішнє	Облицювальні плити, профільні елементи
Зовнішні сходи та площадки, парпети та огорожі	Сходинок, плити для площадок, стовпів та стінок, облицювальні плити
Внутрішні сходи та площадки, підлоги	Сходинок, плити для площадок, сходів та підлог
Покриття автомобільних доріг	Камені бортові, бруцатка, камінь колотий та щебінь
Гідротехнічні споруди	Камені дроблені, колоті та тесані, валуни та щебінь
Заповнювачі до бетонів важкого	Камені дроблені, колоті та тесані, валуни та щебінь
легкого	Дроблений камінь, відходи від добування штучного каменю

Вироби з природного каменю поділяють на дві групи – правильної та неправильної форми. До першої групи належать



пиляні, колоті, шліфовані та поліровані блоки і плити, до другої – переважно рвані, подрібнені та сортовані матеріали.

Основні напрями застосування у будівництві різних виробів з каменю наведено у табл. 5.1.

Сировиною для виробництва природних кам'яних матеріалів є *гірські породи* – мінеральні агрегати певного складу та будови, які є продуктами геологічних процесів у земній корі.

Наша країна має значні ресурси природного каменю. Разом з тим, все більшого значення набуває проблема дбайливого використання природної сировини, утилізації побічних продуктів її переробки у вигляді відсівів, кам'яного борошна, негабариту тощо.

### 5.1. Гірські породи

**Класифікація гірських порід.** Залежно від умов утворення гірські породи поділяють на три групи: вивержені або магматичні (первинні), осадові (вторинні) і метаморфічні (видозмінені). У своїй основі всі групи гірських порід утворилися з магми – складного силікатного розплаву, який виникає в земній корі в умовах високої температури.

*Вивержені (магматичні) гірські породи* утворилися безпосередньо з магми в результаті її охолодження і застигання і складають біля 90% земної кори. Залежно від умов охолодження магми серед вивержених порід розрізняють глибинні, або інтрузивні і виливні, або ефузивні.

*Глибинні (інтрузивні) породи* виникли в результаті поступового охолодження високотемпературної магми в надрах земної кори при високому тиску. У цих умовах всі складові частини магми встигли викристалізуватися, а самі кристали досягли значних розмірів, завдяки чому з них утворилися щільні породи з повнокристалічною структурою (граніти, габро, діорити і ін.), що залягають, як правило, великими масивами.

*Виливні (ефузивні) породи* сформувалися у верхніх шарах земної кори внаслідок вулканічного виверження магми і в умовах її швидкого охолодження при низькому тиску. Кожній



глибинній гірській породі відповідає виливна, яка утворилася з тієї ж магми, що і глибинна, внаслідок чого хімічний склад їх близький.

У хімічному складі вивержених гірських порід найбільше значення має кремнезем  $\text{SiO}_2$ . За ним йдуть глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксид магнію ( $\text{MgO}$ ), оксиди заліза, натрію, калію та інших елементів. З мінералів переважають кварц і силікати (польові шпати, піроксени, амфіболи, слюди та ін.). Залежно від вмісту кремнезему вивержені породи класифікують на кислі, середні, основні і ультраосновні (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Класифікація вивержених горських порід за  
вмістом кремнезему

Хімічна назва порід	Вміст $\text{SiO}_2$ , %	Види порід		
		глибинні	виливні (аналоги глибинних)	
			давні	молоді
Кислі	Більше 65	Граніт	Кварцовий порфір, вулканічний туф	Ліпарит
Середні	52–65	Сієніт, діорит	Ортоклазовий порфір, порфірит	Трахіт, андезит
Основні	40–52	Габро	Діабаз	Базальт
Ультра- основні	Менше 40	Піроксеніт, перидотит, дуніт	–	Пікрит

Ця класифікація має велике практичне значення з точки зору виявлення закономірностей зміни властивостей вивержених порід залежно від вмісту в них кремнезему. Так, зі зменшенням його вмісту збільшується щільність порід, знижується їх температура плавлення, змінюється забарвлення від світлого до темного, полегшується обробка каменю. При високому вмісті кремнезему у вигляді зерен кварцу механічна обробка каменю утруднюється.

*Осадові гірські породи* зобов'язані своїм походженням екзогенним (зовнішнім) процесам і являються продуктами руйнування і перевідкладення вивержених і метаморфічних



гірських порід. Цей вид гірських порід складає самі верхні шари літосфери, покриваючи своєрідним чохлам породи магматичної і метаморфічної груп. У загальному обсязі земної кори вони складають всього 1%, займаючи при цьому близько 70–75% всієї її площі. Потужність товщі осадових порід коливається в дуже широких межах – в одних місцях вона дуже мала, в інших обчислюється кілометрами. Так, наприклад, товща осадових утворень на дні Чорного моря досягає 14000 м.

Залежно від умов утворення розрізняють осадові породи механічного, хімічного і органічного походження. Загальна їх особливість – шаруватість залягання, пов'язана з періодичною зміною умов утворення.

*Породи механічного походження* відкладалися в водоймах або на поверхні землі в результаті руйнування вивержених порід і їх подальшого перевідкладання. Вони діляться на пухкі і зцементовані відкладення. Пухкі (уламкові) відкладення можуть бути кутастими (щебінь, пісок, глина та ін.) або окатаними (валуни, галька, гравій). Зцементовані відкладення сформувалися в результаті цементації пухких порід. До найбільш характерних представників зцементованих відкладень належать: піщаник (з кварцових пісків, зв'язаних кременистим або вапняковим цементом), брекчія (із зцементованого щебеню), конгломерат (із зцементованої гальки).

*Породи хімічного походження* виникли в процесі висихання озер и заток, що відокремилися від морських басейнів, в результаті випадання в осад різних сполук, утворених при проходженні хімічних реакцій. До них відносяться: гіпсовий камінь, травертин, доломіт, ангідрит та ін. Загальна особливість таких порід – порівняно підвищена розчинність у воді, тріщинуватість, пористість.

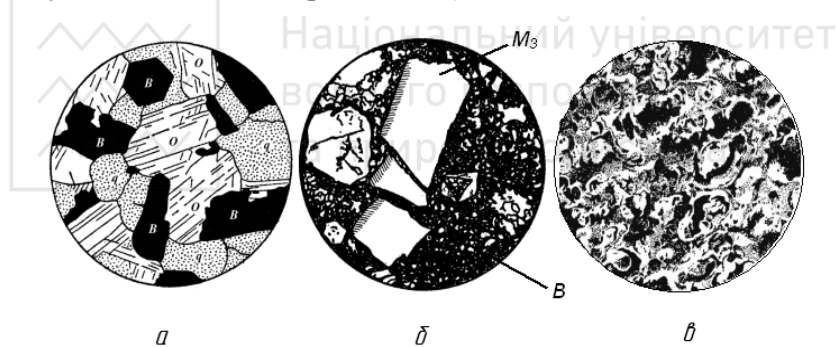
*Породи органічного походження (органогенні)* утворилися в результаті життєдіяльності рослинних і тваринних організмів. До них належать: вапняк (ракушняк), діатоміт, трепел, крейда та ін.

*Метаморфічні гірські породи* утворилися шляхом перетворення вивержених і осадових гірських порід в новий вид каменю під дією геологічних процесів, які супроводжувалися



значним тиском і підвищеними температурами. В загальному об'ємі земної кори вони складають 4%. Метаморфічні зміни можуть бути настільки сильними, що змінюється не тільки зовнішній вид породи, але і її структура, мінералогічний і хімічний склад. Повна або часткова перекристалізація порід часто приводить до появи нових мінералів. Серед метаморфічних порід розрізняють масивні (зернисті) породи (кварцити, мармури) і сланцеві (гнейси, сланці). Гнейси відносяться до метаморфічних вивержених порід, а кварцити, мармури і сланці – до метаморфічних осадових.

**Структура і властивості гірських порід.** Структура гірської породи обумовлена їх походженням розміром, формою і взаємним розташуванням її складових частин. Структури бувають кристалічні, зернисто-кристалічні, порфірові, уламкові, склуваті, оолітові та ін.(рис. 5.1–5.3).



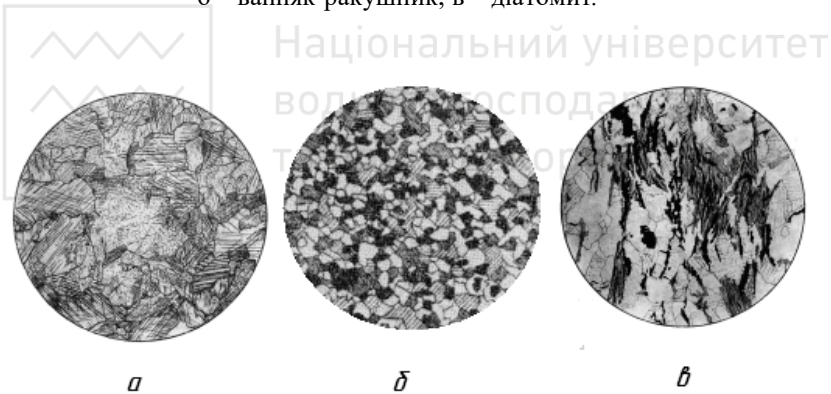
**Рис. 5.1.** Структури вивержених гірських порід:  
а – зернисто-кристалічна структура граніту  
(q – кварц); О – ортоклаз; В – слюда);  
б – порфірова структура  
( $M_3$  – маса дрібних зерен; В – «вкраплених»);  
в – пориста структура (пемза)

Породи з кристалічною або зернисто-кристалічною структурою складені з окремих кристалів або кристалічних зерен відповідно.

Кристалічну структуру мають кварцити, мрамур, зернисто-кристалічну – граніти, сієніти.



**Рис. 5.2.** Структури осадових гірських порід:  
а– піщаник (1– цементуюча речовина; 2– зерна піску);  
б – вапняк-ракушник; в – діатомит.



**Рис. 5.3.** Структури метаморфічних гірських порід:  
а – мармур; б – кварцит; в – гнейс

В породах кристалічної або зернисто-кристалічної структури кристали або зерна зростаються безпосередньо, без будь-якої зв'язуючої речовини.

В породах *порфірової* структури (наприклад, у порфірів) окремі кристали різних розмірів з'єднані між собою значною кількістю щільної, тонкозернистої або склуватої речовини.



Кристалічні породи, близькі за структурою з порфіром, називаються порфіровидними.

Породи *уламкової* структури складаються з уламків різних гірських порід. Залежно від крупності уламків, що утворюють породу, розрізняють грубоуламкові і дрібноуламкові структури.

*Склувата* структура характерна для порід, які складаються, головним чином, із аморфної склуватої речовини (обсидіан, базальт та ін.).

*Олітова* структура зустрічається в осадових породах, які зберегли у своєму складі залишки дрібних організмів, наприклад, у вапняків-ракушняків (черепашників).

Крім поняття «структура» в петрографії (*петрографія* – геологічна наука, що вивчає гірські породи) застосовується термін *текстура* (рис. 5.4), що характеризує взаємне відносне розміщення складових частин породи в просторі. Текстура істотно впливає на довговічність і декоративні якості гірських порід.



Рис. 5.4. Текстура гірських порід





## 5.2. Основні види виробів з природного каменя

До першої групи виробів з природного каменя відносяться пиляні, колоті, шліфовані та поліровані вироби, до другої – переважно рвані, подрібнені та фракціоновані.

Рекомендовані гірські породи для різних виробів із природного каменя наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Напрямки застосування різних видів гірських порід

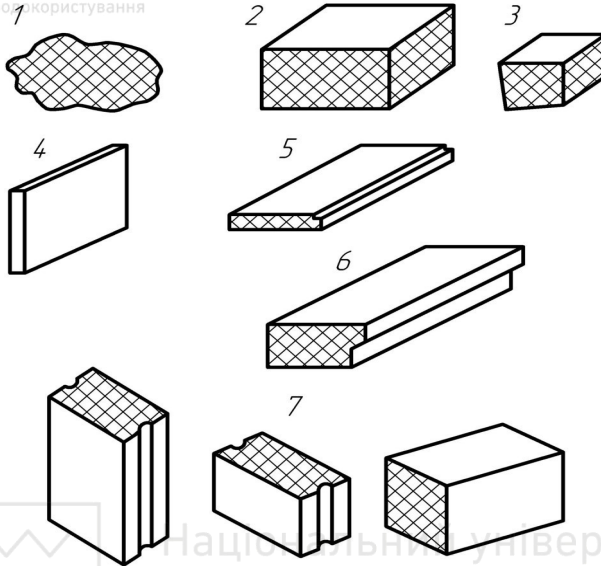
Призначення	Вид матеріалів та виробів з природного каменя	Рекомендовані гірські породи
Фундаменти	Бутовий камінь, пиляне та колоте каміння	Всі види щільних порід
Стіни	Стінові (пиляні) каміння, великі стінові блоки, тесаний камінь	Пористі породи – вапняки, вулканічні туфи, доломіти
Зовнішнє облицювання	Облицювальні плити та каміння, профільні елементи	Граніти, лабрадорити, габро, базальти, вулканічні туфи, кварцити, щільні вапняки, мармури
Внутрішнє облицювання	Облицювальні плити, профільні елементи	Мармури, мармурові вапняки, гіпси, травертини, вулканічні туфи
Зовнішні сходи та майданчики, парпети, огорожі	Щаблі, плити для майданчиків та стінок, облицювальні плити	Граніти, сієніти, діорити, габро, базальти, пісковики.
Внутрішні сходи та майданчики, підлога	Плити для сходових майданчиків та підлог, сходи.	Мармури, граніти, лабрадорити



Призначення	Вид матеріалів та виробів з природного каменю	Рекомендовані гірські породи
Покриття та основи автомобільних доріг	Каміні бортові, бруківка, камінь колотий, щебінь	Граніти, діорити, габро, базальти, пісковики, вапняки щільні
Гідротехнічні споруди	Бутовий камінь, пиляні, колоті, дроблені каміні, валуни, щебінь	Щільні вапняки, доломіт, пісковики, граніти, діорити, габро, базальти
Заповнювачі бетонів:	Подрібнений камінь, відходи від видобутку штучного каменю	Вивержені породи, щільні вапняки, доломіти, пісковики
	легких	Вапняки пористі, вулканічні туфи та шлаки

Основними видами штучних виробів із природного каменю є облицювальні і стінові блоки та плити (рис. 5.5). Виготовляють також вироби та деталі спеціального призначення: для влаштування льодорізів, мостових опор, будівництва набережних, шлюзів, гребель, підземних колекторів, монументальних та скульптурних споруд та ін.

**Облицювальні та стінові каміні.** Для отримання облицювальних виробів найбільше застосування знаходять магматичні породи групи граніту та метаморфічні – мармури та кварцити. Осадові породи – вапняки, пісковики, доломіти, травертини та гіпси – застосовуються, головним чином, для внутрішніх облицювань. Найбільшу довговічність мають кварцити та граніти, значно менш довговічні мармури, які на відкритому повітрі можуть швидко руйнуватися.



**Рис. 5.5.** Види кам'яних матеріалів і виробів:

- 1 – бутовий камінь; 2 – стіновий камінь;
- 3 – бруківка; 4 – облицювальна плитка;
- 5 – підвіконна плита; 6 – сходиць;
- 7 – стінові блоки

Гірські породи, що застосовуються для отримання блоків (напівфабрикатів), плит та інших облицювальних виробів, повинні мати границю міцності на стиснення не менше 5 МПа, морозостійкість – не менше 15 циклів. Залежно від об'єму блоки поділяють на чотири групи. Об'єм блоків першої групи – понад 5 м<sup>3</sup>, другий – 3–5 м<sup>3</sup>, третій – 0,7–3 м<sup>3</sup>, четвертий – 0,1–0,7 м<sup>3</sup>. Для блоків нормують, якісні показники їхньої поверхні, враховуючи при цьому вид гірської породи. Архітектурні переваги виробів із природного каменю значною мірою визначаються їхньою фактурою. Основними видами фактур облицювальних виробів є фактури типу «скеля», рифлена, точкова, шліфувана, лощена, полірована. Вони утворюються при обробці каменю сколюванням, розпилюванням, шліфуванням, лощенням та ін.



Як облицювальні застосовують камені світлого забарвлення (рожеві, червоні та сірі граніти (рис. 5.6), білі та кольорові мармури та ін.) так і темнозабарвлені породи (діорити, базальти, чорні мармури та ін.).



Рис. 5.6. Текстура гранітів деяких родовищ України

З щебеню та піску, отриманих при подрібненні гірських порід із застосуванням в'язучих речовин виготовляють облицювальні плити, які в залежності від способу виготовлення поділяють на три типи:

- I – пресовані чи формовані;
- II – пиляні із штучно відформованих блоків;
- III – склесні зі шматків каменю правильної або довільної форми.

Мозаїчну лицьову поверхню отримують з використанням декоративного щебеню, брекчієподібну – з шматків природного каменю довільної форми або їх суміші з декоративним щебенем; орнаментну – із природного каменю правильної форми.

Як в'язучі для виготовлення плит I та II типів використовують рядовий, білий або кольоровий портландцемент, III типу – синтетичні смоли (епоксидні, поліефірні та ін.).



Фізико-механічні показники плит повинні відповідати таким вимогам:

Міцність при стиску, МПа, не менше	
- бетону для виготовлення плит I типу	20
- бетону для плит II типу	30
- підстиляючого розчину	15
Міцність при згині, МПа, не менше	3
Водопоглинання, %, не більше	8
Стирання плит для підлог, г/см <sup>2</sup> , не більше	2,2
Морозостійкість бетону для зовнішнього облицювання, не менше	F50

Завдяки високій довговічності облицювання з природного каменю витрати на їх експлуатацію в 5–8 разів менші, ніж при обробці будівель фарбами, кольоровими розчинами та бетонами.

Як стінові матеріали (рис. 5.7) застосовують пиляні штучні камені та крупні блоки з основними розмірами, наведеними в табл. 5.4. Питомі капітальні витрати на їхній видобуток приблизно 1,5 разу нижче, ніж на виготовлення керамічної цегли. Особливо поширене застосування природного каменю для кладки стін у південних районах. Для їх отримання використовують легкі пористі гірські породи з границею міцності на стиск від 0,4 до 50 МПа і морозостійкістю не менше 15 циклів. Мінімальні значення коефіцієнта розм'якшення стінового каміння та блоків – 0,6, водопоглинання для туфів та опоки – до 50%, вапняків та інших порід – 30%.

Таблиця 5.4

Основні розміри стінових каменів і блоків, мм

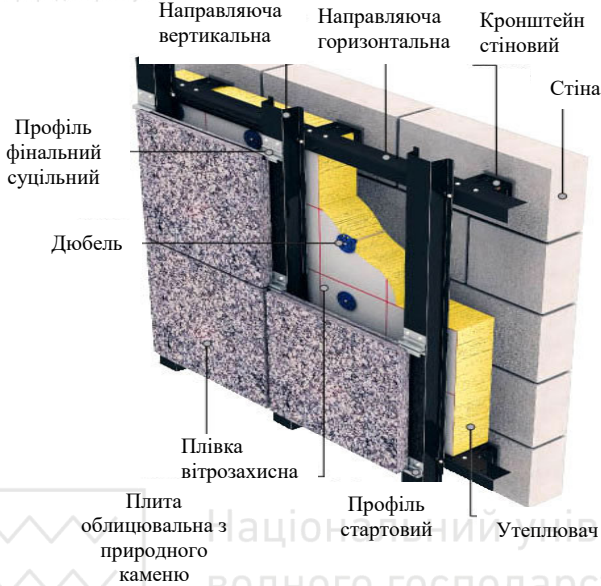
	Камені	Блоки
Довжина	390; 490	400; 500
Ширина	190; 240	820; 1000
Висота	188; 288	2360; 2520; 2860; 3020

За призначенням стінові камені поділяються на лицьові та рядові. Останні використовують для кладки стін з наступним оштукатурюванням. Лицьові камені повинні мати марку за міцністю на стиск не менше 2,5 МПа коефіцієнт розм'якшення не менше 0,7.



**Рис. 5.7.** Кладка стін з природного каменю

Ефективно застосування крупних складених блоків висотою «на поверх», що виготовляються з 6–8 звичайних блоків, проміжки між якими заповнюють цементним розчином. Перспективними виробами із природного каменю є крупні цільнопилені панелі та панелі, склеєні з окремих елементів полімерами (рис. 5.8).



**Рис. 5.8.** Облицювання стін плитами з природного каменю

**Дорожно-будівельні вироби** – вироби у вигляді брущатки, колотого, буличного та бордюрного каменю, тротуарних плит, що виготовляються механічною обробкою гірських порід (рис. 5.9). Вихідною сировиною для дорожно-будівельних виробів є гірські породи з міцністю щонайменше 60 МПа, морозостійкістю не менше 25 циклів, коефіцієнтом розм'якшення – 0,6–0,9, водопоглинанням – 1–4%, опором удару – 15 КПа.

*Брущатий камінь (брущатка)* – колоті або тесані бруски каменю, що мають форму зрізаної піраміди з паралельними прямокутними основами. Брущатку виготовляють із морозостійких порід, що мають достатньо високу міцність. Брущатку застосовують для мощення міських вулиць, площ та заповнення трамвайного полотна.



**Рис. 5.9.** Загальний вид базальтового кар'єру (а), бруківки з базальту (б) і структури полірованої базальтової плити (в)

*Колотий булижний камінь* в основному використовують для влаштування верхніх покриттів доріг 4-ї та 5-ї категорій та основ доріг 1–3 категорій. Крім того, його застосовують для зміцнення укосів земляних споруд та берегоукріплювальних робіт.

*Бортовий камінь* відокремлює проїзну частину доріг від тротуару. Виготовляється у вигляді виробів, що мають форму прямокутних паралелепедів довжиною 1000–2000 мм, висотою 300–400 мм і шириною 100–200 мм із щільних вивержених порід для яких характерні висока міцність морозо- і зносостійкість.

*Тротуарні плити* виготовляють із шаруватих гірських порід. Вони мають форму прямокутних або квадратних плит зі





сторонами 200–800 мм і рівною лицьовою поверхнею (товщина 40–150 мм).

*Бутовий камінь* – будівельний матеріал, що складається з шматків гірської породи неправильної форми розміром 70–1000 мм. Його застосовують для кладки фундаментів, підземних частин будівель, стін нежитлових, допоміжних та виробничих будівель, для зміцнення земляних укосів, у дорожньому будівництві, а також у гідротехнічному як заповнювач для бутобетону. Бутовий камінь поділяють на постелістий (з однією небугристою гранню) і плитняковий (з двома приблизно паралельними гранями). Різновидом бутового є камінь, що має окатану форму.

У процесі експлуатації будівель і споруд природні матеріали зазнають повітряного руйнування – *вивітрювання*. Щоб уникнути вивітрювання, їх захищають конструктивним або хімічним методом, передусім ізолюючи від дії вологи, температури та інших агресивних агентів. Конструктивні методи полягають у наданні виробам певної форми та гладенької поверхні, що запобігає проникненню агресивних розчинів. Суть хімічних методів полягає у підвищенні щільності каменів, їх гідрофобізації. Для пористих карбонатних порід застосовують *флюатування* – обробку розчинами кремнефторидів для закупорювання пор нерозчинними продуктами реакції. Застосовують також просочування парафіном, сіркою, стиролом з наступною його полімеризацією.

Для гідрофобізації ефективні кремнійорганічні сполуки, які дають змогу суттєво збільшити стійкість кам'яних матеріалів, зберігаючи їхню фактуру. Стійкі захисні покриття утворюються при обробці поверхні каменю водними розчинами сечовиноформальдегідної смоли та інших полімерів.

### **5.3. Способи виробництва природних кам'яних матеріалів**

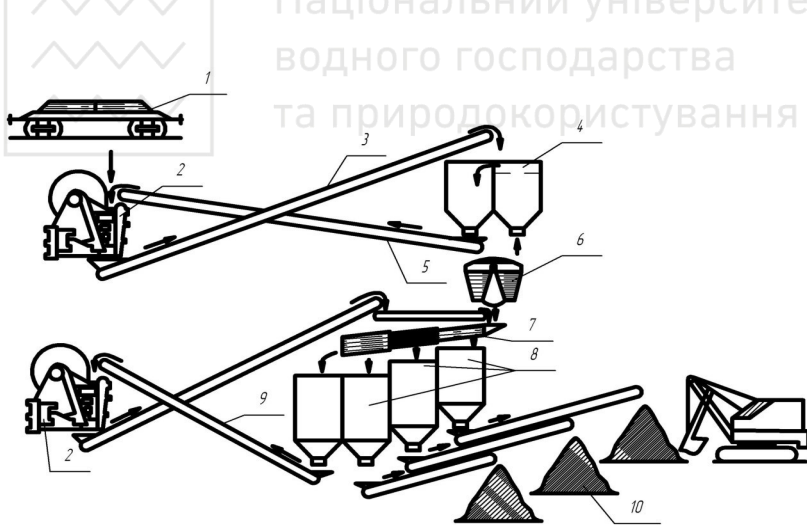
Технологія виробництва природних кам'яних матеріалів визначається їхніми особливостями, властивостями гірської породи, умовами її залягання. Родовище, підготовлене до розробки порід, називається *кар'єром*. Підготовка родовища



починається з вилучення верхніх розкривних порід та оголення корисної копалини. Кар'єри розробляють одним (або кількома) уступами, висота яких не перевищує 20 м.

Найбільш масовою продукцією є дроблене каміння із скельних порід. Його виробляють за допомогою буровибухових робіт, пов'язаних з бурінням шпурів (діаметром до 75 мм та завглибшки до 5 м) або свердловин (діаметром до 300 мм та завглибшки понад 5 м), розташованих уздовж фронту виступу; розміщенням у них вибухових речовин (амоніту, аміачної селітри, амоналу тощо) та відокремленням за допомогою вибуху шматків породи, які потім надходять на подрібнення.

На дробильно-сортувальних заводах та установках (рис. 5.10) здійснюють одно-, двох- або багатоступінчасте дробіння вихідної сировини. Багатоступінчасте дробіння найпоширеніше, воно дає змогу отримати як крупні, так і дрібні фракції щебеню.



**Рис. 5.10.** Схема виробництва щебеню:

- 1 – камінь; 2 – щокова дробарка; 3, 5, 9 – конвеєри;
- 4, 7 – гуркоти; 6 – конусна дробарка; 8 – бункер;
- 10 – склади фракцій щебеню



Одноступінчасту схему використовують на підприємствах малої потужності при найбільших розмірах шматків породи 400–450 мм.

Одноступінчасту схему використовують на підприємствах малої потужності при найбільших розмірах шматків породи 400–450 мм.

За способом подрібнення матеріалу дробильне обладнання буває з періодичним (щоківі та конусні дробарки) та безперервним натисканням дроблячих поверхонь (дробарки валкові та ударної дії – молоткові та роторні).

Дроблений матеріал сортується за фракціями механічним, гідравлічним та повітряним способами. При механічному способі каміння сортують за допомогою грохотів. На підприємствах нерудних будівельних матеріалів найпоширеніші вібраційні грохоти, в яких установлюють одне або два сита.

Каміння можна дробити за відкритим та замкненим циклами. При відкритому циклі матеріал один раз проходить крізь дробарку, надходить на сортування, а потім на склад готової продукції. При замкненому циклі каміння, що не пройшло верхнє сито, знову надходить на дробіння, що дає змогу досягти більшої продуктивності дробарок, регулювати вихід та крупність готових продуктів.

Пилуваті та глинисті домішки, що забруднюють дроблене каміння, вилучають промиванням, для чого використовують лопатеві, барабанні або вібраційні промивні машини. Вібраційні машини менш метало- та енергомісткі, потребують менше води.

Поряд з промиванням використовують спеціальні методи збагачення нерудних матеріалів. Переробляючи низькоякісну сировину на щебінь, застосовують зокрема спосіб вибіркового дробіння, заснований на більш інтенсивному руйнуванні шматків слабких порід. Гравітаційне збагачення ґрунтується на залежності між міцністю та густиною породи. Неоднорідні за густиною зерна матеріалу розділяються у спеціальних осаджувальних машинах у поперемінно висхідних та низхідних струменях води або у важких середовищах, густина яких має проміжне значення між густинами фракцій, які розділяються.



Рихлі породи (гравій, пісок, гравійно-піщані суміші) добувають відкритим способом, переважно одно- або багатоковшовими екскаваторами. Поряд з сухим способом на піщано-гравійних кар'єрах застосовують гідромеханізоване добування. Розроблювана цим способом порода при динамічній дії води відділяється, розрихлюється і транспортується землесосним обладнанням у вигляді пульпи на склад або на переробку

Штучний камінь з мармуру, вапняку, туфу одержують каменерізальними машинами, робочими органами яких є горизонтальні та вертикальні дискові пили, встановлені на візку, що пересувається у кар'єрі по рейках уздовж забою. Каменерізальні машини дають змогу механізувати як різання каменю, так і допоміжні операції, пов'язані з його штабелюванням та транспортуванням із забою.

Крім машин з дисковими різальними інструментами застосовують машини з ланцюговими пилами. Продуктивність машин на породах середньої твердості збільшується у 4–5 разів, якщо використовуються алмазні різальні насадки.

Облицювальні вироби з твердих порід отримують відокремленням від масиву крупних монолітів, які розділяються на блоки та плити. Для відокремлення монолітів використовують буроклиновий, буровибуховий способи, ударні врубові машини. Для кварцевістких порід групи граніту використовують термічний спосіб. Він заснований на руйнівній дії внутрішніх напружень, які виникають при термічних деформаціях мінералів під дією високої температури.



## 6. КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Керамічними називають матеріали, які одержують з мінеральної, переважно глинистої сировини формуванням, сушінням та спіканням при високій температурі.

Залежно від застосування керамічні матеріали поділяють на будівельні, вогнетривкі, електротехнічні, спеціального призначення (технічна кераміка), хімічно стійкі, господарсько-побутові.

Розрізняють *грубу кераміку*, що має неоднорідну будову, та *тонку кераміку* з дрібнокристалічною однорідною будовою. До грубої кераміки належить більша частина будівельних керамічних матеріалів і вогнетривків, кислотостійка цегла та ін. Основними представниками тонкої кераміки є *фаянс* – дрібнопористий керамічний матеріал, покритий прозорою легкоплавкою глазур'ю, і *фарфор* – спечений керамічний матеріал білого кольору з водопоглинанням менше як 0,5%. До тонкої кераміки належить також *майоліка* – вироби з кольорової випаленої глини, покриті глазур'ю.

Основним сировинним компонентом для отримання більшості керамічних матеріалів є глина. Вироби з випаленої глини знайдені у розкопках, вік яких становить близьке 15 тис. років до н.е.; як промисловий продукт глину використовують з 4-го тисячоліття до н.е. Поряд з традиційним застосуванням сучасну кераміку використовують в атомній, ракетно-космічній техніці, радіоелектроніці тощо.

Будівельні керамічні матеріали класифікують за ступенем спікання та призначенням. Залежно від ступеня спікання розрізняють щільні та пористі матеріали. *Щільні керамічні матеріали* мають водопоглинання менше як 5%. До них належать плитки для підлог, клінкерна цегла, каналізаційні труби. *Пористі керамічні матеріали* мають водопоглинання понад 5%. До групи пористої кераміки входять будівельна цегла, фасадні плити та вироби, дренажні труби, черепиця тощо.

За призначенням будівельні керамічні матеріали поділяють на такі види: *стінові* – цегла, керамічні камені та панелі; *облицювальні* – лицьова цегла, плитки для фасадного та



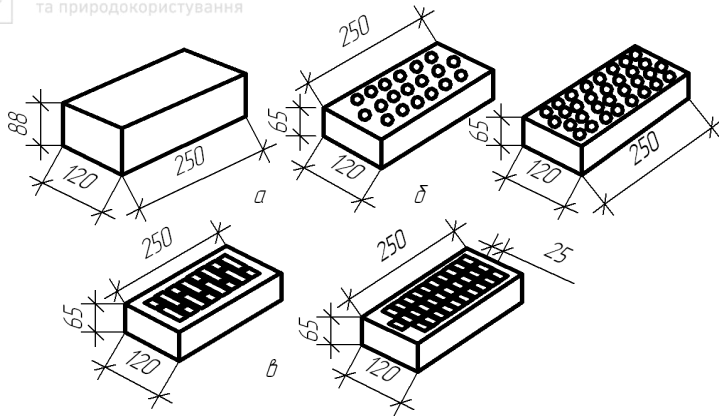
внутрішнього облицювання та ін.; *покрівельні* – черепиця; дорожні – кlinkерна цегла; *санітарно-технічні* – умивальники, унітази, тощо; для *підземних комунікацій* – каналізаційні та дренажні труби; *теплоізоляційні* – діатомітові та інші легковажні вироби; *легкі заповнювачі* для бетонів – керамзит та аглопорит; *спеціального призначення* – вогнетривкі, висококислотостійкі та інші.

У загальному обсязі стінових матеріалів переважають керамічна цегла та каміння, а в сільському будівництві їм належить основне місце як місцевим матеріалам. Для водогосподарського будівництва важливе значення мають керамічні дренажні і каналізаційні труби. Керамічні матеріали поширені завдяки доступності глиняної сировини, простоті технологічного процесу, довговічності.

## 6.1. Стінові матеріали

Серед керамічних виробів найбільш значними для будівництва є стінові матеріали. Їх поділяють за видом виробів на цеглу, камені, блоки та панелі; за призначенням – на рядові (для мурування зовнішніх та внутрішніх стін) і лицьові (для облицювання стін будівель та споруд); за способом виготовлення – на вироби пластичного та напівсухого пресування; за теплотехнічними властивостями та густиною – на *ефективні* з  $\rho_0 < 1400 \text{ кг/м}^3$  (для цегли) та  $\rho_0 < 1450 \text{ кг/м}^3$  (для каміння); *умовно ефективні* з середньою густиною відповідно понад  $1400 \text{ кг/м}^3$  і  $1450\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$  та рядові з  $\rho_0 < 1600 \text{ кг/м}^3$ .

*Керамічна цегла* (рис. 6.1) має форму прямокутного паралелепіпеда і розмір  $(250 \pm 5) \times (120 \pm 4) \times (65 \pm 3)$  мм. Виготовляють також потовщену цеглу  $250 \times 120 \times 88$  мм та цеглу модульних розмірів  $288 \times 138 \times 63$  мм. Рядовий *керамічний камінь* відрізняється від цегли тим, що має більшу товщину (138 мм). Модульний камінь має розмір  $288 \times 138 \times 138$  мм, потовщений –  $250 \times 250 \times 138$  мм, камінь з горизонтально розташованими пустотами –  $250 \times 250 \times 120$  та  $250 \times 200 \times 80$  мм.



**Рис. 6.1.** Цегла керамічна:

а – повнотіла; б – з круглими порожнинами; в – з прямокутними порожнинами

Цеглу виготовляють повнотілою і порожнистою, а каміння тільки порожнистим. Порожнини розміщуються перпендикулярно або паралельно найбільшій грані виробів («постелі»), вони можуть бути наскрізними і ненаскрізними.

Цегляні стіни будівель з повнотілої цегли середньої густини  $1700\text{--}1900\text{ кг/м}^3$  в Україні зводять, як правило, у 2,5 цеглини – завтовшки 64 см. Якщо застосовують порожнисту цеглу середньої густини  $1300\text{--}1450\text{ кг/м}^3$ , то зменшуються товщина стіни на півцеглини, маса на 35%, витрати розчину на 45%. При застосуванні керамічних каменів витрати матеріалів та праці зменшуються на 20–30% порівняно з рядовою керамічною цеглою.

За міцністю цеглу та камені поділяють на марки: М300, М250, М200, М175, М150, М125, М100, М75. Чисельні значення марки відповідають середньому для п'яти зразків значенню границі міцності на стиск ( $\text{МПа} \times 10$ ). Для кожної марки цегли нормується також границя міцності при згині. Вона коливається, наприклад, для повнотілої цегли пластичного формування у межах 1,8–4,4 МПа, потовщеної цегли 1,2–2,9 МПа.



Водопоглинання повнотілої цегли має бути не менш як 8%, порожнистих виробів не менш як 6%. За морозостійкістю стінові керамічні вироби поділяють на марки: F15, F25, F35, F50, F75, F100. У насиченому водою стані вони мають витримувати без будь-яких проявів видимих пошкоджень відповідно не менше ніж 15, 25, 35, 50,75 та 100 циклів попереминого заморожування та відтавання.

Для цегли та каменів нормується також ряд інших показників: розмір пустот, відхилення від розмірів, непрямолінійність ребер та граней, кількість відбитих кутів та ребер, кількість тріщин та їх характер.

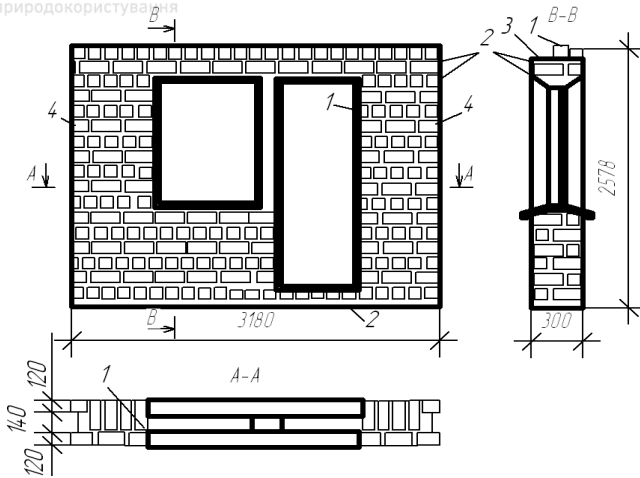
В умовних позначеннях керамічних виробів зазначають їх вид, марку, густину, морозостійкість. Наприклад, цегла рядова, порожниста марки М 150, густиною  $1320 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F35-ЦРП 150/1320-35.

Недопалені та перепалені керамічні вироби, а також вироби, що мають вапняні включення, які після випробування пропарюванням спричинюють відколювання та інші види пошкоджень, повинні бути забраковані.

До індустриальних керамічних стінових матеріалів належать крупні стінові блоки та панелі (рис. 6.2).

*Крупні блоки* виготовляють з повнотілої або порожнистої цегли та каменів на спеціальних механізованих установках з заповненням швів цементно-піщаним розчином. Для того, щоб розчин набрав швидко потрібної міцності, блоки пропарюють. Блоки виготовляють заввишки 890 та 580 мм, завтовшки 380 та 520 мм. Максимальна довжина їх може бути 3500 мм. Застосування стінових блоків дає змогу зменшити сумарні витрати праці на зведення стін, а також скоротити термін будівництва на 10–15% порівняно із штучною кладкою. Основні недоліки використання крупних блоків – це велика кількість типорозмірів, складність монтажу, збільшення витрат цементу.





**Рис. 6.2.** Одношарова панель з ефективною цегли або каменів: 1 – вертикальний зварний каркас з підйомною петлею; 2 – горизонтальний зварний каркас; 3 – закладна деталь; 4 – паз для шва

Найбільш

радикально завдання індустріального застосування керамічної цегли та каменів вирішується виготовленням з них на заводі панелей, з яких потім монтують стіни. За конструкцією панелі поділяють на одно-, багатошарові, суцільні та з прорізами; за призначенням – для зовнішніх та внутрішніх стін; за видом навантажень, які вони сприймають, – на несучі, самонесучі та ненесучі (навісні). Панелі виготовляють заввишки на поверх та стрічкової (горизонтальної) розрізки. Типорозміри панелей визначаються конструкцією будівлі, для якої вони призначені.

Залежно від кількості поверхів та навантаження, яке сприймається, їх проектують завтовшки в одну (270 мм), півтори (400 мм) та дві цеглини. Панелі армують горизонтальними та вертикальними зварними сталевими каркасами.

Технологічний процес виготовлення керамічних панелей включає приготування розчину та підготовку металевого каркасу, формування, оздоблення панелей та їх тепловологісну



обробку. Застосовують технологію виготовлення керамічних стінових панелей з ущільненням розчину вібруванням та без вібрування.

## 6.2. Фасадні керамічні вироби

Фасадні керамічні вироби застосовують для зовнішнього облицювання стін, панелей, блоків, цоколів будівель, лоджій, створення декоративних панно і т.д. До цієї групи виробів входять лицьова цегла і каміння, фасадна керамічна плитка, керамічний граніт, архітектурно-художня кераміка.

Фасадні керамічні вироби поряд з високою декоративністю повинні володіти достатньою міцністю і стійкістю до дії навколишнього середовища.

Керамічні фасадні вироби виготовляють глазурованими і неглазурованими, ангобованими і неангобованими.

*Глазур* – блискучий склоподібний шар у вигляді тонкої (0,1–0,3 мм) плівки, що покриває поверхню керамічного матеріалу для надання йому красивого зовнішнього вигляду і підвищення протикорозійної стійкості. Шар глазури утворюється і закріплюється на поверхні виробів при випаленні. Сировиною для отримання глазури є кварцовий пісок, каолін, польовий шпат, крейда, бура, оксиди свинцю, борна кислота та ін. Для виготовлення кольорової глазури вводять оксиди металів. За температурою спікання глазури розділяють на тугоплавкі (1250–1400° С) і легкоплавкі (900–1250° С), за способом виготовлення – на сирі (наносять на вироби в сирому вигляді) і фритовані (піддають попередньому сплавленню). Глазур буває також прозорою і непрозорою («глухою»).

*Ангоб* – це біла або кольорова керамічна маса, яку наносять на поверхню виробів до їх випалення у вигляді тонкого шару для надання поверхні декоративного зовнішнього вигляду. На відміну від глазури ангоб при випаленні не розплавляється, і не утворює склоподібного шару, ангобована поверхня має матову текстуру.

Однотонні неглазуровані, природно забарвлені керамічні вироби називають *теракоотою*. Для виготовлення теракоотових



виробів застосовують глину, в якій немає включень вапняку, крупних зерен кварцу і, які не містять розчинні солі, що сприяють вицвітанню. Звичайні тони теракоти – кремовий, червонуватий і коричневий з широкою гаммою відтінків. Водопоглинання теракоти 8–10%.

З теракоти жовтого, рожевого, червоного і інших кольорів виготовляють барельєфи, карнизи, капітелі, фризи і інші деталі для оформлення багатопверхових будівель. Різноманітне кольорове забарвлення теракоти досягають введенням в шихту неорганічних пігментів (вохри, оксиду хрому і т.п.).

*Цегла і камені керамічні лицьові* призначені для кладки і облицювання зовнішніх і внутрішніх стін будівель і споруд. Вони можуть виготовлятися з гладкою, рельєфною і фактурною поверхнею. З гладкою і рельєфною поверхнею випускаються вироби природного кольору, що одержують при випаленні глини, або забарвлені при введенні в сировинні суміші фарбувальних добавок. Для створення фактурної лицьової поверхні цегли і каменя застосовують торкретування мінеральною крихтою, покриття ангобом, глазурування або двошарове формування. Як правило, лицьові цегла і камені повинні мати дві лицьові поверхні: тичкову і ложку. За згодою споживача, дозволяється випускати вироби з однією лицьовою поверхнею. Колір, малюнок рельєфу і інші показники зовнішнього вигляду лицьової поверхні виробів повинні відповідати затвердженому зразку-еталону.

Залежно від форми і призначення лицьову цеглу і камені поділяють на рядові (для стін) і профільні (для карнизів, поясів, і т.п.) (рис. 6.3). В рядових виробах не менше двох суміжних поверхонь повинні бути лицьовими; у профільних – лицьовими поверхнями є також прилегли до неї верхні та нижні сторони на 1/3 довжини.



а



б

**Рис. 6.3.** Види лицьової цегли:  
а – лицьова рядова; б – лицьова профільна

Міцнісні показники, що нормуються, для лицьових цегли та каменів приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Границя міцності при стиску і згині лицьової цегли  
і керамічного каменя

Марка цегли і каменя	Границя міцності при стиску цегли і каменя пластичного і напівсухого формування в МПа		Границя міцності при згині, МПа			
			для цегли пластичного формування		для цегли напівсухого формування	
	середній для 5 зразків	наймен- ший для окремого зразка	середній для 5 зразків	наймен- ший для окремо- го зразка	середній для 5 зразків	наймен- ший для окремо- го зразка
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7
250	25,0	20,0	4,0	2,0	3,0	1,5
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,6	1,3
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1
150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,0	1,0
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,8	0,9
100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7

Водопоглинання лицьової цегли і каменя на основі біловипалювальних глин повинне бути не менше 6% і не більше



12% при використуванні глин з домішками карбонатних і інших порід. Якщо використовують глини з добавкою трепелу або діатоміту, то водопоглинання лицьової цегли і каменя не повинне бути більше 20%.

На глазурованих поверхнях цегли і каменя не допускаються напливи, хвилястість, засмічення, нерівномірність забарвлення глазури, помітна з відстані 10 м; наколювання (поглиблення в глазури) діаметром більше 2 мм. Нормуються також такі дефекти глазури як мушки, пліщини та ін.

За морозостійкістю лицьові цеглу та камені поділяють на марки F25, F35 і F50. Після відповідної кількості циклів заморожування і відтавання в насиченому водою стані вироби не повинні мати видимих пошкоджень (розшарування, лущення, розтріскування, викрошування).

*Клінкерну цеглу* виготовляють із тугоплавкої глинистої сировини з добавкою флюсів, шамоту і фарбувальних оксидів з випалюванням до спікання. Її застосовують для облицювання цоколів та фасадів будівель, обрамлення вікон і дверей, колон, а також для мощення доріг, тротуарів і дворів. Вона може мати матову і глясову поверхню, різну колірну гамму. Клінкерна цегла має високу міцність (М300 і вище), морозостійкість (F100 і вище), корозійну стійкість, водонепроникність. Водопоглинання клінкерної цегли менше 3%.

*Плитки керамічні фасадні і килими з них* виготовляють глазурованими і неглазурованими, гладкими і з рельєфною поверхнею. Керамічні плитки і килими з них застосовують для облицювання зовнішніх стін, стінових панелей і крупних блоків, фризів, обрамлення віконних і дверних отворів, інших архітектурних елементів будівель. Для облицювання цоколів споруд і підземних переходів застосовують переважно фасадні глазуровані плитки.

Плитки виготовляють квадратної і прямокутної форми з координаційними розмірами (сумарною величиною номінальних розмірів і ширини шва розчину – 4-8 мм) від 50×50 до 300×150 мм і завтовшки 4–9 мм. Дрібно розмірні фасадні плитки випускають розмірами до 200 мм і у вигляді килимової кераміки. З дрібнозернистої керамічної плитки набирають панно,



картини та інші мозаїчні композиції. Крупнорозмірні фасадні плитки мають розмір більше 200 мм.

Граничні відхилення по довжині і ширині плиток при розмірі до 50 мм складають  $\pm 2\%$ , понад 50 до 200 мм  $\pm 1\%$ , більше 200 мм –  $\pm 1\%$ . По товщині граничне відхилення для плиток всіх розмірів повинне бути  $\pm 15\%$ .

Нелицьова (монтажна) поверхня плиток повинна мати пази (глибиною) або опуклості (висотою) розміром не менше 0,7 мм при довжині виробів до 50 мм і 2 мм – більше 50 мм.

Лицьова поверхня плиток може бути гладкою або рельєфною, неглазурованою, частково або повністю покритою одно- чи багатоколірною глазур'ю, або декорованою різними методами. Плитки на лицьовій поверхні плиток не допускаються тріщини і цек, а також дефекти глазури і декору, помітні з відстані 1 м.

Фізико-механічні показники плиток повинні відповідати вимогам, приведеним в табл. 6.2.

Таблиця 6.2  
Фізико-механічні властивості фасадних плиток

Найменування показника	Значення для плиток	
	стіно-вих	цокольних
Водопоглинання %:		
– не менше	2	2
– не більше	9	5
для плиток, виготовлених з мас, що містять шлаки, полімінеральні глини і карбонати, не більше	12	–
Морозостійкість, цикли, не менше	40	50
Термічна стійкість глазури °С, не менше	125	125
Границя міцності при згині, МПа, не менше	16	8
Твердість глазури, не менше	5	5

Для виготовлення килимів застосовують плитки прямокутної і квадратної форми площею не більше 115 см<sup>2</sup>, для виготовлення килимів «брекчия» – частини плиток довільної



форми площею не менше 3 см<sup>2</sup>. Номінальні розміри килимів встановлюють за погодженням підприємства-виробника із споживачем. Килими з плиток виготовляють наклеюванням їх лицьовою поверхнею на папір масою 1 кв. м не менше 70 г клеєм, який повинен легко змиватися після облицювання.

Килими бувають трьох типів: з прямолінійною орієнтацією плиток (тип I), неорганізованим набором плиток (тип II) і брекчевидними з частин плиток довільної форми (тип III).

*Плитки керамічні литі і килими з них виготовляють способом лиття з подальшим випаленням. Вони значно тонші за фасадні, що виготовляються напівсухим пресуванням. Литі плитки з глазурованою поверхнею і килими з них застосовують для зовнішнього і внутрішнього облицювання будівель, балконних екранів, колон, а також для монументально-декоративних робіт. Литими плитками не можна облицювати виступаючі частини будівель, цоколі, карнизи. Водопоглинання плиток повинне бути не більше 16,5%, морозостійкість – не менше 35 циклів. При випробуванні на термічну стійкість на глазурованій поверхні плиток не допускається поява цека і інших ознак руйнування при перепаді температур від (100+5)°С до 18–20°С.*

Транспортуючи, завантажуючи і розвантажуючи плитки, вживають заходи для зберігання їх від механічних пошкоджень, а килимів – від зволоження. Плитки зберігають в закритих приміщеннях або під навісами. Килими, укладені на піддони по типах і розмірах, повинні зберігатися в закритих сухих приміщеннях.

Плитки випускають квадратної і прямокутної форми завдовжки 21, 46, 71 і 96 мм, шириною 21 і 46 мм та завтовшки 3 і 3,5 мм. Для монументально-декоративних робіт допускається виготовлення плиток інших розмірів. Лицьова поверхня плиток покрита прозорою або глухою, білою або кольоровою глазур'ю (рис. 6.4).

Килими з литих керамічних плиток бувають квадратними або прямокутними з розмірами сторін, кратними 50 мм.



**Рис. 6.4.** Варіанти облицьовування керамічною плиткою

*Плитка клінкерна* також як і клінкерна цегла є продуктом спікання тугоплавких глин. Призначена для облицьовування фасадів будівель і підлог. Плитку випускають з гладкою і рустованою поверхнею, що не глазурується і глазурованою. Існує велика різноманітність форм і фактур клінкерної плитки. Клінкерна плитка має незначне водопоглинання (до 2–3%) високу міцність і морозостійкість. Плитку випускають розмірами 115×240, 240×240, 300×300 мм та ін.

*Керамічний граніт* виготовляють із маси, що складається з глин, польових шпатів і інертних малозалізистих наповнювачів. Плитку одержують методом пресування під високим тиском з подальшим випаленням при 1200–1300° С. Для фарбування виробів в масу вводять пігменти. Керамограніт володіє більш високими показниками міцності, зносостійкості, морозостійкості в порівнянні з іншими видами керамічних плиток. Його водопоглинання дуже мале (до 0,05%). Він не реагує на дію кислот і лугів навіть в концентрованому вигляді (за винятком плавикової кислоти).





Залежно від способу обробки поверхня керамограніту може бути полірованою, матовою (лощеною) та рельєфною. Керамограніт випускається глазурованим і неглазурованим (рис. 6.5). За текстурою та властивостями керамограніт може не поступатися високоміцним видам природного каменя. Випускається також керамограніт під венеціанську штукатурку, що імітує дерево і т.д.



Рис. 6.5. Зразки керамограніту

Поширені розміри плитки з керамограніту: 20×20, 30×30, 30×60, 40×40 см. Виробляють також керамогранітну плитку 60×60, 60×90, 120×60 см і ін. Найбільше розповсюдження отримали облицювальні елементи завтовшки 5, 8, 12 і 15 мм.

Керамограніт застосовують для фасадного і внутрішнього облицювання стін будівель різного призначення. Ефективною областю його застосування є опорядження вентильованих фасадів. При їх монтажі крупні керамогранітні плити завтовшки 11–14 мм кріпляться на металевий каркас, під яким розміщений шар теплоізоляції. Поряд з опорядженням стін керамограніт широко застосовується для облицювання сходів, покриття підлог в приміщеннях, особливо при значних стираючих навантаженнях (супермаркети, кінотеатри, вокзали, станції метро і ін.), а також високих статичних і динамічних навантаженнях, дії хімічно-агресивних речовин і підвищених температур. Керамограніт



може застосовуватися і для зовнішніх робіт (двори, під'їзні доріжки, бордюри).

Залежно від особливостей застосування, характеру контактної поверхні і виду керамічних плиток використовують різні способи їх кріплення. Найчастіше застосовують клейові склади на основі сухих сумішей. Шар клею 3–5 мм. Плитки вкладають із зазором 3–12 мм, який потім затирають, для компенсації температурних деформацій.

*Архітектурно-художня (декоративна) кераміка* широко застосовується у вигляді настінних панно, декоративних вставок, рельєфів, об'ємних композицій, елементів малих форм. Вироби виготовляють з легкоплавкої і тугоплавкої глини, шамоту та інших матеріалів пластичним, напівсухим способами, а також литтям.

Для фасадних керамічних архітектурних деталей ставлять вимоги по водопоглинанню, морозостійкості, термічній стійкості і твердості глазури такі ж як для фасадної плитки.

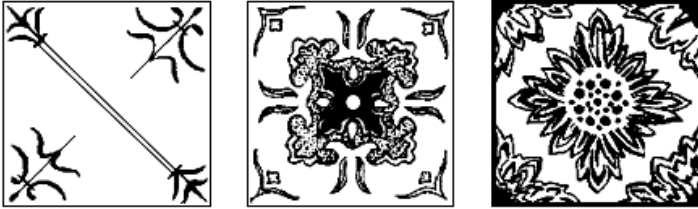
### **6.3. Плитки для внутрішнього облицювання стін і підлог**

*Плитки керамічні для внутрішнього облицювання стін* бувають майоліковими і фаянсовими. Їх виготовляють квадратними, прямокутними і фасонними різних розмірів.

Лицьова поверхня плиток може бути гладкою або рельєфною, одно- або багатоколірною (декорованою), а бічні грані плиток можуть бути без завалу і із завалом однієї, двох, трьох і чотирьох граней. Декорування плиток може здійснюватися методом серіографії (рис. 6.6) (трафаретний друк за допомогою тонкої шовкової сітки), набризкування, нанесення глазури та ін. Глазур може бути блискучою або матовою, прозорою або глухою.

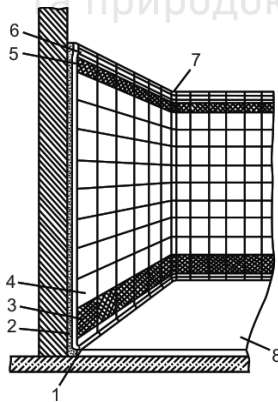
Допустимі граничні відхилення номінальних розмірів плиток наступні: по довжині і ширині –  $\pm 0,8\%$ , по товщині для плиток завдовжки до 150 мм –  $\pm 10\%$ , більше 150 мм –  $\pm 8\%$ .

Відмінності між найбільшим і найменшим розмірами виробів однієї партії по довжині і ширині не повинні перевищувати 1,5 мм.



**Рис. 6.6.** Керамічні плиткі для внутрішнього облицювання стін декоровані методом серіографії

Залежно від якісних показників лицьової поверхні плиткі поділяють на два сорти. Для виробів I сорту кривизна лицьової поверхні може бути не більше 0,8 мм, II сорту – 1,1 мм. Косокутність для плиток обох сортів завдовжки до 150 мм допускається не більше 0,5 мм, понад 150 мм – 1,0 мм. Не допускаються або обмежуються також залежно від сорту відбитості з боку лицьової поверхні, різні дефекти глазурі і порушення декору. Загальна кількість допустимих дефектів не повинна бути більшою двох – на плитці I сорту і трьох – II сорту.



**Рис. 6.7.** Структура облицювального покриття:  
1 – фасонні плінтусні керамічні глазуровані плиткі; 2 – підготовка і прошарок з розчину під покриття плитками; 3 – цокольна квадратна плитка кольорова; 4 – рядова облицювальна глазурована плитка; 5 – фризова плитка прямокутна; 6 – пряма карнизна плитка фасонна; 7 – кутова карнизна плитка; 8 – підлога



Водопоглинання плиток не повинне перевищувати 16%, а межа міцності при згині – 15 МПа. Твердість глазури на плитках повинна бути не менше 5 по шкалі Мооса, термічна стійкість – 150° С (для білої глазури) і 125° С (для кольорової).

Конструкція облицювання внутрішніх стін складається з трьох елементів: підготовки (основи), прошарку та облицювального покриття (рис. 6.7).

Плитки керамічні для підлоги (рис. 6.8, 6.9, 6.10) застосовують в приміщеннях, до чистоти яких пред'являються підвищені вимоги, при значних стираючих діях через інтенсивне пересування людей, а також для обрамлення інтер'єрів.

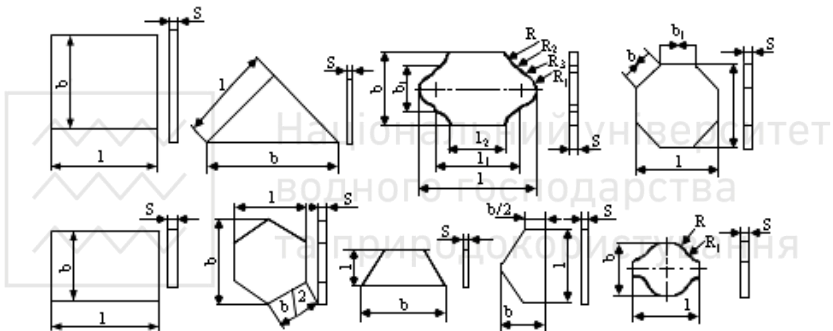
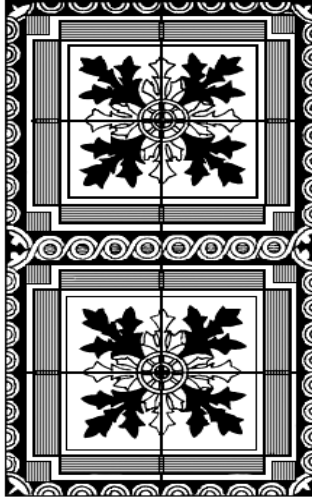


Рис. 6.8. Плитки керамічні для підлоги

Підлоги з керамічних плиток довговічні, волого- і вогнестійкі, водонепроникні, гігієнічні, їх небажано використовувати в приміщеннях, призначених для тривалого перебування людей, у зв'язку з високим коефіцієнтом теплотозасвоєння.

Керамічні плитки для підлоги виготовляються з гладкою або рельєфною поверхнею неглазуровані і глазуровані.

Неглазуровані плитки і килими з них призначені для настилу підлоги всередині приміщень житлових, громадських і промислових будівель, а також в лоджіях і балконах.



**Рис. 6.9.** Фрагмент підлоги із керамічних плиток з рисунком

Глазуровані плитки призначені для настилу підлоги усередині приміщень житлових, громадських і побутових приміщень промислових будівель в місцях неінтенсивного пішохідного руху.

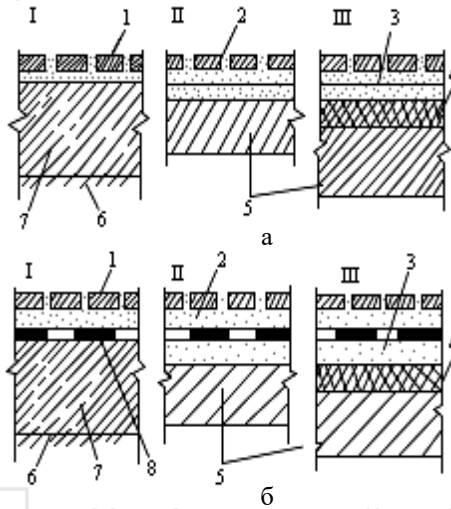
За формою плитки поділяють на квадратні, прямокутні, шести-, восьмигранні та фігурні.

Лицьова поверхня плиток може бути одно- і багатоколірною (візерунчастою, порфіровидною, мармуровидною і декорованою різними методами).

За призначенням плитки розділяють на основні і добірні.

Для плиток нормується площа, яку складають відбитості і пліщини (відповідно не більше 10 і 9 мм<sup>2</sup>), ширина і довжина щербин і зазубрин на лицьовій поверхні (не більше 1,0 мм завдовжки 10 мм). Не допускаються дефекти глазури, видимі з відстані менше 1,7 м. Загальна кількість допустимих дефектів на одній плитці повинна бути не більше трьох.

На монтажній поверхні плитки повинні мати пази (рифлення) або опуклості висотою не менше 1,5 мм.



**Рис. 6.10.** Підлоги з керамічних плиток:

а – без гідроізоляції; б – з гідроізоляцією

I – на ґрунті; II – на перекритті із стяжкою; III – на перекритті із

стяжкою, укладеною на тепло- або звукоізоляції;

1 – покриття; 2 – розчиновий прошарок; 3 – стяжка;

4 – тепло- або звукоізоляційний шар; 5 – плита перекриття;

6 – ґрунт основи; 7 – бетонний підстиляючий шар;

8 – гідроізоляція

Нормовані фізико-механічні властивості плиток для підлоги приведені в табл. 6.3.

З плиток площею не більше 9000 мм<sup>2</sup> складають килими за типовими малюнками.

Для *кислотостійких покриттів підлоги* використовують плитки марок: КФ (керамічні фарфорові), ТКД (термокислотостійкі дунітові), КШ (кислототривкі шамотні), ТКШ (термокислотостійкі шамотні), ТКГ (термокислотостійкі для гідролізної промисловості), КС (кислотостійкі для будівельних конструкцій). Робоча поверхня кислотостійких плиток гладка, а неробоча – рифлена.



Таблиця 6.3

Фізико-механічні властивості керамічних плиток для підлоги

Показник	Нормативні показники для плиток	
	Неглазуровані і частково глазуровані	Глазуровані
Водопоглинання %, не більше	3,5; 3,8	4,5
Границя міцності при згині, МПа	25	25
Зносостійкість, г/см <sup>2</sup> , не більше при застосуванні:		
кварцового піску	0,18	-
корундового піску	0,54	-
Зносостійкість, ступінь	-	1–4
Термічна стійкість глазури °С	-	125
Морозостійкість, цикли, не менше	25	-
Твердість глазури за Моосом, не менше	-	5

При влаштуванні підлоги, керамічні плитки укладають по прошарку цементно-піщаного розчину марки не нижче М150. Для більш міцного зчеплення, в суміш доцільно вводити добавки полімерів – полівінілацетатну дисперсію або латекс в кількості 10–15% маси цементу в перерахунку на суху речовину.

Для облицювання печей, стін, фасадів та інтер'єрів застосовуються різні керамічні кахлі.

*Кахлі* – декоративні плитки з випаленої глини (рис. 6.11). Кахлі можуть бути гладкими або рельєфними, покритими кольоровою глазур'ю (майолікові) або неглазуровані (теракотові). Із зворотної сторони кахлі мають вигляд відкритої коробки для кріплення в кладці.



Рис. 6.11. Види кахлів

Пічні кахлі – матеріали для облицьовування зовнішніх поверхонь пічних улаштувань. Їх розділяють на прямих (стінні) і кутових. Розміри кахлів, мм: прямих –  $220 \times 220 \times 50$  і  $200 \times 200 \times 45$ , кутових –  $220 \times 220 \times 110 \times 50$  і  $200 \times 200 \times 100 \times 45$ , прямокутних («рустик») прямих –  $205 \times 130 \times 45$ , кутових –  $205 \times 130 \times 107 \times 45$ . Розрізняють кахлі закладні (цокольні), лицьові, карнизні та інші. До стіни кахлі кріпляться за допомогою штирів і пічного дроту. Для кахлів нормують водопоглинання, термостійкість, термічну стійкість і твердість глазури в тих же межах як і для керамічних плиток, призначених для внутрішнього облицьовування стін.

#### 6.4. Кераміка для покрівель та труб. Вогнетривка та кислототривка кераміка

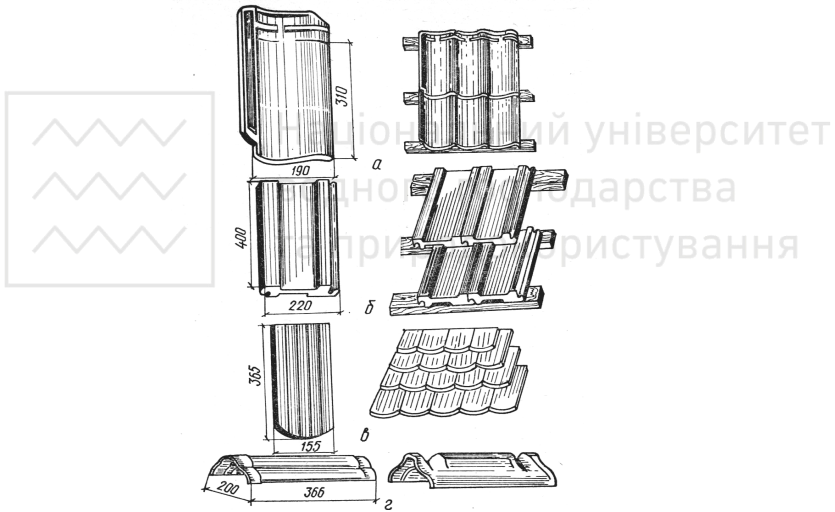
Основним керамічним матеріалом для покрівель є *черепиця*, її головна позитивна особливість – висока довговічність. Так, якщо нормативний термін служби рулонних





матеріалів становить 15 років, листової сталі 25, азбестоцементу – 30 років, то черепиці – 80 років. Недоліками черепиці є її велика маса ( $35\text{--}70\text{ кг/м}^2$ ), крихкість, необхідність великого нахилу стріхи. Дрібнорозмірність та ручний спосіб укладання черепиці зумовлює велику трудомісткість влаштування черепичної покрівлі. Збільшення випуску індустриальних покрівельних матеріалів привело до зменшення використання черепиці.

Випускають пазову штамповану та стрічкову, плоску стрічкову та конькову черепицю (рис. 6.12). Найпоширеніша пазова стрічкова черепиця завдовжки 400 мм, завширшки 220, 200 та 165 мм.



**Рис. 6.12.** Типи черепиці і приклади її укладки на покрівлю:  
а – штампована пазова; б – стрічкова пазова; в – стрічкова  
плоска; г – конькова

Черепиця має витримувати руйнівне навантаження 800–1400 Н, її морозостійкість становить не менше ніж 25 циклів. Влаштовуючи покрівлю, черепицю укладають на лаги, за які вона утримується шипами й до яких прив'язується дротом.



Влаштуваючи закритий дренаж – систему водовідведення із перезволожених та заболочених земель, використовують *дренажні труби* циліндричної форми з внутрішнім діаметром 25–250 мм при товщині стінок відповідно 8–24 мм та довжині 333–500 мм. Випускають також труби з шести- і восьмигранними зовнішніми поверхнями.

Для укладання труб впритул їхні торці мають бути перпендикулярними до поздовжньої осі й не повинні мати відколів та вм'ятин більше, ніж на одну третину стінки. Дренажні труби випускають неглазурованими, з гладенькою внутрішньою поверхнею, водопоглинанням 12–18% та морозостійкістю не менше ніж 15 циклів. Під час випробування труби мають витримувати гідравлічний тиск не нижче ніж 0,05 МПа та руйнівне зусилля не менш як 1,5–2,0 МПа.

Ефективність дренажної труби визначається кількістю води, що відводиться нею за одиницю часу.



**Рис. 6.13.** Каналізаційні керамічні труби

На відміну від дренажних *каналізаційні труби* (рис. 6.13) належать до щільної спеченої кераміки. Їх випускають у вигляді порожнистих циліндрів з розтрубом, внутрішнім діаметром 125–600 мм та завдовжки 300–1200 мм. Для підвищення водонепроникності та хімічної стійкості, а також зменшення опору протіканню рідин каналізаційні труби покривають ззовні та зсередини глазур'ю.



Основні якісні показники каналізаційних труб: допустиме зовнішнє навантаження  $2-3 \cdot 10^4$  Н на 1 м; гідравлічний тиск не менше ніж 0,2 МПа, водопоглинання – перший сорт до 9%, другий – до 11%; кислотостійкість не менше як 90%.

Для *вогнетривких матеріалів* вогнетривкість становить 1580–1770° С, високовогнетривких – 1770–2000° С, найвищої вогнетривкості – понад 2000° С. Вимірюють вогнетривкість за температурою розм'якшення спеціально виготовлених з керамічної маси піроскопів, що мають форму трикутної зрізаної піраміди, а також за допомогою оптичних і електричних прометрів.

Характерними вогнетривкими матеріалами є динасові, кварцові та шамотні вогнетриви. Вони відрізняються вихідною сировиною та способом виготовлення. *Динасові вогнетриви* отримують випалюванням кварцових порід, як правило на вапняній, а напівкислі – на глиняній зв'язці. *Кварцові вогнетриви* виготовляють плавленням природного кварцу, *шамотні* – випалюванням вогнетривких глин.

Особливостями динасових вогнетривів є низькі термостійкість і стійкість проти дії більшості шлаків. Для футерування топок їх не використовують, а застосовують для спорудження скловарних, сталеплавильних, коксових та інших печей.

З високовогнетривких матеріалів найширше застосовують глиноземисті, доломітові, хромисті, карборундові вогнетриви; вищої вогнетривкості – магнезитові, хромомагнезитові, цирконієві, графітові. Вищу вогнетривкість та інші цінні властивості мають також вогнетриви з чистих оксидів а також некисневих сполук – нітридів, боридів, карбідів, силіцидів тощо.

Вогнетривкі керамічні матеріали виготовляють у вигляді цегли різної форми та розмірів (прямого, торцевого та ребристого клину, трапецеподібної форми та ін.).

Для захисту будівельних конструкцій та апаратів, що працюють в умовах кислих агресивних середовищ, зокрема при футеруванні димових труб, використовують *кислототривку цеглу*. Її виготовляють прямокутною, радіальною та фасонною з пластичних тугоплавких або вогнетривких глин відповідного



хімічного складу, що не містять домішок гіпсу, сірчаного колчедану, карбонатів.

Перевозять керамічні вироби у контейнерах або в іншій тарі, що забезпечує їх збереження, механізоване завантаження та розвантаження. Цеглу та камені зберігають у клітках на підкладках, піддонах або у контейнерах окремо за марками, видом та кольором лицевих поверхонь.

## 6.5. Основні технологічні процеси керамічних виробництв

Серед основних процесів керамічного виробництва слід виділити такі: добування глини та підготовка сировинних матеріалів, приготування шихти, формування виробів, сушіння та випалювання.

Під час розробки глиняних кар'єрів використовують звичайно багатоковшові екскаватори, які зрізають глиняну стружку по всій висоті та довжині фронту добування. Подрібнюють глинисті матеріали найчастіше валковими дробарками, іноді – бігунами.

Підготовані компоненти керамічної маси ретельно змішують.

Розрізняють три основні способи приготування керамічної маси – пластичний, напівсухий та шлікерний.

При *пластичному способі* керамічна маса має вологість 18–23%. Її можна одержати безпосередньо з глини із кар'єрною вологістю, змішуючи з добавками, або з сухих порошоків з наступним зволоженням.

При *напівсухому способі* маса має вологість 8–12%, її отримують, попередньо підсушуючи, подрібнюючи та змішуючи компоненти.

При *шлікерному способі* керамічна маса має вигляд суспензії (шлікеру) вологістю 30–35%.

Пластичний спосіб найефективніший при використанні глин з підвищеною кар'єрною вологістю, які добре розмокають у воді, а напівсухий – при щільній структурі глиняної сировини та низькій вихідній вологості. Шлікерний спосіб використовують тоді, коли потрібно досягти особливо



ретельного змішування вихідних компонентів (фарфоро-фаянсове виробництво, виготовлення облицювальних плиток).

Спосіб формування керамічних виробів залежить від консистенції керамічної маси. З пластичних мас виробу формують на стрічкових пресах, де маса ущільнюється шнековим механізмом і виходить з мундштука у вигляді стрічки певного перерізу, що розрізається на вироби заданих розмірів. Так отримують звичайну цеглу, порожнисті вироби, труби тощо.

Виготовляючи цеглу, особливо з використанням низькопластичних глин, ефективним є жорстке формування при вологості маси 14–16%. Його здійснюють за допомогою преса-екструдера, який розвиває тиск до 10 МПа, що дає змогу поліпшити якість виробів, спростити технологічну схему їх виробництва (рис. 6.14).

Дренажні і каналізаційні труби виготовляють звичайно пластичним способом. Труби невеликого діаметра формують на горизонтальних стрічкових пресах, а великого – на вертикальних вакуумних.

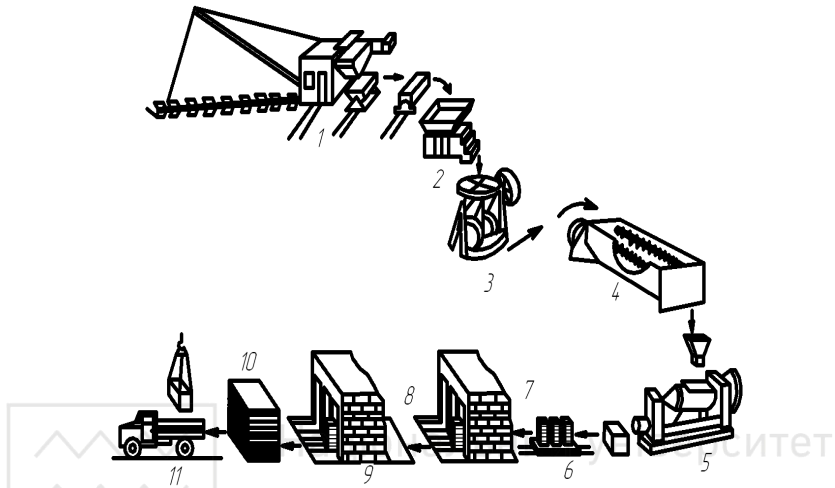
З напівсухих порошкоподібних мас виробу формують на пресах високого тиску (10–30 МПа та більше). При напівсухому пресуванні скорочується сушіння сирця – тривалий та складний процес. З порошкоподібних мас виготовляють стінові керамічні вироби, вогнетриви, різні тонкостінні вироби.

Шлікери використовують для відливання складних за конфігурацією тонкостінних виробів (санітарно-технічна, декоративна, хімічно стійка кераміка тощо). Цей метод формування ґрунтується на властивості гіпсових форм вбирати в себе частину води із залитого в них шлікеру.

Відформовані вироби сушать, щоб надати їм потрібної при випалюванні міцності. Розрізняють конвективне та радіаційне сушіння. При конвективному сушінні теплота передається від теплоносія – димових газів або повітря, а при радіаційному – вона випромінюється від нагрітих поверхонь. Для сушіння виробів підбирають оптимальний температурний режим, за якого сушильний пристрій має максимальну продуктивність, а термін сушіння та кількість браку мінімальні. Поширені тунельні та конвеєрні сушарки безперервної дії, що



забезпечують високу продуктивність та поточність виробництва.



**Рис. 6.14.** Технологічна схема виробництва керамічної цегли способом жорсткого формування:

- 1 – багатоковшевий екскаватор з вагонетками для транспортування сировини;
- 2 – ящиківий дозатор;
- 3 – бігуни;
- 4 – змішувач;
- 5 – прес-екструдер з різальним апаратом;
- 6 – вагонетка-платформа з укладеним сирцем;
- 7 – тунельна сушарка;
- 8 – поворотне коло вузькоколійки;
- 9 – тунельна піч;
- 10 – склад готових виробів;
- 11 – транспортування виробів в контейнерах

Вирішальною стадією технології керамічних виробів, при якій формуються властивості кераміки, є випалювання. Під час випалювання спочатку відводиться з глини механічно та гігроскопічно зв'язана вода, а потім при  $400\text{--}450^\circ\text{C}$  відбувається дегідратація глинистої речовини та вигорання органічних домішок. Утворення рідкої фази у вигляді розплавів інтенсивно розвивається у міру підвищення температури випалювання. Склоподібні розплави склеюють у єдиний моноліт окремі зерна керамічної маси. Спікання керамічних мас може відбуватись за рахунок реакцій у твердій фазі.



Найважливішим кристалічним новоутворенням при випалюванні керамічних мас є мінерал муліт  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , який найбільш інтенсивно утворюється в інтервалі температур 1000–1200° С.

Для випалювання виробів кожного виду встановлюють певний температурний режим. Якщо кераміку випалюють при температурі, нижчій за потрібну, то вона має підвищену пористість та невисоку міцність, а при вищій температурі, хоч і зростає міцність, вироби можуть деформуватися та оплавлятися.

На сучасних керамічних підприємствах вироби випалюють у печах безперервної дії, які залежно від конструктивних особливостей поділяють на два основні типи: кільцеві з нерухомим матеріалом та рухомою зоною випалювання; тунельні та щілинні з рухомим матеріалом та нерухомою зоною випалювання.





## 7. СКЛО І СКЛОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Скло та скловидні матеріали отримують з силікатних розплавів, здатних при швидкому охолодженні переходити в склоподібний стан, для якого характерні ізотропність властивостей, відсутність певної температури плавлення і безперервна зміна властивостей при нагріванні з переходом в крапельно-рідкий стан.

Склокристалічні матеріали (ситали і шлакоситали) поєднують в собі позитивні властивості скла і кристалічних речовин.

Основною продукцією промисловості є листове скло: неполіроване, поліроване, багат шарове, гартоване тощо. Останніми роками значно розширено асортимент і освоєно випуск ряду нових виробів із скла, зокрема кольорового, армованого, профільного, вітринного. Збільшення площі світлових отворів обумовило збільшення випуску віконного скла завтовшки 3–4 мм. Широко використовуються різноманітні вироби архітектурно-будівельного призначення: скляні блоки, склопрофіль, склопакети. Їх застосовують як ефективні світлопроникні матеріали для зовнішніх та внутрішніх огорож у житлових, громадських і промислових будівлях.

Поширені скляні труби, скловолонисті гідро- та теплоізоляційні матеріали на основі скла.

### 7.1. Види і склади скла

Стекла класифікують залежно від складу і призначення.

За складом розрізняють оксидні, халькогенідні і галогенідні стекла. У найбільш численну групу оксидних стекел входять силікатні, алюмосилікатні, боросилікатні, алюмофосфатні та інші стекла, назва яких визначається склоутворюючими оксидами. Головними склоутворюючими оксидами є  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  і  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

У будівництві застосовують в основному силікатні і алюмосилікатні стекла, які часто об'єднуються в одну групу – *силікатних стекел*, враховуючи, що в їх складі переважає  $\text{SiO}_2$ .





До силікатних належить переважна більшість промислових стекел. Фосфатні скляні розплави застосовують в основному для виробництва оптичних, електровакуумних стекел, боратні – для спеціальних видів скла (рентгенопрозорних, реакторних та ін.). Змішані боросилікатні стекла застосовують для виготовлення оптичних і термічно стійких скловиробів.

Хімічний склад будівельного скла знаходиться в межах (%):  $\text{SiO}_2$  – 71,5–72,5,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,5–2,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13–15,  $\text{CaO}$  – 6,5–9,  $\text{MgO}$  – 3,8–4,3. Для регулювання технологічних і будівельних властивостей скла до його складу вводять і інші оксиди. Основний компонент скла – кремнезем вводиться в скляну шихту з кварцовим піском, меленим кварцитом або піщаником. Глинозем вводиться у складі польових шпатів, каоліну, оксид натрію – соди і сульфату натрію, а оксид калію – поташу і калієвої селітри. Оксид натрію прискорює процес склоутворення, знижуючи температуру плавлення і полегшуючи освітлення скломаси, але підвищує коефіцієнт теплового розширення і зменшує хімічну стійкість. Оксид калію знижує схильність скла до кристалізації, надає йому блиск і покращує світлопропускання. Оксиди кальцію і магнію забезпечуються в скляної шихті різними різновидами природних карбонатів кальцію і магнію. Ці оксиди підвищують хімічну стійкість скла, а  $\text{MgO}$  – знижує схильність скла до кристалізації.

Борний ангідрид в шихту вводиться з бурою і борною кислотою. Він збільшує швидкість варіння, сприяє освітленню скла, підвищує термічну та хімічну стійкість, зменшує схильність до кристалізації і знижує коефіцієнт термічного розширення. Основна вимога до всіх видів вихідної сировини – відсутність домішок і однорідність за вмістом основного оксиду.

Поряд з основними в скляну шихту вводяться різні допоміжні сировинні матеріали: освітлювачі, глушители, барвники. Освітлювачі сприяють видаленню зі скломаси газових бульбашок (хлориди і сульфати натрію, плавиковий шпат). В якості глушителів, що застосовують для одержання непрозорих стекел, використовують сполуки фтору і фосфору, іноді сурми і олова. Барвники для скла поділяють на молекулярні, що розчиняються в скломасі, і колоїдні, дисперговані у вигляді



колоїдних частинок. До перших відносять сполуки кобальту (синій колір), хрому (зелений), марганцю (фіолетовий), урану (жовтий), заліза (коричневі і синьо-зелені тони), а до других – золото (рубіновий), срібло (золотисто-жовтий), селен (рожевий) і ін.

Класифікація будівельного скла за призначенням та основні види скловиробів, що випускаються промисловістю, наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Класифікація будівельного скла та скловиробів

Вид і призначення скловиробів	Види скловиробів
Листові світлопрозорі	віконне, вітринне, армоване візерункове, теплопоглинаюче, кольорове, «Метелиця», «Мороз»
Конструкційні	склоблоки, склопакети, профільне скло, дверні полотна
Облицювальні	коврово-мозаїчна плитка, стемаліт, емалірована плитка, скломармур, марблїт, сигран, склокристаліт, смальта, скляна крихта
Тепло-і звукоізоляційні	вироби теплоізоляційні зі скляного штапельного волокна, мати будівельні, піноскло
Неткані холстові скловолокнисті матеріали	холст скловолокнистий покрівельний, гідроізоляційний, меліоративний, теплоізоляційний. Склопапір. Фільтруючий матеріал

Скло зі спеціальними властивостями отримують регулюванням його хімічного складу і, застосовуючи відповідні способи обробки в процесі виробництва. Так, *скло «Метелиця»* отримують на розплаві металу або солей. При цьому одна сторона скла термічно полірується, а на другій утворюється глибокий рельєф з неповторним візерунком при чергуванні ділянок з полірованою і матовою поверхнею.



Для отримання *увіолевого скла*, що володіє здатністю пропускати не менше 25% ультрафіолетових променів, застосовують сировинні матеріали з особливо високим ступенем чистоти (менше 0,03% оксидів заліза).

*Теплопоглинальне скло* зі зниженим світлопропусканням довгохвильової частини спектру сонячних променів виготовляють з введенням добавок оксидів кобальту, нікелю і заліза.

Ряд спеціальних стекел отримують при нанесенні на поверхню скла плівок металів та їх оксидів. Плівкові покриття наносять електрохімічною обробкою, хімічним осадженням з розчинів, катодним розпиленням, випаровуванням у вакуумі. На поверхню скла наносять також прозорі пластмасові плівки, що змінюють частоту власних коливань стекел. Такі стекла застосовують для звукоізоляції.

Велику групу скловиробів виготовляють на основі скловолокна. Розрізняють безперервне (довжина до 20 см і більше) і штапельне (до 50 см) волокно. *Скловолокно* виготовляють з безлужного алюмоборосилікатного скла, лужного та нейтрального стекел. До найбільш високотемпературостійких відносяться волокна із плавленого кварцу і каолінові. Скловолокна відрізняються високою міцністю на розтяг, відносно невеликою густиною, тепло- і хімічною стійкістю. Їх застосовують для виготовлення склотканин, електро- і теплоізоляційних матеріалів, скляного паперу, склопластиків та ін. Переробкою мінеральних розплавів і скломаси отримують мінеральну і скляну вату, яка складається з коротких скловидних волокон і володіє високими теплоізоляційними властивостями.

## 7.2. Технологія виготовлення скла і його властивості

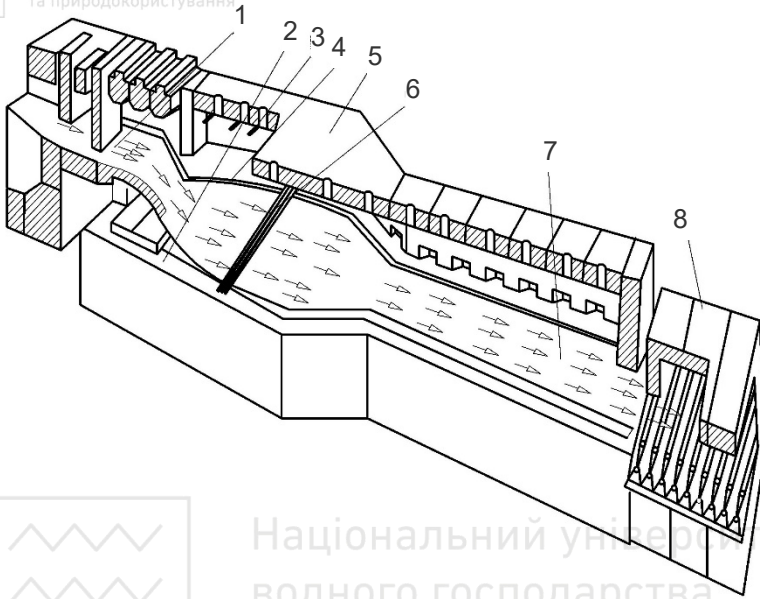
**Технологія виготовлення скла.** У будівництві застосовують силікатне скло, основними компонентами якого є  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  або  $\text{K}_2\text{O}$ . Так, у складі віконного скла близько 72%  $\text{SiO}_2$ , 10%  $\text{CaO}+\text{MgO}$ , 15%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Кожний оксид має певне призначення. Кремнезем створює просторовий каркас



скла і визначає його найважливіші властивості. Оксид натрію прискорює процес склоутворення, знижує температуру варіння скла, полегшує освітлення скломаси, однак підвищує коефіцієнт розширення і знижує термічну та хімічну стійкість скла. Оксиди кальцію та магнію надають склу хімічної стійкості. Основні компоненти входять до скляної шихти з піском, польовими шпатами, содою, вапняком, доломітом та іншими матеріалами. Щоб отримати скло типу марблиту (штучного мармуру), можна ввести в шихту до 60–70% золи та шлаків ТЕС. Скло на основі паливних зол та шлаків має порівняно низький температурний коефіцієнт лінійного розширення ( $54\text{--}65 \times 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ ), підвищені міцність (80–100 МПа) і водостійкість.

Для надання скломасі потрібних властивостей та прискорення варіння використовують бите скло, а також допоміжні матеріали – окислювачі, відновлювачі, глушители тощо. Сировинні матеріали, призначені для складання скляної шихти, піддають попередній підготовці. Піски, що містять підвищену кількість оксидів заліза, збагачують промиванням у гідроциклонах або іншими методами. Висушені та подрібнені компоненти шихти ретельно змішують. Аби запобігти розшаруванню, шихту брикетують або гранулюють і подають до скловарних печей. Варять будівельне скло у ванних печах безперервної дії. У ванних печах матеріал безперервно пересувається від завантажувального отвору печі до вихідного; потрапляє у зони різної температури і перетворюється на готову скломасу. Процес скловаріння складається з п'яти основних стадій: силікатоутворення, склоутворення, освітлення, гомогенізації та охолодження до потрібної в'язкості.

Скломаса виготовляється різними способами залежно від виду. Листове скло отримують вертикальним витягуванням на машинах ВВС, прокатом на шарі розплавленого металу. Останній, так званий *флот-спосіб*, є найбільш прогресивним способом виробництва полірованого скла (рис. 7.1). Суть його полягає в тому, що скломаса безперервно зливається з басейну скловарної печі на поверхню розплавленого металу, розтікається по ній шаром рівномірної товщини та перетворюється у стрічку скла з полірованою поверхнею.



**Рис. 7.1.** Схема виготовлення полірованого скла  
з використанням флоат-способу:

- 1 – скломаса; 2 – басейн ванни розплаву; 3 – нагрівачі; шибери;  
4 – олово; 5 – склепіння ванни; 6 – холодильник; 7 – стрічка скла;  
8 – піч відпалу

Скляні блоки виготовляють пресуванням окремих напівблоків з наступним зварюванням їх на спеціальних зварних автоматах. При отриманні склопрофіліту скляну стрічку, виготовлену безперервним горизонтальним прокатуванням, протягують скрізь формувальний пристрій для отримання потрібного швелерного або коробчатого перерізу. Скляні труби отримують на потокових лініях горизонтального або вертикального витягування.

Скляні волокна утворюються у вигляді ниток з розплавленої скломаси, які витягуються крізь спеціальні філь'єри та намотуються на барабан, що швидко обертається.

Під час охолодження скла внаслідок перепаду температури між поверхневими та внутрішніми шарами утворюються



залишкові напруження, які усувають або послабляють за допомогою спеціальної термічної обробки виробів.

**Властивості скла.** Найважливіші властивості скла – оптичні. Для звичайного будівельного скла коефіцієнт заломлення, тобто відношення швидкості поширення світла у вакуумі до швидкості поширення світла у склі, становить 1,52–1,53. Залежно від хімічного складу, структури скла, характеру його поверхні коефіцієнт заломлення коливається від 1,47 до 2,05. Світлопропускання звичайного віконного скла 83–90%. Здатність скла пропускати світлові промені характеризується відношенням кількості світлової енергії, що проходить скрізь скло, до повної його світлової енергії.

Міцність скла неоднакова при різних видах навантаження – при згині та розтягу міцність у 7–10 разів менша, ніж при стиску. Границя міцності скла при стиску становить 500–1000 МПа. Міцність скла здебільшого залежить від наявності різних дефектів і мікротріщин, подряпин, неоднорідностей складу. Наявність води на поверхні скла знижує його міцність на 20–25%, що пояснюється гідролізуючою дією води.

Механічні властивості скла підвищують різними способами: загартовуванням, травленням з наступним покриттям плівками, електрохімічною обробкою поверхні, мікрокристалізацією. Опір згину при загартуванні збільшується у 4–5 разів, при травленні з покриттям плівкою у 5–10, при мікрокристалізації у 10–15 разів.

Звичайне скло погано чинить опір удару, міцність його при ударному згині становить всього 0,15–0,20 Мпа. Ударна в'язкість загартованого скла у 5–6 разів вища, ніж звичайного, а зміцненого травленням плавиковою кислотою у 3–4 рази більша, ніж у необробленого. Введення оксидів магнію, кремнезему, заліза збільшує опір удару на 5–20%, введення борного ангідриду – на 50%.

Крихкість – головний недолік скла, вона зумовлена високим відношенням модуля пружності до границі міцності при розтягу, а також відсутністю пластичної деформації скла перед розтріскуванням та високою швидкістю поширення тріщин.



Крихкість скла зменшується, якщо збільшується вміст  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , а також при термічній обробці.

Скло має порівняно малу теплопровідність [ $\lambda = 0,4\text{--}0,8$  Вт/(м·К)], температурний коефіцієнт лінійного розширення коливається від  $5 \cdot 10^{-7}$  до  $20 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , він зменшується при введенні до складу скла  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  і підвищується за рахунок лужних оксидів.

Скло більш стійке до дії різкого нагрівання, ніж різкого охолодження, оскільки у його поверхневих шарах при нагріванні утворюються напруження стиску, а при охолодженні – розтягу. Найбільш термостійке – кварцове скло витримує при охолодженні перепад температур до  $1000^\circ C$ , низьколужне боросилікатне скло –  $150\text{--}300^\circ C$ , звичайне будівельне скло  $80\text{--}100^\circ C$ .

Скло характеризується високою стійкістю до дії кислот (крім плавикової та фосфорної), нейтральних та кислих солей. Хімічна стійкість скла у  $10\text{--}20$  разів знижується під дією розчинів лугів, фосфатів, фосфорної і особливо плавикової кислоти. Хімічна корозія скла різко посилюється у разі підвищення температури та тиску.

Звичайне будівельне скло добре пропускає нейтрони та гама випромінювання. Захисні властивості скла щодо гама- та рентгенівського випромінювання, як й інших матеріалів, підвищуються із збільшенням густини. Важке скло отримують, збільшуючи в ньому вміст свинцю, бору, цезію. Послабленню потоку нейтронів сприяють оксиди бору, літію, кадмію.



### 7.3. Листове скло

Асортимент листового скла різноманітний (табл. 7.2): віконне та вітринне, візерунчасте і армоване, із спеціальними властивостями, що пропускає та поглинає ультрофіолетові промені, з напівпрозорим дзеркальним покриттям, що поглинає чи відбиває тепло, електропровідне, зміцнене загартуванням.

Таблиця 7.2

Основні марки і види листового скла

Марка скла	Товщина, мм	Вид скла	Рекомендована галузь застосування
M0	2–6	Дзеркальне поліроване	Виготовлення високоякісних дзеркал, вітрових стекол легкових автомобілів
M1	2–6	Дзеркальне	Виготовлення дзеркал загального призначення, безпечних стекол транспортних засобів
M2	2–6	Технічне поліроване	Виготовлення декоративних дзеркал, безпечних стекол транспортних засобів
M3	2–6	Віконне поліроване	Високоякісне скління світлопрозорих конструкцій
M4	2–6	Віконне неpolіроване	Скління світлопрозорих конструкцій, безпечних стекол для сільськогосподарських машин
M5	2...6	те саме	Скління світлопрозорих конструкцій
M6	6,5–12	Вітринне поліроване	Високоякісне скління вітрин, вітражів
M7	6,5–12	Вітринне неpolіроване	Скління вітрин, вітражів, ліхтарів

Листове скло має високий коефіцієнт світлопропускання, широкий діапазон значень лінійних розмірів та товщини.





*Віконне скло* поділяють на сорти залежно від наявності дефектів: смугастості (нерівності на поверхні), звинин (ниткові смуги), бульбашок, інших включень та подряпин.

Різновидом листового є *вітринне скло*, що виготовляється флюат-способом і використовують для скління вітрин, вітражів та ліхтарів будівель різного призначення. Поверхня вітринного скла може бути неполірованою і полірованою. Поліроване скло обробляють для запобігання оптичних спотворень (мікронерівності не повинні перевищувати 0,01 мкм). Вітринне скло виготовляють завтовшки 5,5 і 6,5 мм і поставляють 16 типових розмірів від 1380×1340 до 2950×2950 мм. Пропускання світла полірованого скла складає не менше 87%.

*Скло армоване листове* (рис. 7.2) виготовляють методом безперервного прокату з одночасним армуванням металевою сіткою. Цей вид скла має підвищену вогнестійкість. При його руйнуванні уламки утримуються металевою сіткою. При пожежі армоване скло не дає розповсюджуватися вогню і диму в приміщеннях. Виготовляється воно завтовшки 5,5 мм (безбарвне) і 6 мм (кольорове) при різновтовщинності відповідно не більше 1 і 1,2 мм. Довжина листів – 800–2000 мм, ширина – 400–1600 мм. Поверхня армованого скла може бути гладенькою, кованою, рифленою, візерунчастою. Хвилясте армоване скло жорсткіше плоского; його застосовують для скління великих прольотів. Для армування скла застосовують зварену або плетену сітку з шестикутними або квадратними комірками 12,5×12,5, 20×20 і 25×25 мм і термооброблений сталевий дріт діаметром 0,45–0,55 мм.



Рис. 7.2. Армоване скло



Армоване скло, що використовується для огорожі балконів і лоджій, встановлюють у вигляді екранів, обрамлених металевою рамкою, або суцільною стрічкою, що прикриває балконну плиту.

Скло візерунчасте (рис. 7.3) виготовляють методом безперервного прокату. Воно має на одній або обох поверхнях рельєфний узор, що повторюється, глибиною 0,5–1,5 мм. Його виготовляють як безбарвним, так і кольоровим. Для візерунчастого скла властиві високі декоративність і світлорозсіювальна здатність. Його використання створює м'яке розсіяне світло усередині приміщень, зменшує рівень проникаючої сонячної радіації, частково або цілком виключає наскрізну видимість без помітної втрати світлопроникності. Візерунчасте скло може бути як забарвленим в масі, так і забарвленим нанесенням оксидно-металевих і інших покриттів.



Рис. 7.3. Скло візерунчасте

Колір і малюнок візерунчастої поверхні скла повинен відповідати затвердженим еталонам.



Різновидом візерунчастого скла є скло «Метелиця» і «Мороз». Скло «Метелиця» може бути безбарвним, кольоровим, з алюмінованою поверхнею, що створює додатковий декоративний ефект. Одна поверхня скла – термічно полірована, інша має неповторюваний узор у вигляді хвилястих ділянок, виступаючих над поверхнею листа. Розміри листів скла «Метелиця» завтовшки 6,5 мм 1900×800 і 1500×800 мм.

Скло «Мороз» виготовляють з віконного або вітринного неpolірованого скла шляхом спеціальної обробки, в результаті якої на поверхні утворюється узор, що нагадує паморозь. Випускають листи завтовшки 4 і 5 мм. Максимальний розмір – 1000×1800 мм

Скло теплопоглинаюче належить до групи сонцезахисних. Воно має високу поглинаючу здатність по відношенню до інфрачервоного випромінювання. Його виготовляють з введенням в шихту добавок оксидів кобальту, нікелю і заліза. Цей вид скла рекомендується використовувати в будівлях з кондиціонованим режимом і підвищеними вимогами до захисту від інфрачервоного проміння (музеї, виставкові зали, бібліотеки і т.п.), а також в житлових будинках з максимальною інсоляцією.

Сонцезахисне скло випускають трьох видів: забарвлене в масі оксидами або іншими сполуками металів; з плівковими оксидно-металевими покриттями; з прозорими металевими покриттями.

Теплопоглинаюче скло фарбують в масі оксидами заліза, цинку, міді і т.п. Таке скло має сіро-голубий або зеленувато-голубий колір різної інтенсивності. Світлопроникаюча здатність теплопоглинаючого скла 65–75%, проходження інфрачервоного проміння – 20–45%. Теплопоглинаюче скло нагріваються на 3–5<sup>0</sup> С більше звичайного і має відповідно більші температурні деформації. В конструкції світлового отвору воно повинне знаходитися у вільному стані. При розмірах листа понад 150×80 мм використовують гумові прокладки. Теплопоглинаюче скло рекомендується використовувати як зовнішнє при подвійному склінні з обов'язковим провітрюванням міжрамного простору.

Скло з плівковими покриттями належать до *теплозахисних і тепловідбиваючих*.



Для теплозахисного скла використовують прозорі плівки від сіро-димчастого до синьо-фіолетового кольору. Інтенсивність кольору можна регулювати товщиною шару покриття, що змінюється від 0,3 до 1 мкм. Світлова проникність теплозахисного скла складає 30–70% незалежно від товщини.

Тепловідбиваюче скло зменшує втрати тепла крізь віконні отвори і інші види світлопрозорих огорож будівель, а також захищає від тепла, що випромінюється технічними джерелами. Нанесення на скло тепловідбиваючої плівки практично не змінює прозорості скла по відношенню до сонячної радіації, але значно зменшує його здатність поглинати радіацію і відповідно випромінювальну здатність. Із зменшенням випромінювальної здатності скла знижуються втрати тепла. Плівкові покриття мають властивості світлового фільтру. Залежно від виду покриття розрізняють К-скло (тверде покриття) і Е-скло (м'яке покриття). Величина випромінювальної здатності простого скла – 0,83, К-скла – 0,2, Е-скла – 0,04...1,2.

*Увіолеве скло* виготовляють з матеріалів високої чистоти. Окрім видимої частини спектру воно пропускає не менше 25% ультрафіолетового проміння з довжиною хвиль 260–320 нм. З часом увіолеве скло «старіє», набуваючи при цьому фіолетового або жовтого кольору, знижується його здатність пропускати ультрафіолетові промені.

*Термічно поліроване скло* випускають двох видів: *технічне* – для скління транспортних засобів, меблів і будівельних споруд; *дзеркальне* – для виготовлення виробів, до яких висуваються підвищені вимоги до оптичних показників.

Дзеркальне скло виготовляють нанесенням на тильну сторону полірованого скла шару металевого срібла або алюмінію і захисного покриття. З дзеркального скла виготовляють поряд з дзеркалами і різні декоративно-опоряджувальні вироби.

Коефіцієнт загальної світлопроникності термічно полірованого скла допускається не менше 0,84 (в перерахунку на 1 см товщини). Скло повинне бути безбарвним. Допускаються зеленуватий і голубуватий відтінки.

*Скло плоске загартоване* характеризується підвищеною механічною міцністю, термостійкістю і безпечним характером



руйнування. Загартування скла – термообробка, що полягає в його нагріванні до температури 700–900° С з подальшим різким, але рівномірним охолодженням поверхневого шару повітрям або рідинами. Загартоване скло розділяють на поліроване і неpolіроване, 1- і 2-го сортів. Допустимий перепад температур при експлуатації становить 270° С. Границя міцності при згині в 5,5, при стиску в 1,35 і розтягуванні в 5,1 рази вище, ніж у звичайного віконного скла, і досягає 250 МПа.

Загартоване скло не піддається різанню, свердленню, фрезеруванню та іншим видам механічної обробки.

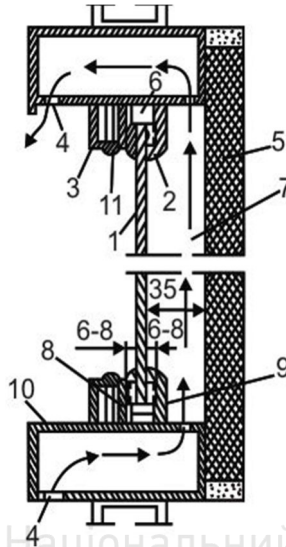
Цей вид скла застосовують для виготовлення дверних полотен, світлопроникних перегородок, стелі та інших будівельних елементів, які потребують підвищеної механічної і термічної стійкості та безпеки.

*Стемаліт* – загартоване емальоване скло завтовшки 6–12 мм. При виготовленні стемаліту на внутрішню поверхню скла наносять керамічну емаль і листи піддають термічній обробці для закріплення емалі та зміцнення скла.

Фізико-механічні властивості стемаліту: границя міцності, МПа, на згин – 250, на розтяг – 230, термостійкість – 80–90° С; коефіцієнт лінійного термічного розширення в інтервалі температур 20–300° С –  $9 \cdot 10^{-6}$ .

Поверхня стемаліту може бути полірованою, кованою, візерунчастою. Стемаліт випускають різних кольорів і відтінків. Його застосовують як у вигляді листів, так і у вигляді навісних панелей для зовнішнього і внутрішнього облицювання стін і перегородок, а також для огорож балконів, лоджій і сходових кліток.

Для кріплення стемаліту при зовнішньому облицюванні стін встановлюють додатковий каркас з алюмінієвих або сталевих профілів. Для запобігання утворення конденсату, на тильній поверхні стемаліту між листом скла та стіною з природним провітрюванням створюють повітряний зазор завтовшки 30–35 мм. Закріплюють стемаліт на елементах каркасу за допомогою мастик, полімерцементних розчинів, скоб (до заставних деталей) і притискних розкладок (рис. 7.4).



**Рис. 7.4.** Кріплення стемаліту при облицюванні фасаду будівлі:

- 1 – стемаліт; 2 – еластична мастика; 3 – притискна розкладка;
- 4 – вентиляційні отвори; 5 – шар теплоізоляції, що захищає конструкції; 6 – компенсаційний зазор; 7 – повітряний зазор;
- 8 – бокова прокладка; 9 – опорна прокладка;
- 10 – алюмінієвий профіль; 11 – гвинт

Торці листів стемаліту слід захищати від ударів. Він не піддається механічній обробці. Листи стемаліту зберігають в закритих приміщеннях на пірамідах стопами, встановлюючи їх на гумові та дерев'яні підкладки.

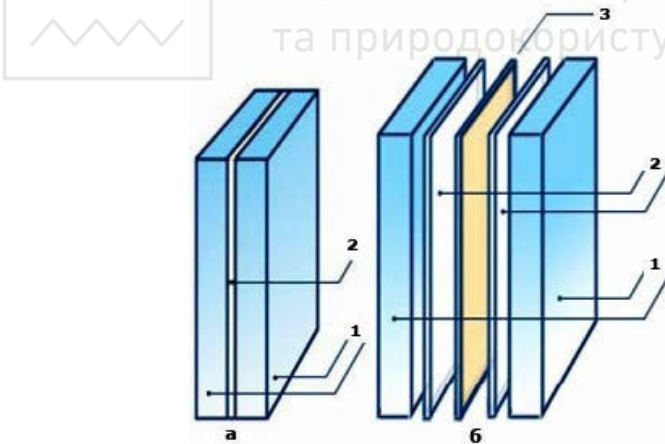
*Кольорове листове скло* виготовляють з кольорової скломаси у вигляді листів. Його застосовують для декоративного скління світлових прорізів в будівлях різного призначення, виготовлення вітражів, внутрішнього облицювання, художнього оздоблення інтер'єрів.

Закріплюючи листове скло передбачають його щілини для вільних температурних деформацій. Ці щілини і стінки огорожуючих конструкцій зі скла заповнюють герметизуючими матеріалами: різними мастиками та замазками, а також ущільнюючими прокладками. Ущільнюючі прокладки



виготовляють з технічної і пористої гуми, порізолу, пінополіуретану.

*Багатошарове ламіноване скло – триплекс* (рис. 7.5) складається з двох або більше листів, сполучених між собою прозорою еластичною прокладкою завтовшки 1–3 мм. Триплекс володіє високою звукоізолюючою здатністю, ударною стійкістю і міцністю. При комбінуванні різного скла і плівок досягаються необхідні технічні властивості триплексу і його відповідність архітектурним вимогам. При порушенні цілісності триплекс залишається в рамі, а зв'язуюча полімерна плівка запобігає появі гострих ріжучих крамок і обсіпанню уламків. Товщина триплексу складає 6–40 мм. Його світлопропускання здатність залежно від типу й товщини скла складає 69–78%, термостійкість – більше 100° С, теплостійкість – 100–110° С. При влаштуванні скла триплекс в однокамерний склопакет звукоізоляція вікна стає зрівнюваною із звукоізоляцією двокамерного склопакета. Триплекс обмежує проникнення в приміщення ультрафіолетового опромінювання.



**Рис. 7.5.** Триплекс: а – звичайний; б – художній

1 – скло; 2 – прозора еластична прокладка; 3 – декоративна плівка

Виготовляють два види триплексу – плівковий і заливний. В першому випадку шари склеюються один з одним по всій поверхні полімерною плівкою, в другому – ламінуючим складом.



Плівковий триплекс має кращі оптичні характеристики, заливний – міцнісі.

Триплекс застосовують в тих випадках коли скло повинно бути міцним до дії ударів, куленепробивним, вогнестійким – при склінні вітрин магазинів, балконів, сходів, влаштування скляної підлоги, для бічних поверхонь ескалаторів, в склопакетах, що встановлюються на дахах будівель та ін.

Різновидом багатошарового є *поліроване* (гнутое) скло. Його одержують в печах, поволі нагріваючи скло до 600° С. Скло поступово набуває задану форму і охолоджується. Гнуте загартоване скло одержують на автоматизованих лініях.

Поліроване скло виготовляють завтовшки 4–8 мм. Для гнутого скла завтовшки 4 мм – мінімальний радіус 1,0 м, 8 мм – 3,0 м.

Завдяки комбінаціям з гнутого скла різних радіусів можливо створення різноманітних конструкцій криволінійної форми, виготовлення декоративних елементів для опорядження приміщень.

#### 7.4. Опоряджувальні вироби зі скла

Зі скла виготовляють різноманітні опоряджувальні будівельні вироби: плитку, блоки, профільні вироби, склопакети та ін.

*Килимово-мозаїчна плитка* застосовується для внутрішнього облицювання стін окрім цоколів і карнизів, колон, виготовлення декоративно-художніх панно. Виготовляють таку плитку з глушеного та напівглушеного кольорового скла методом прокату. Основні розміри 46x45x5 мм. Допустимі відхилення всіх розмірів складають  $\pm 1,0$  мм. Фактура і колір плиток повинні відповідати еталону. Плитки повинні витримувати одноразовий температурний перепад не менше 60° С.

Килимово-мозаїчні плитки постачаються в килимах, виготовлених наклеюванням плиток на папері. Розміри килимів повинні бути модульними, погодженими з виробником.





При облицюванні залізобетонних панелей в заводських умовах, килими укладають на піддон металевої форми папером донизу, після чого встановлюють арматурні каркаси, укладають і ущільнюють цементний розчин, а потім бетонну суміш. Після теплової обробки фасадну сторону панелі очищають від паперу, змочують теплою водою і обробляють капроновими щітками.

*Смальта* – уламки кольорового непрозорого листового або пресованого скла різноманітної форми (рис. 7.6), з яких складають килими на папері. Застосовують смальту для внутрішнього і зовнішнього декоративно-художнього облицювання будівель, мозаїчних робіт, панно і т.п.



**Рис. 7.6.** Скляна смальта

*Облицювальні скляні плитки* (рис. 7.7) одержують пресуванням або безперервним прокатом з глушенням скломаси чи битого скла. Поверхня зворотної сторони плиток виготовляється рифленою для кращого зчеплення з розчином під час облицювання.



**Рис. 7.7.** Скляні облицювальні плитки

Товщина плиток 4; 5; 6 мм, довжина і ширина – від 50x50 до 150x150 мм. Лицьова поверхня плиток може бути матовою чи блискучою, гладкою або з рельєфним узором. Їх застосовують для облицювання виробничих приміщень, що потребують особливої чистоти, приміщень торгових закладів та інших об'єктів.

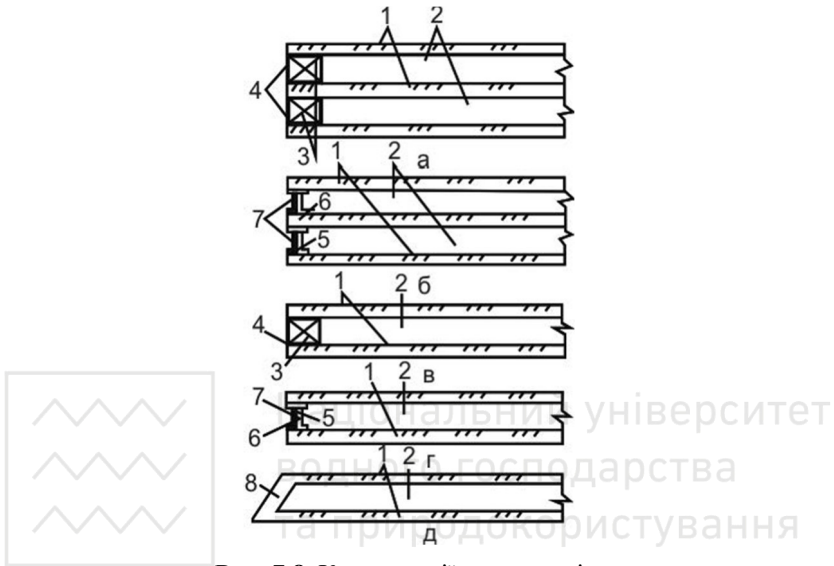
Скляними пресованими плитками ефективно облицювати приміщення з підвищеною вологістю, що знаходяться під дією агресивних речовин. Плитки можна кріпити цементними, полімерцементними розчинами та іншими водостійкими клейовими матеріалами.

*Скляні емальовані плитки* різуть з листового скла (звичайно використовують відходи). Одну з поверхонь покривають шаром кольорової або білої емалі завтовшки 0,2–0,3 мм. Тильна поверхня – шорстка, що забезпечує надійне зчеплення з цементно-піщаним розчином або іншими клейовими речовинами. Застосовують для внутрішнього облицювання приміщень з підвищеними санітарно-гігієнічними вимогами. Такі плитки не рекомендуються для застосування при дії кислот, лугів, агресивних газів.

*Клеєні склопакети* – вироби зазвичай з двох або трьох листів плоского скла, склеєних, спаяних чи зварених по периметру так, щоб між ними утворився замкнутий простір 9–20 мм, заповнений сухим повітрям (рис. 7.8). Виготовляють пакети з віконного, термічно полірованого, вітринного



(неполірованого і полірованого), теплопоглинаючого та інших видів листового скла зазвичай прямокутної форми зі співвідношенням довжини і ширини не більше 5:1.



**Рис. 7.8.** Конструкції склопакетів:

а, в – клеєні; б, г – паяні; д – зварні; 1 – скло; 2 – повітряний прошарок; 3 – розпіркова рамка; 4 – клеючий і герметизуючий шар; 5 – шайба з свинцевого сплаву; 6 – металізований шар на склі; 7 – місце спайки; 8 – вузол зварки скла

Мінімальні ширина і довжина склопакетів складають 400 мм, максимальні 2950 мм. Товщина склопакетів залежно від товщини листів і відстані між ними коливається в межах 12–42 мм.

Залежно від конструкції склопакети поділяють на однокамерні без обрамлюючої рамки (СПО); однокамерні з обрамлюючою рамкою (СПОР); двокамерні без рамки-обрамлення (СПД).

В прошарках клеєних склопакетів звичайно розміщують активний вологопоглинач, що в поєднанні з їх герметичністю дає



можливість запобігти утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях при температурі зовнішнього повітря до  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Клеєні склопакети мають рамки із сталі, алюмінію або синтетичних матеріалів. Простір між рамкою і ребрами скла заповнюють ущільнюючою еластичною масою.

Клеєними склопакетами заповнюють зовнішні прорізи з однорамними коробками – вікна, вітрини, zenітні ліхтарі та балконні двері будівель різного призначення. Основні фізичні властивості склопакетів наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Фізичні властивості склопакетів

Показник	Склопакет з двох листів скла		Склопакет з трьох листів скла	
	з повітряним прошарком, мм			
	15	20	15	20
Коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/\text{м}^2$	3,13	2,72	1,97	1,74
Світлопроникність %	70	70	60	60
Звукоізоляційна здатність при середній частоті 550 Гц, дБ	40–45	40–45	48–55	48–55

Склопакети транспортують в спеціалізованих контейнерах, які повинні бути встановлені вертикально по напрямку руху і закріплені так, щоб була виключена можливість їх пересування та гойдання.

Застосування склопакетів дає можливість зменшити товщину конструкцій рам приблизно в 2,5 рази, масу – не менше ніж на 15%, витрати матеріалів на виготовлення рам – на 30–40%, підвищити несучу здатність скла по відношенню до вітрових і снігових навантажень, поліпшити світло- і теплотехнічні показники скління.

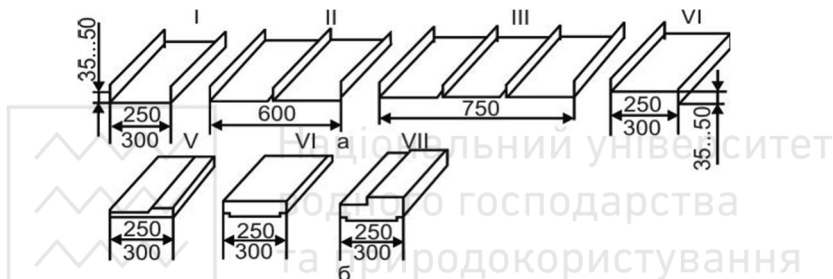
Різновидом склопакетів є *стевіт* – виріб з двох листів скла, сполучених по периметру герметиком і окантованих водостійкою еластичною стрічкою, між якими знаходиться прокладка, що розсіює світло, із скловолокнистого матеріалу. Максимальні розміри 2x2 м. Загальна товщина 7–15 мм. Коефіцієнт



розсіювання світла залежно від товщини прокладки змінюється від 32 до 65%, теплопередачі від 4,48 до 2,84 Вт/м<sup>2</sup>.

Стевіт застосовується для влаштування світлопрозорих огорож в приміщеннях, в яких необхідне м'яке освітлення, рівномірний розподіл світла з недопущенням наскрізної видимості і зменшенням сонячної радіації.

*Скло будівельне профільне (склопрофільт)* — прокатне скло швелерного, ребристого, коробчастого (рис. 7.9) та інших перетинів, постійних по довжині. Воно призначене для влаштування світлопрозорих огорожуючих конструкцій будівель і споруд.



**Рис. 7.9.** Види профільного скла:

- а – відкритого перетину; б – закритого перетину; I – швелерне;
- II, III – ребристе; IV – обрізне; V – коробчасте з одним швом КП;
- VI – коробчасте з двома швами КП-2;
- VII – коробчасте з овальними кромками бокових стінок

Коефіцієнт світлопроникності пластини, вирізаної з безбарвного профільного скла з гладкою (кованою) поверхнею, при проходженні через неї паралельного пучка світлових променів з нормальним кутом падіння до поверхні пластини повинен бути не менше 0,75.

Профільне скло розраховане на перепад температур не менше 40° С. Його виготовляють безбарвним і кольоровим, армованим і неармованим, з гладкою (кованою), рифленою або візерунчастою поверхнею.

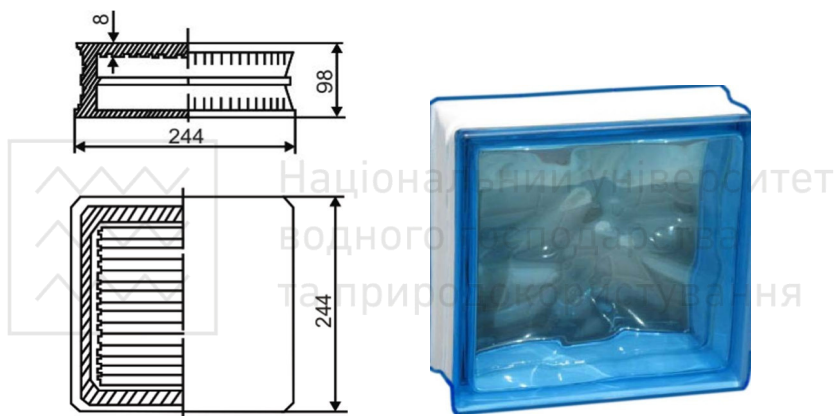
Для ущільнення і герметизації стиків між елементами профільного скла використовують гідроізоляційні мастики та пористу гуму. Для того, щоб запобігти накопиченню вологи і



пилу в коробчатому склі, його торці герметизують гумовими насадками або вкладишами з пороізолу на мастиках.

Для кріплення профільного скла в прорізах виробничих будівель застосовують деталі з гнутих сталевих профілів, алюмінієві притискні прокладки, а також оцинковані клямери.

*Блоки порожнисті* – скляні вироби, які отримують зварюванням по периметру двох пресованих півблоків, внутрішня поверхня яких може бути гладкою або рифленою (рис. 7.10). У середині блоків утворюється вакуумна повітряна порожнина.



**Рис. 7.10.** Конструкція і зовнішній вигляд склоблоків БК 244/98

Виготовляють незабарвлені і кольорові квадратні і прямокутні склоблоки з розмірами, наведеними в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Розміри склоблоків

Блоки	Марки блоків		Довжина, ширина, товщина, мм
	нефарбовані	кольорові	
Квадратні	БК 194/98	БКЦ 194/98	194x194x98
	БК 244/98	БКЦ 244/98	244x244x98
	БК 244/75	БКЦ 244/75	244x244x75
Прямокутні	БП 294/194/98	БПЦ 294/194/98	294x194x98



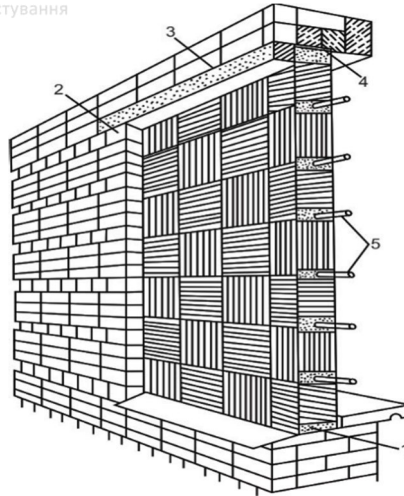
Бокова грань блоку має по периметру борт, що зменшує товщину шва між блоками.

Зовнішні поверхні лицьових стінок блоків повинні бути гладкими, а торцевих – рифленими. Внутрішні поверхні лицьових стінок блоків повинні бути гладкими або мати рельєфний узор, а торцевих – лише гладкими. Товщина лицьових стінок блоків – не менше 8 мм.

Фізико-механічні властивості склоблоків:

	БК194/9	БК244/9	БП294/9
	8	8	8
Коефіцієнт світлопроникності не менше:			
для гладкої внутрішньої поверхні	0,50	0,55	0,53
для рифленої внутрішньої поверхні	0,60	–	0,33
Допустиме залишкове внутрішнє напруження, МПа	6,0	6,0	6,0
Термостійкість °С, не менше	40,0	40,0	40,0
Границя міцності на стиск, МПа, не менше	1,5	1,5	1,5
Опір удару, МПа, не менше	0,8	0,8	0,8

Скляні порожнисті блоки застосовують для заповнення світлових прорізів (рис. 7.11), влаштування світлопрозорих огорож і перегородок, скління сходових кліток, огорож ліфтових шахт і т.п. Огороджуючі конструкції з склоблоків створюють м'яке розсіяне освітлення, збільшують глибину природної освітленості, запобігають наскрізній видимості. Вони мають високі вогнестійкість, герметичність, тепло- і звукоізоляційну здатність. Огорожі з склоблоків зводять як кладкою їх безпосередньо у прорізі, так і установкою заздалегідь виготовлених склозалізобетонних панелей. Найбільша площа панелі не повинна перевищувати 15 м<sup>2</sup> при максимальній висоті 8 м. Для кладки блоків застосовують звичайні цементні і цементно-вапняні піщані розчини.



**Рис. 7.11.** Заповнення світлового прорізу скляними блоками:  
1 – розчин; 2 – простінок; 3 – перемичка; 4 – скловата;  
5 – арматурні стержні

*Скляні труби* призначені для спорудження трубопроводів, що транспортують хімічно агресивні рідини, гази, харчові продукти, сипкі та інші матеріали. Їх експлуатують в умовах температурного перепаду  $40-80^{\circ}\text{C}$  та робочого тиску  $0,2-0,7\text{ МПа}$ . Діаметр скляних труб досягає  $2000\text{ мм}$ , довжина  $1,5-3,0\text{ м}$ . Вони не піддаються корозії, пропускна здатність їх на  $2\%$  вища, ніж чавунних і на  $6,5\%$  вища, ніж сталевих при однаковому внутрішньому терті. Їх використовують також для прокладання електричних проводів, виготовлення опалювальних панелей тощо. Основним недоліком скляних труб є обмежена ударна міцність.

Висока хімічна стійкість скла та механічна міцність сталі поєднуються у сталевих трубах, футерованих склом. Значно підвищити міцність скляних труб можна, покривши їх шаром склопластику.

Для утеплення огорожувальних конструкцій будівель та споруд, морозильних установок та теплових агрегатів застосовують *піноскло*. Цей матеріал застосовують також як оздоблювальний та акустичний. Піноскло – скло з комірчастою





структурою, одержуване спучуванням при 750–850° С розм'якшеної скломаси, що містить газотворювач. При отриманні піноскла із замкнутими порами застосовують як газотворювач кокс, сажу та інші вуглевмісні матеріали; відносна пористість (80–95%) дозволяє забезпечувати низьку середню густину (100–700 кг/м<sup>3</sup>) піноскла, а сприятлива структура, рівномірний розподіл пор – відносно високу міцність та водостійкість, мале водопоглинання. Температуростійкість звичайного піноскла становить 300–400° С, а безлужного 800–1000° С. Піноскло легко обробляється різальним інструментом і сприймає різне забарвлення.

Характеристика різних видів піноскла наведена в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Характеристика різних видів піноскла

Показник	Піноскло			
	ізоляційне	ізоляційно-монтажне	водозахисне	спеціальне
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	150–250	130–160	140–148	250–500
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)	0,06–0,087	0,055–0,07	0,06–0,07	0,1–0,125
Границя міцності на стиск, МПа	0,08–2	0,5–0,8	0,6–0,9	3–5
Максимально допустима температура застосування, °С	+400	+160...+400	+600	–

*Пінодекор* – різновид піноскла, виготовляється спіканням склопорошку з введенням газотворюючих добавок. Сировиною для отримання склопорошку є скlobій тарного, листового та інших видів скла. Газотворюючою добавкою служить крейда. В шихту вводять фарбники.

Пінодекор виготовляють у вигляді плит різних марок за густиною (табл. 7.6), довжиною і шириною 150–450 мм, товщиною – 15–40 мм.



Таблиця 7.6

Фізико-механічні властивості плит з пінодекору

Показник	Марка плит за густиною			
	400	800	1000	1200
Густина, кг/м <sup>3</sup> , не більше	400	800	1000	1200
Границя міцності на згин, МПа, не менше	0,9	2,0	4,0	6,0
Водопоглинання на лицьовій поверхні, г/см <sup>2</sup> , не більше	-	0,05	0,04	0,03
Водопоглинання загальне за масою %, не більше	40	20	12,5	3,0
Морозостійкість, цикли поперемінного заморожування і відтавання, не менше	-	25	30	35
Теплопровідність при температурі (20±5) °С, Вт/(м · °С), не більше	0,117	-	-	-

Лицьова поверхня плит з пінодекору покрита суцільною склоподібною кольоровою плівкою, зворотна сторона – шорстка для надійного зчеплення з розчином.

Фізико-механічні властивості пінодекору наведені в табл. 7.6.

Плити з пінодекору призначені для зовнішнього та внутрішнього облицювання будівель з одночасною теплоізоляцією стін. Як і інші опоряджувальні скловироби їх упаковують в дерев'яні ящики або картонні коробки з прокладкою лицьових поверхонь папером і заповненням вільного простору прокладками з гофрованого картону або дерев'яною стружкою.

*Декоративна склокрошка* використовується для фактурного опорядження стін будівель. Її випускають різних кольорів, звичайно двох фракцій з розмірами зерен 0,6–1,4 і 0,8–2,8 мм. Наносять на поверхню будівельних конструкцій, покрити



шаром свіжого розчину, клею або мастики, різними способами (пневматичним, механічним, електричним).

Основним компонентом великої групи матеріалів є *скляне волокно*. Залежно від довжини ниток скловолокно поділяють на неперервне та штапельне (завдовжки до 30 см). За діаметром скловолокно буває: ультратонким –  $<1$ ; супертонким – 1–2; тонким – 3–10; потовщеним – 11–20; грубим – понад 20 мкм. Ультра-, супер- і тонкі скляні волокна мають настільки високу гнучкість, що можуть оброблятися за текстильною технологією. Міцність при розтягу їх 200–500 МПа, вона зростає в міру зменшення діаметра. Із скляних волокон виготовляють скляні нитки, які використовують для обмотування електричних проводів, виробництва електроізоляційних стрічок і тканин, тепло- та звукоізоляційної скляної вати, а також джгута, сіток і полотна. Полотно застосовують для армування різноманітних гідроізоляційних матеріалів і для отримання склопластику.

Скловолокнисті матеріали ефективно використовуються для захисту від замулювання дренажних систем. Вони відрізняються добрими фільтраційними властивостями, довговічністю, стійкістю в агресивних ґрунтових водах. В гідромеліоративних системах застосовують як клеєні рулонні матеріали на основі склохолсту, так і склоткані. Зв'язуючим для склохолсту слугує полівінілацетатна емульсія. Фільтраційна здатність склохолстів у мінеральних ґрунтах зберігається тривалий час. Склоткані мають значно меншу ніж склохолсти водопроникливість і більше піддаються загрози колюматції. Вони рекомендуються лише в піщаних ґрунтах.

*Скляні труби* призначені для спорудження трубопроводів, що транспортують хімічно агресивні рідини, гази, харчові продукти, сипкі та інші матеріали. Їх експлуатують в умовах температурного перепаду  $40\text{...}80^\circ\text{C}$  та робочого тиску 0,2–0,7 МПа. Діаметр скляних труб досягає 2000 мм, довжина 1,5–3,0 м. Вони не піддаються корозії, пропускна здатність їх на 2% вища, ніж чавунних і на 6,5% вища, ніж сталевих при однаковому внутрішньому терті. Їх використовують також для прокладання електричних проводів, виготовлення опалювальних



панелей тощо. Основним недоліком скляних труб є обмежена ударна міцність.

Висока хімічна стійкість скла та механічна міцність сталі поєднуються у сталевих трубах, футерованих склом. Значно підвищити міцність скляних труб можна, покривши їх шаром склопластику.

## 7.5. Склокристалічні вироби

Спільною ознакою цих матеріалів є наявність як кристалічної, так і скловидної фаз у їхній структурі, що забезпечує високі механічні властивості, термічну та антикорозійну стійкість, низьку стираність. Склокристалічні матеріали застосовують для створення стійких до зношення облицювань, відповідальних частин споруд тощо. Завдяки здатності деяких склокристалічних матеріалів поглинати повільні нейтрони та жаростійкості їх застосовують при виготовленні стержнів ядерних реакторів і для біологічного захисту.

*Ситали* – продукти кристалізації стекел. Процес виготовлення ситалів включає отримання скла певного складу, формування з нього виробів та спеціальну термообробку.

У будівництві широко використовують *шлакоситали*. Сировинними матеріалами для шлакоситалів є шлаки чорної та кольорової металургії, а також зола від спалювання кам'яного вугілля. Виробництво шлакоситалів полягає у варінні шлакових стекел, формуванні з них виробів та наступної їх кристалізації. Шихта для отримання стекел складається з шлаку, піску, лугомістких та інших добавок. Найбільш ефективним є використання розплавлених металургійних шлаків, що економить до 30...40% кількості теплоти, яка витрачається на варіння.

Шлакоситали у вигляді прокатних листів, пресованих плит, труб та інших виробів випускають на потокових механізованих лініях. Відформовані вироби поставляють до кристалізатора, де автоматично підтримується певний режим теплової обробки.



Шлакоситали відрізняються від більшості будівельних матеріалів вищими фізико-механічними властивостями. За міцністю вони наближаються до чавуну та сталі, хоч у тричі легші за них (табл. 7.7). Термостійкість шлакоситалів становить 150–200° С. Особливо високими є показники хімічної стійкості та стійкості до стирання.

Таблиця 7.7

Властивості ситалів та інших будівельних матеріалів

Показник	Ситали	Шлако-ситали	Петроситали*	Скло віконне	Граніт	Сталь
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	2600–2900	2600–2800	2900–3000	2500–2600	2600–2800	7800
Границя міцності, МПа:						
при стиску	800–1000	500–650	700–850	600–700	100–250	420–550
при згині	100–225	90–130	130–170	60–70	10–15	400–1600
Модуль пружності E·10 <sup>3</sup> , МПа	72–135	90–100	40–50	60–70	8–25	210–220
Кислото-стійкість	97,8–98,9	98,8–99,8	99,8	55–58	95–95,5	–
Луго-стійкість	–	90–94,7	94–96	98,9	–	–
Стираність	–	0,01	–	0,5–0,6	–	–

\*Петроситали – ситали на основі розплавів деяких гірських порід – базальтів, діабазів та інш.

Шлакоситали можна піддавати різним способам механічної обробки: шліфуванню, поліруванню, різанню алмазним або карборундовим інструментом.

Плитами лицьового шлакоситалу облицьовують цоколі та фасади будівель, оздоблюють внутрішні стіни та перегородки, огорожують балкони та покрівлі. Шлакоситал – ефективний матеріал для покриття підлог, сідців, підвіконників та інших



конструктивних елементів будівель. Його застосовують також для захисту будівельних конструкцій та апаратури у хімічній, гірничорудній та інших галузях промисловості.

Шлакоситали можна піддавати різним видам механічної обробки: шліфуванню, поліруванню, різанню, свердленню алмазним або карборундовим інструментом. Зворотна поверхня листів і плит може бути рифленою з висотою рифів не більше 2 мм.

Шлакоситалові листи і плити кріплять на цементно-піщаних розчинах, бітумних та інших мастиках.

*Сигран (синтетичний граніт)* – склокристалічний матеріал на основі скла з доменних шлаків і деяких інших промислових відходів, по фактурі нагадує природне каміння – граніт і мармур. Лицьова поверхня сиграну може бути шліфованою або полірованою, зворотна сторона – рифленою з висотою рифа до 0,5 мм.

Фізико-механічні властивості сиграну: густина – 2600–2800 кг/м<sup>3</sup>; границя міцності на стиск – 500–550 МПа; на згин – 25–28 МПа; твердість за шкалою Мооса – 7–8.

Сигран застосовують для зовнішнього і внутрішнього облицювання стін і захисту цоколів будівель і споруд різного призначення.

*Марблін* – кольорове глушене скло, має структуру, що імітує мармур від світлих до темних тонів з полірованою або матовою лицьовою поверхнею. Тильну сторону виготовляють рифленою або шорсткою для кращого зчеплення з основою. Марблін виробляють прокатом скломаси з відходів скла з добавками металургійного шлаку у вигляді плит розмірами 250x140 і 500x500 мм і завтовшки 5–12 мм або листів розмірами до 1200x3000 мм і завтовшки 5–6 мм. З марблиту виготовляють також профільні елементи, плінтуси та інші будівельні деталі.

За механічними властивостями марблін близький до скломармуру.

*Скломармур* – склокристалічний матеріал, одержаний безперервним прокатом глушеної білої або кольорової скломаси. Глушіння скломаси виконують кріолітом або кремнефторидом натрію. Скломармур виготовляють у вигляді плит розмірами



140x250, 250x250, 200x400, 300x300 мм завтовшки 8 мм і 400x400, 500x500 мм завтовшки 10 мм з гладкою лицьовою та рифленою тильною поверхнями.

Фізико-механічні властивості скломармуру: густина – 2500 кг/м<sup>3</sup>; температурний коефіцієнт лінійного розширення –  $94 \times 10^{-7}$ ; міцність на згин – 10 МПа; міцність на стиск – 200–250 МПа; міцність при ударі – 3 МПа; термостійкість – 60° С; морозостійкість – 45 циклів.

Скломармур застосовують для зовнішнього і внутрішнього облицювання стін і стель громадських і виробничих будівель. Він особливо ефективний для внутрішнього опорядження підприємств хімічної, харчової, біохімічної і інших галузей промисловості, де необхідне поєднання високої хімічної стійкості та гігієни з промисловою естетикою.

Близьким до скломармуру за технологією і властивостями є *склодекор*, що виготовляється у вигляді плиток розмірами 65x65x4 і 100x100x4 мм. Плити склодекору зручні для декоративного оздоблення стін і створення на них малюнка або виготовлення панно.

*Авантюринове скло* – облицювальний матеріал, в якому при охолодженні в процесі виготовлення утворюються кристали, що створюють ефект мерехтіння, характерний для однойменного природного каменя. Ефект мерехтіння обумовлений різницею показників заломлення кристалічних включень і основної маси. Найбільш поширено авантюринове скло, що містить хром. З авантюринового скла виготовляють плитки, звичайно упаковані по 14 шт. в картонні ящики з прокладкою паперу на лицьовій стороні виробів.

Плитки з авантюринового скла кріплять на цементному або полімерцементному розчині.

*Склокремнезит* – облицювальний матеріал, що виготовляється зі склогрануляту змішаного з кремнеземом. Для отримання склокремнезиту можна також використовувати склобій.

Склокремнезит – двошаровий плитковий матеріал, лицьова сторона якого – гладка, полірована, кольорова – імітує природне декоративне каміння: граніт, мрамур, малахіт, агат, яшма і т.п.



Нижній шар разом з кварцевопіщаною основою по температурному коефіцієнту об'ємного розширення ідентичний бетонам, поверхня його шорстка, що забезпечує надійне зчеплення з цементно-піщаним і полімерцементним розчинами. Для зменшення густини плит у нижній шар склокремнезиту вводять газоутворювач (*порокремнезит*).

Плити виготовляють розмірами 300x300 і 300x150 мм завтовшки 15 мм. Фізико-механічні властивості склокремнезиту: густина – 2400–2500 кг/м<sup>3</sup>; границя міцності на згин – 4–9,8 МПа; на стиск – 21–24 МПа, при ударі – 0,12–0,15 МПа; водопоглинання – 0,24–2%; термостійкість – 60° С; морозостійкість – не менше 80 циклів; зносостійкість – 0,1 г/см<sup>2</sup>.

*Склокераміт*, як і склокремнезит, виготовляється у вигляді двошарових плиток. Нижній шар одержують спіканням шихти, що складається з подрібненого склобою, кварцового піску та глини. Верхній декоративний шар одержують із склогрануляту. Розміри плит 300x300 і 300x150 мм, товщина 15 мм. Лицьова сторона плит полірується. Склокерамітові плитки застосовують для облицювання стін і покриття підлоги.

Склокристалічну структуру мають *кам'яне та шлакове литво* — це кам'яні вироби, які отримують плавленням вивержених або осадових гірських порід та шлаків, розливанням розплаву у форми та термічною обробкою виробів з метою проходження кристалізації та зняття напружень.

Для отримання кам'яних литих виробів використовують легкоплавкі гірські породи – базальт, діабаз тощо. До шихти вводять добавки, що знижують температуру плавлення та збільшують кристалізаційну здатність (плавиковий шпат, доломіт, хроміт та ін.).

Кам'яні литі вироби перевищують природне каміння та ряд інших матеріалів за густиною, стійкістю до хімічної дії, опором стиранню та за іншими властивостями. Стираність виробів із кам'яного литва у 3–5 разів менша, ніж граніту, базальту або діабазу, і становить 0,016–0,1 г/см<sup>2</sup>, а границя міцності при стиску 200–400 МПа.





Основними видами кам'яних литих виробів є плити, труби та інші деталі, призначені для роботи в суворих кліматичних та інших експлуатаційних умовах.

З розплавлених металургійних шлаків відливають різноманітні вироби: каміння для доріг та підлог промислових будівель, тюрінги, бордюрне каміння, протикорозійні плиткі, труби тощо. Литі вироби із шлакового розплаву економічно вигідніші, ніж кам'яне литво, наближуючись до нього за механічними властивостями. Середня густина литих виробів з шлаку становить  $3000 \text{ кг/м}^3$ , а границя міцності при стиску  $500 \text{ МПа}$ .

За зносостійкістю, жаростійкістю та рядом інших властивостей шлакове литво перевищує залізобетон і сталь. Литі вироби з шлаку ефективніші, ніж сталь у різних футеровках, наприклад бункерів для транспортування абразивних матеріалів (руд, агломератів, щебеню, піску тощо). Термін служби їх у 5–6 разів більший ніж сталевій футеровки. На кожній тоні литих з шлаку плит економлять не менше, ніж 2–3 т металу.

Не менш ефективною є лита бруківка для доріг та підлог промислових будівель. Термін служби автомобільних доріг з шлаколитотої бруківки між капітальними ремонтами вдвічі більший, а експлуатація дешевша, ніж асфальтових. Із шлаку відливають тюрінги для водонепроникних кріплень гірських виробок, жаростійкі блоки, які експлуатуються при температурі  $1100\text{--}1200^\circ \text{C}$ , хімічно стійкі вироби.

Крупні вироби для зниження внутрішніх напружень армують сталевією арматурою. Оскільки коефіцієнт термічного розширення шлаку менший, ніж сталі, під час охолодження виробів сталеві арматура щільно стягує відливку, запобігаючи утворенню тріщин. Армвані шлакові вироби можна використовувати замість збірних залізобетонних, оскільки вони мають вищу міцність. Однак недоліком цих виробів є деяке зниження міцності сталі при високій температурі шлакового розплаву, а також порівняно висока трудомісткість виготовлення.

Для отримання пористого шлакового литва виконують поризацію шлакового розплаву. З цією метою, наприклад, на дно форми насипають зволожений дрібний кокс або обробляють



розплав водою. З поризованого шлакового розплаву формують вироби різноманітних конфігурацій. Залежно від ступеня поризації середня густина литих виробів становить 350–1500 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності при стиску 1,5–30 МПа.

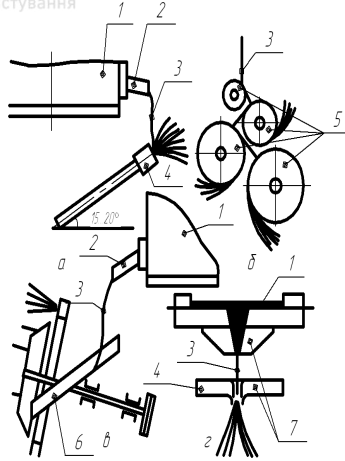
## 7.6. Мінеральна і скляна вата

Приблизно 70% всього об'єму теплоізоляційних матеріалів припадає на мінераловатні вироби. *Мінеральна вата* складається в основному з скловидних волокон діаметром 1–10 мкм і довжиною 2–20 см, які одержують переробкою розплавів доменних шлаків і ряду силікатних порід (діабазів, базальтів, мергелів та ін.). Силікатний розплав перетворюють в мінеральне волокно внаслідок впливу на нього потоку повітря, пари чи газу (дуттєвий спосіб) чи відцентрової сили (відцентровий спосіб) (рис. 7.12).

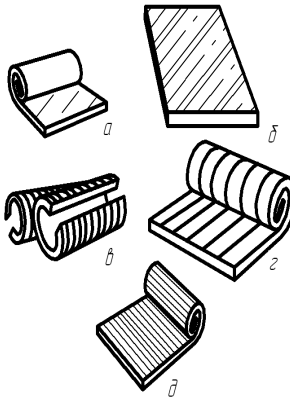
Найбільш широко застосовують відцентрово-дуттєвий спосіб, заснований на застосуванні відцентрової сили і дуття для формування струменя розплаву і витягування волокна. Мінеральна вата поділяється на три марки за середньою густиною: 75, 100, 125. Теплопровідність її при температурі 25°С коливається залежно від густини в інтервалі 0,042–0,046 Вт/м·°С, гранична температура застосування 600°С. Для запобігання ущільнення мінеральної вати при транспортуванні та зберіганні її гранулюють.

Близькою за властивостями до мінеральної вати є *скляна вата*, для виробництва якої застосовують скляну шихту.

Найбільш раціональним є застосування мінеральної та скляної вати у вигляді виробів (рис. 7.13). Фізико-механічні властивості основних видів виробів на основі мінеральної і скляної вати приведені в табл. 7.8. Ефективними зв'язуючими для таких виробів є синтетичні полімери та бітуми. Основними видами виробів є м'які, напівжорсткі та жорсткі плити, циліндри, апівциліндри.



**Рис. 7.12.** Способи переробки силікатного розплаву у волокно:  
а – пародуттєвий; б – відцентрово-валковий; г – вертикальний  
фільтрно-дуттєвий; 1 – плавильний агрегат; 2 – летка; 3 – розплав;  
4 – дуттєва головка; 5,6 – багатовалкова і дуттєва центрифуги;  
7 – фільтрно-дуттєвий пристрій



**Рис. 7.13.** Вироби з мінеральної вати:  
а – повсть; б – напівжорстка плита; в – ізоляційні шкарлупи;  
г – прошивний матеріал; д – поперечно прошивний матеріал



Таблиця 7.8

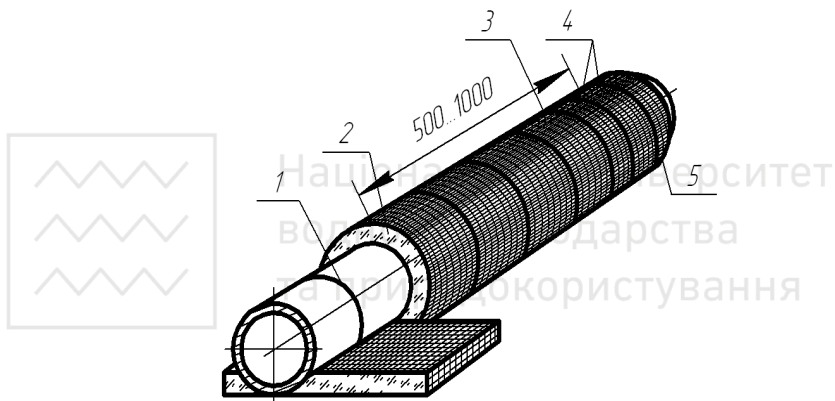
Фізико-механічні властивості виробів  
з мінеральної та скляної вати

Види виробів	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність при 25 ± 5° С, Вт/м° С	Границя міцності при розтягу, МПа, не менше	Стискуваність під навантаженням 0,002 МПа, не більше, %	Гранична температура застосування, ° С
Мінераловатні вироби					
Мати прошивні	20–125	0,048	-	50–10	-18–+600
Мати вертикально-шаруваті	50–125	0,047–0,057	-	2–5	-120–+300
Плити на бітумному в'язучому	75–250	0,046–0,064	0,075...0,008	5,5–45	-100–+60
Плити на синтетичному в'язучому	35–350	0,044–0,66	0,008–0,01	4–15	-100–+400
Циліндри та напівциліндри на синтетичному в'язучому	75–225	0,048–0,052	0,015–0,025	-	-100–+400
Скловатні вироби					
Плити на синтетичному в'язучому	40–200	0,05...0,057	-	10	-60–+180
Мати будівельні	25–50	0,045–0,047	-	40–50	до +500

*Мати* виробляють без обкладок і з обкладками з бітумізованого паперу, картону, азбестової тканини, склополотна, металевої сітки. Розрізняють мінераловатні мати



поперечного та поздовжнього прошивання. Більш ефективні останні, так як на основі поздовжнього розміщення прошивного матеріалу (склоджута) можна виготовляти вироби необмеженої довжини. Прошивні мінераловатні мати застосовують як утеплювач легких конструкцій стін, а також в покриттях споруд. Вони замінюють матеріало- та енергомісткі жорсткі плити на бітумному зв'язуючому при ізоляції трубопроводів (рис. 7.14) та обладнання. При роботі з прошивними мінераловатними матами покращуються умови праці в процесі укладки утеплювача, зменшується виділення пилу, характерне при роботі з плитами.



**Рис. 7.14.** Ізоляція трубопроводів мінераловатними матами:  
1 – підвіска; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – бандаж; 4 – зшивка;  
5 – пряжка

З мінераловатних плит в наш час найбільш розповсюджені напівжорсткі плити марок (за середньою густиною) 100 і 125. В останні роки освоєно виробництво мінераловатних плит підвищеної жорсткості і твердих плит, які мають при середній густині 75–250 кг/м<sup>3</sup> міцність 0,04–0,1 МПа і водопоглинання 15–60%.

Плити підвищеної жорсткості отримують мокрим і сухим способами. При мокрому способі плити виготовляють з поризованої гідромаси, яку одержують змішуванням розчину



в'язуючого, піноутворювача і мінеральної вати. Зв'язуюче при сухому способі додають в мінеральний килим методом пульверизації. Термообробка килима йде в спеціальній камері шляхом продування газів з температурою 250–280° С.

Основним видом синтетичних зв'язуючих для мінераловатних плит є фенолоспирти. Витрати синтетичного зв'язуючого можна знизити додатковим введенням в мінераловатний килим бітум.

Мінераловатні вироби широко застосовуються при теплової ізоляції трубопроводів і промислового обладнання. Крім матів і плит для цієї мети застосовують циліндри і напівциліндри на синтетичному в'язуючому, шнури з синтетичним чи скляним обплетенням. З каолінової і кремнеземистої сировини випускають високотемпературну вату і вироби з температурою застосування до 1250° С.

Значне місце в загальному балансі сучасних теплоізоляційних матеріалів складають *скловолокнисті* вироби. Матеріали із скловолокна економічно вигідно застосовувати тільки у вигляді легких виробів з середньою густиною 30–50 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю 0,037–0,04 Вт/м·° С.

В останні роки розроблена технологія *базальтоволокнистих матеріалів*, які поєднують високі теплоізоляційні властивості і температуростійкість (до 750° С), довговічність (в тому числі в умовах вібрації), неспалюваність і нетоксичність. Промисловість випускає декілька видів виробів із базальтових волокон – полотно, шнури, ролонні прошивні вироби у вигляді матів, облицьованих склотканиною, картон і плити. Для базальтоволокнистих матеріалів оптимальне значення теплопровідності відповідає густині 80–100 кг/м<sup>3</sup>.



## 8. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

До в'язучих матеріалів відносять речовини, що здатні зв'язувати різнорідні компоненти, твердіти та утворювати штучні композиційні матеріали. Їх можна розділити на два великі класи – мінеральні (неорганічні) та органічні залежно від виду хімічних сполук, що входять до їх складу.

Залежно від умов тверднення в'язучі матеріали поділяють на повітряні, гідравлічні та автоклавного тверднення.

*Повітряні в'язучі* можуть тверднути, набирати міцність і тривало зберігати її лише в повітряно-сухих умовах. До цієї групи належать гіпсові і магнезіальні в'язучі, повітряне будівельне вапно, рідке скло.

*Гідравлічні в'язучі* здатні тверднути, набирати міцність і тривало зберігати її як у повітряному, так і у водному середовищі. Ця група в'язучих має більш універсальне значення. До неї відносяться портландцемент і глиноземистий цемент, їх різновиди, гідравлічне вапно і романцемент, змішані в'язучі на основі вапна, портландцементу, шлаків, золи та інших мінеральних компонентів.

*В'язучі автоклавного тверднення* тверднуть при підвищених температурах і тиску насиченої пари, що досягається в автоклавах. До них відносяться суміші вапна чи портландцементу і малоактивних за звичайних умов тверднення мінеральних матеріалів, наприклад, кварцового піску, шлаків, зол та ін.

Мінеральні в'язучі матеріали твердіють за гідратаційним, контактено-конденсаційним, коагуляційним та поліконденсаційним механізмами.

В'язучі *гідратаційного тверднення* тверднуть після замішування водою або водними розчинами внаслідок реакцій гідратації і гідролізу. В результаті утворюються гідратні новоутворення, що призводить до формування штучних каменеподібних тіл. Гідратаційний механізм тверднення характерний для більшості мінеральних в'язучих речовин, що використовуються у будівництві.



*Контактно-конденсаційний механізм* тверднення характерний, зазвичай, в умовах пресування деяких гідратованих продуктів, коли в результаті поверхневих явищ між макрочастинками речовин аморфної або нестабільної кристалічної структури, що контактують, без зміни хімічного складу вихідної речовини утворюється міцний водостійкий камінь.

*Коагуляційний механізм* тверднення полягає у формуванні висококонцентрованої колоїдної маси при видаленні з деяких високодисперсних речовин, таких як глини вільної води, прояві капілярних сил і утворенні при цьому каменеподібного матеріалу.

*Поліконденсаційний механізм* характерний для мінеральних в'язучих на основі рідкого скла, фосфатних і сірчанних цементів. Тверднення таких в'язучих відбувається внаслідок реакцій поліконденсації, що супроводжуються синтезом міцного штучного каменю.

При необхідності в'язучі класифікують також за хімічним складом (вапняні, магнезіальні, силікатні, фосфатні та ін.); речовинним складом (гіпсові, шлакові, портландцементні та ін.); визначальними технологічними операціями (випалювальні, безвипалювальні); характерними властивостями (швидкотверднучі, високоміцні, кислотостійкі та ін.).

## 8.1. Гіпсові в'язучі

**Загальна характеристика.** До гіпсових належать в'язучі матеріали, основними компонентами яких є напівводний гіпс або ангідрит. Гіпсові в'язучі відомі і застосовуються у будівництві з давніх часів. В останні роки, завдяки низькій енергоємності, широкому розповсюдженню гіпсової сировини, унікальним фізико-механічним властивостям, можливості організації виробництва виробів на поточних автоматизованих технологічних лініях значення гіпсових в'язучих зростає.

Найбільш поширене застосування *будівельного гіпсу*, що складається, в основному, з  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , який отримують в результаті теплової обробки різних сировинних матеріалів і їх попереднього або наступного помелу.





Залежно від температури випалу гіпсові в'язучі поділяють на *низьковипалювальні* і *високовипалювальні*.

Низьковипалювальні в'язучі одержують при температурі 140–180° С, а високовипалювальні – при 650–1000° С. До низьковипалювальних відносять: будівельний гіпс, високоміцний або технічний гіпс, формувальний і медичний гіпс. До високовипалювальних в'язучих належать ангідритові в'язучі, а також естріх-гіпс.

Як сировину для виготовлення гіпсових в'язучих застосовують природні і штучні матеріали, головною особливістю яких є наявність у їх складі мінералів гіпсу або ангідриту. Перший представлений двоводним сульфатом кальцію (дигідратом) –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , другий – безводним  $\text{CaSO}_4$ .

Сировиною для гіпсових в'язучих найчастіше слугує *гіпсовий камінь* – щільний кристалічний різновид осадових гірських порід, що складається з двоводного гіпсу, а також піщаних і глинистих домішок.

Основною технологічною операцією виробництва гіпсових в'язучих є теплова обробка. При нагріванні процес дегідратації двоводного гіпсу проходить у 2 стадії:

- 1)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$ ,
- 2)  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

У рідкому середовищі, а також в середовищі насиченої пари – температура на початку I-ї стадії – 115° С, у середовищі ненасиченої пари – 107° С.

В атмосфері насиченої пари або в рідкому середовищі в результаті першої стадії дегідратації гіпсу утворюється  $\alpha$ -напівгідрат ( $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ). Кристали  $\alpha$ -напівгідрату мають чітку форму, відносно крупні, мають мало дефектів. Вони, переважно, утворюють *високоміцний* або *технічний гіпс*.

В атмосфері ненасиченої пари в результаті виділення з гіпсу кристалізаційної води в пароподібному стані утворюється  $\beta$ -напівгідрат ( $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), на основі якого виготовляють найбільш поширене гіпсове в'язуче – *будівельний гіпс*. Кристали  $\beta$ -напівгідрату більш дисперсні, мають високу питому поверхню, велику кількість дефектів в кристалічній ґратці. При замішуванні з водою  $\beta$ -напівгідрат вимагає більшу кількість



води ніж  $\alpha$  – напівгідрат, чим і пояснюється нижча міцність штучного каменю на його основі.

Для утворення гіпсового тіста нормальної густоти на основі  $\alpha$ -напівгідрату потрібно – 40–50% води, а на основі  $\beta$ -напівгідрату – 60–70%. Гіпсовий камінь з  $\alpha$ -напівгідрату значно міцніший ніж з  $\beta$ -напівгідрату внаслідок нижчої пористості.

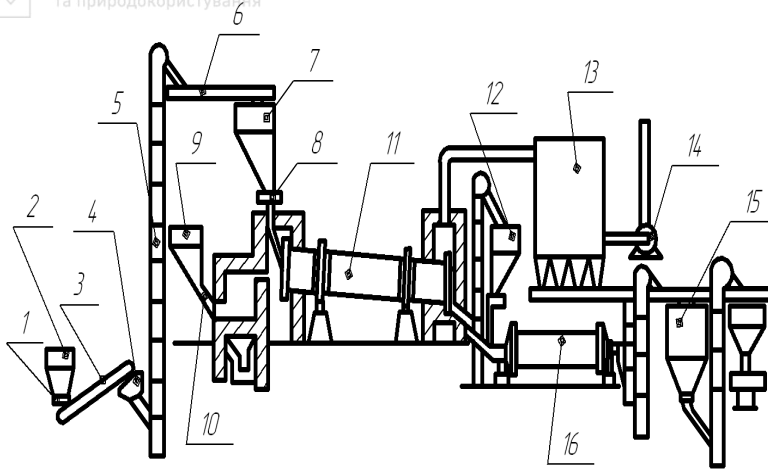
Найбільшого поширення для виробництва будівельного гіпсу набули гіпсоварильні котли періодичної дії. Вони відрізняються простотою обслуговування, зручністю регулювання і контролю режиму випалювання. В процесі зневоднення гіпсу у варильних котлах він не стикається з газовим потоком і безперервно перемішується. До недоліків цих агрегатів слід віднести періодичність роботи, швидку зношуваність елементів корпусу котла, складність уловлювання пилу.

При проектуванні потужних технологічних ліній для виробництва будівельного гіпсу часто застосовується випалювання в обертових печах (рис. 8.1). У таких печах випалюють куски гіпсового каменю величиною до 35 мм. Після випалювання в печах напівводний гіпс направляють на помел у кульові млини.

*Ангідритові в'язучі* отримують випалюванням гіпсової сировини при 600–700° С до переведення двоводного гіпсу в безводний сульфат кальцію (ангідрит) і подальшим введенням при помелі або з водою замішування різних добавок-активаторів.

При отриманні *естрих-гіпсу* – в'язучого, що складається з ангідриту і продукту його часткового розкладання – оксиду кальцію, випалювання виконується при температурі 900–1000° С. Наявність в естрих-гіпсі певної кількості оксиду кальцію дає можливість не вводити у в'язуче інші добавки, що активізують тверднення.

До змішаних (водостійких) гіпсових в'язучих відносяться *гіпсоцементнопуцоланові* (ГЦПВ) і *гіпсоцементношлакові* (ГЦШВ) в'язучі, а також *композиційні гіпсові в'язучі* (КГВ) низької водопотреби.



**Рис. 8.1.** Технологічна схема виробництва будівельного гіпсу в оберткових печах

- 1 – лотковий живильник; 2 – бункер гіпсового каменю;  
3 – стрічковий конвеєр; 4 – молоткова дробарка; 5 – елеватор;  
6 – шнек; 7 – бункер гіпсового щебеню; 8 – тарільчатий живильник;  
9 – бункер вугілля; 10 – топка; 11 – обертова піч; 12 – бункер  
випаленого щебеню; 13 – пилоосаджувальна камера;  
14 – вентилятор; 15 – бункер гіпсу; 16 – кульовий млин

До складу ГЦПВ входять 50–70% будівельного гіпсу, 15–25% портландцементу і 10–25% пуцоланових добавок (трепел, опока діатоміт та ін.).

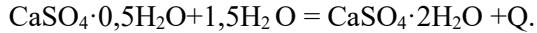
Технологічна схема отримання композиційних гіпсових в'язучих низької водопотреби (КГВ) відрізняється введенням до їх складу добавок суперпластифікатора і, при необхідності, сповільнювача тужавлення.

Із багаточисельних гіпсовмісних відходів найбільшого промислового значення як сировина для виробництва гіпсових в'язучих набув *фосфогіпс* – відхід сірчаної кислоти переробки апатитів або фосфоритів у фосфорну кислоту або концентровані фосфорні добрива.

Тверднення гіпсових в'язучих є результатом складних фізико-хімічних процесів гідратації і структуроутворення, що призводять до формування штучного каменю. Для гіпсових низьковипалюваних в'язучих, що складаються переважно з



напівгідрату  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , визначальним хімічним процесом при твердненні є реакція гідратації і утворення дигідрату:



Основними якісними показниками гіпсових в'язучих є водопотреба, строки тужавлення і міцність.

Водопотреба гіпсових в'язучих речовин визначається водогіпсовим відношенням, необхідним для отримання тіста нормальної густоти, тобто визначеної стандартної консистенції. Для будівельного і високоміцного гіпсу стандартна консистенція характеризується розпливом тіста на віскозиметрі Сутгарда в межах  $180 \pm 5$  мм. Нормальна густота тіста для будівельного гіпсу досягається при 50–70% води, високоміцного 30–40%.

Теоретично для гідратації напівводного гіпсу потрібно 18,6% води. Вся надлишкова вода, необхідна для забезпечення стандартної консистенції, утворює пори, що знижують міцність затверділого гіпсу.

Початковим етапом тверднення в'язучих є тужавлення – втрата пластичності і здатність витримувати мінімальні навантаження. Строки тужавлення гіпсових в'язучих, як і інших мінеральних в'язучих матеріалів, визначаються за допомогою приладу Віка. Початок тужавлення – час у хвилинах від моменту замішування в'язучого водою до моменту, коли вільно опущена голка приладу Віка не доходить до дна кільця, заповненого гіпсовим тістом, на 1–1,5 мм, кінець тужавлення – коли голка занурюється в тісто на глибину не більше 1 мм.

Залежно від строків тужавлення низьковипалювані гіпсові в'язучі поділяють на п'ять груп: швидкоотужавлюючі (Ш), нормальнотужавлюючі (Н), нормальнотужавлюючі спеціальні (НС), повільнотужавлюючі (П) і особливо повільнотужавлюючі (ОП) (табл. 8.1).



Таблиця 8.1

Групи гіпсових в'язучих залежно від строків тузавлення

Група в'язучих	Індекс	Строки тузавлення, хв.	
		початок, не раніше	кінець, не пізніше
Швидкотузавіючі	Ш	2	15
Нормальнотузавіючі	Н	6	30
Нормальнотузавіючі спеціальні	НС	10	30
Повільнотузавіючі	П	20	120
Особливо повільнотузавіючі	ОП	20	180

Завдяки коротким строкам тузавлення і інтенсивному наростанню міцності виробу з будівельного і високоміцного гіпсу можна виготовляти на конвеєрних лініях, установках з мінімальною кількістю форм.

Показниками механічної міцності гіпсових в'язучих є значення границі міцності при стиску і згині стандартних зразків, які визначають за нормованих умов тверднення. В якості стандартних зразків для випробування міцності гіпсових в'язучих приймаються зразки-балочки з розмірами  $40 \times 40 \times 160$  мм, виготовлені з тіста нормальної густоти. Для низьковипалюваних гіпсових в'язучих границя міцності встановлюється через 2 год. тверднення в повітряно-сухих умовах. Залежно від мінімальних значень границі міцності в МПа встановлюються марки гіпсових в'язучих (табл. 8.2).

Будівельний гіпс виготовляють зазвичай марок Г-2–Г-9, високоміцний гіпс марок вище Г-9. Міцність зразків затверділих низьковипалюваних гіпсових в'язучих після сушки до постійної маси збільшується в 1,5–2,5 рази порівняно з 2-х годинною.

Міцність гіпсоцементнопуцоланових (ГЦПВ), гіпсоцементношлакових (ГЦШВ) і композиційних гіпсових в'язучих (КГВ) визначають на зразках, що тверднуть у вологих умовах 7 або 28 діб, вона становить 10–30 МПа.



Марки низьковипалюваних гіпсових в'язучих

Марка в'язучого	Границя міцності зразків-балочок розмірами 40×40×160 мм у віці 2 год, МПа, не менше	
	при стиску	при згині
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-8	8	3,85
Г-9	9	4,2
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Усі чинники, що позначаються на водопотребі в'язучих (мінералогічний, гранулометричний склад, форма часток та ін.) впливають на необхідне, при постійному розпливі тіста, водогіпсове відношення і, відповідно, на міцність та інші властивості (рис. 8.2).

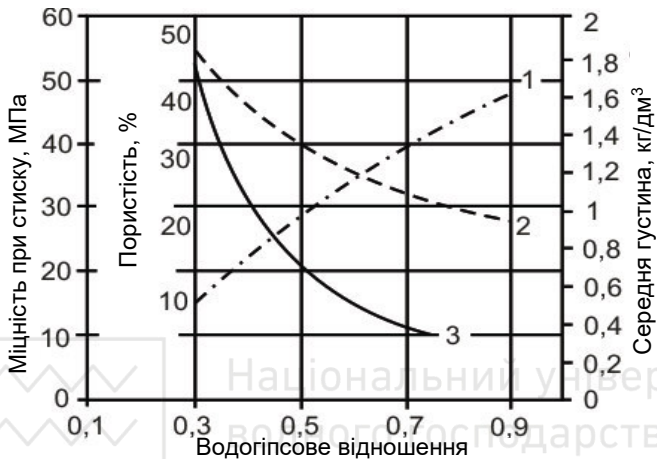
Для будівельного гіпсу зниження водогіпсового відношення (В/Г) з 0,7 до 0,4 дає можливість збільшити міцність в 2–2,5 рази. При однаковому В/Г міцність в'язучого на основі  $\beta$  і  $\alpha$ -напівгідратів практично однакова.

Найбільш істотне зниження водогіпсового відношення досягається при використанні суперпластифікаторів, що дають можливість при низьких значеннях В/Г забезпечити високу текучість гіпсового тіста і виготовляти вироби за литвемою технологією.

Гіпсові в'язучі матеріали на основі напівгідрату сульфату кальцію і ангідриду належать до неводостійких матеріалів. Найменший коефіцієнт розм'якшення ( $K_p$ ) має будівельний гіпс



в зразках і виробих литої консистенції. Він складає 0,35–0,4 і дещо підвищується при отриманні виробів з жорстких сумішей, а також при використанні високоміцного гіпсу. У цих випадках  $K_p$  може збільшуватися до 0,40–0,45.



**Рис. 8.2.** Залежність основних властивостей гіпсових в'язучих від водогіпсового відношення:  
1 – пористість; 2 – середня густина; 3 – міцність

Підвищення водостійкості гіпсових виробів може бути досягнуте завдяки добавкам, що зменшують розчинність у воді сульфату кальцію, введенням невеликої кількості синтетичних смол, просоченням виробів різними речовинами, що перешкоджають проникненню в них вологи, застосуванню інтенсивних способів ущільнення.

Певне зменшення розчинності гіпсу досягається при додаванні вапна, а також інших речовин, що мають загальний іон з сульфатом кальцію.

Найбільш радикальне рішення з підвищення водостійкості гіпсових в'язучих було досягнуте при отриманні гіпсоцементнопуцоланових і гіпсоцементношлакових в'язучих (ГЦПВ і ГЦШВ), а також запропонованих останніми роками композиційних гіпсових в'язучих низької водопотреби (КГВ).



Змінюючи склад цих в'язучих можна отримувати матеріали з коефіцієнтом розм'якшення 0,6–0,8 і вище.

Завдяки деякому розширенню в початковий період тверднення гіпс заповнює всі деталі форм і дає точний відбиток. Для гіпсових в'язучих, які застосовують для виготовлення форм у фарфоро-фаянсовій і керамічній промисловості об'ємне розширення має бути не більше 0,15%, інших галузей промисловості – 0,2%.

Досвід багаторічної експлуатації гіпсових матеріалів і виробів підтверджує їх високу довговічність при відповідності умов служби властивостям цих матеріалів.

**Основні гіпсові виробни.** Сфера застосування гіпсових в'язучих в сучасному будівництві є дуже широкою. Завдяки техніко-економічним перевагам і фізико-механічним властивостям гіпсових в'язучих номенклатура гіпсових матеріалів і виробів на їх основі стрімко збільшується. Залежно від призначення гіпсові матеріали поділяють на стінові, для об'ємних будівельних елементів, опоряджувальні, акустичні, вогнезахисні, теплоізоляційні, спеціальні.

Вироби, що випускаються на основі гіпсових в'язучих, відрізняються гігієнічністю, порівняно невеликою середньою густиною, високою тепло-і звукоізолюючою здатністю, вогнестійкістю, архітектурною виразністю, високими техніко-економічними показниками. Особливо широке застосування гіпсові в'язучі знаходять у виробництві різних сухих будівельних сумішей, гіпсокартонних і гіпсоволокнистих листів, гіпсобетонних виробів, оздоблювальних матеріалів (гіпсові розчини і бетони розглянуті у розділах 10 та 12).

Основні напрямки застосування гіпсових в'язучих наведені в табл. 8.3.

Будівельний гіпс застосовують для виробництва листів для обшивки стін та перекриття, перегородочних плит та панелей, стінових каменів, архітектурно-декоративних виробів, вентиляційних коробів і т.д. Гіпсові та гіпсобетонні виробни мають невелику середню густину, не горять але знижують при зволоженні міцність і характеризуються пластичними деформаціями під дією навантажень. Водостійкість їх зростає





при введенні 5–25% вапна, гранульованого доменного шлаку, при просочуванні карбамідними смолами, кремнійорганічними рідинами та ін. В найбільшій мірі водостійкість гіпсових виробів зростає за рахунок використання композиційних гіпсоцементнопуцоланових та гіпсоцементношлакових в'язучих.

Таблиця 8.3

Області застосування гіпсових в'язучих речовин

Вид в'язучих	Область застосування
Неводостійкі (повітряні) гіпсові в'язучі речовини	
Будівельний гіпс	Виготовлення будівельних розчинів, виробів і деталей, а також отримання змішаних гіпсових в'язучих
Формувальний, високоміцний гіпс	У керамічній (фарфоро-фаянсовій) промисловості для виготовлення форм. Для виготовлення декоративних та архітектурних деталей, для стяжок підлог, що самовирівнюються, будівельних розчинів. Для отримання змішаних гіпсових в'язучих.
Ангідритовий цемент (ангідритове в'язуче)	Мурувальні розчини, влаштування стяжок під підлоги, виготовлення будівельних виробів і деталей,
Естріх-гіпс або високовипалюваний гіпс	виготовлення штучного мармуру. Для отримання змішаних ангідритових в'язучих.
Водостійкі змішані гіпсові в'язучі речовини	
Гіпсоцементно-пуцоланові та гіпсоцементношлакові в'язучі	Виготовлення будівельних розчинів і бетонів, здатних до гідравлічного твердіння; виготовлення будівельних виробів, деталей і конструкцій, в тому числі несучих; влаштування стяжок під підлоги, що самовирівнюються та ін.
Композиційні гіпсові в'язучі	
Композиційні ангідритові в'язучі	
Гіпсовапняношлакові в'язучі	Виготовлення дрібноштучних будівельних виробів і розчинів



Гіпсові вироби застосовують для опорядження цегляних, залізобетонних, дерев'яних поверхонь житлових, громадських та промислових споруд з сухим та нормальним вологісним режимом повітря в період експлуатації. Підвищення міцності гіпсових виробів при зниженій середній густині досягають при їх дисперсному армуванні волокнистими матеріалами. Один з ефективних шляхів зниження маси гіпсових виробів є створення пористої або ніздрюватої структури введенням до формовочної маси піни або піноутворюючих реагентів.

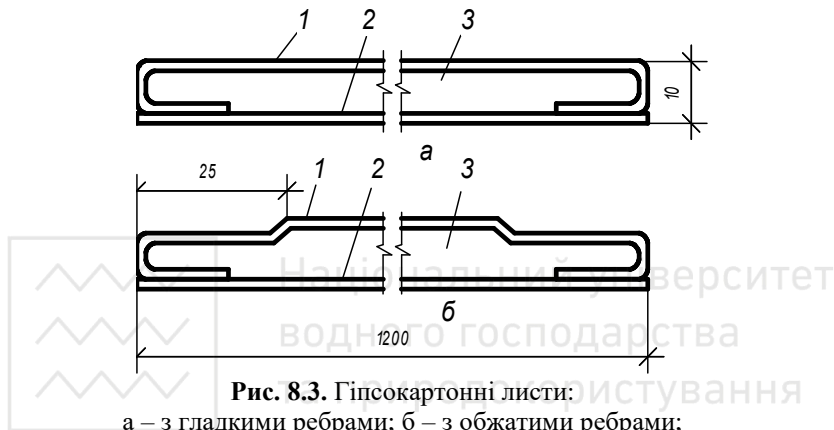
Високі естетичні властивості і простота технології роблять гіпсові вироби перспективними при оздобленні інтер'єру споруд різного призначення.

За обсягом виробництва на першому місці стоять вироби на основі *гіпсокартонних листів* (рис. 8.3), декоративний вигляд та звукопоглинаючі властивості яким надають шляхом перфорації, облицювання плівковими матеріалами та нанесенням малюнку на картон. Гіпсокартонні листи (ГКЛ) складаються із затверділої гіпсової серцевини, міцно поєднаної з картонною оболонкою. Технологічний процес виробництва гіпсокартонних листів включає приготування формувальної маси, підготовку картону, формування безперервної стрічки, розрізування її на окремі листи після твердіння гіпсу та сушіння в багатоярусних тунельних сушарках. Вологість листів повинна бути не більше 1%, густина – 950 кг/м<sup>3</sup>, руйнівне навантаження залежно від товщини – від 250 до 520 Н. Листи мають прямокутну форму і розміри, мм: довжина 2500–4800, ширина 600 та 1200, товщина 10–25.

ГКЛ застосовують для облицювання (сухої штукатурки) стін, влаштування перегородок, підвісних стель, вогнезахисту конструкцій, виготовлення декоративних і звукопоглинаючих виробів та ін. Їх залежно від властивостей та області застосування поділяють на види: звичайні (ГКЛ); з підвищеним опором дії відкритого полум'я (ГКЛЮ); вологостійкі (ГКЛВ); вологостійкі з підвищеним опором дії відкритого полум'я (ГКЛВО). Вологостійкий матеріал виготовляють з добавкою гранул силікону, а вогнестійкий – скловолна. Вироби перших двох груп застосовують в будівлях із сухим і нормальним



вологісними режимами, інші (ГКЛВ і ГКЛВО) – крім того, в будівлях з вологим і мокрим режимами. В останніх випадках їх необхідно захищати з лицьової поверхні водостійкими покриттями (фарбами, шпаклівками, плиткою, плівками) і передбачати в приміщеннях витяжну вентиляцію. Водопоглинання листів ГКЛВ і ГКЛВО не повинно бути більше 10%.



**Рис. 8.3.** Гіпсокартонні листи:

а – з гладкими ребрами; б – з обжатыми ребрами;  
1 – картон; 2 – лицевий бік; 3 – гіпсовий камінь

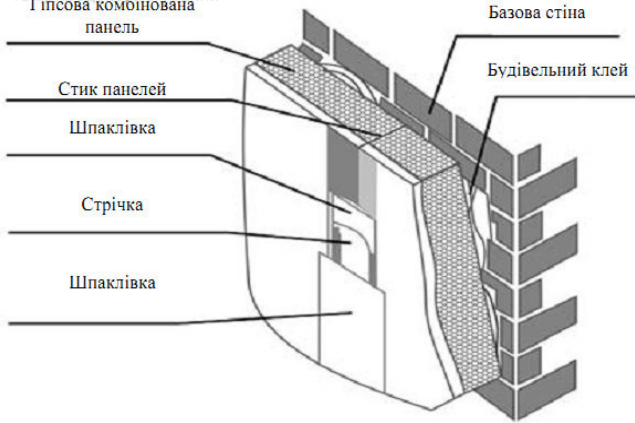
Гіпсокартонні опоряджувальні панелі ПОГ виготовляють з гіпсокартонних листів, обклеєних з лицьової поверхні декоративною опоряджувальною плівкою, рулонними матеріалами на паперовій підоснові. Опоряджувальні панелі виготовляють також з гіпсокартонних листів, облицьованих полівінілхлоридними листами.

Гіпсокартонні опоряджувальні панелі призначені для облицьовання внутрішніх поверхонь стін і перегородок приміщень житлових і громадських будівель.

Гіпсові комбіновані панелі (ГКП ПС) є гіпсокартонними листами (ГКЛ) з приклеєною до них з тильної сторони пінополістирольною плитою марки ПСБ-С. Панелі використовуються як для опорядження, так і для утеплення і приклеюються до внутрішньої поверхні стіни (рис.8.4).



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



**Рис. 8.4.** Опорядження стіни гіпсовими комбінованими панелями

*Гіпсоволокнисті листи* на відміну від гіпсокартонних армують не картоном, а рівномірно розташованими по товщині волокнами. Як волокнисту сировину використовують, головним чином, розпушену паперову макулатуру. Основною перевагою гіпсоволокнистих листів порівняно з гіпсокартонними є більш висока міцність. В них легше забивати цвяхи, вони зберігають форму при висушуванні та зволоженні, у спеку та холодну погоду забезпечують нормальний мікроклімат у житлових приміщеннях, мають високу звукоізоляційну здатність, належать до групи неспалимих матеріалів, добре піддаються обробці різними інструментами без їх викришування, легко обклеюються шпалерами, кольоровими пластиками, фанеруються. Застосовують гіпсоволокнисті листи в тих самих випадках, що й гіпсокартонні. Поряд з гіпсоволокнистими листами виготовляють і гіпсоволокнисті плити, які застосовують як підвіконні дошки, елементи вбудованих меблів та перегородок.

*Гіпсові декоративні плити ПГД* виготовляють литими, гладкими, рифленими з різноманітними малюнками на лицьовій поверхні, без арматури та армованими, із заповнювачами і без них. Гіпсові плити випускають зазвичай квадратними з розмірами, мм: 500×500×15...40, 600×600×15–40. Викривлення



лицьової поверхні не повинне перевищувати 3 мм. Відпускна вологість плит – не більше 5%.

Для армування гіпсових декоративних плит використовують склосітку або склотканину, оцинковане залізо, алюміній та інші матеріали.

Окрім литих, застосовують *пресовані мармуровидні гіпсові плити* (штучний мармур). Їх виготовляють пресуванням водогіпсової суміші під тиском 7–10 МПа з одночасним відведенням надмірної вологи до залишкового водогіпсового відношення 0,18–0,22 і витриманням під тиском до початку тужавлення гіпсового в'язучого. Вироби через 1,5 год після формування мають границю міцності на стиск 25–28 МПа і вологість 10%. Для них характерна лощена поверхня, що імітує забарвлення і текстуру природного мармуру. Для отримання дзеркальної лицьової поверхні виробу додатково полірують.

Штучний мармур на 30–40% легший природнього, має кращі теплозахисні властивості, високу кислотостійкість. Його застосовують для внутрішнього облицювання магазинів, автостанцій, столових, клубів, виробничих цехів і т.п.

*Гіпсостружкові плити* застосовують як опоряджувальний матеріал в приміщеннях з нормальним режимом експлуатації. В них поєднуються позитивні властивості деревностружкових плит і гіпсокартонних листів: достатньо висока міцність, низькі лінійні деформації, пожежна безпека, нетоксичність, хороша якість поверхні. Вони легко обробляються.

Гіпсостружкові плити виготовляють густиною 600–1200 кг/м<sup>3</sup> з міцністю при згині 6–9,5 МПа з лінійним розширенням 0,05...0,06% і набуханням при зволоженні 2,2–2,6%.

Плити виготовляють завдовжки до 3600 мм, завширшки до 1500 мм і завтовшки 10–28 мм. Найбільш поширені плити розмірами 1250×2500 мм.

## 8.2. Будівельне вапно

Будівельним вапном називають продукт випалювання, не до спікання кальцієвих і кальцієво-магнієвих карбонатних порід, що складається переважно з оксиду кальцію.



Для отримання *повітряного вапна* сировинні матеріали – крейда, вапняки та доломіти повинні містити не більше 6–8% глинистих домішок. При більшому вмісті домішок утворюється *гідралічне вапно*. Вапно класифікують за вмістом активного оксиду магнію на кальційове ( $MgO < 5\%$ ), магнезійне ( $MgO = 5–20\%$ ) та доломітове ( $MgO = 20–40\%$ ). Розрізняють також наступні види вапна: негашене грудкове, негашене мелене, гідратне (пушонка) та вапняне тісто.

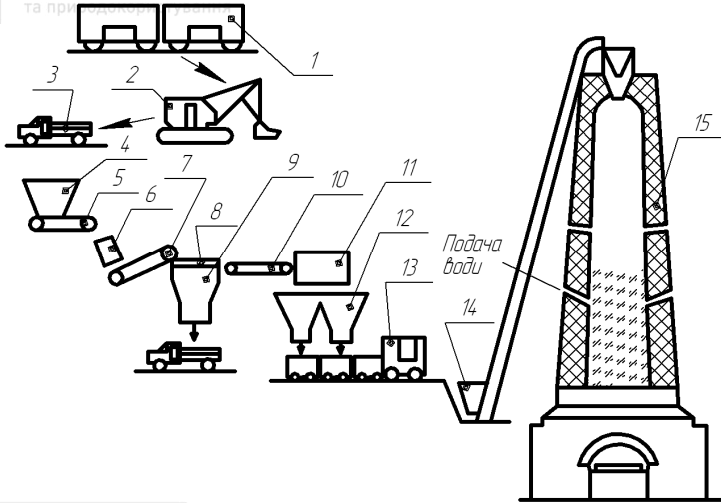
*Негашене грудкове вапно* є напівфабрикатом для отримання інших видів вапна і утворюється безпосередньо в результаті випалювання вихідної сировини.

В основі процесу отримання негашеного вапна лежить реакція дисоціації карбонату кальцію ( $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow$ ).

Ступінь та швидкість завершення реакції розпаду  $CaCO_3$  залежать від температури, парціального тиску вуглекислого газу, наявності домішок та ін. Парціальний тиск  $CO_2$ , що виділяється при випалі  $CaCO_3$  досягає атмосферного приблизно при  $900^\circ C$ , температура у заводських умовах може досягати  $1000–1200^\circ C$ .

Серед вапновипалювальних печей найбільш широко використовуються шахтні печі (рис. 8.5), що пояснюється простотою їх конструкції та експлуатації, високою тепловою ефективністю, відносно малими капітальними витратами на спорудження та високими питомими об'ємами продукції. Шахтні печі працюють безперервно: через певні проміжки у верхню частину завантажують вапняк, антрацит або кокс, а з нижньої вивантажують готове вапно. Необхідне для горіння палива повітря надходить знизу та охолоджує вапно.

Для випалювання використовують також обертові печі, які мають високу продуктивність та дозволяють використовувати дрібні фракції вапняків, маломіцні карбонатні породи та отримувати продукт з більш стабільними властивостями. Перспективними є агрегати для швидкісного випалювання вапна у зваженому стані (у киплячому шарі).



**Рис. 8.5.** Технологічна схема виробництва грудкового негашеного вапна:

1 – вагони з вапном; 2 – екскаватор; 3 – автосамоскид; 4, 9, 12 – бункери; 5 – живильник; 6 – шокова дробарка; 7, 10 – конвеєри; 8 – сито; 11 – циліндричне сито; 13 – вагонетка; 14 – скиповий підйомник; 15 – шахтна піч

Якість негашеного вапна залежить від вмісту в ньому вільних активних оксидів кальцію та магнію (активності) та структури. Залежно від активності негашене вапно поділяють на три сорти (табл. 8.4).

Таблиця 8.4

Вимоги до кальційового вапна

Показники	Норми для сортів вапна				
	негашеного			гідратного	
	I	II	III	I	II
Вміст активних CaO+MgO у перерахунку на суху речовину не менше, %: без добавок	90	80	70	67	60
з добавками	65	55	–	50	40
Вміст CO <sub>2</sub> не більше, %: без добавок	3	5	7	3	5
з добавками	4	6	–	2	4
Вміст непогашених зерен не більше, %	7	11	14	–	–



На реакційну здатність  $\text{CaO}$  та  $\text{MgO}$  впливає температура випалювання. З підвищенням температури випалювання вапняків збільшується розмір кристалів  $\text{CaO}$  та  $\text{MgO}$ . В результаті перекристалізації та спікання оксидів кальцію та магнію вапно ущільнюється і його реакційна здатність знижується. Присутність у вапні частинок, що повільно гасяться, викликає в затверділих розчинах та виробках внутрішні напруження і, як наслідок, зниження їх міцності та морозостійкості, появу тріщин і ін.

Для меленого вапна найважливішим показником якості є ступень дисперсності, що визначається повним залишком на ситах № 02 та № 008 (розмір отворів відповідно 200 та 80 мкм), який повинен бути відповідно не більше 1,5 та 15%.

Для підвищення водостійкості та покращення інших властивостей вапняних розчинів при подрібненні вапна вводять активні мінеральні добавки: золу, шлаки, горілі породи та ін.

Важливою особливістю негашеного вапна є *здатність до гашення*, тобто взаємодії з водою з переходом оксидів кальцію та магнію до їх гідратів. Цей процес протікає по реакції:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 64,9 \text{ КДж}$  і супроводжується довільним розпадом грудок вапна на тонкодисперсні частинки. Тривалість цього процесу для вапна, що гаситься швидко, становить не більше 8 хвилин, з середньою швидкістю – не більше 25 хвилин та що гаситься повільно – понад 25 хвилин. Процес гашення протікає швидко при високому вмісті  $\text{CaO}$  та правильно підібраної температури випалювання.

Залежно від кількості води, взятої для гашення, отримують порошкоподібний продукт – *гідратне вапно (пушонку)* або *вапняне тісто*. У першому випадку, як правило додавають на одну частину вапна за масою 0,6–0,8 частин води, а в другому – 2–3 частини.

Гідратне вапно (пушонка) – готовий продукт, який при замішуванні водою перетворюється в тісто. В упакованому вигляді його легше транспортувати та зберігати ніж негашене вапно.

Негашене грудкове вапно або мелене вапно найчастіше гасять до утворення вапняного тіста. Гасять вапно в спеціальних апаратах.





Розрізняють три типи твердіння вапна: карбонатне, гідратне та гідросилікатне.

У розчинах на основі гашеного вапна при звичайній температурі та тиску відбувається *карбонатне твердіння*. При цьому водночас протікають два процеси – кристалізація  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з насиченого водного розчину та утворення  $\text{CaCO}_3$  за реакцією

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}.$$

Кристали утвореного  $\text{CaCO}_3$  зростаються один з одним, частинками  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та піску і утворюють штучний камінь. Процеси карбонатного твердіння протікають досить повільно.

*Гідратне твердіння* вапна йде при замішуванні водою негашеного меленого вапна і забезпеченні певних умов гідратації (вміст води, відведення тепла). Мелене негашене вапно розчинюється у воді з утворенням перенасиченого розчину. Ефект твердіння викликається зрощуванням утворених частинок гідроксиду кальцію.

*Гідросилікатне твердіння* вапна відбувається у вапняно-піщаних та інших силікатних виробках в умовах підвищеної температури та тиску водяної пари, тобто у автоклавах. Суть його зводиться до взаємодії гідроксиду кальцію, кремнезему та води і утворенню нових сполук – гідросилікатів, що цементують зерна піску. На гідросилікатному твердінні вапна засновано отримання силікатної цегли та силікатних бетонів.

Найважливішими перевагами вапна є висока пластичність, що надає розчинам та бетонам на його основі високу легкоукладальність і водоутримуючу здатність, запобігає розшаруванню сумішей.

Будівельне повітряне вапно використовують в основному для розчинів та бетонів низьких марок, які працюють у повітряно-сухих умовах, щільних та ніздрюватих силікатних виробів автоклавного тверднення; змішаних гідравлічних в'язучих та вапняних фарб.

Найбільшого використання при виробництві автоклавних виробів (силікатної цегли та силікатних бетонів) набуло вапняно-кремнеземисте в'язуче, основними компонентами якого є повітряне будівельне вапно і мелений кварцовий пісок. Роль кремнеземистого компоненту в'язучих автоклавного



твердіння поряд з тонкомеленим піском можуть виконувати зола-винесення, інші промислові відходи.

Тверднення автоклавних виробів здійснюється в результаті хімічних реакцій між компонентами в'язучого в присутності води за умов високого тиску і температури. Основним хімічним процесом при автоклавній обробці є взаємодія між гідроксидом кальцію, кремнеземом і водою, що супроводжується утворенням гідросилікатів кальцію, які цементують зерна, що не прореагували, створюючи штучні конгломерати. Швидкість реакцій та міцність конгломератів зростає в міру підвищення дисперсності сировинних матеріалів.

**Вироби на основі вапна.** *Силікатна цегла* – штучний безвипалювальний стіновий матеріал, виготовлений із суміші кварцового піску та вапняно-кремнеземистого в'язучого, шляхом пресування і наступного твердіння в автоклаві під дією пари високого тиску.

Виробництво силікатної цегли складається з видобування та просіювання піску, випалювання вапна та його помелу у кульових млинах разом з частиною піску, змішування піску з вапняно-кремнеземистим в'язучим, гашення отриманої суміші, пресування цегли та запарювання її в автоклавах.

В складі сировинної суміші для одержання силікатної цегли вміст вапна коливається від 7 до 10% в перерахунку на активний СаО. Бажано застосовувати кварцовий пісок із зернами від 2 до 0,2 мм, вмістом глинистих домішок не більше 10% та мінімальною пористістю. Тривалість повного циклу автоклавної обробки становить 8–12 годин під тиском 0,8–1,6 МПа.

Випускають цеглу одинарну повнотілу або з пористими заповнювачами розмірами 250x120x65 мм, цеглу потовщену пустотілу або повнотілу з пористими заповнювачами 250x120x88, камінь пустотілий 250x120x138 мм. Вироби виготовляють незабарвленими та кольоровими – забарвленими в масі або з поверхневим оздобленням лицьових граней.

Залежно від середньої густини силікатні вироби поділяють на три групи: легкі – з густиною цегли не більше 1400 кг/м<sup>3</sup> і каменів – 1450 кг/м<sup>3</sup>, полегшені – 1401 до 1650 кг/м<sup>3</sup> і каменів від 1451 до 1650 кг/м<sup>3</sup>, важкі – понад 1650 кг/м<sup>3</sup>.



Ефективні силікатні вироби мають теплопровідність до 0,486 Вт/м·К, вони дозволяють зменшити товщину огорожуючих конструкцій порівняно з товщиною стін із звичайної цегли.

Для силікатної цегли і каменів встановлені марки залежно від границі міцності на стиск – М300, М250, М200, М150, М125, М100 і М75, та за морозостійкістю – F50, F35, F25, F15.

Водопоглинання силікатних виробів повинно бути не менше ніж 6%. Поряд із рядовими виготовляють лицьову силікатну цеглу і камені, марки їх за міцністю не менше М125 та М100, морозостійкістю – не менше F25.

Силікатну цеглу застосовують поряд з керамічною для кладки стін надземних частин будівель. Внаслідок недостатньої водостійкості її не можна використовувати для фундаментів та цоколів будівель нижче гідроізоляційного шару. Не дозволяється застосовувати її також для споруд з мокрим режимом експлуатації без спеціальних заходів щодо захисту стін від зволоження, а також в умовах дії високих температур (кладка печей, труб і т. п.).

Техніко-економічні показники силікатної цегли вищі ніж керамічної. На її виробництво потрібно вдвічі менше палива і втричі менше електроенергії. Приблизно в 2,5 рази менша трудомісткість її виробництва.

*Лицьова силікатна цегла і камені* від рядових відрізняються поліпшеним зовнішнім виглядом, більш високими показниками міцності, більш точними геометричними розмірами й чіткими гранями, підвищеною морозостійкістю. По фактурі лицьової поверхні вироби виготовляють гладкими з декоративним покриттям, за кольором – незабарвленими, що мають колір сировини, з якої вони виготовлені, або забарвленими – із забарвленої суміші або з поверхневим забарвленням лицьових граней. Цегла і камені мають дві лицьові поверхні: тичкову та ложкову. Допускається випускати вироби з однією лицьовою поверхнею.

Лицьові силікатна цегла і камені є одночасно несучим і облицювальним матеріалом (рис. 8.6) для стін будівель, не збільшуючи товщини і не потребуючи додаткового



опорядження. Їх застосовують частіше за все для фасадів, а кольорову силікатну цеглу, що імітує природний камінь – пісковик або туф, можна використовувати також в інтер'єрах. Цегла і камені, забарвлені в масі, можна застосовувати для облицювання будь-яких частин споруд. При цьому шви між рядами повинні бути заглиблені на 8–10 мм.



**Рис. 8.6.** Лицьова силікатна цегла

*Силікатні облицювальні плити* виготовляють із суміші меленого негашеного вапна та кварцового піску. Для підвищення міцності й довговічності плит застосовують добавку до вапна меленого піску. Формування плит проводять на вібромайданчиках у касетних (плоскі вироби) або одиночних (з рельєфною поверхнею) формах. Відформовані вироби витримують протягом 4–8 год до повного тужавлення маси, потім при необхідності обробляють вироби і направляють у автоклав.

Облицювальні силікатні плити характеризуються щільністю 1900–1950 кг/м<sup>3</sup>, границею міцності на стиск 20–30 МПа, водопоглинанням за масою – не більше 16%, морозостійкістю – не менше F25.

Плити застосовують для опорядження цегляних стін житлових, цивільних і промислових будівель, що працюють в умовах нормальної вологості. Не допускається їх застосування для будівель, які експлуатуються при підвищеній відносній



вологості. Не допускається також їх застосування без захисту водонепроникними покриттями для облицювання цоколів, парпетів, зовнішніх підвіконь та інших виступаючих частин будівель, що піддаються зволоженню.

Облицювальні плити підвищеної міцності виготовляють також з *силікальциту* – матеріалу, який отримують із суміші вапна з піском, розмеленої в дезінтеграторі.

### 8.3. Магnezіальні в'язучі матеріали

**Загальна характеристика.** Магnezіальні в'язучі є продуктами помірного випалювання магnezиту (*каустичний магnezит*) або доломіту (*каустичний доломіт*), замішуваних розчинами електролітів: хлориду та сульфату магнію, сульфату заліза та ін.

В основі отримання каустичних магnezиту і доломіту лежать реакції термічної дисоціації відповідних мінералів, в результаті яких утворюється активний оксид магнію. Ці реакції є ендотермічними і йдуть при випалюванні сировинних матеріалів в певному діапазоні температур.

Реакція розкладання магnezиту  $\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2 \uparrow$  протікає досить інтенсивно при  $600\text{--}650^\circ \text{C}$  з витратою 1440 кДж теплоти на 1 кг  $\text{MgCO}_3$ . У промислових печах каустичний магnezит одержують при температурах  $800\text{--}850^\circ \text{C}$ .

Отримання каустичного доломіту йде в результаті розкладання магnezіальною складовою доломіту. При тиску  $\text{CO}_2$  більш 20 мм рт. ст. і температурі  $650\text{--}750^\circ \text{C}$  йде реакція за схемою:



Підвищення температури вище оптимальної, веде до ущільнення кристалів  $\text{MgO}$ , а при випалі доломіту – дисоціації  $\text{CaCO}_3$ , що погіршує якість магnezіальних в'язучих.

Найвища міцність магnezіальних в'язучих забезпечується при використанні як замішувача хлориду магнію, що утворює при взаємодії з оксидом магнію комплексні солі типу оксихлоридів  $m\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . При твердненні каустичного доломіту високодисперсний  $\text{CaCO}_3$ , який міститься в ньому,



виконує роль активного наповнювача, утворюючи центри кристалізації, і підвищує щільність затверділих в'язучих.

Магнезійні в'язучі, замішані розчином хлористого магнію щільністю 1,15–1,20 г/см<sup>3</sup>, є швидкотверднучими, нормально тужавіючими в'язучими.

При високій якості магнезитової сировини жорсткі розчини на каустичному магнезиті можуть досягати через 28 діб міцність при стиску 80–100 МПа. При цьому через 1 добу досягається розчинами 30–50%, 7 діб – 60–90% 28-добової міцності при твердненні зразків у повітряно-сухих умовах.

Міцність магнезійних в'язучих пропорційна вмісту активного MgO.

**Основні вироби.** Традиційно магнезійні в'язучі застосовують для матеріалів, що містять деревний заповнювач або інші волокнисті органічні матеріали. Типовими матеріалами цього типу є ксилоліт («деревно-камінь», грец.) і фіброліт («волокнистий камінь», грец.).

*Ксилоліт* – різновид легкого бетону, отримують із суміші магнезійного в'язучого і тирси з можливим додаванням тонкодисперсних мінеральних речовин (талък, азбест, мармуровий дрібняк) і лугостійких пігментів. Суміш замішується розчином хлориду або сульфату магнію. Тирсу зазвичай застосовують хвойних порід, розміром не більше 2 мм для верхнього шару підлог, 10 мм для нижнього. Ксилоліт отримують наливним способом для безшовних (суцільних) підлог, відливанням у формах (архітектурно-будівельні деталі) і пресуванням (плитки, блоки). Мінеральні добавки використовують для покращення опору ксилоліту ударним навантаженням і стираності, підвищення водостійкості.

Ксилоліт як матеріал для підлог відрізняється міцністю, пружністю, вогнестійкістю, низькою тепло- і звукопровідністю, паропроникністю, стійкістю до біопошкоджень, дії масел, солей, органічних розчинників, низькою стираністю. Середня густина ксилоліту 1000–1250 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності при стиску 20–35 МПа, розтягу 3–5 МПа, коефіцієнт теплопровідності 0,5–1 Вт/м·°С, водопоглинення 3–7%, стираність до 0,1 г/см<sup>2</sup>.



**Фіброліт** – плитний матеріал, який виготовляють із спеціальних деревних стружок і неорганічної в'язучої речовини. Виробляють цементний і магнезійний фіброліт. Магнезійний фіброліт не потребує спеціальної мінералізації деревної стружки розчинами солей, має більш високу міцність ніж цементний, однак меншу водостійкість і більшу гігроскопічність.

Фібролітові плити застосовують в якості теплоізоляційного (з густиною до  $300 \text{ кг/м}^3$ ) і конструктивно-теплоізоляційного матеріалу (з густиною  $400\text{--}500 \text{ кг/м}^3$ ).

За останнє десятиліття освоєне виробництво т. з. *бішофітового бруса (екобруса)* – композитного матеріалу на основі магнезійного в'язучого, деревних відходів і *бішофіту* – технічного хлориду магнію. Технологія цього матеріалу зводиться до наступного. Кускові відходи з деревини подрібнюються в рубильних машинах, їх сортують з відділенням кондиційної фракції 5–10 мм, яка подається у сушильний барабан, якщо її вологість більше 12%. Деревний заповнювач змішують з магнезійним в'язучим і розчином бішофіту. Брус отримують способом екструзії. Він має переріз  $150 \times 250 \text{ мм}$ . Брус розкроюється на заготовки певної довжини, які направляються на склад для витримання та зберігання.

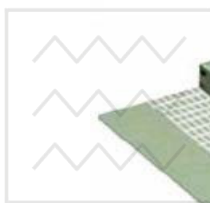
Бішофітовий брус – біостійкий, важкоспалимий матеріал з наступними характеристиками:

густина, $\text{кг/м}^3$	900–1000
вологість, %, не більше	9±3
граніця міцності перпендикулярно напрямку пресування, МПа, не менше:	
при згині	1,1
при стиску	8
коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ , не більше	0,3

Із застосуванням магнезійних в'язучих виготовляють різні опоряджувальні розчини і вироби. Освоєно виробництво *ксилітоволоконистих (скломагнезитових) плит* – матеріалу на основі суміші магнезійного в'язучого і деревної стружки,



армованого з обох сторін склотканиною (рис. 8.7). Для ксилоліто-волокнистих плит характерні висока гнучкість, міцність, вогнестійкість, водостійкість. Їх застосовують для влаштування міжкімнатних перегородок, каркасних стінових панелей, підвісних стель, опалубки, як опоряджувальний матеріал. За фізико-механічними показниками ксилолітоволокнисті плити перевершують гіпсокартонні і гіпсоволокнисті листи. Плити випускають розмірами 1220×2440, 1200×2500 мм, товщиною 4, 12 мм. Густина плит 800–1400 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності повздовжніх зразків при згині 4–16 МПа, поперечних – 1,2–9 МПа, водопоглинання 25–40%, теплопровідність 0,08–0,15 Вт/(м·°С), морозостійкість F35. Плити можна ламінувати папером, полівінілхлоридною плівкою, деревиною та іншими матеріалами. Вони легко піддаються механічній обробці.



**Рис. 8.7.** Скломагnezитова плита

З теплоізоляційних матеріалів відомий досвід отримання *піно-* і *газoмагnezиту* шляхом замішування каустичного магнезиту розчинами хлориду чи сульфату магнею з введенням піно- або газoутворюючих речовин.

Враховуючи, що магнезiальні в'язучі замішуються розчинами солей і утворюють оксихлориди та оксисульфати, які містять підвищену кількість хімічно зв'язаної води, вони можуть використовуватися у бетонах для біологічного захисту від гама – і нейтронного випромінювання.

У воді і у вологій атмосфері міцність виробів на основі магнезiальних в'язучих знижується. Захист виробів з магнезiальних в'язучих досягається просочуванням їх різними гідрофобізуючими речовинами: сіркою, парафіном, лаками.





Найсильніше підвищують водостійкість магнезіальних в'язучих фосфатні добавки.

#### 8.4. Рідке скло

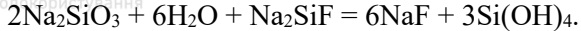
**Загальна характеристика.** Рідким склом називають водний розчин лужних силікатів. Його отримують з *розчинного скла* – скловидного сплаву з загальною формулою  $R_2O \cdot nSiO_2$  (де  $R_2O$  – лужний оксид,  $n$  – силікатний модуль), або безпосередньо в автоклавах обробкою аморфних кремнеземистих продуктів у розчинах їдких лугів.

Значення силікатного модуля може змінюватися від 1 до 6,5. В будівництві найчастіше використовують натрієве розчинне скло з модулем 2–3. Калієве скло з модулем 2,8–4,0 використовують, в основному, для отримання силікатних фарб. Випускають розчинне скло у вигляді твердого моноліту (*силікат-брили*), який подрібнюють на куски, або дрібнозернистого продукту (*силікат-грануляту*). Для його отримання використовують шихту, що включає кремнеземистий та лужний компоненти, наприклад, пісок та соду або сульфат натрію. Шихту плавлять у скловарних печах при 1100–1400° С.

Силікат-брила утворюється при повільному охолодженні розплаву на повітрі, силікат-гранулят – при охолодженні у проточній воді. Розчинення силікату-глиби у воді проводять в автоклавах під тиском 0,3–0,8 МПа. Гранулят можна розчинювати при атмосферному тиску і температурі 90–100° С.

Рідке скло являє собою колоїдний розчин густиною 1,4–1,5 г/см<sup>3</sup>, у закритих посудинах воно може зберігатися дуже довго, на повітрі повільно твердне. Суть процесу твердіння полягає у випаруванні рідкої фази, підвищенні концентрації вільного колоїдного кремнезему, та його наступній коагуляції та ущільненні. Вуглекислий газ повітря нейтралізує луги, що містяться у водному розчині та сприяє коагуляції кремнезему. Суттєво прискорює процес твердіння рідкого скла добавка кремнефтористого натрію та деякі інші речовини

Схема реакції яка відбувається при додаванні до рідкого скла кремнефтористого натрію наступна:



Гель кремнезему, що утворюється при розчиненні лужних силікатів у воді є полімером  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , який конденсується до колоїдних часточок з утворенням просторової структури і силосанових зв'язків  $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ .

**Основні вироб.** Область застосування рідкого скла достатньо широка. Його в'язучі властивості використовуються при отриманні ряду композиційних матеріалів, в тому числі, кислотостійких і жаростійких розчинів і бетонів, ливарних формувальних сумішей, теплоізоляційних, керамічних, абразивних матеріалів. Рідке скло застосовують в якості неорганічного клею, в ін'єкційних складах для закріплення ґрунтів і гірських порід, високотемпературних клеючих композиціях для металів, кераміки, скла, для просочування пористих будівельних виробів. Важливим напрямком застосування рідкого скла є також отримання захисно-декоративних і антикорозійних покриттів.

Адгезійні та відповідно клеючі властивості більш виражені для натрієвих рідких стекел. Застосування натрієвих стекел для отримання фасадних покриттів обмежено через можливості появи на їх поверхні білих висолів. Для отримання таких покриттів перевагу надають калієвому рідкому склу. Воно на відміну від натрієвого не утворює кристалогідратів з сульфат- і карбонат-іонами.

Виготовляють два види *силікатних фарб* – фасадні та цинконаповнені для протикорозійного захисту металічних конструкцій, які працюють в атмосферних умовах, при дії нафтопродуктів, розчинників та ін. Цинконаповнені фарби забезпечують протекторний електрохімічний тип захисту металів. Фасадні силікатні фарби представляють собою суспензію лугостійких пігментів, наповнювачів і отверджувачів у вигляді сухих цинкових білил або борату кальцію у водному розчині високомодульного калієвого рідкого скла. Вони є повітряпроникними, мають високу атмосферостійкість особливо в районах з невеликою кількістю осадів.

Рідке скло є ефективним в'язучим для отримання жаростійких бетонів, які використовуються при зведенні



теплових агрегатів. Такі бетони можуть експлуатуватися в діапазоні температур 300–1800° С. До складу жаростійких бетонних сумішей, крім в'язучого, входять вогнетривкий заповнювач і різні добавки – отверджувачі, пластифікатори, регулятори строків тужавлення та ін.

На основі рідкого скла, кремнефтористого натрію і кислотостійких заповнювачів виготовляють кислототривкі цементи, розчини і бетони. Більш відомий кислототривкий кварцовий кремнефтористий цемент – продукт тонкого помелу суміші кремнефториду натрію і кварцового піску, замішаний розчином силікату натрію або калію. Замість кварцового піску до складу кислототривкого цементу можна вводити інші кислотостійкі порошки, втрата маси яких при кип'ятінні в кислоті не перевищує 7%. Для замішування цементу зазвичай використовують розчин силікату натрію густиною 1,34–1,38 г/см<sup>3</sup> в кількості 25–30% від маси піску. Вміст Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> в суміші приймають в межах 4–8% маси цементу. Він залежить від призначення цементу: для виготовлення кислототривких замазок вміст Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> приймають 4±0,5% (цемент I типу), розчинів і бетонів 8±0,5% (цемент II типу).

Із застосуванням кислототривкого цементу виготовляють *полімерсилікатні бетони*, до складу яких також входять крупний і дрібний заповнювачі й спеціальні добавки пластифікаторів, ущільнювачів, гідрофобізаторів та ін.

## 8.5. Цементи

Із сукупності цементів, що застосовуються у будівництві, найбільш поширеними є портландцемент і його різновиди.

### **Портландцемент. Загальна характеристика.**

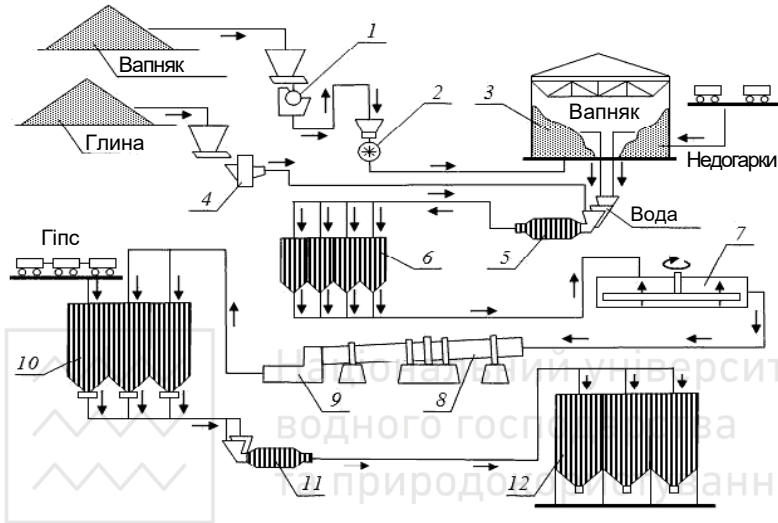
Портландцемент – гідралічна в'язуча речовина, яку отримують шляхом тонкого помелу клінкеру з гіпсом і, при необхідності, з іншими добавками. *Портландцементний клінкер* – продукт спікання сировинної суміші певного хімічного складу, що забезпечує після випалювання переважний вміст мінералів силікатів.

Основними сировинними матеріалами для отримання портландцементу є вапняки та глинисті породи або їх природні



суміші – мергелі. Використовують також різноманітні відходи промисловості: шлаки, золи, нефеліновий шлам та ін.

Виробництво портландцементу складається з двох стадій: одержання клінкеру та його тонке подрібнення (помел) з добавками (рис. 8.8).



**Рис. 8.8.** Технологічна схема отримання цементу за мокрим способом:

- 1 – щоква дробарка; 2 – молоткова дробарка; 3 – склад сировини;
- 4 – млин «Гідрофол»; 5 – млин мокрого помелу; 6 – вертикальний шламбасейн;
- 7 – горизонтальний шламбасейн; 8 – обертова піч;
- 9 – холодильник; 10 – клінкерний склад; 11 – млин; 12 – силос

Хімічний склад портландцементного клінкеру, як правило, має наступні межі, %:

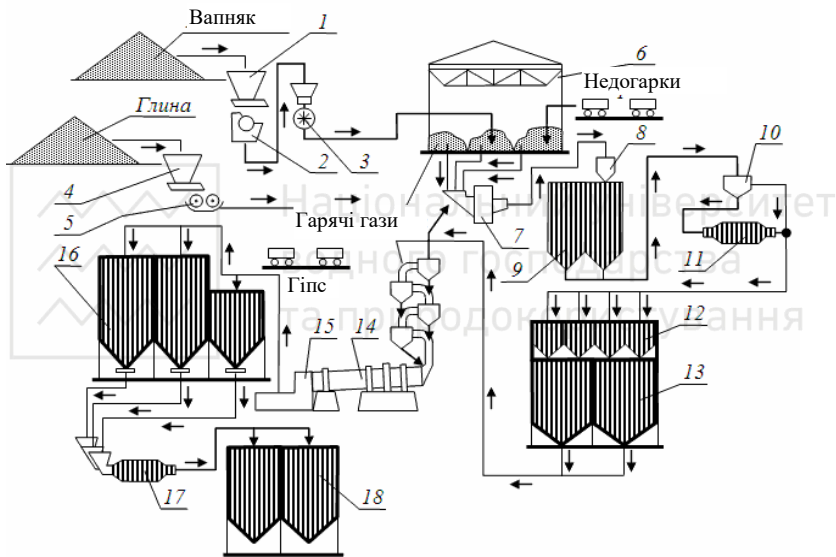
CaO – 63–66	MgO – 0,5–5
SiO <sub>2</sub> – 21–24	SO <sub>3</sub> – 0,3–1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 4–8	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O – 0,4–1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 2–4	TiO <sub>2</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,2–0,5

Основними технологічними операціями виробництва цементного клінкеру є: розробка та підготування сировинних матеріалів, що включають добування, подрібнення і при необхідності їх сушки; отримання однорідної сировинної суміші при



сумісному подрібненні та змішуванні компонентів; випалювання сировинної суміші до спікання, що забезпечує проходження фізико-хімічних процесів клінкероутворення, і охолодження.

Розрізняють два основних способи отримання клінкеру - мокрий та сухий. При мокрому способі сировинна суміш готується та випалюється у вигляді водної суспензії – шламу з вологістю 35–42%. Сухий спосіб передбачає висушування матеріалів до їх сумісного подрібнення. Сировинна суміш при сухому способі надходить на випалювання у порошкоподібному або гранульованому стані (рис. 8.9).



**Рис. 8.9.** Технологічна схема отримання цементу за сухим способом:

- 1 – бункер вапняку; 2 – шокова дробарка; 3 – молоткова дробарка;
- 4 – бункер глини; 5 – валкова дробарка; 6 – об'єднувальний склад сировини;
- 7 – млин «Аерофол»; 8 – циклон-осаджувач; 9 – проміжний силос;
- 10 – сепаратор; 11 – млин; 12 – гомогенізаційний силос; 13 – запасний силос;
- 14 – піч з циклонними теплообмінниками; 15 – холодильник; 16 – склад клінкеру і добавок; 17 – млин; 18 – цементний силос

У багатьох країнах, як і в Україні, найбільш розповсюдженим є мокрий спосіб виробництва клінкеру. Цьому сприяло досягнення при мокрому помелі та змішуванні високої однорідності сировинної



суміші, що сприятливо відбивається на якості клінкеру. Разом з тим при сухому способі виробництва витрати теплоти у 1,5–2 рази нижче ніж при мокрому. В даний час завдяки створенню ефективних конструкцій клінкеровипалювальних печей сухий спосіб отримує більш широке розповсюдження.

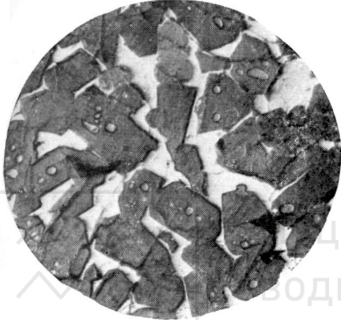
Довжина сучасних печей при мокрому способі досягає 185–230 м, діаметр до 5–7. Продуктивність печі  $5 \times 185$  м становить 1800 т/добу, печі  $7 \times 230$  м – 3000 т/добу. При сухому способі розміри печей значно зменшуються без зниження продуктивності. Так обертові печі з циклонними теплообмінниками мають розміри  $5 \times 75$  і  $7 \times 95$  м, а їх добова продуктивність – 1600 і 3000 т.

Сировинна суміш проходить крізь нахилений барабан печі, співторкається з гарячими газами і зазнає ряд складних фізико-хімічних перетворень. Спочатку із сировинної суміші видаляється механічно зв'язана вода, а потім із глинистого компоненту при  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  – хімічно зв'язана вода. При  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  йде процес дисоціації  $\text{CaCO}_3$ . До температури біля  $1300^\circ\text{C}$  завершуються екзотермічні реакції утворення основних хімічних сполук - мінералів клінкеру: *двокальцієвого силікату* (беліту) —  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , або скорочено  $\text{C}_2\text{S}$ , *трикальцієвого алюмінату*  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , ( $\text{C}_3\text{A}$ ), *чотирикальцієвого алюмофериту*  $4\text{CaO}\cdot\text{A}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ ). При температурі біля  $1300^\circ\text{C}$  починається часткове плавлення сировинної суміші. У розплаві розчиняються  $\text{CaO}$  і  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , в результаті чого стає можливим протікання основної реакції клінкероутворення – реакції насичення двокальцієвого силікату  $\text{CaO}$  до *трикальцієвого силікату* (аліту) –  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  ( $\text{C}_3\text{S}$ ), (рис. 8.10, 8.11). Утворення  $\text{C}_3\text{S}$  йде у зоні спікання печі в інтервалі температур  $1300\text{--}1450^\circ\text{C}$ . У цій зоні завершується утворення конгломератів зерен-гранул клінкеру, основна маса яких має розмір 10–60 мм залежно від складу суміші та типу печі.

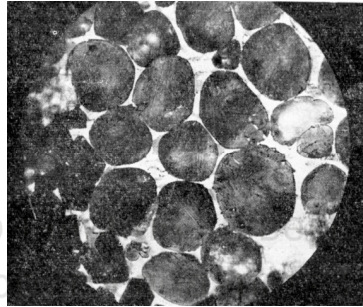
Вміст основних фаз у клінкері прийнято вказувати в перерахунку до основних утворюючих їх мінералів. Він знаходиться в межах, %:  $\text{C}_3\text{S}$  – 50–65;  $\text{C}_3\text{A}$  – 5–12;  $\text{C}_2\text{S}$  – 15–25;  $\text{C}_4\text{AF}$  – 10–20.



Цементний клінкер після охолодження і витримування надходить на помел зазвичай до трубних кульових млинів з продуктивністю до 50–100 г/год. До млинів вводять необхідну кількість гіпсового каменя, що забезпечує вміст у цементі до 3,5%  $\text{SO}_3$  для регулювання строків тужавлення. При помелі до складу портландцементу можуть бути також введені активні мінеральні добавки для його здешевлення, покращення водостійкості та деяких інших властивостей. Вид і вміст добавок залежить від типу цементу.



**Рис. 8.10.** Кристали аліту  
в клінкері



**Рис. 8.11.** Кристали беліту  
в клінкері

Основним стандартним показником, що характеризує тонкість помелу цементу, є залишок на ситі № 008. Він показує вміст у портландцементі фракції більше 80 мкм. Цей показник не повинен бути більше 15%.

Більш об'єктивним показником тонкості помелу цементу, що відображає загальний вміст у ньому зерен, які приймають активну участь у процесах гідратації й тверднення, є величина його *питомої поверхні*, яка характеризує сумарну поверхню зерен в одиниці маси або об'єму. Цей показник, визначається вимірюванням повітропроникності шару цементного порошку (за Блейном), для рядових портландцементів він знаходиться в межах 250–280  $\text{м}^2/\text{кг}$  і досягає 400–450  $\text{м}^2/\text{кг}$  для швидкотверднучих і високоміцних цементів.

Цемент з помельної установки надходить до силосного складу, обладнаного пневматичними пристроями для розрихлення, усереднення та вивантаження.



Портландцемент відвантажують у клапанних паперових мішках або навалом у спеціальних транспортних засобах, автоцементовозах або залізничних цементовозах, критих вагонах і т.д. Цементи повинні зберігатися окремо за видами і марками у стаціонарних і пересувних автоматизованих складах (силосах) або у спеціальних контейнерах та бункерах, що мають пристрій для прийому та видачі цементу. У паспорті на цемент, що видає завод-виготовлювач, вказується номер партії, повне найменування цементу та його гарантована марка, вид і кількість добавок, нормальна густина цементного тіста, середня активність цементу при пропарюванні та інші відомості.

**Тверднення портландцементу.** Тверднення портландцементу є результатом комплексу хімічних та фізико-хімічних процесів, що відбуваються після замішування його водою. В результаті взаємодії мінералів, що містяться у цементі, з водою утворюються нові сполуки – гідрати. Продуктами гідратації і гідролізу мінералів – силікатів такими сполуками є гідросилікати і гідроксид кальцію. Процес гідратації трикальцієвого силікату  $C_3S$  можна за певних умов представити рівнянням:



Склад гідросилікатів, що утворюються при реакції, залежить від температури та концентрації гідроксиду кальцію. Продуктами гідратації алюмінатної та алюмоферитної фаз є відповідно гідроалюмінати і гідроферити.

Трикальційовий алюмінат  $C_3A$  у присутності гіпсу, що міститься у цементі, і води утворює гідросульфоалюмінат кальцію (еттрингіт)  $3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ , що сповільнює початок тужавлення цементного тіста.

Відповідно до теорії Ле Шательє (*кристалізаційна теорія*) гідратація цементу відбувається через розчин. Внаслідок більш високої розчинності клінкерних мінералів у порівнянні з кристалогідратами, останні, утворюючи перенасичені розчини, виділяються з цементно-водної суспензії та формують кристалічний зросток.





За колоїдною теорію Міхаеліса вода безпосередньо взаємодіє з поверхнею цементних мінералів і процеси гідратації проходять без їхнього розчинення (*топохімічний механізм*). Утворені колоїдні системи – гідрогелі в результаті внутрішнього відсмоктування води зневоднюються, що сприяє твердненню і утворенню цементного каменю.

Незважаючи на численні дослідження до теперішнього часу ще не розроблена єдина теорія твердіння цементу. У відповідності із сучасними уявленнями, розвинутими під керівництвом акад. П.О.Ребіндера, з перенасиченого розчину, що утворюється при взаємодії цементу з водою, новоутворення кристалізуються в два етапи. Протягом першого відбувається формування каркасу із виникненням контактів зрощування між кристалами новоутворень. При цьому можливий також ріст кристалів, що зрощуються між собою. Протягом другого етапу нові контакти не виникають, а відбувається лише зростання каркасу, який уже утворився, тобто ріст кристалів, що його складають. В результаті збільшується міцність цементного каменя, однак можуть виникнути і внутрішні розтягуючі напруження. Вирішальну роль відіграє перенасичення розчину. При низькому перенасиченні кількість кристалів невелика і вони не зрощуються. Для найбільшої міцності штучного каменя необхідні оптимальні умови гідратації, що забезпечують виникнення новоутворень достатньої величини при мінімальних напруженнях.

Тверднення портландцементу в значній мірі залежить від температурно-вологісних умов. Так, зниження температури від 20 до 5° С сповільнює твердіння у 2–3 рази, а підвищення до 80° С збільшує швидкість гідратації в 6 разів. При температурі нижче –10° С гідратація цементу практично припиняється.

Нормальне протікання процесів тверднення можливе лише при достатній вологості середовища, підвищення температури не повинно супроводжуватися висушуванням. Прискорення фізико-хімічних процесів тверднення портландцементу при теплової обробці (пропарюванні, електропрогріві тощо) дозволяє одержати в короткий строк бетонні та залізобетонні вироби з необхідною відпущеною міцністю.

**Властивості портландцементу.** *Густина* (істинна густина) портландцементу характеризує його масу в одиниці



об'єму без урахування пор і пустот, тобто в абсолютно щільному стані. Вона коливається в діапазоні 3,1–3,2 г/см<sup>3</sup>.

Для пуцоланових і шлакових портландцементів, що містять підвищену кількість мінеральних добавок, густина знаходиться в діапазоні 2,7–2,9 г/см<sup>3</sup>.

Показник густини портландцементу використовують в різних технологічних розрахунках, наприклад, при визначенні складів бетонних сумішей. Із зменшенням густини збільшується об'єм, що займає портландцемент при постійній масі.

*Насипна густина* портландцементу враховує об'єм міжзернових пустот. Для портландцементу в сипкому стані вона коливається в межах 900–1100 кг/м<sup>3</sup>, ущільненому – 1400–1700 кг/м<sup>3</sup>. Насипна густина суттєво знижується при збільшенні тонкості помелу цементу. Показник насипної густини використовується при розрахунку місткості складських приміщень, бункерів і силосних банок для зберігання цементу, враховується при виборі транспортних засобів для його перевезення та ін. Для врахування маси цементів при зберіганні в силосах приймається зазвичай насипна густина для портландцементу 1450 і шлакопортландцементу 1250 кг/м<sup>3</sup>.

Водопотребу цементу умовно характеризують *нормальною густиною*, тобто кількістю води у відсотках від маси цементу, необхідної для надання цементному тісту стандартної консистенції. Така консистенція характеризується певним зануренням в цементне тісто товчачика приладу Віка. Він не повинен доходити на 5–7 мм до пластинки, на якій встановлено заповнене тістом кільце.

Нормальна густина портландцементу знаходиться в межах 24–28%. Вона збільшується із збільшенням в цементі вмісту алюмінатів, вологоємних мінеральних добавок осадового походження, таких як опока, трепел, діатоміт та ін. Пуцоланові портландцементи мають нормальну густиною 30–35%. Дещо збільшує нормальну густиною цементу підвищення його питомої поверхні.

Найефективнішим технологічним прийомом зменшення нормальної густини цементу є введення до його складу пластифікуючих ПАВ. Сучасні добавки суперпластифікатори



дають можливість знизити нормальну густоту цементу до 17–18%. При такій нормальній густоті вміст води достатній практично лише для хімічного зв'язування цементу.

Із збільшенням нормальної густоти зростає кількість надмірної води в цементному тісті і збільшується капілярна пористість цементного каменю, з якою тісно пов'язана міцність, морозостійкість, усадка, корозійна стійкість бетонів і розчинів.

*Тужавлення цементного тіста* супроводжується втратою його пластичності і характеризується здатністю витримувати мінімальне навантаження, що вимірюється зусиллям, створеним голкою приладу Віка.

Весь період тужавлення умовно поділяють на початок і кінець. Початком тужавлення цементного тіста вважається час, що пройшов від моменту замішування, до того моменту, коли голка приладу Віка не доходить до пластинки, на якій встановлено кільце, на 1–2 мм. Кінець тужавлення вважається час від початку замішування до моменту, коли голка занурюватиметься в тісто не більше ніж на 1 мм. Початок та кінець тужавлення цементів нормуються в межах зручних для виготовлення розчинів і бетонів. Початок тужавлення повинен наступати не раніше ніж через 60 хв. для цементів марок 300, 400, 500. Кінець тужавлення для цементу повинен наступати не пізніше 10 год.

Регулювання строків тужавлення забезпечують за рахунок введення в портландцемент добавки двоводного гіпсу. Без введення добавки гіпсу цемент тужавіє практично миттєво. Сповільнююча дія гіпсу пов'язана з утворенням на поверхні зерен С<sub>3</sub>A (найбільш швидкотверднучої фази цементу) захисних оболонок гідросульфатоалюмінату кальцію.

Швидкість тужавлення цементу залежить від багатьох факторів. Вона прискорюється з підвищенням температури, зменшенням водоцементного відношення, підвищенням питомої поверхні цементу.

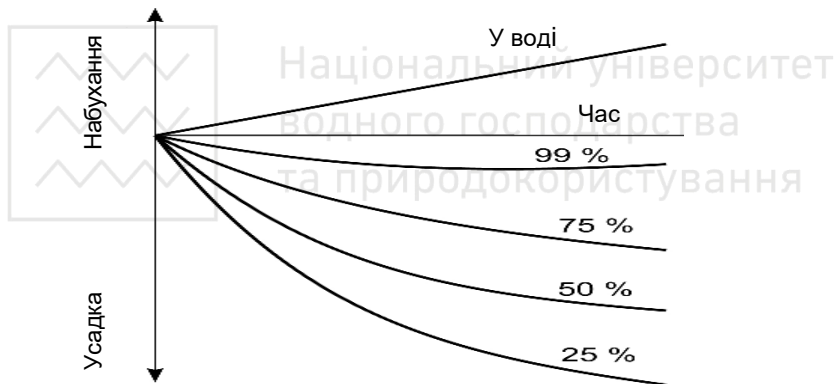
Процеси тверднення цементу супроводжуються об'ємними змінами цементного каменю. Для кондиційного портландцементу об'ємні зміни при переході з пластичного тіста в твердий стан не повинні супроводжуватися недопустимими деформаціями і утворенням тріщин. Цією



вимогою обумовлена обов'язковість випробування цементу на рівномірність зміни об'єму, передбаченого діючим стандартом.

Рівномірність зміни об'єму при стандартних випробуваннях цементу оцінюють візуально за деформацією і появою тріщин на зразках-коржиках (діаметром 70–80 і завтовшки 10 мм) з цементного тіста нормальної густоти, що піддають кип'ятінню після 24 год тверднення в нормальних вологісних умовах. Основною причиною нерівномірної зміни об'єму цементного каменю є гідратація в ньому оксидів кальцію і магнію, що залишилися у вільному стані після випалення клінкеру.

Зміна вологості цементного каменю може викликати як зменшення, так і збільшення його об'єму і відповідно лінійні деформації усадки або розширення (набухання) (рис. 8.12).



**Рис. 8.12.** Набухання і усадка цементних зразків при їх твердненні у воді і в повітряному середовищі з різною відносною вологістю ( $W=25\text{--}99\%$ )

Проектну міцність цементу згідно ДСТУ БВ.2.7-46:2010 (табл. 8.5) визначають його *маркою* – найближчим значенням середньої міцності на стиск зразків цементно-піщаного розчину (МПА·10) у віці 28 діб до регламентованої стандартом. Розчин готують з суміші цементу і стандартизованого фракційованого піску у співвідношенні 1:3 (за масою) при водоцементному відношенні  $V/C=0,39$ . Консистенція розчинової суміші за розпливом на струшуючому столику повинна бути не менше 106 мм.



Зразки-балочки тверднуть 24 год у формі над водою, а після розформування – 27 діб у воді. В контрольний термін три зразки-балочки випробовують на міцність при згині, а їх половинки – на стиск. Крім 28-добової міцності для марок цементу М300 і М400 нормується також міцність на стиск у віці 7 діб, а для марки цементу М500 і швидкотверднучих цементів марок М400р і М500р – 2 доби.

Таблиця 8.5

Марки і міцність цементів на стиск за ДСТУ БВ.2.7-46:2010

Марка цементу (М)	Міцність на стиск, МПа, у віці		
	2 доби	7 діб	28 діб
300	-	15,0	30,0
400	-	20,0	40,0
400р	15,0	-	40,0
500	15,0	-	50,0
500р	25,0	-	50,0

На значення активності портландцементу – границі його міцності на стиск в 28-добовому віці, а, відповідно, на значення марки і класу за міцністю впливають, переважно, хіміко-мінералогічний склад і структура клінкеру, речовинний і зерновий склад, питома поверхня.

Основних факторів які впливають на міцність цементу, яка визначається його маркою або класом є вміст в клінкері (рис. 8.13) аліту. Суттєво впливають також співвідношення вмісту різних мінералів, вміст гіпсу, різних домішок та добавок.

Міцність цементу, особливо у ранньому віці, підвищується зі збільшенням питомої поверхні. У надміцних швидкотверднучих цементах до 95% за масою представлено частинками не більше 30 мкм при вмісті зерен менше 5 мкм до 30%.

Поряд з потенціальною активністю цементу, обумовленою складом, структурою та дисперсністю на міцність, яку він проявляє у розчинах та бетонах, суттєво впливають умови його зберігання, використання та тверднення. Портландцемент не бажано довго зберігати на складах, оскільки під дією водяної пари та вуглекислоти повітря активність його знижується.



**Рис. 8.13.** Кінетика зростання міцності мономінерального каменю в часі: 1 –  $C_3S$ ; 2 –  $\beta - C_2S$ ; 3 –  $C_3A$ ; 4 –  $C_2(A, F)$

Згідно адаптованої європейської норми ДСТУ ЕН 197-1 міцність цементів оцінюється за *класами* (табл. 8.6). Клас міцності характеризує міцність на стиск, яку повинен мати цемент у 28 добовому віці при довірчій імовірності 95%.

Зразки-балочки готують при співвідношенні цемент:стандартний поліфракційний пісок 1:3 і  $V/C=0,5$ .

При відвантаженні цементу завод встановлює гарантовану марку на основі короткострокових випробувань цементу, а також за даними оперативного технологічного контролю (якості клінкеру, виду і кількості добавок, тонкості помелу цементу та ін.).

Таблиця 8.6

Класи цементів за міцністю

Клас міцності цементу	Міцність на стиск, МПа, у віці			
	2 діб, не менше	7 діб, не менше	28 діб	
			не менше	не більше
22,5N	-	11	22,5	42,5
32,5N	-	16	32,5	52,5
32,5R	10	-		
42,5N	10	-	42,5	62,5
42,5R	20	-		
52,5N	20	-	52,5	-
52,5R	30	-		

Примітка: N – нормальнотверднучий, R – швидкотверднучий.



**Різновиди портландцементів.** Численні різновиди цементів на основі портландцементного клінкеру поділяють на цементи загальнобудівельного і спеціального призначення.

За речовинним складом цементи загальнобудівельного призначення поділяють на п'ять типів (табл. 8.7):

Тип I – портландцемент;

Тип II – портландцемент з мінеральними добавками від 6% до 35%;

Тип III – шлакопортландцемент (від 36% до 95% гранульованого доменного шлаку);

Тип IV – пуцолановий цемент (від 21% до 55% мінеральних добавок);

Тип V – композиційний цемент (від 36% до 80% мінеральних добавок).

Цементи типів II, IV, V поділяють за вмістом компонентів на групи А і Б, а типу III – на А, Б і В (табл. 8.7).

Крім мінеральних добавок (гранульованого доменного шлаку, пуцоланових матеріалів, золи-винесення, вапняку) в цементі можуть бути введені інші добавки для удосконалення виробництва або властивостей цементу (інтенсифікатори помелу, пластифікуючі, гідрофобізуючі та ін.). Їх загальний вміст не повинен перевищувати 1% за масою. Вміст органічних добавок у цементі не повинен перевищувати 0,5% за масою.

При умовному позначенні цементу вказують його тип, марку, вид мінеральних добавок і спеціальні ознаки (висока міцність в ранньому віці – Р; пластифікація і гідрофобізація ПЛ і ГФ, нормованість мінералогії – Н).

До цементів спеціального призначення можна віднести швидкотверднучі високоміцні, пластифіковані і гідрофобні, сульфатостійкі, дорожні, тампонажні, білі і кольорові та деякі інші види цементів, які мають ряд особливих властивостей, що визначають їх область застосування.

Для швидкотверднучих цементів (ШТЦ) міцність на стиск при випробуваннях згідно ДСТУ БВ.2.7-187:2009 досягає через 2 доби не менше 40–50% 28-добової.



Таблиця 8.7

Типи і склад цементів загальнобудівельного призначення

Тип цементу	Найменування цементу	Умовна позначка цементу	Речовинний склад цементу, у відсотках за масою <sup>1)</sup>					
			Основні компоненти					Додаткові компоненти
			Портландцементний К	Гранульований доменний шлак Ш	Пуцоланові матеріали П	Зола-винесення З	Вапняк В	
I	Портландцемент	ПЦ I	95-100	-	-	-	-	0-5
II	Портландцемент зі шлаком	ПЦ II/A-Ш	80-94	6-20	-	-	-	0-5
		ПЦ II/Б-Ш	65-79	21-35	-	-	-	0-5
	Портландцемент з пуцоланою	ПЦ II/A-П	80-94	-	6-20	-	-	0-5
	Портландцемент з зола-винесення	ПЦ II/A-З	80-94	-	-	6-20	-	0-5
	Портландцемент з вапняком	ПЦ II/A-В	80-94	-	-	-	6-20	0-5
	Портландцемент композиційний <sup>2)</sup>	ПЦ II/A-К	80-94	← 6-20 →			→ 0-5	
ПЦ II/Б-К		65-79	← 21-35 →			→ 0-5		
III	Шлакопортландцемент	ШПЦ III/A	35-64	36-65	-	-	-	0-5
		ШПЦ III/Б	20-34	66-80	-	-	-	0-5
		ШПЦ III/В	5-19	81-95	-	-	-	0-5
IV	Пуцолановий цемент	ПЦЦ IV/A	65-79	-	← 21-35 →		→ 0-5	
		ПЦЦ IV/Б	45-64	-	← 36-55 →		→ 0-5	
У	Композиційний цемент <sup>2)</sup>	КЦ У/A	40-64	18-40	← 10-20 →		→ 0-5	
		КЦ У/Б	20-39	41-60	← 20-40 →		→ 0-5	
<sup>1)</sup> Значення в таблиці відносяться до суми основних та додаткових компонентів цементу, що прийнята за 100%, і не враховують кількість добавок, що містять кальційсульфат і технологічні добавки								





До високоміцних (ВМЦ) належать цементи з активністю у 28-добовому віці 55–60 МПа і більше.

У ШТЦ і ВМЦ вміст  $C_3S+C_3A$  досягає 65–70% і більше, вміст фракцій цементу розміром менше 30 мкм повинен складати не менше 65–75%, залежно від марки портландцементу він може досягати 80%.

*В'язучі низької водопотреби (ВНВ)* отримують сумісним тонким помелом клінкеру або готового портландцементу і активних мінеральних добавок у присутності порошкоподібного суперпласифікатора. Відмінними особливостями ВНВ є висока дисперсність ( $S_{штп}=4000\text{--}5000\text{ см}^2/\text{г}$ ), низька водопотреба (нормальна густина до 18%), висока активність (до 100 МПа і вище).

Можливим є випуск як чистоклінкерних ВНВ (ВНВ-100), так і багатокомпонентних в'язучих з різним вмістом мінеральних добавок (ВНВ-30, ВНВ-50 та ін.).

*Пластифіковані і гідрофобні цементи* отримують при введенні в процесі їх подрібнення гідрофілізуючих (пластифікований цемент) або гідрофобізуючих (гідрофобний цемент) поверхнево-активних речовин (ПАР).

Застосування пластифікованого портландцементу дає можливість без збільшення витрати води отримати бетонну чи розчинову суміш більшої рухомості і полегшити її вкладання або при незмінній рухомості і водоцементному відношенні знизити на 8–12% витрату цементу. При збереженні встановленої витрати цементу і необхідної рухомості зменшується водоцементне відношення суміші, що призводить до підвищення міцності, морозостійкості та водонепроникності бетонів та розчинів.

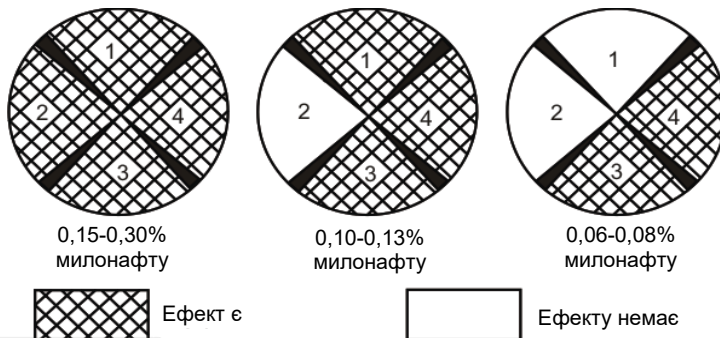
Технологічний ефект при гідрофобізації цементу залежить від вмісту ПАР (рис. 8.14).

До групи *сульфатостійких цементів*, що випускаються цементною промисловістю, відносяться, окрім сульфатостійкого портландцементу, сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками, сульфатостійкий шлакопортландцемент і пуцолановий портландцемент.

В клінкері сульфатостійкого портландцементу вміст  $C_3S$  повинен не перевищувати 50%,  $C_3A$  – 5%,  $C_3A+C_4AF$  – 22%. Менш суворі обмеження стосуються мінералогічного складу



клінкеру інших видів сульфатостійких цементів для яких нормується лише вміст  $C_3A \leq 8\%$ . Для всіх видів сульфатостійких цементів вміст в клінкері  $Al_2O_3$  і  $MgO$  не повинен перевищувати 5%.



**Рис. 8.14.** Технологічний ефект при гідрофобізації цементів (за М.І. Хігеровичем):

- 1 – інтенсифікація помелу; 2 – збереження активності;  
3 – пластифікація розчинів і бетонів; 4 – підвищення стійкості бетонів та розчинів

В сульфатостійкий портландцемент не дозволяється вводити мінеральні добавки, його виготовляють однієї марки – 400. Сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками містить понад 10 і не більше 20% добавок, його марки – 400 і 500.

*Цементи з низькою та помірною екзотермією застосовують для зведення масивних гідротехнічних споруд. До низькотермічних належать цементи з величиною тепловиділення в 3-добовому віці не більше 230 Дж/г, в 7-добовому – не більше 270 Дж/г при випробуванні термосним методом. Помірно термічними вважають цементи з величиною тепловиділення в 7-добовому віці не більше 315 Дж/г.*

Для зниження екзотермії цементів забезпечують відповідний мінералогічний склад клінкеру зменшуючи вміст алітової та алюмінатної фаз, а також вводять доменний шлак, золу-винесення, інші активні мінеральні добавки і поверхнево-активні речовини.



*Цементи для бетону дорожніх і аеродромних покриттів* застосовують з підвищеним вмістом алітової фази, пластифікуючими і гідрофобізуючими ПАР. Їх виготовляють на основі клінкеру з вмістом  $C_3A$  не більше 8% марок 400–500, з питомою поверхнею не менше  $2800 \text{ см}^2/\text{г}$ . На властивості дорожніх цементів позитивно впливає підвищений вміст у цементі алюмоферитів. З мінеральних добавок у цемент дозволяється вводити лише доменний гранульований шлак у кількості не більше 15%. Початок тужавлення портландцементу повинен наступати не раніше 2 год. За погодженням споживача допускаються і інші строки тужавлення з урахуванням відстані, на яку необхідно транспортувати бетонну суміш.

*Тампонажні цементы* призначені для цементування нафтових та газових свердловин. Для цементів цього виду важливо забезпечити високу текучість при мінімальному водовмісті. Розтікання цементного тіста з 50% води повинно складати не менше 180 мм.

Тампонажний цемент для «холодних» свердловин виготовляють з клінкеру, що містить  $C_3S+C_3A \geq 60\%$ , помелом його до питомої поверхні  $2700\text{--}3500 \text{ см}^2/\text{г}$ . Для «гарячих» свердловин випускають цементы, що містять 3–4%  $C_3A$ . При такому низькому вмісті трикальцієвого алюмінату можна забезпечити необхідні строки тужавлення цементу при підвищених температурах.

Спеціальні цементы, що дають при твердінні приріст об'єму, називають *розширними*.

Цементи, що розширюються, як правило є змішаними і складаються з основної в'язучої речовини та добавки, яка розширюється. Розширення цементного каменя відбувається, як правило, за рахунок хімічної взаємодії компонентів добавки та утворення гідросульфалюмінатів кальцію, а також  $Ca(OH)_2$  та  $Mg(OH)_2$ .

*Напружуючі цементы* є різновидом цементів, що розширюються. Вони мають енергію розширення, достатню для натягування арматури в залізобетонних конструкціях, їх поділяють на цементы з малою НЦ-10 (до 1 МПа), НЦ 20 (до 2 МПа), середньою НЦ 40 (до 4 МПа) та високою НЦ 60 (до 6 МПа) енергією розширення.



Напружуючий портландцемент отримують шляхом тонкого подрібнення 65–70% портландцементного клінкеру, 16–20% високоглиноземистого шлаку та 14–16% гіпсу.

До групи декоративних належать білий та кольорові цементи.

*Білий цемент* є продуктом сумісного помелу білого клінкеру з необхідною кількістю гіпсу. Білий колір клінкеру забезпечується в результаті зведення до мінімуму вмісту забарвлюючих оксидів, в першу чергу оксидів заліза і марганцю. В кращих зразках білого портландцементу міститься не більше 0,25–0,35%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і 0,005–0,0015%  $\text{MnO}$ .

За речовинним складом білі портландцементи поділяють на цементи без мінеральних добавок і з добавками. У цементі з добавками допускається введення до 20% активних мінеральних добавок і наповнювачів у т.ч. до 10% активних мінеральних добавок осадового походження і до 10% добавок – наповнювачів.

*Кольорові портландцементи* отримують сумісним тонким помелом білого або кольорового цементного клінкеру, активної мінеральної добавки і гіпсу.

До числа традиційних пігментів для отримання кольорових цементів, які мають достатню фарбуючу здатність, стійкість до лугів, сонячного світла та атмосферних впливів можна віднести такі пігменти як вохра, що надає цементу жовтий колір, сурик – червоний, оксид хрому – зелений, оксиди кобальту і ультрамарину – голубий, марганцю – чорний і коричневий, вуглецеві пігменти – чорний.

Розроблений спосіб синтетичного забарвлювання цементу, шляхом додавання в сировинну шихту малих кількостей сполук металів, що надають певний колір клінкеру в процесі його випалювання. Такі кольорові цементи названі клінкерними на відміну від змішаних цементів з добавкою пігментів.

*Алюмінатні та лужні цементи.* До алюмінатних відносяться глиноземистий і високоглиноземистий цементи. Якщо у глиноземистих цементів вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  знаходиться у межах 30–50%, то у високо-глиноземистих він сягає до 70–80%.

Від інших мінеральних в'язучих глиноземистий цемент відрізняється, насамперед, високою міцністю, яка досягається в



ранньому віці (рис. 8.15) і обумовлена переважанням у його складі мінералу  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (CA). Уже через 1 добу він набирає міцність близьку до максимальної. Швидка гідратація цього цементу призводить до інтенсивного виділення ним теплоти, що дає можливість йому інтенсивно тверднути при знижених температурах (5–10° С) на відміну від портландцементу.

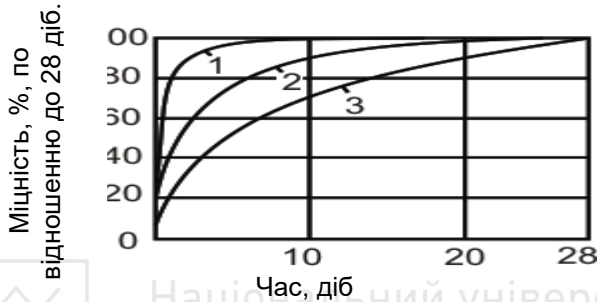


Рис. 8.15. Крива зростання міцності різних цементів:

1 – глиноземистий цемент; 2 – швидкотверднучий портландцемент;

3 – звичайний портландцемент

Глиноземистий цемент має більш високу сульфатостійкість, ніж інші мінеральні в'язучі. Ще однією важливою особливістю глиноземистого цементу є стійкість при дії високих температур, що відкриває можливість виготовлення на його основі вогнетривких бетонів.

Глиноземовміщуючими сировинними матеріалами для отримання глиноземистого цементу слугують боксити – осадові гірські породи, що складаються переважно з гідроксиду алюмінію. У суміші з бокситами чи іншими глиноземовміщуючими компонентами використовують вапняки, а в окремих випадках випалене вапно.

Глиноземистий цемент способом плавлення отримують у доменних або електричних печах. Також, можливе застосування плавильних печей інших конструкцій. Способом спікання однорідна суміш бокситу і вапняку випалюється в обертових печах.

За міцністю на стиск у віці 3 доби цементи поділяють на марки: для глиноземистого цементу – ГЦ-40; 50 і 60, високо-



глиноземистих – ВГЦ I – 35, ВГЦ II – 25 і 35, ВГЦ III – 25.

До *лужних цементів* належать гідралічні в'язучі речовини, що складаються з алюмосилікатного компонента аморфної, скловидної або нестабільної кристалічної структури і сполук лужних металів. Основи теорії і технології лужних цементів запропоновані В.Д. Глуховським і розвиваються його науковою школою.

Найбільш поширеними є *шлаколуужні цементи*, які отримують сумісним помелом гранульованого доменного шлаку або електротермофосфатного шлаку та малогіроскопічного лужного компоненту, або заміщенням меленого шлаку сполуками натрію або калію. Частина шлаку в шлаколуужному цементі може бути замінена золою-винесення.

Цементний камінь із шлаколуужного цементу має ряд особливостей: низьку екзотерію, меншу капілярну пористість, стійкість в умовах низьких температур, у водному середовищі як з низькою гідрокарбонатною жорсткістю, так і високим рівнем мінералізації.

На даний час в будівництві є багаторічний успішний досвід застосування шлаколуужних цементів для отримання бетонних і залізобетонних конструкцій різного призначення, в т.ч. і достатньо відповідальних, які працюють в складних експлуатаційних умовах. Розроблені технології високоміцних і швидкотверднучих, безусадочних, жаростійких, сульфатостійких і декоративних шлаколуужних цементів.



## 9. ОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

В групу органічних входять бітумні, дьогтеві, а також в'язучі матеріали на основі синтетичних полімерів.

### 9.1. Бітумні та дьогтеві в'язучі

До групи бітумних і дьогтьових в'язучих входять органічні матеріали коагуляційного тверднення, що складаються переважно з високомолекулярних вуглеводнів і їх неметалічних похідних.

На основі бітумних і дьогтьових в'язучих отримують багато гідроізоляційних, покрівельних, дорожніх, антикорозійних, теплоізоляційних та інших матеріалів. При великій різноманітності властивостей їх об'єднує підвищена водо- і хімічна стійкість, адгезійна здатність, стійкість до різноманітних механічних впливів, термопластичність та ін. Найбільше застосування бітумні та дьогтьові в'язучі знаходять в дорожньому будівництві.

**Бітумні в'язучі.** Бітумні в'язучі речовини складаються з високомолекулярних вуглеводнів нафтового, метанового і ароматичного рядів та продуктів їх взаємодії з киснем, сіркою, азотом.

Відмінності у властивостях бітумів, їх фізичному стані пов'язані з різним вмістом окремих груп вуглеводнів: масел, смол, асфальтенів, карбенів, карбоїдів, асфальтогенних кислот і їх ангідридів, парафінів. Приблизний груповий склад бітуму: масла 40–60, смоли 20–40, асфальтени 10–25, карбени і карбоїди 1–3, асфальтогенні кислоти та їх ангідриди – 1%.

*Масла* складаються з вуглеводнів з молекулярною масою 300–800. Вони надають бітумам текучість, збільшують випаровуваність та знижують температуру розм'якшення.

*Смоли* складаються в основному з гетероциклічних ароматичних вуглеводнів з молекулярною масою 600–1000. Ці сполуки поверхнево-активні, вони мають гарну адгезію до кам'яних матеріалів, утворюючи водостійкі плівки. Вмістом смол зумовлена пластичність і еластичність бітумів. Під впливом



окислювачів і адсорбентів смоли ущільнюються з утворенням асфальтенів.

*Асфальтени* відрізняються від смол значно вищою (у 2–3 рази) молекулярною масою. Для більшості бітумів при нормальній температурі вони являють собою тверді тіла. Вміст асфальтенів визначає температурну стійкість, в'язкість і твердість бітумів.

*Карбени і карбоїди* за складом і властивостями близькі до асфальтенів, але містять більше вуглецю. Вони зустрічаються переважно у крекінг-бітумах.

*Асфальтенові кислоти* та їх ангідриди – найбільш полярні і активні компоненти бітумних в'язучих. Зі збільшенням їх вмісту поліпшується адгезія в'язучих і особливо – до карбонатних матеріалів.

*Парафіни* – тверді метанові вуглеводні, вміст яких залежить у бітумах від складу вихідної нафти. При вмісті парафінів у бітумі до 3,5% вони не мають істотного впливу на його властивості, при більшому вмісті знижуються його розтяжність, температура переходу в рідкий стан, підвищується температура затвердіння.

Структуру бітумів розглядають з позицій міцелярної і макромолекулярної теорій.

Відповідно до більш ранньої міцелярної теорії основними структурними елементами бітуму вважають колоїдні утворення – *міцели*, що включають асфальтени, оточені смолами. Міцели суспензовані у масляному середовищі. Залежно від вмісту окремих компонентів бітум утворює різні дисперсні структури (гель, золь, золь-гель) з певними фізико-механічними властивостями.

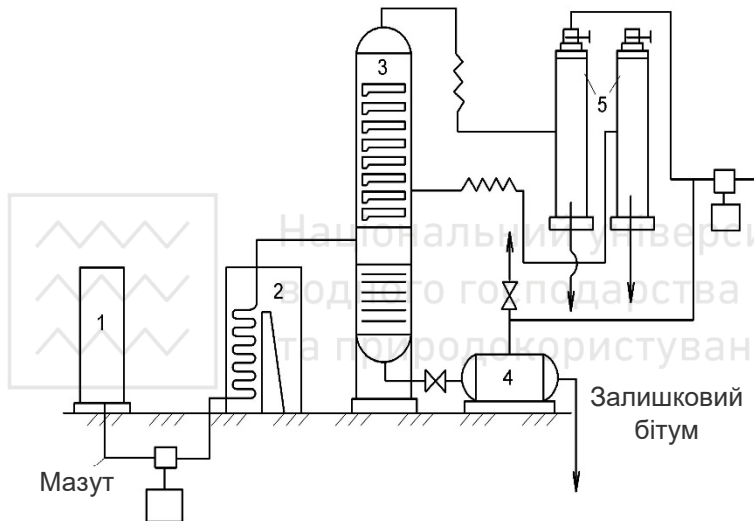
З позицій сучасної макромолекулярної теорії бітуми є розчинами сумішей високомолекулярних вуглеводнів і їх похідних. Залежно від складу і зовнішніх умов (температури, тиску) бітуми можуть перебувати в різних структурно-морфологічних станах, проходячи послідовно всі стадії від справжніх і колоїдних розчинів до пластичних і твердих тіл.

*Нафтові бітуми* отримують як кінцеві продукти прямої перегонки чи крекінгу нафти.





Залежно від способу одержання розрізняють два основних види нафтового бітуму – залишковий і окислений. *Залишковий бітум* утворюється як залишок після відгонки масел з мазутів та гудронів (рис. 9.1). Вихід залишкового бітуму при перегонці ароматичних нафт може досягати 15%. Залишкові бітуми вміщують асфальтени в невеликій кількості, тому мають в'язку консистенцію і відносяться до найбільш м'яких сортів.

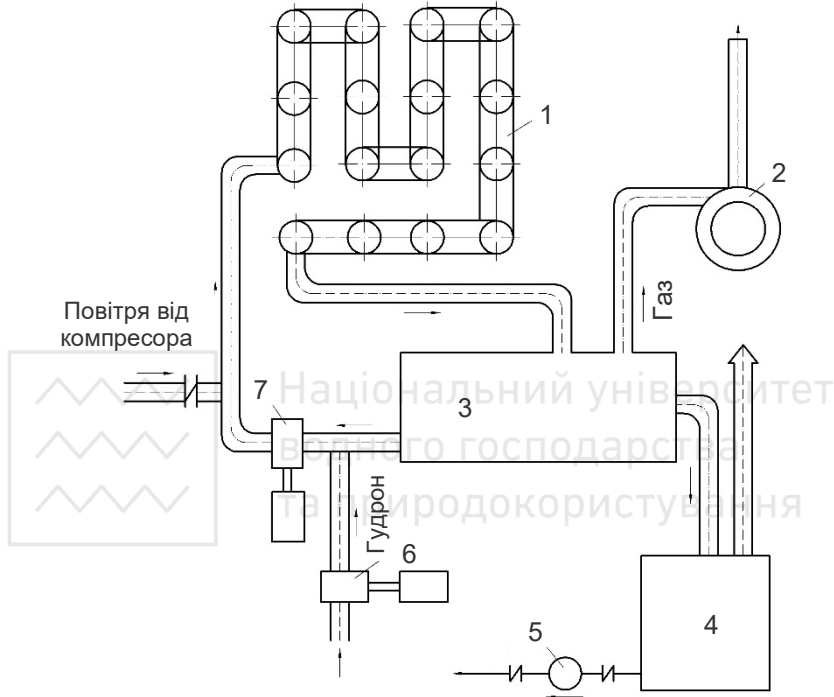


**Рис. 9.1.** Технологічна схема виробництва залишкового бітуму:  
1 – мірний вимірювач для сировини; 2 – трубчаста піч;  
3 – вакуумна колона; 4 – бак для готового продукту;  
5 – конденсатори

*Окислений бітум* одержують шляхом окислення повітрям гудронів чи залишкових бітумів при температурі 180–280° С (рис. 9.2). Під дією кисню при такій температурі проходять складні реакції конденсації, що приводять до збагачення бітуму асфальтенами за рахунок зниження частки масел і смол.



Збільшення частки асфальтенів в окислених бітумах веде до відповідної зміни їх фізико-механічних властивостей – підвищення температури розм'якшення та спалаху, зменшення пенетрації та розтягу.



**Рис. 9.2.** Технологічна схема окислення бітуму на безперервно діючій трубчастій установці:

- 1 – реактор; 2 – циклонна піч для спалювання газу;  
3 – сепаратор; 4 – бак для готового продукту; 5, 6, 7 – насоси

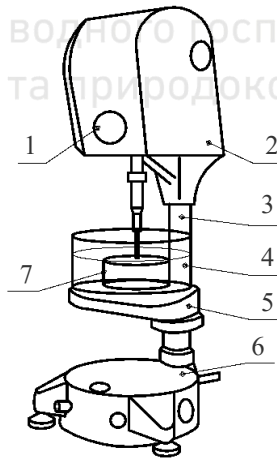
Для виробництва *крекінгових бітумів* використовують нафтопродукти, які піддаються дії високих температур (до 450° С) і тиску (до 5 МПа). Сировина розпадається на більш легкі і стійкі вуглеводи і на продукти розпаду, що утворюють асфальтенсмолисті речовини. Залишкові крекінг-бітуми отримують шляхом перегонки під вакуумом крекінг-залишків та окисленням тих же залишків в кубових або трубчастих



установках повітрям. Крекінг-бітуми мають невисоку атмосферостійкість і розтяжність.

*Природні бітуми* найчастіше просочують деякі (асфальтові) гірські породи (вапняки, доломіт, піщаники). Вилучення бітуму з асфальтових порід доцільне лише, коли його вміст становить не менше 10–15%. З цією метою застосовують після подрібнення породи виварювання бітуму за допомогою гарячої води або екстракцію органічними розчинниками. При меншому вмісті бітумів у породах їх переробляють в порошок і використовують для отримання асфальтових мастик і бетонів.

В'язкість твердих і в'язких бітумів характеризується умовним показником – глибиною проникнення стандартної голки (*пенетрацією*) при дії на неї вантажу масою 100 г протягом 5 с при температурі 25° С і при 0° С (маса 200 г) протягом 60 с. Пенетрацію вимірюють у градусах (1°=0,1 мм) на спеціальних приладах – пенетрометрах (рис. 9.3).



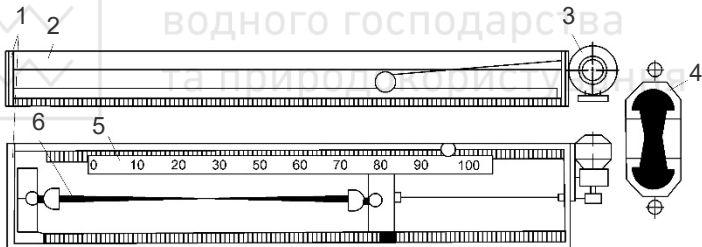
**Рис. 9.3.** Автоматичний пенетрометр для визначення глибини проникання голки в бітум:

- 1 – окуляр для спостереження за відліками; 2 – автоматичний пристрій для занурення голки в бітум; 3 – голка зі стержнем;
- 4 – кристалізатор з водою; 5 – установочний столик;
- 6 – підставка; 7 – чашечка з бітумом



В'язкість рідких бітумів визначають за допомогою стандартного віскозиметра за часом витікання 50 мл в'язучого через калібрований отвір стандартного діаметра.

Для оцінки властивостей бітумів в умовах розтягування проводять випробування на деформативність (*дуктильність*) при 25° С і швидкості розтягування 50 мм/хв. Рекомендується також визначати деформативність бітумів при 0° С. Показником деформативності бітуму служить довжина нитки бітуму в момент розриву, см. Випробування проводять на дуктилометрі (рис. 9.4) при швидкості деформації  $v=8,3 \cdot 10^{-3}$  м/с (5 см/хв). Деформативність бітумів, як і в'язкість, залежить від їх складу, характеру структури і температури. Високі пластичні властивості в'язких бітумів спостерігаються при значному вмісті смол, оптимальному вмісті асфальтенів і незначному вмісті карбенів і карбоїдів. Зі збільшенням в'язкості деформативність бітумів зменшується.



**Рис. 9.4.** Дуктилометр:

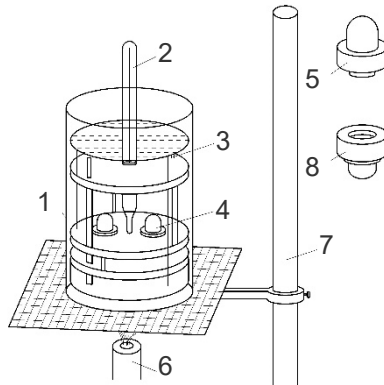
- 1 – посудина; 2 – рівень води; 3 – електродвигун; 4 – в'язуче;  
5 – лінійка; 6 – нитка в'язучого в момент розриву

*Температура розм'якшення*, яка визначається на приладі «Кільце і куля» (рис. 9.5), відповідає в'язкості бітуму, рівній приблизно  $1 \cdot 10^3$  Па·с. Вона зростає при підвищеному вмісті асфальтенів і смол.

За *температуру крихкості* приймають температуру, яка визначається на приладі Фрааса в момент появи першої тріщини на бітумі при згинанні пластинки. Чим нижче температура



крихкості бітумів, тим вище тріщиностійкість матеріалів на їх основі.



**Рис. 9.5.** Прилад «Кільце і куля» для визначення температури розм'якшення бітуму: 1 – скляний стакан; 2 – термометр; 3 – підставка стандартна; 4 – кільце та шар; 5 – початкове положення кулі до нагріву; 6 – газовий пальник; 7 – штатив; 8 – положення кулі в момент нагріву

В технології бітумних матеріалів враховують *температуру спалаху* бітумів. Для в'язких і твердих бітумів вона повинна бути не нижче 180–200, рідких середньогустіючих – 37–60 і повільно густіючих – 100–110° С.

Пенетрація, деформативність і температура розм'якшення – основні нормовані властивості бітумів, що використовуються в різних галузях будівництва.

Залежно від призначення розрізняють дорожні, будівельні, покрівельні і спеціальні бітуми. Основні стандартні вимоги до нафтових бітумів приведені в табл. 9.1, 9.2.



Таблиця 9.1

Основні вимоги до нафтових дорожніх бітумів

Найменування показника	Норма для бітуму марок									
	БНД 200/ 300	Б11Д 130/ 200	БНД 90/ 130	БНД 60/ 90	БНД 40/ 60	БН 200/ 300	БН 130/ 200	БН 90/ 130	БН 60/ 90	
Глибина проникнення голки, 0,1 мм: при 25° С при 0° С, не менше	201-300 45	131-200 35	91-130 28	61-90 20	40-60 13	201-300 24	131-200 18	91-130 15	60-90 10	
Температура розм'якшення по кільцю та кулі, ° С, не нижче	35	40	43	47	51	33	38	41	45	
Розтяжність, см, не менше при 25° С при 0° С	- 20	70 6,0	65 4,0	55 3,5	45 -	- -	80 -	80 -	70 -	
Температура крихкості, ° С, не вище	-20	-18	-17	-15	-12	-14	-12	-10	-6	
Температура спалаху, ° С, не нижче	220	220	230	230	230	220	230	240	240	
Зміна температури розм'якшення після прогріву, ° С, не більше	7	6	5	5	5	8	7	6	6	



Таблиця 9.2

Основні вимоги до будівельних, покрівельних та  
ізоляційних бітумів

Марка бітуму	Температура розм'якшення, °С, не менше	Глибина проникнення голки, 0,1 мм при температурі 25°С, не менше	Розтяжність при температурі 25°С	Температура спалаху, °С не нижче
Бітуми нафтові будівельні				
БН 50/50	50	41–60	40	230
БН 70/30	70	21–40	3,0	240
БН 90/10	90	5–20	1,0	240
Бітуми нафтові покрівельні				
БНК 40/180	37–44	160–210	не нормується	60
БНК 45/190	40–50	160–220		60
БНК 90/130	85–95	25–35		70
Бітуми нафтові ізоляційні				
БНІ – IV-3	65–75	30–50	4,0	250
БНІ – IV	75–85	24–40	3,0	250
БНІ – V	90–100	20–40	2,0	240

Адгезійні властивості бітуму, що впливають на довговічність бітумно-мінеральних матеріалів, характеризуються його активністю, тобто здатністю до міцного зчеплення з поверхнею мінеральних часток. Активність бітумів залежить від вмісту в них поверхнево-активних сполук – асфальтенових кислот і їх ангідридів. Недостатня активність бітумів в необхідних випадках компенсується добавками поверхнево-активних речовин, які поділяють на катіоно- та аніоноактивні.

Бітуми – гідрофобні матеріали, незмочувані і нерозчинні у воді, інертні до водних розчинів мінеральних солей і кислот, що дозволяє їх широко застосовувати для гідроізоляційного та антикорозійного захисту. Агресивно впливають на ці матеріали лужні розчини (вже 10%-ний розчин луго викликає омилення



бітуму) і сильно концентровані кислоти, що мають окислювальну здатність.

Бітуми добре розчиняються в органічних розчинниках особливо неполярного типу (дихлоретані, уайт-спирті, хлороформі та ін.).

Для пластифікації бітуму, зниження його температури крихкості, розширення інтервалу пластичності застосовують добавки пластифікатори, в якості яких використовують рідкі фракції нафти або кам'яновугільної смоли, багаті ароматичними сполуками.

Спеціальні добавки можуть підвищувати або зменшувати в'язкість бітуму. У першому випадку застосовують природні тугоплавкі бітуми-асфальти, гумову крихту, у другому розріджують бітуми нафтою, продуктами вуглехімічної промисловості.

Поліпшення деформативних властивостей бітумів, розширення інтервалу їх пластичності і поліпшення адгезійних властивостей забезпечується також окисленням нафтової сировини в присутності добавок окисленого петролатуму, кубових залишків виробництва синтетичних жирних кислот і деяких інших речовин, що містять важкі вуглеводні. З цією ж метою застосовують добавки синтетичних смол і каучуків в кількості 2...5% за масою.

**Дьогтеві в'язучі.** До дьогтевих в'язучих належать конденсовані продукти деструктивної (без доступу повітря) перегонки твердих видів палива. Найбільшого поширення з дьогтьових в'язучих отримали продукти термічного розкладання кам'яного вугілля. У процесах розкладання кам'яного вугілля при 800–900° С без доступу повітря (коксування, газифікація) поряд з коксом, коксовим газом, бензолом, аміаком та іншими хімічними продуктами отримують смоли («*сирі дьогті*»). Вихід коксу складає 70–77%, газу 15–25%, бензолу та аміаку до 2%, смоли близько 10%. Кам'яновугільні смоли піддають фракційній розгонці, виділяючи легкі, середні, важкі і антраценові масла, отримуючи в залишку *пек*. Пек випускають трьох марок з температурою розм'якшення: А – 65–75° С, Б – 76–83° С, В – 135–150° С.





Дорожні дьогті отримують двома способами: безпосередньо під час дистиляції кам'яновугільної смоли (*залишковий дьоготь* або *м'який пек*) і шляхом змішування висококиплячих фракцій кам'яновугільної смоли і середньотемпературного пеку (*складений дьоготь*). Більшого поширення отримав другий спосіб.

Склад і структура дьогтьових в'язучих більш складні, ніж бітумів. До складу кам'яновугільних смол входять ароматичні вуглеводні, гетероциклічні сполуки, їх похідні. До основних груп речовин, що містяться в кам'яновугільних смолах і дьогтях можна віднести: частинки вугілля, коксу, найбільш багаті вуглецем високомолекулярні сполуки, «вільний вуглець», смоли, масла, феноли, нафталін, антрацен. У смолах міститься до 15% води. Вміст нафталіну, що знижує в'язучі властивості смол в дорожніх дьогтях, не повинен перевищувати 4...7%, фенолів, розчинних у воді, токсичних сполук – 3–5%.

Кам'яновугільні дьогті, як і нафтові бітуми, можна вважати розчинами високомолекулярних сполук. Компоненти дьогтю утворюють складну дисперсну систему, середовищем в якій є масла, а дисперсною фазою – вільний вуглець і тверді смоли.

Кам'яновугільні дорожні дьогті поділяють на марки залежно від в'язкості. В'язкість дьогтів визначається стандартним віскозиметром за часом витікання проби 50 мл через отвори діаметром 5 або 10 мм при температурах 30 і 50° С. Для отримання складеного дьогтю заданої в'язкості змішують разріджувач (масло) і пек в необхідній пропорції, що забезпечує необхідну для даної марки в'язкість.

Для дьогтів характерна порівняно низька пластичність, зумовлена невеликим вмістом в них в'язкопластичних компонентів і наявністю вільного вуглецю. Інтервал пластичності кам'яновугільних дьогтів становить в середньому 40° С, тоді як нафтових бітумів на 15–25° С вище.

Теплостійкість дьогтів менша ніж нафтових бітумів, що пояснюється їх більш грубою дисперсністю і підвищеною плавкістю смол. Зі збільшенням вмісту грубодисперсного вільного вуглецю теплостійкість дьогтів підвищується. Для дьогтів характерна і більш низька водостійкість, внаслідок того,



що вони містять в своєму складі водорозчинні речовини – феноли. Разом з тим, вміст фенолів і деяких інших сполук, що є сильними антисептиками, надає дьогтю виражені антисептичні властивості. Ця особливість дьогтів широко використовується в технології гідроізоляційних матеріалів.

Дьогтеві в'яжучі мають більш високі адгезійні властивості порівняно з нафтовими бітумами. Ця їх позитивна особливість пояснюється вмістом великої кількості речовин з полярними групами.

Старіння дьогтьових в'яжучих відбувається значно інтенсивніше, ніж нафтових бітумів. Під дією сонячного світла і тепла масла, що входять до них, випаровуються в дорожньому покритті і частково полімеризуються. Внаслідок наявності ненасичених зв'язків високомолекулярні сполуки легко піддаються впливу кисню повітря і погодних факторів. Ряд токсичних речовин, що входять в дьогті, можуть мати шкідливий вплив на людину, тому санітарними нормами заборонено їх застосування для влаштування верхніх шарів покриттів в містах та селищах, а також для влаштування підлог у промислових і побутових будівлях.

Покращення властивостей дьогтьових в'яжучих направлене, в основному, на підвищення їх в'язкості і погодостійкості, розширення інтервалу пластичності. З цією метою їх окислюють повітрям, підвищують вміст речовин, нерозчинних у толуолі, введенням середньотемпературного пеку, вводять також тонкодисперсні наповнювачі, змішують з нафтовим, а також природним в'язким бітумом або асфальтитом, невеликими кількостями синтетичних полімерів і каучуків, додають сірку.

**Композиційні в'яжучі.** Характерні недоліки бітумних і дьогтьових в'яжучих значною мірою усуваються при їхньому раціональному поєднанні. Композиційні бітумно-дьогтьові в'яжучі мають підвищену біостійкість, атмосферостійкість, поліпшену клеючу здатність і меншу чутливість до температурних коливань. Найбільш поширені композиції, що містять 67–70% бітуму і 25–30% дьогтю. Можливі межі вмісту обох компонентів при отриманні їх гомогенної суміші



розширюються при зниженні кількості вільного вуглецю в дьогтю і пеках і незначній концентрації парафінів у бітумах.

Оптимізація властивостей бітумних і дьогтьових в'язучих досягається поєднанням їх з полімерними добавками. Полімерні добавки поліпшують пружні властивості, розтяжність, когезію органічних в'язучих. Найбільше застосування знайшли епоксидні смоли, полівінілацетат, полістирол, синтетичні каучуки і латекс. З відходів промисловості частіше за інші використовують атактичний поліпропілен, поліетилен, кубові залишки ректифікації стиrolу та ін.

## 9.2. Полімерні в'язучі

Залежно від агрегатного стану полімерні в'язучі для пластмас можуть бути в'язкими рідинами (епоксидні, поліефірні та інші смоли); водними дисперсіями (латекси синтетичних каучуків, полівінілацетатна емульсія); порошками і гранулами (поліетилен, полістирол, полівінілхлорид та ін.).

Залежно від поведінки при нагріванні розрізняють термопластичні і терморективні полімери. Перші (*термопласти*) здатні оборотно змінюватися при багаторазовому нагріванні та охолодженні, другі (*реактопласти*) при нагріванні незворотно перетворюються у тверді неплавкі і нерозчинні продукти.

Сировиною для отримання синтетичних полімерів служать, в основному, природний газ, а також продукти нафтового походження і вуглепереробки (продукти коксування і газифікації кам'яного вугілля).

Залежно від типу хімічних реакцій, що лежать в основі отримання синтетичних полімерів, їх поділяють на полімеризаційні та поліконденсаційні.

*Полімеризацією* називають процес з'єднання молекул вихідних низькомолекулярних речовин – мономерів з утворенням високомолекулярних речовин, що не супроводжується виділенням побічних продуктів.

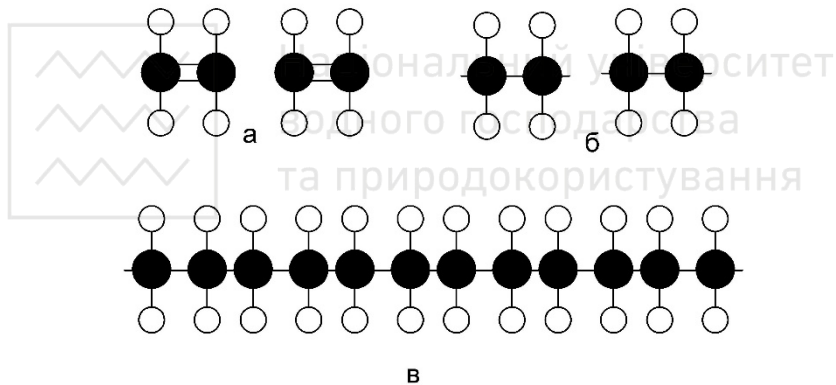
*Поліконденсацією* називається процес утворення полімеру, що супроводжується одночасним виділенням низькомоле-



кулярних речовин (води, аміаку, галоїдоводнів та ін.). При реакції поліконденсації на відміну від полімеризації склад вихідного мономера не відповідає складу елементарної ланки полімеру.

**Термопластичні полімери.** З термопластичних полімерів у виробництві будівельних пластмас переважно застосовуються поліетилен, поліпропілен, поліізобутилен, полістирол, полівінілхлорид, полівінілацетат, поліакрилати.

*Поліетилен* – продукт полімеризації етилену (рис. 9.6). Випускається у вигляді гранул розміром 3–4 мм або білого порошку. Поліетилен за способом виготовлення буває: високого (ПЕВТ) і низького (ПЕНТ) тиску. За густиною він ділиться на дві групи – низької густини (910–930 кг/м<sup>3</sup>) і високої (960–970 кг/м<sup>3</sup>).



**Рис. 9.6.** Структурна схема утворення молекули поліетилену:  
а – молекула етилену; б – мономер поліетилену;  
в – молекула поліетилену

Поліетилен горить і плавиться з характерним запахом парафіну. При кімнатній температурі поліетилен практично не розчиняється ні в одному з розчинників, при температурі 70–80° С розчиняється в бензолі і хлорованих вуглеводнях. Поліетилену властива висока хімічна стійкість і біологічна інертність. Він зберігає еластичність до -70° С. Недоліки поліетилену: низька теплостійкість і твердість, горючість і слабка



адгезія до мінеральних матеріалів, швидке старіння. Для захисту від старіння вводять наповнювачі й стабілізатори.

У тонких плівках поліетилен еластичний і гнучкий, а в товстих листах набуває жорсткості. Поліетилен характеризується значною повзучістю вже при кімнатній температурі. З підвищенням температури міцність поліетилену зменшується. Коефіцієнт лінійного розширення  $1,8 \cdot 10^{-4}$ . Може бути забарвленим у розплаві та у сухому вигляді за допомогою неорганічних і органічних пігментів. З більшістю інших полімерів поліетилен поєднується погано. Хімічну стійкість, еластичність і морозостійкість поліетилену підвищує добавка поліізобутилену, міцність і твердість – парафінів.

При температурі на  $15-20^{\circ}\text{C}$  нижчій, ніж температура плавлення, поліетилен набуває здатності витягуватися і формуватися. При температурі, що перевищує температуру плавлення, переходить до в'язкотекучого стану, в якому його можна перероблювати пресуванням, каландруванням, екструзією, литтям під тиском. Поліетилен легко піддається хлоруванню і сульфохлоруванню, що дозволяє отримувати еластичні, каучукоподібні полімери, які мають підвищений опір стиранню, хімічну стійкість, довговічність.

Поліетилен виготовляють без добавок (базові марки) і у вигляді композицій на їх основі із стабілізаторами, фарбниками та іншими добавками. Залежно від властивостей і призначення встановлені базові марки поліетилену високого і низького тиску.

Основні фізико-механічні властивості поліетилену:

	ПЕНТ	ПЕВТ
Густина, $\text{г/см}^3$	0,949–0,964	0,913–0,928
Границя текучості при розтязі, МПа, не менше	21,6–25,5	8,8–12,7
Границя міцності на розрив, МПа, не менше	20,6–25,5	8,8–14,7
Відносне подовження при розриві %, не менше	450–700	100–600



Поліетилен використовують для виготовлення плівок, листів, пінопластів, труб, різноманітних погонажних та інших будівельних виробів.

*Поліпропілен* відрізняється від поліетилену більшою твердістю, міцністю і теплостійкістю. Якщо поліетилен переходить в рідкий стан при 105–135° С, то поліпропілен при 160–170° С.

Основні фізико-механічні властивості поліпропілену: густина – 900–910 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності на розтяг – 25–40 МПа, відносне подовження при розриві – 200–800%, ударна в'язкість – 78,5 кДж/м<sup>3</sup>. Поширені співполімери етилену з пропіленом, які мають різні властивості – від м'яких каучукоподібних до кристалічних високоміцних і теплостійких.

*Поліізобутилен* – каучукоподібний еластичний полімер. На відміну від каучуків не може вулканізуватися. Стійкий до дії кислот і лугів. Основні властивості поліізобутилену: густина – 910–930 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності на розтяг – 2–4,5 МПа, відносне подовження при розриві – 550–1000%. Вироби з поліізобутилену можуть експлуатуватися при температурі до -50° С. Поліізобутилен використовують у виробництві різноманітних герметизуючих, корозієстійких і гідроізоляційних матеріалів, клеїв і мастик.

*Полістирол* – твердий, пружний, безбарвний, прозорий матеріал. Його випускають у вигляді прозорих листів, гранул або білого порошку. Полістирол крихкий при кімнатній температурі, розм'якшується при 80–100° С, водо- та атмосферостійкий, стійкий до дії кислот і лугів, бензину, рослинних масел, спирту, розчинів солей. Розчиняється в ароматичних і хлорованих вуглеводнях, складних ефірах і кетонах.

Виготовляють суспензійний та емульсійний полістирол, а також полістирол полімеризований в масі.

Полістирол має такі фізико-механічні показники: густина – 1050–1080 кг/м<sup>3</sup>, термостійкість за Мартенсом – 75–85° С, коефіцієнт лінійного термічного розширення – 6–7·10<sup>-5</sup>, коефіцієнт рефракції – 1,59, теплопровідність – 0,09–0,14 Вт/(м·° С), горючість – 1,27–2,54 см/хв, границя міцності на розтяг – 35–60, на згин – 55–130, на стиск – 80–110 МПа,



твердість за Брінелем – 137–147 МПа, ударна в'язкість не менше 1,5 кДж/м<sup>2</sup>.

Максимальна робоча температура, при якій можна використовувати полістирол – 65–75° С. Він легко займається і горить.

Одним з головних недоліків полістиролу є його підвищена крихкість. Щоб усунути цей недолік, полімер суміщають з синтетичними каучуками, отримуючи полістирол підвищеної ударної міцності. Так, введення 10–15% каучуку збільшує міцність полістиролу при ударі в 3–6 разів, а відносне подовження – в 10 разів. При цьому зменшуються модуль пружності та міцність на розтяг. Залежно від способу виготовлення удароміцний полістирол підрозділяють на марки: УПМ (блоковий), СПС (блоково-суспензійний), УПК (механоімічний).

Полістирол використовується при виготовленні плиток і листів для облицювання стін, теплоізоляційних пінопластів, різних виробів для внутрішнього опорядження будівель.

*Полівінілхлорид* випускають у вигляді білого чи жовтуватого негорючого порошку. Властивості полівінілхлориду залежать від способу його виготовлення. Найпоширеніший промисловий спосіб виготовлення – суспензійний. Полівінілхлорид отримують також емульсійною (латексною) полімеризацією. Розмір частинок суспензійного полівінілхлориду – десятки і соті долі міліметра, емульсійного – десятки долі мікрометра. Суспензійний полівінілхлорид краще розчиняється в органічних розчинниках, чим емульсійний.

При нагріванні вище 140° С полівінілхлорид темніє унаслідок розкладання з виділенням хлориду водню. Щоб запобігти розкладанню полівінілхлориду, в процесі його переробки при підвищених температурах вводять добавки-термостабілізатори.

Вироби з полівінілхлориду отримують вальцюванням, екструзією, литтям під тиском і пресуванням. Для поліпшення пластичності полімерів використовують добавки-пластифікатори; ефіри органічних і неорганічних кислот, поліефіри, каучуки, алкідні та ін.



При умовному позначенні марок полівінілхлориду вказують найменування продукту (ПВХ): спосіб полімеризації (С – суспензійний, Е – емульсійний); показник насипної густини; залишком після просіювання на ситі з сіткою 0083.

Фізико-механічні властивості полівінілхлориду непластифікованого і пластифікованого дибутилфталатом (ДБФ) приведені в табл. 9.3. Пластифікований полівінілхлорид використовують при виготовленні рулонних і плиткових виробів для підлог, декоративних плівок, погонажних виробів, непластифікований (*вініпласт*) – для труб, профільних погонажних виробів, пакувальної тари тощо.

Таблиця 9.3

Фізико-механічні властивості ПВХ

Показник	Полівінілхлорид	
	Непластифікований	Пластифікований
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1350–1420	1200–1350
Границя міцності, МПа:		
на розтяг	45–70	10–25
на стиск	60–90	60–100
на згин	70–120	4–20
Відносне подовження при розриві %	5–40	20–40
Твердість за Брінелем, МПа, не менше	110–160	-
Модуль пружності при розтягуванні, МПа	260–300	7–8
Теплопровідність, Вт/(м °С)	0,16	0,14
Коефіцієнт термічного лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup>	50–150	100–250
Водопоглинання за 24 год, %:		
ПВХ суспензійний	До 0,1	До 0,5
ПВХ емульсійний	До 0,5	До 5,0
Температура розкладання °С	140–170	150–230

Хлоруванням полівінілхлориду в середовищі розчинника виготовляють *перхлорвініл* – продукт, який легко розчиняється в





органічних розчинниках. Густина перхлорвінілу – 1470–1500 кг/м<sup>3</sup>, температура розм'якшення – 85–100° С, границя міцності при розтязі – 65–75 МПа, подовження при розриві – 4–5%. Йому властива висока адгезія до металу. Перхлорвініл застосовується у виробництві лаків і фарб, а також синтетичних килимових матеріалів. Перхлорвінілові клеї використовують для склеювання виробів з полівінілхлориду.

*Полівінілацетат* – прозорий безбарвний полімер. Розчиняється в багатьох органічних розчинниках, набухає у воді. При нагріванні до 80° С полівінілацетат розм'якшується, а при 150–170° С – розкладається. Густина полівінілацетату – 1190 кг/м<sup>3</sup>, температура склування – 24–34° С, коефіцієнт лінійного термічного розширення –  $8,6 \cdot 10^{-5}$ , водопоглинання за 48 год – 2%, показник заломлення – 1,466. У будівництві полівінілацетат використовують зазвичай у вигляді водної дисперсії. Як емульгатори застосовують мило, полівініловий спирт, метилцелюлозу.

Промисловість випускає гомополімерну грубодисперсну полівінілацетатну дисперсію – рідину білого кольору густиною 1020–1030 кг/м<sup>3</sup>. Розмір частинок полімеру в дисперсії – 1–3 мкм, вміст твердої фази – 40–60%, пластифікатора – 5–50%.

Дисперсії (Д) виготовляються неластифікованими і пластифікованими дибутилфталатом (Ф). Вони можуть бути низьков'язкими (Н), середньов'язкими (С) і високов'язкими (В).

У позначенні марок перші дві цифри вказують мінімальний вміст полімеру в дисперсії, наступні (для пластифікованих дисперсій) – вміст пластифікатора з розрахунку на дисперсію у відсотках.

Полівінілацетатна дисперсія застосовується як в'язуче водоемульсійних фарб, полімерцементних і полімерних розчинів та бетонів. Завдяки високим адгезійним властивостям до більшості матеріалів, полівінілацетат широко використовується для отримання клеїв і мастик.

*Поліакрилати* – прозорі, тверді, еластичні й м'які, термопластичні полімери похідних акрилової і метакрилової кислот.



Найбільше застосування в будівництві отримав поліметилметакрилат (органічне скло). Цінні властивості цього полімеру – висока прозорість, безбарвність, світло- і атмосферостійкість, здатність пропускати ультрафіолетові промені та легко забарвлюватися в різні кольори при введенні фарбників. Основні фізико-механічні властивості поліметилметакрилату приведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.4

Фізико-механічні властивості поліметилметакрилату

Показник	Поліметилметакрилат	
	Пластифікований	Непластифікований
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1020–1190	1020–1190
Границя міцності на розтяг, МПа	65	68
Модуль пружності при розтязі, МПа	2700	2900
Ударна в'язкість, МПа	1,2	1,2
Відносне подовження при розриві %	2,5	3
Твердість за Брінелем, МПа, не менше	180	210
Світлопрозорість %, не менше	91	91
Світлостійкість %, не більше	2,5	2,5

Поліметилметакрилат пропускає не менше 73% ультрафіолетових променів (віконне силікатне скло – тільки 0,6%). Він менш крихкий, чим мінеральне скло, піддається механічній обробці, змінює властивості при зниженні температури (ударна в'язкість практично стабільна в інтервалі від -183 до +60° С). Вироби з поліметилметакрилату можна експлуатувати при температурі до +80° С, з підвищенням температури вище за цю межу вони починають деформуватися.

Поліметилметакрилат виготовляють у вигляді порошків, гранул або листів. У порошкоподібному або гранульованому вигляді поліметилметакрилат можна використовувати для виготовлення дверей і вікон. Листове органічне скло застосовують як опоряджувальний і покрівельний матеріал.

*Інден-кумаронові полімери* – це тверді продукти від світло-жовтого до темно-коричневого кольору. Залежно від початкової сировини і умов полімеризації отримують різні сорти інден-



кумаронових полімерів, що відрізняються за кольором, температурою розм'якшення (від 60 до 140° С), густиною (від 1050 до 1200 кг/м<sup>3</sup>) і співвідношенням основних компонентів – полііндену і полікумарону (від 1:4 до 4:1). Показники механічних властивостей цих полімерів низькі: границя міцності на стиск – 2–2,5 МПа, розтяг – 0,8–1 МПа.

Важливим недоліком інден-кумаронових полімерів є крихкість (ударна в'язкість 0,15–0,25 кДж/м<sup>2</sup>).

Інден-кумаронові полімери добре розчиняються в органічних розчинниках, поєднуються з маслами, жирними кислотами та іншими пластифікаторами.

Пластифіковані інден-кумаронові полімери застосовують для виготовлення плиток для підлоги (їх називають асбестосмоляними або асбестокумароновими). Поєднуючи полімери з синтетичними каучуками, виготовляють клеючі мастики для плиток і лінолеуму. Інден-кумаронові мастики використовують також для виготовлення лаків, фарб, емалей. Для поліпшення клеючих властивостей інден-кумаронові полімери модифікують полістиролом, поліефірами.

**Поліконденсаційні полімери.** З поліконденсаційних полімерів, які випускаються промисловістю для будівництва, широко застосовуються феноло- і аміноальдегідні полімери, поліефіри, фуранові, епоксидні і кремнійорганічні полімери.

*Фенолоальдегідні полімери* – це термопластичні (новолачні) і термореактивні (резольні) полімери. Новолачні полімери отримують з суміші 26,5–27,5 масових часток формальдегіду на 100 масових часток фенолу. Реакція проходить у присутності невеликої кількості соляної або шавлевої кислоти. Щоб виготовити резольні полімери, фенол і формальдегід беруть в співвідношенні від 100:30 до 100:40. Каталізатори – їдкі луги.

*Фенолформальдегідні новолачні полімери* – це тверді продукти від світло- до темно-коричневого кольору, які добре розчиняються в ацетоні, метиловому і етиловому спиртах, не розчиняються в ароматичних вуглеводнях. Новолаки не отвердівують при тривалому зберіганні і нагріванні до 180° С. По теплостійкості, хімічній стійкості і деяким іншим властивостям новолачні полімери близькі до резолів і можуть бути перетворені



на них обробкою 30–40%-м розчином формальдегіду, а також введенням отверджувача – уротропіну. Тверді новолачні фенолформальдегідні полімери застосовують для пресованих матеріалів в суміші з наповнювачами для виготовлення різноманітних виробів; спиртові розчини цих полімерів використовують як лаки, політури, клеї, мастики.

*Резольні полімери* випускають твердими і у вигляді водних і спиртових розчинів. Забарвлення їх – від світло-жовтого до червонуватого. Густина полімерів – 1250–1270 кг/м<sup>3</sup>. При зберіганні в'язкість резольних полімерів підвищується, вони поступово переходять в твердий, неплавкий і нерозчинний стан, при нагріванні цей процес прискорюється. При нормальній температурі, тверднення відбувається під впливом каталізаторів – суміші сульфонафтоєвих (контакт Петрова) або інших слабких кислот.

Фенолформальдегідні полімери резольного типу застосовують у виробництві паперово- і деревношаруватих пластиків, фанери, склопластиків, клеїв, лаків та інших виробів.

Кращі властивості, ніж фенолформальдегідні, мають *резорциноформальдегідні полімери* (наприклад, смолиДФК, ФР, ФРФ). Вони добре отвердівають при введенні формаліну при температурі вище 10° С. Життєздатність смоли з отверджувачем 2–3 год.

В отверділому вигляді фенолоальдегідні полімери крихкі, їх модифікують бітумами, каучуком, поліамідами та іншими полімерами.

Серед аміноальдегідних полімерів поширені карбамідоформальдегідні (карбамідні) і мелаїноформальдегідні (мелаїні).

*Карбамідоформальдегідні полімери* виготовляють у порошкоподібному виді, а також у вигляді водних розчинів і емульсій. Вони безбарвні, їх відрізняє висока адгезія, особливо до деревини.

Карбамідоформальдегідні полімери тверднуть на холоді і при нагріванні. Прискорювачами холодного затвердіння є щавлева, фталева, фосфорна кислоти, кислі солі й ефіри. У виробництві деревностружкових плит використовують полімери



гарячого затвердіння. При пресуванні плит їх нагрівають до  $100^{\circ}\text{C}$  і вище. Як отверджувачі найчастіше застосовують хлорид або сульфат амонію. Кількість отверджувача зазвичай складає 0,5–2% у сухому вигляді від маси рідкого полімеру. При використанні полімерів з низькою концентрацією твердої речовини (50–55%) отверджувач можна додавати в сухому вигляді, при використанні полімерів з концентрацією понад 55% хлорид амонію найчастіше застосовують у вигляді 10- або 20%-го водного розчину.

Карбамідоформальдегідні полімери важко займаються, стійкі проти таких розчинників, як хлороформ, ацетон, спирти, мають високу тепло- і світлостійкість. Їх густина –  $1260\text{--}1290\text{ кг/м}^3$ . По механічних властивостях, водо- і кислотостійкості карбамідоформальдегідні полімери поступаються фенолформальдегідним. Полімери холодного затвердіння менш міцні й водостійкі. Зберігати карбамідоформальдегідні полімери слід при  $5\text{--}20^{\circ}\text{C}$ . Заморожування скорочує термін придатності полімеру. Щоб продовжити термін зберігання, вводять стабілізатори (етилглюколь). Порошкоподібні полімери стабільніші, можуть зберігатися тривалий час. Життєздатність їх водних розчинів без отверджувача не менше двох діб при нормальній температурі.

Карбамідоформальдегідні полімери застосовують для виготовлення прес-матеріалів, шаруватих пластиків, покриттів, клеїв, деревностружкових плит і клеєних будівельних конструкцій.

*Меламіноформальдегідні полімери* є прозорими або молочною кольору рідинами, здатними отвердівати як при підвищеній, так і при нормальній температурі. В останньому випадку слід вводити кислі прискорювачі затвердіння. В отверділому стані меламіно-, як і карбамідоформальдегідні полімери неплавкі, нерозчинні і термостійкі.

По технічних властивостях меламіноформальдегідні полімери перевершують карбамідоформальдегідні. Вони більш водо- і світлостійкі, не деструктуються при нагріванні до  $200^{\circ}\text{C}$ . Меламіноформальдегідні полімери добре поєднуються з іншими



полімерами. Вони застосовуються у виробництві клеїв, лаків, емалей, паперошаруватих пластиків тощо.

До групи *полієфірів* належать як термопластичні (лавсан), так і терморективні (алкідні, полієфірмалеїнати, полієфіракрилати) полімери. У виробництві опоряджувальних матеріалів найбільше застосування знайшли алкідні полімери - *гліфталеві* і *пентафталеві*. Їх випускають у вигляді розчинів і використовують у виробництві лаків, емалей, клеїв, лінолеуму. Алкідні полімери добре розчиняються в ацетоні, спиртах, але не розчиняються в нафтових і ароматичних вуглеводнях.

Чисті гліфталеві полімери не знайшли широкого застосування із-за ряду недоліків: крихкості, обмеженої розчинності, несумісності з багатьма компонентами лаків та ін. Для їх затвердіння необхідні підвищена температура і тривала витримка. Застосування знаходять гліфталеві полімери, модифіковані різними маслами і каніфоллю. Вони більш теплостійкі, утворюють плівки під дією кисню, мають блиск і твердість.

Пентафталеві полімери в порівнянні з гліфталевими швидше (на 25–30%) висихають, утворюючи покриття з високими механічними показниками.

*Полієфірмалеїнати* (смоли ПН-1, ПН-2, ПН-3 і ін.) і *полієфіракрилати* (смоли МГФ-9, ТМГФ-1 і ін.) – рідини різної в'язкості від світло-жовтого до темно-коричневого кольору. Їх густина 1100–1180 кг/м<sup>3</sup>.

Як отверджувачі використовують перекиси бензоїлу, метилетилкетону або циклогексанону. Ці перекиси достатньо активні лише при температурах 70–90° С. При температурах 20–50° С слід додатково вводити прискорювачі – нафтенат кобальту, диметиланілін. Для запобігання вибуху і виділенню шкідливих речовин забороняється змішувати ініціатор і прискорювач. Границя міцності на розтяг отверділих полієфірмалеїнатів і полієфіракрилатів – 75 МПа, на стиск – 190 МПа. Теплостійкість цих полімерів – 150–170° С. Їм властиві високі водо- і хімічна стійкість, прозорість, адгезія до багатьох матеріалів. До недоліків можна віднести горючість, токсичність, значну усадку (до 10%) при затвердінні.



Полієфірмаленати і полієфіракрилати застосовують для виготовлення склопластиків, полімербетонів, клеїв. Для зниження крихкості полієфіри модифікують тиоколовими і карбоксилатними каучуками.

До *фуранових* відносяться фурфурольні, фурилові і фурфууролацетонові полімери. У будівництві використовують переважно фурфууролацетоновий мономер (ФА), який у присутності бензосульфокислоти або при нагріванні до 180–200° С переходить в неплавкий і нерозчинний стан.

Особливостями фурфууролацетонового та інших фуранових полімерів є високі теплостійкість (до 300–400° С), стійкість до кислот, лугів, солей і розчинників, мінеральних та органічних масел. Істотний їх недолік – велика усадка при затвердінні. Фуранові полімери добре поєднуються з епоксидними (смола ФАЕД).

Їх використовують як в'язучі для полімербетонів, клеїв, лаків, мастик.

До *епоксидних* належить велика група полімерів, які залежно від вмісту епоксидних груп і молекулярної маси можуть змінювати свій агрегатний стан від рідкого до твердого.

У групу епоксидних входять такі смоли: діанові (ЕД-22, ЕД-20, ЕД-16 та ін.); азотовмісні (ЕЦ-Н, ЕЦ-К, ЕА); поліепоксидні (ЕМ-6, УП-546, ЕТФ); аліфатичні (МЭГ-1; ДЕГ-1, ДЕГ-19 та ін.). Крім цих смол, до групи епоксидних належать ряд інших полімерів.

Для переходу епоксидних полімерів в неплавкий і нерозчинний стан використовують поліспирти, аміни, дифеноли, ангідриди дикарбонових кислот та інші отверджувачі. Процес затвердіння може відбуватися при нормальній або підвищеній температурі. Для затвердіння при нормальній температурі застосовують аміни (поліетіленполіаміни, етилендіамін, гексаметилендіамін тощо), додані до полімеру в кількості 5–10%. З підвищенням температури до 80–100° С затвердіння амінами відбувається швидше. Амінофенольний отверджувач дає можливість отвердівати епоксидним полімерам за 20 хв.

Для гарячого затвердіння (150° С) використовують ангідриди дикарбонових кислот. Кількість ангідридів, що



вводяться, складає 30–40 масових частин на 100 масових частин полімеру. Життєздатність суміші при 20° С – 24 год. Властивості полімерів, які отвердівають за допомогою ангідридів, вищі, ніж властивості полімерів, в які вводять аміни.

Для зниження крихкості епоксидних полімерів їх пластифікують, вводючи в смоли 15–20% дибутилфталату або інших пластифікаторів.

Епоксидні полімери відрізняються від багатьох інших вищими показниками міцності, водо- і хімічної стійкості, адгезійної здатності. Їх застосовують для виготовлення лаків, клеїв, мастик, склопластиків, полімербетонів та ін.

*Кремнійорганічні полімери* (поліорганосилоксани) – рідкі або тверді продукти густиною 920–2000 кг/м<sup>3</sup>, їм властиві високі атмосферо-, водо- і теплостійкість. Матеріали на їх основі можуть експлуатуватися при температурі до 400° С.

Всі кремнійорганічні полімери мають невелику механічну міцність, але відрізняються морозостійкістю, високими діелектричними властивостями, стійкістю до дії слабких кислот і лугів, органічних розчинників, масел.

У будівництві широко застосовують кремнійорганічні рідини – ГКР-94, ГКР-10, ГКР-11, що мають властивості гідрофобізуючих речовин.

У технології виготовлення полімерних будівельних матеріалів важлива роль належить синтетичним *латексам* – водним дисперсіям каучукоподібних полімерів. Це продукти емульсійної полімеризації або сополімеризації. Емульгаторами слугують, наприклад мила, в яких одна група атомів гідрофільна, а друга – гідрофобна. Як правило, латекси стійкі при рН = 7–8.

У будівництві, в основному, використовують *бутадієн-стирольні латекси*, особливо латекс СКС-65. Вміст каучуку в латексі близько 47%. Змішаний з цементом та іншими мінеральними порошками латекс СКС-65 може коагулювати. Тому для будівництва промисловість випускає стабілізований латекс СКС-65 ГП. Стабілізатори-поверхнево-активні речовини ОП-7 або ОП-10, а також їх суміші з казеїнатом амонію.





## 10. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

*Розчинами* називають композиційні матеріали, які не мають у своєму складі крупний заповнювач і вкладаються на основу, зазвичай тонким шаром.

### 10.1. Вихідні матеріали. Виробництво будівельних розчинів

Для одержання будівельних розчинів широко використовуються як цементні, так і нецементні в'язучі і різноманітні добавки. Будівельними розчинами нового покоління є розчини, які отримуються на основі сухих будівельних сумішей.

В будівництві застосовують, головним чином, вапняні, гіпсові, цементні і складні або змішані (цементно-вапняні, вапняно-гіпсові та ін.) розчини. Цементи використовують як в'язучі для розчинів, що експлуатуються при високій вологості, і розчинів підвищеної міцності.

В'язучі речовини для розчинів вибирають залежно від висунутих до них вимог, температурно-вологісного режиму твердіння та умов експлуатації будівель або споруд (табл. 10.1).

Необхідність забезпечення високої пластичності і зв'язності розчинових сумішей на практиці часто призводить до перевитрати цементів загальнобудівельного призначення, недовикористання їх фактичної активності в розчинах, міцність яких знаходиться в інтервалі 5–15 МПа. Для розчинів, що застосовуються при здійсненні мурувальних, облицювальних та штукатурних робіт, а також для виготовлення неармованих бетонів класів В3,5 і нижче, до яких не висуваються вимоги за морозостійкістю, призначений спеціальний цемент для будівельних розчинів. Цей цемент отримують шляхом сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсу, активних мінеральних добавок і добавок дисперсних наповнювачів. З добавок наповнювачів можливо застосування кварцового піску з вмістом  $\text{SiO}_2$  не менше 90%, а також глинистих і дрібних пиловидних фракцій крупністю менше 0,05 мм не більше 3%, кристалічного вапняку, пилу електрофільтрів



клинкеровипалювальних печей та ін. Вміст клинкеру в цементі повинен бути не менше 20% його маси.

Цемент для будівельних розчинів повинен мати марку за міцністю на стиск не менше 200.

Таблиця 10.1

В'язучі для будівельних розчинів

Застосування	Марка розчину	В'язуче	
		рекомендоване	допустиме
Для наземних конструкцій при відносній вологості повітря приміщень до 60% і для фундаментів в маловологісних ґрунтах	4 і 10	Вапно повітряне та гідравлічне, вапняно-шлакова суміш, цемент для будівельних розчинів	Вапняно-пуцоланове, вапняно-зольне
	25 і більше	Портландцементи: звичайний, пластифікований і гідрофобний, шлакопортландцемент	Пуцолановий портландцемент, вапняно-шлакове, гіпсоцементно-пуцоланове в'язуче, цемент для будівельних розчинів
Для монтажу крупноблочних і крупнопанельних бетонних і камінних стін	25 і більше	Портландцементи: пластифікований і гідрофобний	Шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент
Для конструкцій, які зводяться способом заморожування	10	Портландцементи: звичайний та пуцолановий	Вапняно-шлакове



Застосування	Марка розчину	В'язуче	
		рекомендоване	допустиме
	25 і більше	Портландцементи: звичайний, пластифікований і гідрофобний	Шлакопортландцемент
Для лицьовального шару крупних блоків і панелей	50 і більше	Білий і кольоровий портландцементи	Портландцемент, шлакопортландцемент
Для влаштування гідроізоляційних покриттів на залізобетонних трубах нанесенням штукатурного шару або торкретної оболонки, закладення стиків збірних конструкцій, закарбування і гідроізоляції швів тьубінгів, розтрубних труб і інших елементів	50 і більше	Цементи: водонепроникний, безусадочний, водонепроникний розширний, гіпсоглиноземистий розширний, розширний портландцемент	—
Для розчинів, які використовуються для внутрішнього опорядження будівель	25 і більше	Гіпсове в'язуче марок Г-3 і більше, гіпсоцементнопуцоланові і гіпсоцементно-шлакові в'язучі	Ангідритове в'язуче



В якості заповнювачів будівельних розчинів застосовують природні кварцові або польовошпатові, а також дроблені піски зі щільних і пористих порід і штучних матеріалів (пемзові, керамзитові, перлітові та ін.).

Найбільший розмір зерен піску в розчинових сумішах, призначених для кам'яних кладок і монтажу крупноблочних бетонних і кам'яних стін, не повинен перевищувати 5 мм. В розчинових сумішах для звичайних штукатурок застосовують пісок з найбільшим розміром зерен 2,5 мм для підготовчих шарів (набризку і ґрунту) і 1,2 мм для оздоблювального шару (накривки).

Як добавки в розчинах застосовують неорганічні й органічні пластифікатори, мікронаповнювачі, прискорювачі твердіння й ін.

Будівельні розчини виготовляють на бетонорозчинових заводах, пересувних і стаціонарних розчинозмішувальних вузлах і установках у вигляді готових розчинових сумішей потрібної рухливості або у вигляді сухих сумішей, які замішують водою перед використанням (рис. 10.1).

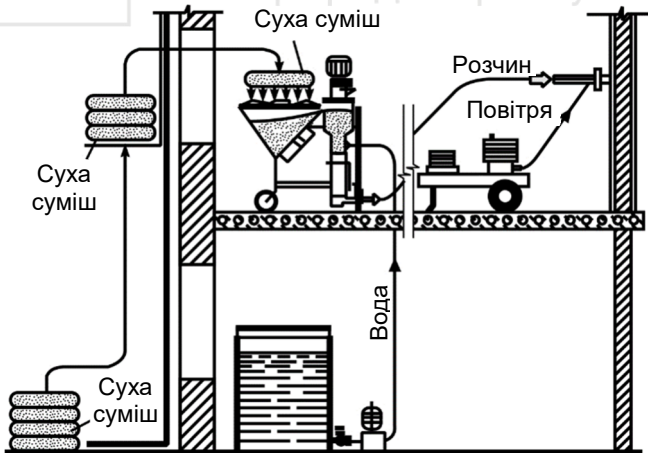


Рис. 10.1. Технологічна схема штукатурних робіт з використанням сухих сумішей



Технологічний процес приготування готової розчинової суміші включає підготовку вихідних матеріалів (відсів крупних включень з піску, підігрівання його при необхідності та ін.), дозування і ретельне перемішування.

При централізованому приготуванні розчинів широко застосовують автоматизовані розчинозмішувальні установки.

На сучасних підприємствах склади і режими виготовлення розчинових сумішей, оптимальні маршрути і графіки доставки розчинів на об'єкти визначають за допомогою ЕОМ.

При використанні в розчинах вапна воно попередньо розбавляється до одержання вапняного молока. Глину вводять також у вигляді рідкого глиняного тіста. Хімічні добавки використовують звичайно у вигляді водних розчинів.

Під час перевезення розчинових сумішей поряд зі звичайними транспортними засобами використовують спеціальні авторозчиновози, які дозволяють перемішувати розчин в дорозі і в необхідній кількості видавати його споживачам. Для транспортування розчинів до місця роботи і нанесення їх на поверхню застосовують розчинонасоси продуктивністю 1-6 м<sup>3</sup>/год. Розчинонасосні установки включають крім насоса, бункер з віброситом для прийому і проціджування розчину, трубопровід і форсунки для механізованого нанесення розчину на оброблювальну поверхню.

## 10.2. Мурувальні розчини

Мурувальні розчини застосовують при кам'яному і цегляному муруванні, виконанні стиків і швів, улаштуванні вирівнювального шару, при монтажі залізобетонних конструкцій, замонолічуванні колон в фундаментах і т.п. При зведенні стін найбільш широко використовують змішані цементно-вапняні і цементно-глиняні розчини. Цементні розчини без неорганічних пластифікуючих добавок доцільні тільки для конструкцій, які зводяться нижче рівня ґрунтових вод. Вапняні розчини і розчини на різних вапняноміщуючих в'язучих (вапняно-шлакових, вапняно-зольних і ін.) застосовують в масовому малоповерховому будівництві.



Повітряне вапно використовують в розчинах для наземного мурування при відносній вологості повітря в приміщеннях до 60%, гідравлічні вапняновміщуючі в'язучі – в розчинах, які працюють у вологих умовах. Для одержання цементних будівельних розчинів широко застосовують портландцемент марок М300 і М400. Використовують також спеціальні цементи для будівельних розчинів, що містять в значній кількості активні мінеральні добавки або мікронаповнювачі.

В табл. 10.2 наведені орієнтовні склади змішаних мурувальних розчинів марок 25–100 в об'ємних частках (цемент: вапняне або глиняне тісто: пісок).

Таблиця 10.2

Орієнтовні склади змішаних мурувальних розчинів

Застосування	Марка в'язучого	Склади розчинів, марки			
		25	50	75	100
Для підземних конструкцій при відносній вологості повітря до 60% і для фундаментів у маловологих ґрунтах	400		1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,5:5
	300	1:1,4:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,4:4,5
	200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0,1:2,5	1:0,2:3,5
Для підземних конструкцій при відносній вологості повітря більше 60% і для фундаментів у вологих ґрунтах	400		1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
	300	1:1,1:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
	200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0,1:2,5	

Крім крупного, середнього і дрібного піску при виготовленні будівельних розчинів дозволяється застосовувати дуже дрібний пісок з модулем крупності 1–1,5 і повним залишком на ситі з розміром отворів 0,63 мм не менше 10%. Застосування золи-виносу як добавки є раціональним при одержанні розчинів для звичайної кам'яної кладки і для зведення стін із



крупнорозмірних елементів. Однак розчини з добавкою золи небажано використовувати взимку в зв'язку з уповільненим їх твердінням при зниженій температурі. Зола, що використовується для мурувальних розчинів, повинна відповідати наступним вимогам:

- втрати при прожарюванні не більше, %, для золи:

антрацитової	15
кам'яновугільної	5
- вміст сульфатів в перерахуванні на  $\text{SO}_3$ , не більше, % 3
- залишок на ситі №008, не більше, % 15

В цементних розчинах оптимальний вміст золи рекомендується  $100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$ , при цьому в «пісних» малоцементних розчинах вона складає  $80\text{--}125\%$  від маси цементу, в більш «жирних» –  $40\text{--}50\%$ . При витраті цементу понад  $400 \text{ кг/м}^3$  введення золи до складу розчинів є малоефективним. Дрібнозерниста зола може використовуватися замість частини цементу та піску. Грубозернисту золу раціонально використовувати замість частини піску без зміни витрати цементу. При використанні золи-виносу в цементних розчинах необхідна витрата цементу, як правило, знижується на  $30\text{--}50 \text{ кг/м}^3$  при одночасному поліпшенні легкоукладальності розчинової суміші. Перевитрати цементу при повній заміні піску золою можна уникнути за допомогою добавки невеликої кількості вапняного тіста. При повній заміні піску золою зростають з часом деформації усадки і деформації при перемінному зволоженні і висушуванні.

В цементно-вапняних розчинах золою можна замінити частину вапна. При цьому можна заощадити до  $40\text{--}70 \text{ кг}$  вапняного тіста на  $1 \text{ м}^3$  розчину без погіршення легкоукладальності і міцності. Цементно-вапняно-зольні розчини характеризуються досить низкою розшаровуваністю. Їх застосовують так само як і розчини без добавки золи, головним чином, для мурування надземних частин будинків.

У вапняних розчинах застосування золи-виносу дозволяє знизити на  $50\%$  витрату вапняного тіста без зниження міцності і погіршення інших властивостей. При заміні  $50\%$  вапна



подвоєною за масою кількістю золи-виносу досягається не тільки економія в'язучого, але і підвищення міцності розчину. Без застосування цементу на вапняно-зольному в'язучому можна одержати розчини марки М25 і вище.

Підбор складів золовміщуючих розчинів здійснюють у два етапи. Спочатку визначають витрати компонентів розчину в кг на 1 м<sup>3</sup> без добавок золи, а потім уточнюють їх при введенні золи, враховуючи при цьому, що середня густина розчину збільшується на 20–40 кг/м<sup>3</sup>, а водопотреба розчинових сумішей практично не змінюється.

Крім золи-виносу в будівельних розчинах ефективними є добавки цементного пилу та інших активних наповнювачів.

Ріст міцності мурувальних розчинів в зимовий час можна забезпечити введенням ряду хімічних добавок (табл. 10.3).

Таблиця 10.3

Відносна міцність розчинів з добавками в залежності від температури твердіння

Добавка	Середньодобова температура	Кількість добавки, % від маси цементу	Орієнтовна міцність розчину, % від його марки при твердінні, діб		
			7	28	90
Нітрит натрію	0–5	5	10	40	55
	–6–9	8	5	30	40
	–10–15	10	5	30	40
Поташ	0–5	5	25	60	80
	–6–15	10	20	50	65
	–16–30	15	10	35	50
Нітрит натрію + поташ	0–5	2,5+2,5	20	50	75
	–6–15	5+5	15	40	60
	–16–30	6+6	5	35	45
Хлористий натрій + хлористий кальцій	0–5	3+0	35	80	100
	–6–10	3,5+1,5	25	45	70
	–11–15	3+4,5	15	25	50

Як протиморозні добавки при приготуванні розчинів в зимовий час використовують нітрит натрію, поташ, сечовину, нітрит кальцію із сечовиною, нітрит-нітрат-хлорид кальцію



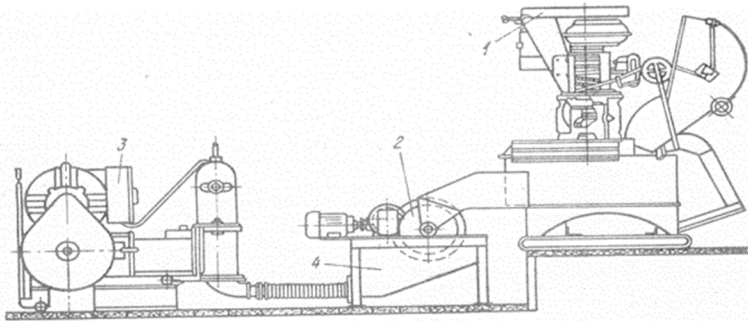


(ННХК), хлориди натрію і кальцію, а також деякі інші солі. При цьому необхідно враховувати ряд обмежень: розчини з хлоридами кальцію, натрію або ННХК можна застосовувати тільки для неармованих підземних конструкцій, а також для мурування стін і колон нежитлових будівель, поташ не можна використовувати в кількості понад 10% при муруванні стін із силікатних виробів низьких марок і в елементах конструкцій, які піддаються зволоженню, а також в розчинах з використанням заповнювачів, які містять реакційноздатний кремнезем.

### 10.3. Штукатурні розчини

Штукатурне покриття складається з двох або більше шарів. Зчеплення з поверхнею основи забезпечується підготовчим шаром (набриском) товщиною не більше 5 мм по цегляних і бетонних поверхнях і 9 мм по дерев'яних. Основний шар (грунт) товщиною 5–7 мм служить для одержання рівної поверхні. Поліпшені види штукатурок включають ще накривний шар товщиною не більше 2 мм.

Для приготування штукатурних розчинів, подачі їх до робочого місця і нанесення на поверхню служать комплекти машин – штукатурні агрегати і штукатурні станції (рис. 10.2).



**Рис. 10.2.** Штукатурна станція

1 – розчиномішувач; 2 – барaban; 3 – розчинонасос;

4 – приймальний бункер



Штукатурні розчини повинні мати задану рухомість (9–14 см), не розшаровуватися в процесі виробництва, а також відповідати вимогам механізованого виконання робіт, забезпечувати необхідну міцність і гарне зчеплення з основою.

Потрібна рухомість розчинової суміші залежить від розташування шару в штукатурному покритті (табл. 10.4).

Таблиця 10.4

Рухомість штукатурних розчинів

Призначення розчину	Глибина занурення стандартного конуса, см, для нанесення розчинів	
	механізованого	ручного
Набризк	9–14	8–12
Ґрунт	7–8	7–8
Покривний шар: з гіпсом без гіпсу	9–12	9–12
	7–8	7–8

Для набризку застосовують найбільш рухомий розчин, що заповнює всі нерівності поверхні і містить надлишкову кількість води, яка відсмоктується основою. Шари ґрунту використовують з відносно в'язкого розчину для утворення необхідної товщини штукатурки. Розчин для оздоблювального або т.зв. покривного шару має консистенцію, яка дозволяє добре вирівнювати ґрунт і заглажувати його поверхню. Від виду штукатурного шару залежить і гранична крупність піску. Для нижніх шарів вона складає 2,5 мм, для покривного шару – 1,2 мм.

Розчини для звичайних штукатурок розділяють на цементні, вапняні, цементно-вапняні, цементно-глиняні, гіпсові, вапняно-гіпсові, глиняні, глино-вапняні.

*Цементні розчини* застосовують для зовнішніх штукатурок з систематичним зволоженням і внутрішніх – в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60%. Для підвищення водостійкості цементних розчинів бажано застосовувати гідрофобізуючі добавки, наприклад кремнійорганічні рідини (ГКР-10, ГКР-11 в кількості 0,05–0,2% маси цементу). Орієнтовні співвідношення цементу і піску за об'ємом: для набризку 1:2,5:4, ґрунту 1:2:3, покривного шару 1:1:1,5.

*Цементно-вапняні розчини* застосовують для штукатурення як фасадів будівель, так і внутрішніх приміщень з



будь-якою відносною вологістю повітря. Введення вапна різко підвищує пластичність розчинів. Витрата вапняного тіста залежить від призначення шару. Для набризку вводять звичайно 0,5–0,7, для ґрунту – 0,7–1, покривного шару 1–1,5 об'ємних частин вапна. Виготовляють цементно-вапняні розчини двома способами: 1) суху піщано-цементну суміш зволожують вапняним молоком до необхідної рухливості; 2) додають цемент у вапняно-піщаний розчин.

Для зовнішньої штукатурки стін споруд, які систематично не зволожуються, а також для внутрішньої штукатурки стін, перегородок і перекриттів з відносною вологістю повітря приміщень до 60% замість цементно-вапняних можна застосовувати *цементно-глиняні розчини*. При цьому дозування глини у вигляді тіста повинне відповідати глибині занурення стандартного конуса 13–14 см. Відношення об'єму глиняного тіста до об'єму цементу не повинне перевищувати 1,5–1.

*Розчини на основі повітряного вапна (вапняні розчини)* застосовують для штукатурення поверхні всередині приміщень з відносною вологістю повітря до 60%. Їх можна використовувати також для зовнішніх штукатурок, які не зволожуються систематично. Ці розчини на одну об'ємну частину вапняного тіста густиною 1400 кг/м<sup>3</sup> містять піску: для набризку – 2,5–4, для ґрунту 2–3 і для покривного шару 1–2 частини. Вапно краще вводити в розчин у вигляді вапняного молока. Головний недолік вапняних розчинів – повільне твердіння. Процес твердіння прискорюють, додаючи будівельний гіпс. Звичайно рекомендують наступний склад *вапняно-гіпсових розчинів*, частин за об'ємом: для набризку 1 : (0,3–1) : (2.–3), ґрунту 1 : (0,5–1,5) : (1,5–2) і покривного шару 1 : (1–1,5) : (1,5 : 0).

Вапняно-гіпсові розчини зручніше всього використовувати для штукатурення дерев'яних поверхонь усередині приміщень. Для підвищення їх водостійкості в розчин вводять гідравлічні добавки – трепел, діатоміт, шлаки, золи ТЕС і т.п.

*Гіпсові розчини* застосовують для внутрішніх опоряджувальних робіт в приміщеннях з відносною вологістю до 60%. Застосування гіпсових штукатурок дозволяє підтримувати в будівлях необхідний мікроклімат, виключає або мінімізує



шпаклювальні роботи. Гіпсові штукатурки забезпечують високу адгезію з декоративними матеріалами, мають підвищену тріщиностійкість. Для сповільнення тужавлення в гіпсові розчини вводять добавки-сповільнювачі (мездровий і кістковий клей, вапно, галун, буру, лимонну кислоту і ін.), що збільшують життєздатність розчинів до 1,5 год.

Глиняні і глино-вапняні розчини використовують для зовнішньої і внутрішньої штукатурки дерев'яних і кам'яних стін, а також перегородок при експлуатації споруд в сухому кліматі з відносною вологістю повітря усередині приміщень до 60%. Співвідношення глиняного тіста і піску за об'ємом коливається від 2,5 до 5 і залежить від жирності глини. До жирних належать глини із вмістом піску до 5% і густиною тіста 1300–1400 кг/м<sup>3</sup>, нормальних – відповідно – 15% і 1400–1500 кг/м<sup>3</sup>, пісних (суглинки) – до 30% і 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>.

Рекомендації по вибору в'язучих матеріалів для звичайних штукатурних розчинів приведені в табл. 10.5.

Таблиця 10.5  
Рекомендації по вибору в'язучих матеріалів для  
штукатурних розчинів

Вид штукатурки	Вид опоряджувальних поверхонь	Рекомендовані в'язучі матеріали
Зовнішня – для стін цоколів, карнизів, систематично зволожений; внутрішня – для стін, перегородок і перекриттів в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60%	Кам'яні і бетонні	Пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, портландцемент марок 300 – 400



Зовнішня – для стін споруд, що не зволожуються систематично	Дерев'яні і гіпсові	Вапно, вапняно-шлакові в'язучі і інші місцеві в'язучі матеріали, портландцемент марки 300, вапно з гіпсом марок Г-2...Г-10, глина
Внутрішня – для стін, перегородок і перекриттів в приміщеннях з відносною вологістю повітря до 60%	Кам'яні і бетонні	Вапно, вапно з добавкою гіпсу марок Г-2...Г-10, портландцемент марки 300, глина

Як заповнювачі для штукатурних розчинів застосовують кварцові або польовошпатні піски, а також подрібнені піски зі щільних і пористих порід і штучних матеріалів (пемзові, керамзитові, перлітові та інш.).

Як добавки в розчинах застосовують неорганічні і органічні пластифікатори, мікронаповнювачі, прискорювачі твердіння, сповільнювачі тужавлення та ін.

Орієнтовні склади штукатурних розчинів різних видів приведені в табл. 10.6.

Вказані склади цементно-вапняних і вапняних розчинів розраховані на густину вапняного тіста  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

Глину застосовують у вигляді тіста або порошку грубого помелу. Рухомість тіста може складати 13–14 см. При використанні глиняного порошку з «пісної» глини його кількість відповідає кількості глиняного тіста, кількість порошку з середнепластичної глини зменшується на 15, а з жирної – на 25% в порівнянні з розрахунковим об'ємом тіста.

Виготовити легкоукладальні розчини, можна якщо частково або повністю замінити вапняне тісто органічними пластифікаторами.



Таблиця 10.6

Склади штукатурних розчинів в об'ємних частинах

Вид штукатурки	Розчин				
	Призначення	цементний (цемент: пісок)	цементно-вапняний (цемент: вапно: пісок)	вапняний (вапно: пісок)	вапняно-гіпсовий (вапно: гіпс: пісок)
Зовнішня штукатурка систематично зволожуваних стін, цоколів, карнизів і т.п., а також внутрішня штукатурка в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60%	Набризк	1 : 2,5-4	1 : 0,3-0,5 : 3,-5	-	-
	Ґрунт	1 : 2-3	1 : 0,7-1 : 2,5-4	-	-
	Покрівельний шар	1 : 1.1,5	1 : 1-1,5 : 1,5-2	-	-
Зовнішня штукатурка стін, систематично не зволожуваних, і внутрішня штукатурка в приміщеннях з відносною вологістю повітря до 60%	Набризк	-	1 : 0,5-0,7 : 4-6	1 : 2,5-4	1 : 0,3-1 : 2-3
	Ґрунт	-	1 : 0,7-1 : 3-5	1 : 2-3	1 : 0,5-1,5 : 1,5-2
	Покрівельний шар	-	1 : 1-1,5 : 2,-3	1 : 1-2	1 : 1-1,5 : 1,5-0

**Примітка.** Дерев'яні і гіпсові поверхні штукатурять переважно вапняно-гіпсовими розчинами.



Органічні пластифікатори вводять в суміші розчинів в кількості 0,03–0,3% маси цементу. Потрібну кількість органічних пластифікаторів визначають експериментально, при цьому густина розчину не повинна суттєво зменшуватися в порівнянні з розчином без органічного пластифікатора.

При виготовленні змішаних розчинів з неорганічними пластифікаторами (глиною, вапном і т.п.), а також цементних, вапняних і глиняних розчинів, в змішувач спочатку подають воду, потім завантажують заповнювач, в'язуче і пластифікатор.

Залежно від виду розчинів змінюються строки витримування шарів штукатурки і строки повного висихання до початку малярних робіт.

На зростання міцності розчинів значно впливають температурні умови.

#### 10.4. Декоративні розчини

Декоративні розчини застосовують для зовнішнього і внутрішнього опорядження будівель, а також для обробки лицьових поверхонь стінових панелей і блоків. Вибираючи в'язучі для приготування декоративних розчинів, слід враховувати вид опоряджувальних поверхонь:

Вид опоряджувальних  
поверхонь

В'язучі для розчинів

Лицьові поверхні залізо-  
бетонних панелей і па-  
нелей з легких бетонів.

Кольорові портландцементи  
Вапно, кольорові портландцементи,  
полімерцементи, цементно-колоїд-  
ний клей (КЦК)

Лицьові поверхні пане-  
лей і блоків з силікатно-  
го бетону

Вапно, кольорові портландцементи  
Гіпсополімерцемент (ГПЦВ),  
колоїдний цементний клей (КЦК),  
цементоперхлорвініл (ЦПХВ)

Фасади споруд цегляні  
Інтер'єри в панельних і  
блокових спорудах

Вапно, гіпс, гіпсополімерцемент  
(ГПЦВ), цементоперхлорвініл  
(ЦХВ)

Інтер'єри в цегляних  
спорудах



Рухомість сумішей розчинів для підготовчого шару декоративних штукатурок при механізованому нанесенні – 6...10 см, покривного шару – 7–10 см (по зануренню стандартного конуса). При ручному нанесенні рухомість суміші розчину для підготовчого шару збільшують до 8–12 см, а для покривного – до 9–12 см при введенні в суміш розчину гіпсу. Орієнтовні склади кольорових вапняних і цементно-вапняних штукатурок приведені в табл. 10.7.

Таблиця 10.7

Склади кольорових вапняно-піщаних штукатурок

Колір штукатурки	Компонент	Кількість,% маси
Білий	Гашене вапно	10
	Портландцемент	7
	Пісок мармуровий (крупністю 0,25...0,5 мм)	70
	Мука мармурова	13
Синій	Вапняне тісто	20
	Портландцемент	4
	Пісок кварцовий	74
	Ультрамарин	0,5
	Оксиди хрому	1,5
Рожевий	Вапняне тісто	20
	Портландцемент	4
	Пісок мармуровий (крупністю 0,25...0,5 мм)	73
	Мумія	3
Теракотовий	Гашене вапно	15
	Портландцемент	10
	Мелений цегляний щебінь	15
	Сурик залізний	2
	Пісок кварцовий білий	58





Колір штукатурки	Компонент	Кількість, % маси
Зелений	Гашене вапно	15
	Портландцемент	15
	Пігмент зелений	5
	Оксиди хрому	5
	Крихта зеленого мармуру(крупністю 0,5...2 мм)	60
Жовтий	Гашене вапно	15
	Портландцемент	20
	Мука мармурова	15
	Пісок (крупністю 0,5...2мм)	50

Фактура затверділої штукатурки залежить від методу нанесення покривного шару і способу його обробки.

Штукатурки типу *сграфіто* (рис. 10.3) виготовляють з вапняно-піщаних сумішей. Для тонкошарового одноколірного сграфіто на перший покривний кольоровий шар кистю наносять другий завтовшки 0,3–0,5 мм, які дряпають по малюнку, нанесеним крізь трафарет. При двобарвному сграфіто ґрунт покривають кольоровим шаром, а після його затвердіння – другим шаром іншого кольору. На другий шар по трафарету наносять малюнок і дряпають по ньому до оголення нижнього шару.

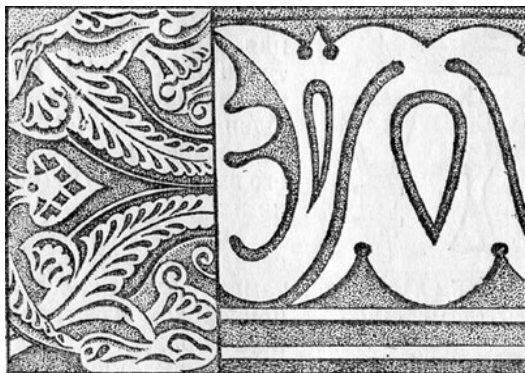
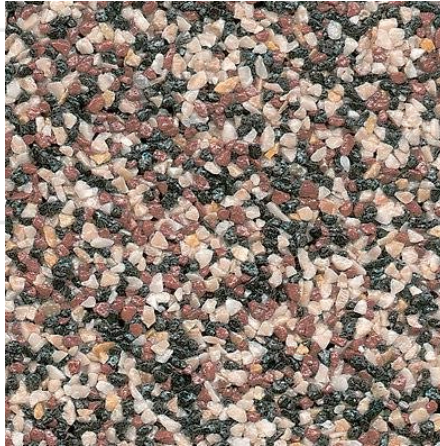


Рис. 10.3. Штукатурка типу «сграфіто»



Перші шари багатоколірного сграфіто виконують з кольорових розчинів, а додаткове забарвлення створюють методом фрескового живопису.

*Теразитові розчини* виготовляють зазвичай з сухих кольорових сумішей (рис. 10.4). В процесі виготовлення теразитової розчинової суміші з окремих компонентів в змішувач спочатку завантажують заповнювач і суміш цементу з пігментами та ретельно перемішують. Воду, вапняне молоко і пластифікатори вводять на останньому етапі перемішування. Для визначення рухомості теразитових сумішей безпосередньо на об'єкті є декілька способів. Рухомість вважають достатньою, якщо суміш не обсыпається при нанесенні на вертикальну заґрунтовану поверхню шаром 6–8 мм для дрібнозернистого, 8–10 – середньозернистого і 10–12 мм – крупнозернистого теразиту.



**Рис. 10.4.** Теразитова штукатурка

Фактура теразиту залежить від граничної крупності зерен заповнювача. Дрібнозернисті заповнювачі в теразитових сумішах мають зерна 0,15–2 мм, середньозернисті – 2–4 мм, крупнозернисті – 4–6 мм. Крупнозернистий теразит (теразит К) при обробці фасадів використовують для штукатурення цоколів і нижніх поверхів, середньозернистий (теразит С) – для поверхонь стін, дрібнозернистий (теразит Д) – для влаштування карнизів.

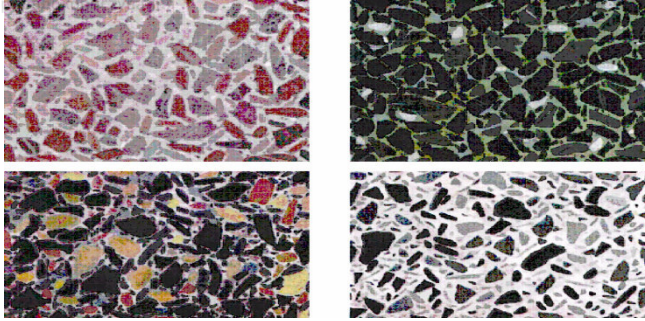


При формуванні залізобетонних панелей на заводі для їх обробки використовують теразитові суміші з білого цементу і кольорової кам'яної крихти в співвідношенні від 1:4 до 1:5. Зерновий склад кам'яної крихти: фракція 1,2–2,5 мм — 35–40; 2,5–5 мм — 60–65%. Кількість води підбирають так, щоб рухомість суміші характеризувалася зануренням конуса на 2–3 см. Після нанесення і ущільнення опоряджувального шару поверхню виробу обробляють водою; внаслідок цього цементне тісто вимивається із зовнішньої сторони зерен кольорового заповнювача і заповнює порожнечу між його зернами.

Після двох-трьохгодинного витримання при нормальній температурі виробу обробляють гарячою парою. Для підвищення водонепроникності і морозостійкості декоративного шару, зменшення його забруднення під час експлуатації ефективна обробка розчинами кремнійорганічних сполук.

*Каміневидними штукатурками* обробляють в основному фасади і цоколі монументальних споруд. Основним в'язучим є цемент; вапняне тісто вводять в кількості 10–20% для надання розчиновим сумішам пластичності і розбілювання цементу. Як заповнювач використовують звичайно крихту імітованої гірської породи (рис. 10.5). Важливе значення при цьому надається зерновому складу кам'яної крихти, який повинен відповідати способу обробки поверхні затверділого розчину і потрібній фактурі. При піскоструминній обробці поверхні бажано, щоб суміш містила не менше 50% зерен крупністю 2,5–5 мм. Для дрібнозернистої фактури, що виготовлена циклюванням, розмір зерен заповнювача не повинен перевищувати 1,2 мм, для рельєфних фактур застосовують крупнозернисті суміші.

Як різновид декоративно-опоряджувальних розчинів можна розглядати *штучний мармур* (рис. 10.5) на гіпсових і цементних в'язучих. Виготовлення штучного мармуру складається з наступних операцій: очищення і промивання водою облицювальної поверхні; нанесення ґрунту; накладення на висохлий ґрунт лицевого шару; зачистка, циклювання, шліфування, лощіння і полірування. Штучним мармуром облицюють кам'яні, бетонні і дерев'яні конструкції.



**Рис. 10.5.** Зразки покриттів розчинів, що імітують штучний мармур

Для виготовлення штучного мармуру на основі гіпсових в'язучих гіпсопідчану суміш замішують на 2–2,5%-у клейовому розчині.

На поверхні ґрунту для кращого зчеплення лицьового шару штучного мармуру нарізують сітку з подряпинами глибиною 3–4 см.

Штучний мармур на основі цементу виготовляють з сухої суміші наступного складу, мас.ч.:

Цемент білий або розбілений	1
Мармурова мука	1–1,25
Пігмент	0,1–0,3

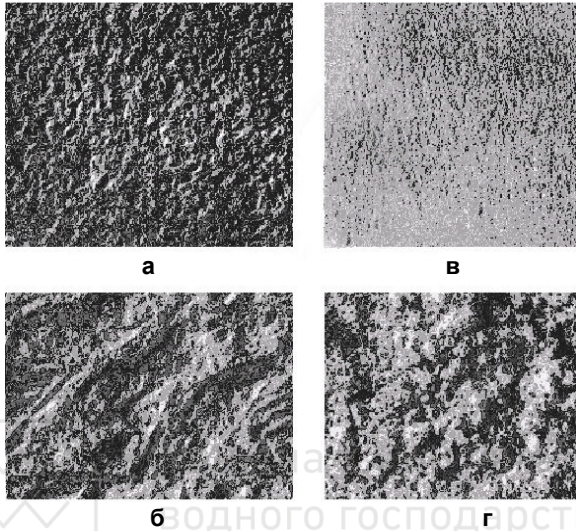
Гіпсові і цементні суміші застосовують для виготовлення безшовного або брускового штучного мармуру, литих плит на склі, мармуровидного лицьового шару при заводській обробці бетонних і залізобетонних виробів.

При виготовленні на заводі виробів з мармуровидною поверхнею для утворення прожилків на змазаній піддон форми, пістолетом-фарборозпилювачем наносять пігментуючу речовину; після цього з вібробункера або бетоноукладача накидають суміш розчину.

Затверділий декоративний шар каменевидної штукатурки обробляють каменярськими інструментами, бучардою, піскоструминними апаратами. Застосовують також обробку циклюванням, набризком і ін. (рис. 10.6). Для кращого оголення



кам'яної крихти опоряджувальний шар обробляють 10–15%-м розчином соляної кислоти.



**Рис. 10.6.** Приклади опорядження покриттів розчинів:  
а – бучардой, б – скарпелем, в – циклюванням, г – набризком

При заводському виготовленні стінових панелей для отримання каменеvidного покриття фасадну поверхню панелей обробляють декількома способами: посипанням і **поглибленням** подрібненого матеріалу в свіжесформований шар цементно-піщаного розчину, нанесеного на поверхню виробів; застосуванням фіксуючих шарів з піску, дрібнозернистої крихти або саморуїнуючих паст, що укладаються на піддон форми і т.п.

Каменеvidне покриття з розчину із поглибленою крихтою декоративних гірських порід виготовляють, формуючи панелі лицьовою поверхнею вгору. На вирівняну поверхню свіжесформованих виробів укладають цементно-піщаний розчин складу 1:3...1:4 із зануренням конуса до 4 см, по якому рівномірно розподіляють декоративний матеріал, який утрамбовується або накатується до занурення на глибину 0,5–0,6 поперечного перерізу зерен з подальшою короткочасною вібрацією. Необхідний колір покриття створюють введенням пігментів або обробкою шару розчину пігментованим цементним молоком, що



виготовляється в механічних змішувачах або гідродинамічних диспергаторах. Після обробки гарячою парою фасадну поверхню панелей миють водою, очищають металевою щіткою і обробляють гідрофобними речовинами.

Для виготовлення каменеvidного покриття при формуванні панелей лицьовою поверхнею вниз використовують підстилаючий шар з піску, на який насипають і вдавлюють на 0,3–0,5 діаметра декоративний матеріал, потім укладають кольоровий розчин і формують панелі.

Застосовують також спосіб нанесення на змазаний піддон форми фіксуєючої пасту шаром 3–10 мм, яку посипають подрібненим декоративним матеріалом. Після досягнення пастою міцності при стиску 0,4–0,5 МПа укладають розчин і формують вироби. Склад фіксуєючої пасту %: будівельний гіпс – 65, гідратне вапно – 22, сірчанокислий глинозем – 13. Замішуючи пасту, додають 1% сповільнювача тужавлення гіпсу. При обробці панелей гарячою парою в пасті відбуваються деструктивні зміни в результаті утворення гідросульфатомінатів кальцію, і вона перетворюється на незв'язну масу і змивається водою.

Для виготовлення каменеvidного покриття при формуванні виробів застосовують також паперові килимки, на які за допомогою рідкого скла наклеюють кам'яну крихту. Килимки укладають на піддони обчищених і змазаних форм, наносять шар декоративного цементно-піщаного розчину і формують вироби. Після обробки гарячою парою поверхню виробів очищають від паперу.

*Розчини на основі колоїдного цементного клею (КЦК) мають підвищену міцність і адгезію до бетонів, порівняно низьке водопоглинання. КЦК – це продукт сумісного вібропомелу цементу і кварцового піску. Питома поверхня суміші повинна бути не менше 500 м<sup>2</sup>/кг. Для виготовлення забарвленого КЦК використовують кольорові портландцементи або до білого цементу при помелі додають лугостійкі пігменти. Суху суміш клею, приготовану на заводі і централізовано доставлену на об'єкт в поліетиленових мішках, зберігають не більше 15 діб. Штукатурні розчини на основі КЦК можна виготовити змішуванням клею з піском і водою. Якщо потрібна штукатурка*



з підвищеною водостійкістю, в розчин додають гідрофобізатори типа ГКР. Використовують піски кварцові з крупністю зерен до 1 мм, а також піски, що є продуктом подрібнення гірських порід (мармур, граніт, вапняк) з границею міцності при стиску не нижче 40 МПа.

КЦК виготовляють безпосередньо перед використанням. З цією метою порошок з водою при водов'язучому відношенні 0,35–0,5 перемішують протягом 5–6 хв у вібророзмішувачі або ультразвуковому активаторі. За відсутності вібророзмішувача і активатора виготовлення розчинових сумішей допускається в змішувачах інших конструкцій. Після 3–4 хв перемішування суміш піддають п'ятихвилинній віброактивації за допомогою будь-якого височастотного вібратора, що забезпечує 10000–14000 об/хв.

Рухомість робочої суміші складає: для безпіщаних розчинів (клеїв) – 7–8 см, для розчинів на основі КЦК – 10–12 см.

Застосовують три способи обробки панелей розчинами на основі КЦК:

- 1) нанесення опоряджувального розчину на піддон форми з подальшим бетонуванням панелі (при формуванні «обличчям вниз»);
- 2) нанесення оздоблювального розчину на свіжесформовану і вирівняну поверхню панелі (при формуванні «обличчям вверх»);
- 3) нанесення опоряджувального розчину на поверхню готової панелі, після обробки її гарячою парою (при будь-якому методі формування).

В сучасному будівництві для обробки будівель і споруд широко використовують *тонкошарові декоративні фасадні штукатурки*. Вони виконуються зазвичай з готових порошкоподібних і мастикових (пастових) сумішей. Тонкошарові штукатурки мають як декоративну, так і захисні функції, утворюють шар, стійкий до атмосферної, у тому числі ультрафіолетової дії, а також механічним пошкодженням (рис. 10.7).

Легкі штукатурки покращують теплоізоляційні властивості стін, зберігають потрібний мікроклімат усередині приміщень, забезпечують виконання спеціальних вимог: екранування



радіохвиль, захист від шуму і т.д. Окрему групу складають штукатурки, що використовують в реставраційних роботах. Однією з основних вимог до декоративних штукатурок при виконанні реставраційних робіт є достатня швидкість дифузії водяної пари.



Рис. 10.7. Приклади декоративних тонкошарових штукатурок

Основною групою тонкошарових штукатурок є декоративні фасадні штукатурки завтовшки 1–3 мм, що укладаються у вигляді опоряджувального шару як традиційних цементно-вапняних штукатурок, так і систем теплоізоляції будівель. Загальна якісна характеристика основних видів тонкошарових декоративних штукатурок приведена в табл. 10.8.

Тонкошарові штукатурки дозволяють одержувати як різноманітну колірну гамму, так і різні види фактур після затірки гладкою неіржавіючою теркою. Поширені рустикальна («короїд») і шорстка («баранчик») фактури. Першу одержують вертикальними і круговими рухами, другу – круговими.

*Мінеральні штукатурки* виготовляються у вигляді сумішей на основі портландцементу і кварцової або мармурової крихти з розміром зерен до 1,5; 2 або 3 мм.





Загальна характеристика тонкошарових штукатурок

Основна зв'язуюча речовина і властивості	Штукатурні суміші			
	мінеральні	акрилові	силікатні	силіконові
Основна зв'язуюча речовина	цемент	акрилова смола	рідке скло	силіконова смола
Паропроникання	високе	низьке	високе	високе
Водопоглинання	високе	низьке	середнє	низьке
Схильність до забруднень	середня	висока	низька	дуже низька
Еластичність	низька	висока	середня	висока
Вид пігментів	неорганічні	неорганічні, органічні	неорганічні	неорганічні, органічні
Стійкість до ультрафіолетового проміння	висока	низька	висока	висока
Мікробіологічна стійкість	середня	низька	висока	висока
Стійкість до стирання	низька	висока	висока	висока
Стійкість до озону	висока	низька	висока	висока

*Акрилові штукатурки* мають консистенцію пасти і виготовляються на основі водної дисперсії акрилових смол. Акрилові штукатурки утворюють гідрофобні покриття з високою стійкістю до механічних пошкоджень. Проте вони старіють під впливом ультрафіолетового проміння. Різновидом акрилових штукатурок є мозаїчна штукатурка. Вона виготовляється на



основи акрилової смоли з додаванням мармуру і кольорової кварцової окрошки, має високу міцність, стійкість до миття, очищення, рекомендується для обробки сходових майданчиків, цоколів, стін.

*Силікатні і силіконові штукатурки* застосовують у вигляді готових до застосування мас, виготовлених відповідно на основі рідкого скла і кремнійорганічної смоли, мармурової, доломітової і т.п. крихти. Утворюють міцні поверхні з великою еластичністю, що пропускають водяну пару, стійкі до миття і біологічної корозії. Силіконові штукатурки здатні до самоочищення під впливом атмосферних опадів.

Важливий етап при виконанні тонкошарових штукатурок – підготовка поверхні основи, яка повинна бути чистою, міцною і рівною.

Тонкошарові декоративні штукатурки дозволяють одержувати покриття відомі як *«венеціанські штукатурки»*. Вперше такі покриття були отримані в епоху ренесансу у Венеції на основі мармурового пилу, вапна, рослинних фарбників і води. В даний час подібні штукатурні склади обов'язково містять акрилові зв'язуючі. Як правило, *«венеціанські штукатурки»* з підвищеним вмістом полімеру утворюють більш еластичні і тріщиностійкі покриття.

Полімерні штукатурки стійкі до атмосферних впливів, ударів, гідрофобні, паропроникні, легко наносяться на поверхні конструкцій, не шкідливі для здоров'я людей. Покриття можуть виконуватися як в одному кольорі, так і багатокольорними. *«Венеціанська штукатурка»* передбачає *«підпресування»* декількох тонких напівпрозорих шарів матеріалу. Завдяки грі відображеного проміння світла, що проходить через товщу покриття *«венеціанська штукатурка»* нагадує полірований мармур. Технологія отримання покриття включає операції загладжування, *«залізнення»* і полірування шпателем кожного шару. Готове покриття має товщину 3...5 мм, характеризується високою паропроникністю, що створює в приміщенні приемний мікроклімат. *«Венеціанська штукатурка»* дозволяє художникам створювати на її поверхні декоративні панно, розпис здійснюють по вологому останньому шару спеціальними пігментами.



Декоративну штукатурку на основі натурального целюлозного волокна і клейового зв'язуючого з додаванням пігментів називають «*рідкими шпалерами*». Рідкі шпалери нагадують паперові з невеликим рельєфом або ворсисту тканину. Вони дозволяють одержувати суцільне безшовне покриття, приховують невеликі тріщини і дефекти. Перевага цієї штукатурки полягає в тому, що вона легко наноситься, не вимагає значних затрат праці для приготування суміші. Поверхня, покрита «*рідкими шпалерами*», може мати різну структуру, вона добре чиститься і реставрується. На неї легко наноситься фарба, клеяться рулонні шпалери.

### 10.5. Розчини для підлог

Для підлог застосовують цементно-піщані, мозаїчні, ксилолітові і полімерцементні розчини.

*Цементно-піщані розчини* використовують для влаштування стяжок та укладання плиткових підлог. При влаштуванні стяжок застосовують розчини марок М100–М200 з рухомістю суміші 4–5 см. Для наливних стяжок по сипучих матеріалах (піску, шлаку) застосовують рухомі розчинні суміші з введенням добавок суперпластифікаторів. Розробка суперпластифікаторів нового покоління (гіперпластифікаторів) дозволила одержати склади розчинів для підлог, що самонівелюються.

До розчинів підстилаючого шару при кріпленні плиток висувають вимоги підвищеної адгезійної здатності, що забезпечується правильним підбором складу, зниженням усадочних деформацій при твердінні, вибором оптимальної товщини шару.

Орієнтовні склади цементно-піщаних розчинів приведені в табл. 10.9.

Рухомість сумішей розчинів для покриття підлоги – 2,5–3,5, для стяжок – 11–13 см. Цементно-піщані розчини повинні тверднути у вологих умовах протягом 7–10 діб.



Склади цементно-піщаних розчинів для підлоги  
(цемент марки М 400)

Марка розчину	Співвідношення за масою (цемент: середньозернистий пісок: вода)	Призначення
150	1 : 3 : 0,55	Для стяжок
200	1 : 2,8 : 0,48	
300	1 : 2,4 : 0,4	Для покриттів
400	1 : 2 : 0,3	

У виробничих будівлях влаштовують також підлоги з *металоцементним покриттям*. Покриття складається з нижнього шару – цементно-піщаного розчину марки М400 завтовшки 20 мм – і верхнього М500 з суміші сталеві стружки, цементу і води не менше 20 мм товщиною. Сталеву стружку подрібнюють на бігунах або в кульових млинах, потім обезжирюють прожарюванням і просівають на ситі з розміром отворів 1,2 мм. Насипна густина сталеві стружки повинна бути не менше 2000 кг/м<sup>3</sup>. При виготовленні металоцементних сумішей, цемент і сталеву стружку дозують в співвідношенні за об'ємом 1:1. Кількість води підбирають так, щоб рухомість суміші відповідала зануренню конуса 1–2 см.

## 10.6. Спеціальні розчини

До спеціальних відносять розчини для гідроізоляційних, ін'єкційних, тампонажних, кислотостійких, жаростійких, теплозахистних, акустичних, рентгенозахисних та інших видів покриттів спеціального призначення.

**Гідроізоляційні розчини** застосовують для створення гідроізоляційних покриттів залізобетонних труб та інших конструкцій, для зачеканювання і гідроізоляції швів тюбінгів, та інш., для влаштування торкретної оболонки бетонних підземних споруд, які сильно фільтрують воду, або споруджуваних в умовах підвищеної вологості. При виборі цементів для гідроізоляційних розчинів важливе значення має їхня активність. З підвищенням



активності цементів водонепроникність розчинів як і бетонів, зростає майже прямолінійно. При виготовленні гідроізоляційних розчинів, призначених для служби в умовах агресивних вод, застосовують сульфатостійкі цементи. Для отримання водонепроникних розчинів, окрім портландцементу, пуцоланового і шлакопортландцементу ефективні: водонепроникний розширний цемент (ВРЦ), водонепроникний безусадочний цемент (ВБЦ), гіпсоглиноземистий розширний цемент (ГТРЦ).

Першочерговий вплив на водопроникність розчинів має водоцементне відношення з підвищенням якого в розчині розвивається система пор і капілярів. Як правило, для гідроізоляційних розчинів  $V/C = 0,3-0,5$ .

Добавки для підвищення водонепроникності розчинів поділяють на мікронаповнювачі, пластифікатори, кольматуючі, полімерні і комбіновані. Як мікронаповнювачі використовують звичайно дешеві і доступні матеріали – кам'яне борошно, золу-винос та ін. Роль мікронаповнювачів зводиться до ущільнення і створення дрібнозернистої структури розчинів. Серед кольматуючих добавок поширені хлориди заліза, алюмінію і кальцію. — Гідроізоляційні розчини готують також з використанням добавок рідкого скла, алюмінату натрію, азотнокислого кальцію та інших добавок.

Надійно служать гідроізоляційні розчини, нанесені методом торкретування.

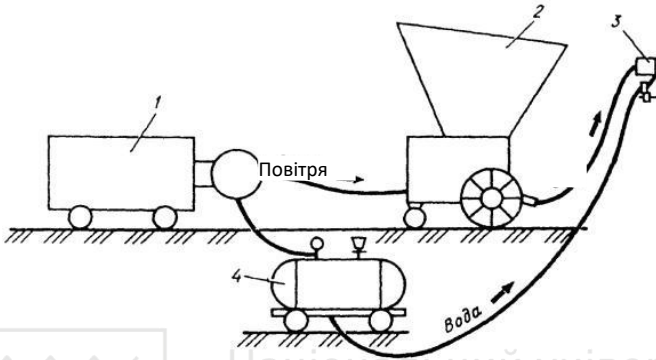
*Торкрет-розчини (набризк-розчини)* – розчини, одержувані методом пневматичного розпилення розчинової суміші на оброблювану поверхню (рис. 10.8).

**Кислотостійкі розчини** виготовляють з суміші кислотостійких заповнювачів і дисперсних наповнювачів з кремнефторидом натрію, замішаної на рідкому склі.

Заповнювачами кислотостійких розчинів є кварцовий пісок, а також піски з подрібненого граніту, андезиту, базальту і інших порід. Наповнювачі – тонкомелений кварцовий пісок, маршаліт і інші кремнеземисті порошкоподібні матеріали. Вміст кремнефториду натрію складає близько 15% маси рідкого скла.



Для підвищення водостійкості кислотостійких розчинів до них додають активні мінеральні добавки – трепел, опоку, діатоміт і т.п. Полімерні добавки у складі кислотостійких розчинів підвищують їх густину і непроникність.



**Рис. 10.8.** Схема обладнання для виконання робіт методом сухого торкретування; 2 – цемент-гармата; 3 – сопло; 4 – водяний бак; 1 – компресор

**Жаростійкі розчини** зберігають в заданих межах свої властивості при тривалій дії високих температур. Їх застосовують для кладки пічних та інших теплових агрегатів, а також захисних штукатурних покриттів, що працюють при високих температурах. Жаростійкі розчини поділяють:

*за видом в'язучого* – на портландцементі та його різновидах; алюмінатних цементах(глиноземистому та високоглиноземистому); силікатних(рідкому склі), фосфатних та магнезійальних в'язучих;

*за видом тонкомеленої добавки* – з шамотною, кордієритовою, золошлаковою, керамзитовою, аглопоритовою, периклазовою та іншими добавками;

*за видом заповнювача* – з шамотним, корундовим, магнезійальним, карборундовим, кордієритовим, андезитовим, перлитовим заповнювачами та ін.

При застосуванні портландцементу гранична допустима температура застосування розчину коливається від 300 до



1200° С, глиноземистого цементу від 800 до 1800° С, рідкого скла від 600 до 1300° С.

При температурі експлуатації до 600–800° С як заповнювачі знаходять застосування гірські породи, що не містять значної кількості вільного кварцу (андезити, базальти, діабазы, туфи, пемза), а також доменні шлаки, керамзит, аглопорит та ін. Для розчинів, які експлуатуються за температури 1200–1700° С, як заповнювачі застосовують різні вогнетривкі матеріали -шамот, хроміт, кордієрит, корунд та ін.

Як тонкомелені добавки застосовується цілий ряд дисперсних матеріалів, які є хімічно активними по відношенню до СаО – на основі золи-виносу, доменного гранульованого шлаку, шамоту та ін.

**Теплоізоляційні і звукопоглинальні розчини.**  
*Теплоізоляційні розчини* мають низьку теплопровідність ( $\lambda$ ) і придатні для теплової ізоляції конструкцій і споруд. Відповідно до чинної класифікації будівельних теплоізоляційних матеріалів вони можуть відповідати першому ( $\lambda \leq 0,0650$  Вт/(м·°С)), другому ( $\lambda = 0,06 - 0,115$  Вт/(м·°С)) або третьому ( $\lambda = 0,115 - 0,1750$  Вт/(м·°С)) класам за теплопровідністю і, відповідно групам за густиною: низької – до 175 кг/м<sup>3</sup>, середньої – 200–350 кг/м<sup>3</sup> або щільної – до 500 кг/м<sup>3</sup>.

Властивості теплоізоляційних розчинів, що визначають раціональні області їх застосування, обумовлені видом і властивостями вихідних матеріалів і особливостями структури, на якій істотно позначаються спосіб поризації, умови твердіння та ін.

Виробляють кладочні і штукатурні теплоізоляційні розчини. Перші призначені для кладочних швів при зведенні стін з легкої пористої цегли, блоків з матеріалів на пористих заповнювачах, ніздрюватих бетонів. Застосування теплоізоляційних розчинів робить кладку більш однорідною по своїм теплоізоляційним властивостям і попереджає утворення «містків холоду».

Теплоізоляційні штукатурні розчини використовуються як опоряджувальні матеріали, що суттєво знижують



теплопровідність огорожуючих конструкцій та покращують їх теплову ефективність.

Низька теплопровідність розчинів забезпечується застосуванням відповідних пористих заповнювачів. Усереднені значення коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних розчинів з застосуванням як заповнювачів керамзитового, перлітового та вермикулітового пісків приведені в табл. 10.11.

Таблиця 10.11

Коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційних розчинів

Марка бетону за середньою густиною	Значення коефіцієнту теплопровідності в сухом стані, Вт/(м·°С) з застосуванням		
	Керамзитового піску	Перліту	Вермикуліту
D200	-	-	0,07
D300	-	0,09	0,08
D400	0,11	0,10	0,09
D500	0,14	0,11	0,11

Поряд з цементними застосовують теплоізоляційні розчини га гіпсових в'язучих. Їх порівняльні характеристики наведені в табл. 10.12.

Таблиця 10.12

Основні властивості гіпсових теплоізоляційних розчинів

Показники	Густина розчинів, кг/м <sup>3</sup>		
	100	200	300
Міцність при стиску, МПа	0,08	0,2	0,4
Теплопровідність в сухому стані, Вт/м·°С	0,06	0,08	0,1
Максимальна сорбційна вологість	2,0	2,0	2,0
Морозостійкість, цикли	50	50	50

З розчинів на пористих органічних заповнювачах для теплової ізоляції ефективним є розчин із застосуванням в якості заповнювача пінополістирольних гранул (полістиролбетон).





**Звукопоглинальні розчини** застосовують для акустичних штукатурок. Звукопоглинання матеріалів характеризується ступенем або коефіцієнтом поглинання звуку, які зростають з підвищенням кількості відкритих пор, максимальний діаметр яких не перевищує 2 мм. На середніх частотах розчини здатні поглинати до 50% звукової енергії. Звукопоглинаючі розчини забезпечують також необхідну тривалість *реверберації* – поступового зростання звуку у приміщеннях. Тривалість реверберації залежно від інтер'єру приміщень і частоти коливань становить 0,2–2,0 сек.

Звукопоглинальні розчини мають середню густину 600–1200 кг/м<sup>3</sup>. Заповнювачами в них слугують піски з зернами крупністю від 3 до 5 мм з пористих матеріалів: пемзи, шлака, спученого перліту, керамзиту та ін.

**Безусадочні і розширні розчини** застосовують при омоноличуванні збірних залізобетонних елементів, відновленні бетонних і залізобетонних конструкцій, гідроізоляції підземних споруд, зведенні ємностей для зберігання нафти та газу, влаштуванні покриттів підлог, доріг і аеродромів та ін.

Основним способом отримання безусадочних і розширних розчинів є застосування спеціальних цементів, які за класифікацією Г. Лосьє, поділяють на види залежно від показника розширення зразків при зберіганні їх у воді:

цементи	розширення, мм/м
<i>безусадочні</i>	2–5
<i>слаборозширні</i>	5–6
<i>середньорозширні</i>	8–10
<i>сильнорозширні</i>	12–15

На теперішній час розроблена значна кількість безусадочних і розширних цементів, які отримують на основі портландцементу, глиноземистого цементу та їх композицій. До складу таких цементів входять розширні компоненти і деякі добавки. У більшості цементів розширення викликається утворенням гідросульфоалюмінатів кальцію, гідратацією оксидів кальцію і магнею, реакцією утворення активної газової фази.

Розроблена технологія безусадочних розчинів на основі портландцементу з введенням вапна в кількості 10% в



перерахунку на СаО у воду замішування, а гідрофобної кремнійорганічної рідини ГКР-94 (0,1%) при помелі цементу. При цьому цемент набуває гідрофобність і не втрачає активність при тривалому зберіганні.

Безусадочні розчини можуть бути отримані також при додаванні до портландцементу оксиду магнію або випаленого доломіту. Розширення таких розчинів обумовлено збільшенням об'єму гідроксиду магнію при його утворенні і кристалізації у початковий період тверднення цементу.

Безусадочні розчини виготовляють також на водонепроникному безусадочному цементі (ВБЦ), який розробив В.В. Михайлов. Цей цемент отримують сумісним помелом глиноземистого цементу, напівводного гіпсу і вапна-пушонки.

Ряд розширних цементів з різним ступенем і енергією розширення запропонований на основі глиноземистого цементу. У 1935–1941 рр. був розроблений водонепроникний розширний цемент (ВРЦ). Цей цемент отримують спільним помелом або ретельним змішуванням глиноземистого цементу, будівельного чи високоміцного гіпсу та високоосновного гідроалюмінату кальцію. Оптимальний склад ВРЦ: глиноземистий цемент – 70–76%, напівводний гіпс – 20–22%, високоосновний гідроалюмінат кальцію – 10–11%

Розчини на цьому цементі не можна застосовувати в конструкціях, які експлуатуються при недостатній вологості або при температурі більше 80° С. До основних недоліків ВРЦ відноситься також швидке тужавлення, що ускладнює виготовлення і вкладання бетонних і розчинових сумішей на його основі.

Недоліків ВРЦ позбавлений гіпсоглиноземистий розширний цемент – ГГРЦ – високоміцна швидкотверднуча гідравлічна в'язуча речовина, отримана при спільному помелі глиноземистого клінкеру з природним двоводним гіпсом.

До *ін'єкційних* відносять велику групу розчинів, які застосовують у виробництві попередньо напружених залізобетонних конструкцій, для укріплення крупнопористих та тріщинуватих скельних ґрунтів, ущільнення тунельних облицювань та ін.



У виробництві попередньо напружених залізобетонних конструкцій ін'єкційні розчини, які вводять в канали, де розміщена арматура, слугують для забезпечення спільної роботи арматури з бетоном і захисту її від корозії. Склад розчинів повинен забезпечувати щільне заповнення каналів, мінімальне водовідділення (не більше 2%), необхідне зчеплення з арматурою і бетоном. Марка розчинів за міцністю нормується не менше М300, вони повинні мати достатню морозостійкість. Застосовують цементно-піщані розчини з використанням дрібних пісків і пластифікуючих добавок.

Ін'єкційні розчини застосовують також для заповнення пустот, великих пор і тріщин, підвищення міцності і зниження водопроникності крупнопористих незв'язних ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації  $K_f > 50$  м/добу, а також скельних ґрунтів з величиною розкриття тріщин від 0,1 мм і більше і питомим водопоглинанням від 0,01 л /хв·мм·вод.ст.

Спосіб нагнітання під тиском в тріщини і пори ґрунту або дефекти кладки цементних розчинів називається *цементациєю*. Цей спосіб широко розповсюджений в гідротехнічному будівництві для ущільнення ґрунтів, він дозволяє зводити такі відповідальні споруди, як, наприклад, високі греблі на основах із тріщинуватих порід при наявності несприятливих геологічних факторів. Цементацию з успіхом застосовують і як спосіб усунення дефектів і пошкоджень бетону при будівництві та експлуатації споруд.

Як різновиди ін'єкційних можна вважати *тампонажні розчини* для цементування нафтових та газових свердловин.

**Біоцидні розчини** призначені для застосування в приміщеннях, де небажані такі процеси як гниття, бродіння і т.п. (підприємства харчової, біологічної промисловості, водопостачання й ін.)

Для надання біоцидних властивостей розчиновим сумішам вводять органічні добавки: катапінбактерицид, олово-органічні сполуки та інші.

Біоцидні розчини зберігають здатність чинити опір біологічній корозії протягом 5–10 років у водному середовищі. При підборі складів біоцидних розчинів враховують



пластифікуючий, газовиділяючий і повітровтягуючий ефект біоцидних добавок, які відносяться до катіонних поверхнево-активних добавок. Бактерицидні добавки при витраті більше 3 л на 1 м<sup>3</sup> розчину можуть знижувати його міцність на 15–25%.

**Розчини для захисту від іонізуючих випромінювань** застосовують при необхідності біологічного захисту від радіаційних випромінювань на атомних станціях та інших підприємствах, де працюють ядерні реактори, установки по виробництву ізотопів, ядерного палива та ін. Найбільшу проникаючу здатність з усіх видів радіаційних випромінювань мають нейтрони та гамма-промені.

Рентгеновське випромінювання за своїми фізичними властивостями аналогічно гама-випромінюванню. Густина *рентгенозахисних розчинів* повинна бути більше 2200 кг/м<sup>3</sup>, для цього застосовують баритовий пісок або заповнювач з інших важливих порід (магнетит, лімоніт та ін.) із зернами крупністю до 1,25 мм і тонкомелений наповнювач.

Захисні властивості штукатурок покращують, шляхом введення речовин, що містять бор, і добавки, в яких є такі елементи, як водень, літій, кадмій.

Здатність матеріалу поглинати  $\gamma$ -випромінювання пропорційна його густині. Для ослаблення потоку нейтронів в матеріалі, навпаки, повинні бути присутніми елементи з малою атомною масою, як, наприклад, водень.

## 10.7. Сухі будівельні суміші

Сучасне будівництво характеризується все більш широким застосуванням сухих будівельних сумішей – ретельно віддозованих і перемішаних в заводських умовах сумішей, які замішуються водою на будівельному майданчику.

При виробництві будівельних робіт ефективність сухих сумішей виявляється у високому рівні механізації, істотному скороченні термінів будівництва, зниженні трудомісткості і виробничих витрат, забезпеченні високої якості. Очевидні переваги сухих сумішей перед звичайними розчинами за такими показниками як витрати на перевезення, технологія приготування



розчинів на будівництві, сталість їхнього складу, заданий рівень властивостей.

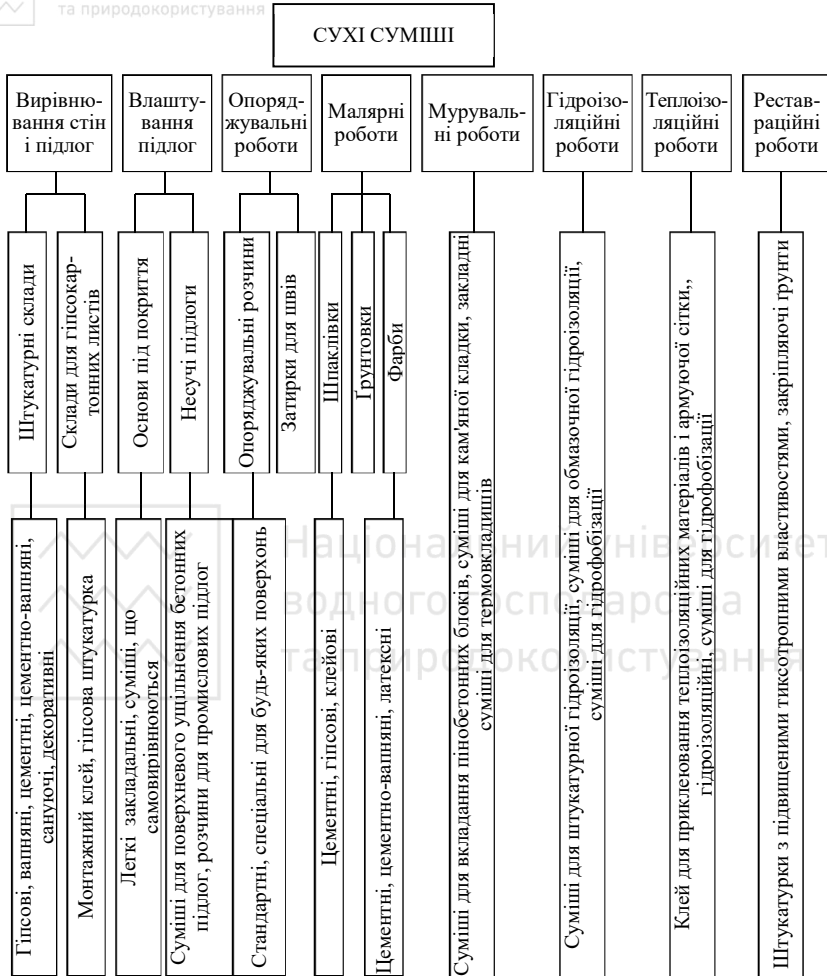
Транспортувати сухі суміші можна як при додатніх, так і при від'ємних температурах без обмежень по дальності. Сухі суміші можуть використовуватися на будівельному об'єкті дрібними порціями, зберігатися достатньо тривалий час без погіршення при цьому своїх властивостей.

Сухі будівельні суміші класифікують (рис. 10.9) за:

- основним призначенням (видом робіт);
- видом в'язучого в суміші;
- ступенем модифікації суміші добавками;
- найбільш характерною властивістю в затверділому стані;
- умовами використання.

Сухі суміші здавна використовували в будівельних роботах. Зокрема знайшли використання так звані «гарцовки» (суміші цементу та кварцового піску з вапном), окремі види шпаклівок, однак нове народження цього виду будівельних матеріалів пов'язано із створенням системи функціональних добавок для надання будівельним розчинам спеціальних властивостей. В останні роки були синтезовані цілі групи добавок, які забезпечують будівельним розчинам високу пластичність, водоутримуючу здатність, задані реологічні характеристики при мінімальному вмісті води, необхідну пористу структуру та ін. Використання таких добавок є необхідною умовою виробництва сухих будівельних сумішей та їхнього використання в різних галузях будівництва.

За призначенням розрізняють мурувальні, шпаклювальні, штукатурні, клейові, герметизуючі суміші та ін.; за видом основного в'язучого – гіпсові, ангідритові, вапняні, магнезіальні, цементні, цементно-вапняні, полімерні та ін.; за характерною властивістю в затверділому стані – адгезійні, атмосферостійкі, швидкотверднучі, водонепроникні, морозостійкі, високоміцні, такі, що саморозтікаються, еластичні та ін.; за умовами використання – ручного і машинного нанесення, для пористих матеріалів і т.д.



**Рис. 10.9.** Класифікація сухих сумішей

Однакова суміш нерідко може бути використана при виконанні різних видів робіт.

Сухі суміші, які містять в своєму складі в'язучі одного типу, називають простими, змішані в'язучі – складними.

Поряд з в'язучими і заповнювачами в сухі будівельні суміші вводять наповнювачі – порошкоподібні або волокнисті



матеріали, що застосовуються для економії в'яжучих, поліпшення і регулювання властивостей розчинів.

Мінеральні наповнювачі в цементних системах умовно поділяють на активні і інертні. До *активних* відносять дисперсні мінеральні речовини, здатні взаємодіяти з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі клінкерних мінералів (активні мінеральні добавки). До активних наповнювачів відносять також карбонатні порошки, які взаємодіють з алюмінатною фазою цементу з утворенням комплексних сполук типу гідрокарбоалюмінатів. У світлі сучасних теоретичних уявлень про структуроутворення цементних систем мінеральні наповнювачі, які не беруть безпосередньо участь в хімічній взаємодії з продуктами гідратації цементу, неточно називати інертними. Вони також активно впливають на фізико-хімічні процеси структуроутворення і синтез властивостей розчинів і бетонів.

Більш прийнятною є класифікація мінеральних наповнювачів залежно від ступеня їх активності по відношенню до продуктів гідратації цементу. Відповідно до цієї класифікації наповнювачі ділять на 4 групи:

I група – повільно твердіючі дисперсні матеріали (основні шлаки, золи та ін.);

II група – мінеральні порошки, які хімічно взаємодіють з продуктами гідратації цементу (кислі золи і шлаки, мікрокремнезем, метакаолін та ін.);

III група – дисперсні матеріали, що характеризуються низькою реакційною активністю з питомою поверхнею 400...500 м<sup>2</sup>/кг (андезити, сиеніти, діабази, граніти);

IV група – реакційно неактивні наповнювачі (пиролюзит, деякі оксиди металів та ін.).

Ця класифікація також є умовною і справедливою при дисперсності порід, що не перевищує 600 м<sup>2</sup>/кг. Вона так само, як і попередня, враховує тільки хімічну активність, не беручи до уваги такий важливий показник активності наповнювача як величину його поверхневої енергії, яка визначає міцність адгезійних контактів в системі цемент-наповнювач. Згідно термодинамічної концепції адгезії для створення міцних



адгезійних контактів поверхнева енергія наповнювача повинна бути більше поверхневої енергії цементу.

Вплив дисперсних наповнювачів в цементних системах проявляється на мікро-, мезо- і макрорівнях.

На *мікрорівні* проявляється молекулярна взаємодія продуктів гідратації цементу з наповнювачем. Хімічно активні кремнеземисті наповнювачі в результаті реакції з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – продуктом гідролізу клінкерних мінералів утворюють додаткові кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію. Карбонатні наповнювачі утворюють комплексні сполуки з гідроалюмінатами і вступають в обмінні реакції з гідросилікатами кальцію. Сутність фізико-хімічної взаємодії наповнювачів з гідратованим цементом полягає у формуванні епітаксціальних контактів, а також центрів кристалізації.

На *мезорівні* частинки наповнювача взаємодіють як з частинками гідратуючого цементу, так і між собою. В результаті збільшення об'ємної концентрації твердої фази частина води замішування переходить в плівковий стан і створюються т.зв. «стиснені умови», що позитивно позначається на формуванні структури цементного каменю.

На *макрорівні* наповнювач істотно впливає на адгезійну міцність між цементним тістом і заповнювачем, а також когезійну міцність матричної складової цементних композитів і їх щільність. Зменшуючи міжзернові відстані в бетонах і розчинах, наповнювачі можуть істотно збільшувати міцність контактної зони, що позитивно впливає на міцність матеріалів в цілому.

В сухих сумішах знаходять також застосування і органічні волокнисті наповнювачі: поліпропіленові, акрилонітрильні, целюлозні та ін. Вони впливають на міцнісні характеристики матеріалів, підвищують їхню тріщиностійкість, знижують усадку.

Регулювання будівельно-технологічних і експлуатаційних властивостей сухих сумішей досягається введенням різноманітних хімічних добавок, які можна об'єднати в групи:

- пластифікатори та суперпластифікатори;
- водоутримуючі;





- загущуючі;
- покращуючі адгезію;
- регулюючі фізико-механічні характеристики (опір зсуву, міцність на стиск, на згин та ін.);
- регулюючі строки тужавлення;
- знижуючі усадочні деформації;
- підвищуючі атмосферостійкість та морозостійкість (для фасадних матеріалів);
- такі, що надають матеріалу гідрофобні властивості.

За хімічною природою це можуть бути продукти як неорганічного, так і органічного синтезу: мінеральні соли, рідисперговані полімерні порошки, ефіри целюлози, ефіри крохмалю, поверхнево-активні речовини (ПАР) та ін. Як правило, для забезпечення заданого рівня властивостей цільового призначення суміші необхідна одночасна присутність добавок різної природи.

Для сумішей, що наносяться тонким шаром на пористі поверхні, важливо забезпечити необхідну водоутримуючу здатність. Швидке поглинання води основою не тільки приводить до втрати матеріалом пластичності, але і є причиною недостатньої гідратації в'язучого, зниження міцності, адгезії і морозостійкості. Модифікування сухих сумішей для поліпшення їхньої водоутримуючої здатності, пластичності, життєздатності досягається введенням добавок на основі складних ефірів целюлози, гідроксietил- і гідроксипропілметилцелюлози в кількості 0,05–0,5%.

Знаходить широке використання *метилцелюлоза* – метиловий ефір целюлози, добре розчинний в воді до густини розчину 1,29–1,31 г/см<sup>3</sup>, з насипною густиною 0,3–0,5 г/см<sup>3</sup>. При набряканні в воді об'єм метилцелюлози збільшується в десятки разів. Макромолекули метилцелюлози навіть в розбавлених водних розчинах схильні до агрегації. Водні розчини стабільні при рН від 2 до 12. В водних розчинах метилцелюлоза має гарні поверхнево-активні властивості, при нагріванні до температури 35–36° С спостерігається желатинізація. Зі зниженням температури до температури желатинізації гель руйнується. Метилцелюлоза здатна зберігати свої властивості після розчинення в воді, повторного висушування і диспергування.



Для підвищення водоутримуючої здатності сухих сумішей вводять також *бентонітові глини* – природні алюмосилікати, які характеризуються високою дисперсністю, набряканням, іонообмінною здатністю. Ці глини складаються з мінералів групи монтморилоніту з загальною формулою  $Al_2O_3 \cdot 4Si_2O_2 \cdot nH_2O$ . У виробництві сухих сумішей рекомендується використовувати бентонітові глини, модифіковані органічними речовинами. Вони чинять менш значний вплив на водоутримуючу здатність будівельних розчинів, ніж метилцелюлоза.

Більш високий рівень модифікації забезпечується шляхом введення до складу сухих сумішей *редиспергованих полімерних порошків*, які можуть виступати як добавки або самостійні полімерні в'язучі. Загальна характеристика редиспергованих полімерних порошків приведена в табл. 10.13.

Таблиця 10.13

Загальна характеристика  
редиспергованих полімерних порошків (РПП)

Характеристики	Значення
Хімічна природа	Вінілацетат, вінілацетат – етилен, вінілацетат – версатат, вінілацетат – акрилат, акрилат, бутилакрилат – стирол, стирол – акрилат
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	140–500
Вміст антикоагулянту, %	10–15
Вміст добавок проти злежування, %	5–15
Мінімальна температура утворення плівки, °С	0–25
Зольність, %	0,5–13
Характеристики	Значення
Хімічна природа	Вінілацетат, вінілацетат – етилен, вінілацетат – версатат, вінілацетат – акрилат, акрилат, бутилакрилат – стирол, стирол – акрилат
В'язкість, м·Па·с (при 20 об/хв)	500–5500
Середній розмір частинок, мкм	0,01–0,5
pH 30%-ї дисперсії	4–12



Редисперговані порошки одержують висушуванням водних дисперсій полімерів зазвичай методом розпилювального сушіння. Мінеральні в'язучі не завжди задовільно працюють на розтяг і згин, мають недостатню адгезію особливо до таких матеріалів як глазурована кераміка, пластики, метали, пінополістирол і т.п. При дозуванні редиспергованих сополімерних порошоків від 0,5 до 5% значно поліпшуються технологічність сумішей, адгезія до основи, знижується водопоглинання, підвищуються міцність на згин, водостійкість, морозостійкість. При дозуванні 5–7% редисперговані порошки починають працювати як самостійні полімерні в'язучі. Модифіковані ними матеріали починають виявляти еластичні властивості, витримують великі деформуючі навантаження, мають підвищену стійкість проти стирання.

На відміну від рідких і пастоподібних продуктів модифіковані полімерами суміші стійкі до впливу низьких температур і бактеріальних забруднень.

Ряд хімічних добавок надають сухим сумішам підвищеної тіксотропності, мають розріджувальний ефект, регулюють строки тужавлення, прискорюють твердіння та ін.

Найбільш ефективними розріджувальними добавками є *суперпластифікатори*. Вони вводяться до складу сухих сумішей для збільшення текучості розчинів, зниження водопотреби і, як наслідок, збільшення кінцевої міцності, щільності й однорідності розчинів. Особливо рекомендуються ці добавки в рецептурах сумішей, де вони відіграють роль розріджувачів, пластифікаторів, диспергаторів і зменшують усадку.

В комплекс спеціальних хімічних добавок входять: добавки, що регулюють строки тужавлення, прискорювачі твердіння, а також диспергатори, пороутворювачі, антиспінувачі, гідрофобізатори, консерванти та ін.



## 11. ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ

Бетони можна віднести до композиційних матеріалів, що включають матричну фазу – штучний камінь, отриманий в результаті твердіння в'язучого компонента (*дисперсійне середовище*) і заповнювачів (*дисперсна фаза*). Поряд з заповнювачами та їх тонкодисперсними різновидами – наповнювачами, роль дисперсної фази в бетонах виконують повітряні включення. На основні властивості бетону також активно впливає поверхня розділу між зв'язуючою матрицею і заповнювачами (*контактна зона*). Застосовують різні класифікаційні схеми для бетонів залежно від прийнятої за основу визначальної ознаки (табл. 11.1).

Таблиця 11.1

Класифікація бетонів

Класифікаційний показник	Основні види бетонів
Вид в'язучого	Цементні, гіпсові, вапняні, шлаколузні, полімерні, полімерцементні
Густина	Важкі, особливо важкі, легкі, особливо легкі
Вид заповнювача	Щільні, пористі, неорганічні, органічні
Крупність заповнювача	Крупнозернисті, дрібнозернисті, піщані
Легкоукладальність бетонних сумішей	З наджорстких, жорстких, рухливих, литих самоущільнюючих сумішей
Ступінь поризації	Щільні, поризовані, крупнопористі, ніздрюваті
Спосіб ущільнення	Вібровані, трамбовані, пресовані, вібропресовані, вібровакуумовані, центрифуговані, литі
Характерні властивості	Високоміцні, швидкотверднучі, сульфатостійкі, кислотостійкі, низькотермічні, декоративні та ін.
Призначення	Конструктивні, дорожні, гідротехнічні, теплоізоляційні, радіаційно-захисні, оздоблювальні та ін.



## 11.1. Структура та склад бетонів

Властивості бетону визначаються його складом та структурою, які тісно пов'язані між собою. *Склад бетону* характеризується питомими витратами окремих компонентів з певними якісними характеристиками та їх співвідношеннями. *Структура бетону* відображає особливості його будови, які розглядаються на різних рівнях.

*Мікроструктура* бетону відображає будову цементного каменю. Цементний камінь являє собою конгломерат продуктів гідратації цементу, пор, включень негідратованих зерен клінкеру, добавок та бульбашок повітря. За походженням пори поділяють на пори гелю та капілярні пори. Капілярні пори в цементному камені представлені у вигляді сполучених один з одним каналів капілярів, роз'єднаних продуктами гідратації цементу (цементним гелем). Капілярні пори, утворені надлишковою механічно пов'язаною водою, погіршують основні властивості бетону, особливо морозостійкість. Капілярна пористість зменшується по мірі зниження водоцементного відношення і витрати води та збільшення тривалості гідратації.

Поряд з капілярними негативний вплив на властивості бетону мають пори та пустоти, які є результатом поганого ущільнення. Загальний об'єм пор в цементному камені становить 25–40% від загального об'єму, при цьому основна їх частка припадає на капілярні пори. Зі збільшенням тривалості твердіння зменшується загальна пористість та об'єм макрокапілярів, що веде до покращення властивостей бетону.

*Макроструктуру* бетону розглядають як систему цементний камінь – заповнювач. Заповнювачі разом з цементним каменем формують структуру бетону конгломератного типу. Термін «конгломерат» (від лат. *conglomeratus*) означає механічне об'єднання різнорідних компонентів.

Формуючи каркас бетону, заповнювачі активно впливають на його властивості, знижуючи напруження від усадки, збільшуючи модуль пружності і зменшуючи повзучість, впливаючи на густину й інші властивості.



Основними класифікаційними ознаками заповнювачів бетону є: розмір і форма зерен, насипна густина, пористість зерен, походження і методи отримання, призначення (табл.11.2).

Таблиця 11.2

Класифікація заповнювачів бетону

Класифікаційний показник	Вид заповнювачів	Характеристика класифікаційного показника
Розмір зерен	дрібний крупний	$\leq 5$ мм $> 5$ мм
Форма зерен	гравій щебінь	зерна обкатаної форми зерна гострокутної форми
Насипна густина ( $\rho_0$ )	важкі легкі	$\rho_0 > 1100$ кг/м <sup>3</sup> $\rho_0 \leq 1100$ кг/м <sup>3</sup>
Пористість (П)	щільні пористі	$P \leq 10\%$ $P > 10\%$
Походження і методи одержання	природні	Добуваються з природних родовищ
	дроблені	Одержують подрібненням гірських порід
	штучні	Одержують із природної сировини або відходів промисловості за допомогою спеціальних технологій
Призначення	для важких, легких, жаростійких, кислотостійких, гідротехнічних, радіаційно-стійких та інших бетонів	Властивості заповнювачів повинні відповідати властивостям бетонів

Основні властивості бетону залежать від зчеплення цементного каменя із заповнювачами, на яке впливають форма та характер їх поверхні, наявність глини та пилу, інших шкідливих домішок, хіміко-мінералогічний склад заповнювача. Зчеплення збільшується при гострокутній формі та шорсткій



поверхні зерен, характерній, наприклад, для гірського (ярового) піску, або за рахунок хімічної взаємодії при використанні карбонатних порід.

Глинисті та пилоподібні частинки завдяки високорозвиненій поверхні суттєво збільшують водопотребу бетонних сумішей, оболікають зерна заповнювачів та зменшують його зчеплення з цементним каменем. Крім того, найбільш дрібні пиловаті частинки (< 0,08 мм) знижують морозостійкість бетону.

Допустимий вміст пиловидних та глинистих частинок нормується залежно від виду піску та призначення бетону. Для звичайного природного піску він не повинен перевищувати 3%, подрібненого – 4%, для фракційованих природних та подрібнених пісків – відповідно 2% та 3%. Спеціальні обмеження вмісту пиловидних та глинистих домішок встановлені для піску, що використовується при виготовленні бетону гідротехнічних споруд, водопропускних труб, транспортних споруд.

До інших шкідливих домішок в піску належать включення слюди, сірчисті та сірчаноокислі сполуки, оксиди та гідроксиди заліза, мінерали, що містять аморфні різновиди кремнезему, органічні домішки тощо. Вони погіршують структуру бетону, негативно впливають на процес тверднення цементного каменя, викликають його корозію.

Крупність піску характеризується *модулем крупності*  $M_{кр}$ , під яким розуміють суму повних залишків, %, при просіюванні піску на стандартних ситах, поділену на 100:

$$M_{кр} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} . \quad (11.1)$$

Характеристика пісків за крупністю наведена у табл. 11.3.

Як дрібний заповнювач для бетонів застосовують пісок з модулем крупності від 1,5 до 3,25. Після проведення технологічних випробувань і техніко-економічного обґрунтування допускається використовувати дуже дрібні піски з модулем крупності від 1,0 до 1,5 з вмістом зерен менше 0,16 мм до 20% за масою.



Характеристика пісків за крупністю

Група пісків	Модуль крупності, %	Повний залишок на ситі № 0,63 (за масою), %
Підвищеної крупності	Понад 3 до 3,5	Понад 65 до 75
Крупний	Понад 2,5 до 3	Понад 45 до 65
Середній	Понад 2 до 2,5	Понад 30 до 50
Дрібний	Понад 1,5 до 2	Понад 10 до 30
Дуже дрібний	Понад 1 до 1,5	До 10

Поряд з крупністю піску важливе значення має і його пустотність ( $\Pi$ ) або об'єм міжзернового простору:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100 \%, \quad (11.2)$$

де  $\rho_0$  – насипна густина,  $\rho$  – істинна густина піску.

Пустотність залежить від співвідношення різних за крупністю зерен, тобто від зернового складу піску. В пісках незадовільного зернового складу вона може підвищуватися до 40–47%. Придатність піску для бетонів за зерновим складом визначають побудовою кривої просіювання, яка повинна лежати в певній області.

Для забезпечення необхідного зернового складу можна використовувати піски, одержані попереднім змішуванням окремих фракцій. При використанні дрібних пісків доцільні укрупнюючі добавки у вигляді крупних фракцій природного або подрібненого піску.

Максимальний розмір крупного заповнювача не повинен перевищувати 1/4 мінімального перерізу конструкції. В залізобетонних конструкціях крупність заповнювача приймають меншою 2/3 відстані між стержнями арматури.

Для забезпечення оптимального зернового складу щебінь або гравій поділяють на окремі фракції, які потім змішують у рекомендованих співвідношеннях (табл. 11.4). Як правило, використовують фракції 5–10, 10–20, 20–40, 40–70 мм.





Таблиця 11.4

Рекомендований вміст фракцій в крупному заповнювачі, %

Найбільша крупність зерен, мм	Фракція заповнювача, мм				
	5–10	10–20	20–40	40–70	70–120
20	25–40	60–75	—	—	—
40	15–25	20–55	40–65	—	—
70	10–20	15–25	20–35	35–55	—
120	5–10	10–20	15–25	20–30	30–40

В бетоні гідротехнічних та інших масивних споруд при техніко-економічному обґрунтуванні допускається використовувати щебінь та гравій крупністю до 150 мм і більше.

Однією із важливих вимог до крупного заповнювача є міцність зерен.

Міцність щебеню зі щільного природного каменю характеризують маркою, яка визначається його подрібнюваністю при стисканні (роздавлюванні) у циліндрі.

За формою зерен щебінь поділяється на три групи: кубовидний з вмістом пластинчастих (лещадних) та голкуватих зерен не більше 15%, покращений – 25%, та звичайний – 35%. Вміст зерен пластинчастої та голкуватої форм може бути і понад 35%, але за умови забезпечення заданої легкоукладальності бетонної суміші та щільності бетону без перевитрати цементу.

Допустимий вміст пилоподібних та глинистих частинок в крупному заповнювачі з вивержених та метаморфічних порід не повинен перевищувати 1%, з осадових порід марок М200...М400 – 3%, з осадових порід більшої міцності – 2%. Для гідротехнічних споруд кількість пиловидних та глинистих частинок у щебені та гравії незалежно від виду породи для бетону зони змінного рівня води та надводної зони не повинна перевищувати 1%, а для підводної та внутрішньої зон – 2%.

Морозостійкість заповнювачів повинна забезпечувати необхідну морозостійкість бетону. Заповнювачі для бетону можуть бути виготовлені на основі металургійних та паливних шлаків, відходів гірничовидобувних та інших галузей промисловості.



Необхідною умовою отримання заповнювачів з металургійних шлаків є стійкість їх до різних видів розпаду.

До пористих належать заповнювачі з густиною зерен до  $2 \text{ г/см}^3$ . Їх використовують для отримання легких бетонів та розчинів, а також тепло- та звукоізоляційних засипок. Пористі заповнювачі поділяють на природні, які одержують у вигляді піску та щебеню із пористих порід, та штучні. До найбільш поширених штучних пористих заповнювачів відносять *керамзит* та його різновиди (шунгизитовий гравій, глинозольний керамзит), які отримують випалюванням і спучуванням гранул із глинистих порід, шунгизитовмісних сланців, трепелів, золошлакової суміші або золи-винесення теплових електростанцій; *аглопорит* – продукт спікання пісчано-глинистих порід, золи, відходів вуглезбагачення; *шлакова пемза* – продукт поризації розплаву шлаків металургійного та хімічного виробництва; *перліт та вермікуліт*, котрі отримують спучуванням при випалюванні зерен вулканічних порід та гідратованих слюд.

Органічні пористі заповнювачі одержують з відходів переробки деревини та іншої рослинної сировини, а також полімерів.

Вид пористих заповнювачів відображується у назві легких бетонів (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлітобетон, керамзитоперлітобетон та ін.). На основі органічних заповнювачів виготовляють деревобетон (арболіт), тиробетон.

Пористі гравій та щебінь за насипною густиною поділяють на марки 250–1200, пористий пісок – 100–1400. Максимально допустима марка пористого гравію – 600, аглопоритового та шлакопемзового – 900, щебеню з пористих гірських порід та – 1200.

Для крупних пористих заповнювачів встановлюють також марки за міцністю, що визначаються при здавлюванні їх у циліндрі. Морозостійкість крупних пористих заповнювачів повинна бути не менше F15, максимально допустима втрата маси після випробування допускається не більше 8%.

Для пористих заповнювачів, як і для щільних, нормується зерновий склад і вміст шкідливих домішок. Крім того,



встановлюються вимоги до коефіцієнту форми зерен, водопоглинання, вологості, стійкості проти розпаду та ін.

Вибір пористих заповнювачів регламентується залежно від їх призначення та вимог до міцності та густини бетону,

Добавки, що вводять в бетонну суміш умовно поділяють на мінеральні (мікронаповнювачі) і хімічні (інтенсифікатори та модифікатори).

*Мінеральними добавками* називають тонкодисперсні неорганічні матеріали, кількість яких в бетонній суміші може коливатись в широкому діапазоні і бути співставимою з масою цементу. Мінеральні добавки можуть заміняти частину в'язучого і заповнювача та покращувати ряд властивостей бетонних сумішей і бетонів. За походженням добавки цього типу бувають як природними, так і техногенними. Мінеральні добавки прийнято розділяти залежно від їхньої пуцоланової активності на інертні та активні. У групу активних добавок входять матеріали, здатні вступати при нормальній температурі в хімічну реакцію з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі мінералів цементу, з утворенням речовин, що володіють в'язучими властивостями. При використанні мінеральних добавок небажаним є збільшення водопотреби бетонної суміші.

Однією з ефективних добавок, що вводяться до бетону замість частини портландцементу є *зола-винесення ТЕС*.

До високоактивних мінеральних добавок у бетон, все ширше застосовуваних в останні десятиріччя, відносяться ультрадисперсні відходи виробництва феросплавів, т.зв. *мікрокремнезем (МК)*. Мікрокремнезем являє собою конденсований аерозоль, що вловлюється фільтрами систем газоочищення плавильних металургійних печей. Він містить частки сферичної форми із середнім діаметром 0,1 мкм і має питому поверхню 15–25 м<sup>2</sup>/г і вище. Поряд із МК в якості ефективних модифікаторів бетону за певних умов (висока дисперсність, комбінація із суперпластифікаторами та ін.) можуть служити й інші мінеральні матеріали – метакаолін, цеоліти та ін.

Група *хімічних добавок* об'єднує велику групу речовин,



введення яких зазвичай обмежується до кількох відсотків і приводить до значного технічного ефекту

Існує декілька систем класифікації хімічних добавок – за механізмом їхньої дії, хімічним складом, основному технологічному ефекту.

Найбільш зручною класифікацією хімічних добавок за механізмом їхньої дії є класифікація, запропонована В.Б. Рагіновим і Т.І. Розенберг. Вона поділяє добавки на 4 класи:

1. Добавки, що змінюють розчинність в'язучих речовин;
2. Добавки, що реагують із в'язучими речовинами з утворенням важкорозчинних або малодисоційованих сполук;
3. Готові центри кристалізації (кристалічні затравки);
4. Органічні поверхнево-активні речовини.

Найбільш розповсюдженими є *пластифікуючі добавки* та розроблені в кінці 70-х років минулого століття *суперпластифікатори*.

Використання суперпластифікаторів дозволяє знижувати трудомісткість формування залізобетонних виробів в 2–4 рази і бетонування монолітних конструкцій та споруд в 5–7 разів, в ряді випадків повністю виключити вібрацію або замінити її короткочасним струшуванням, скоротити витрати палива та електроенергії, економити до 20% і більше цементу.

Добавки пластифікуючої групи поділяються на три види: суперпластифікуючі, сильнопластифікуючі, пластифікуючі. Залежно від властивостей бетонної суміші для кожного з цих видів встановлені різні критерії (табл. 11.5).

При забезпеченні однакової консистенції бетонної суміші пластифікуючі добавки розрізняються *водоредукуючим ефектом* – зниженням витрати води в бетонній суміші порівняно з контрольною. Для суперводоредукуючих добавок, до яких належать суперпластифікатори, він більше або дорівнює 12%, сильноводоредукуючих (сильнопластифікуючих) – від 8% до 11%, водоредукуючих (пластифікуючих) – від 5 до 8%. Завдяки можливості регулювання водопотреби бетонної суміші і значного зниження водоцементного відношення добавки суперпластифікатори забезпечують одержання високоміцних бетонів.



Критерії ефективності добавок пластифікуючої групи

Властивості	суперпластифікуючі	сильнопластифікуючі	пластифікуючі
1. Збільшення рухомості бетонної суміші	Від P1 до P5	Від P1 до 4	Від P1 до P3
2. Збереження рухомості бетонної суміші	Через 30 хв. після введення добавок рухомість не повинна зменшитись нижче початкового значення		
3. Міцність на стиск	За 28 діб міцність основного складу вище або дорівнює 90% міцності контрольного	У всі строки тверднення основного складу вище або дорівнює 95% контрольного	
4. Вміст повітря в бетонній суміші	Вміст повітря в основній суміші не більше, ніж на 2% (за об'ємом) перевищує цей показник у контрольній суміші		

При введенні в бетонні суміші *стабілізуючих* (водоутримуючих) добавок відділення води або цементного молока і відповідно розчинівідділення і розшаровуваність зменшуються не менше, ніж на 50%. Міцність на стиск бетону при цьому повинна бути не менше ніж 80% контрольної.

*Пориуючі* (повітрявтягувальні та газоутворюючі) добавки при однаковій консистенції бетонної суміші забезпечують необхідний вміст повітря (або суміші газу і повітря) після ущільнення, збільшують морозостійкість бетону.

Добавки, що прискорюють тверднення бетону при однаковій консистенції бетонної суміші повинні збільшувати міцність у ранні строки твердіння.

Поряд з індивідуальними все більшого розповсюдження набувають комплексні добавки з більш універсальним ефектом. Наприклад, застосування комплексних добавок, що містять пластифікатори та прискорювачі твердіння, дозволяє покращити як реологічні властивості бетонної суміші, так і прискорити твердіння бетону в т.ч. при тепловій обробці. Комплексні добавки дають можливість ослабити або усунути



негативні і часто підсилити позитивні особливості кожного з компонентів, збільшити загальний позитивний ефект.

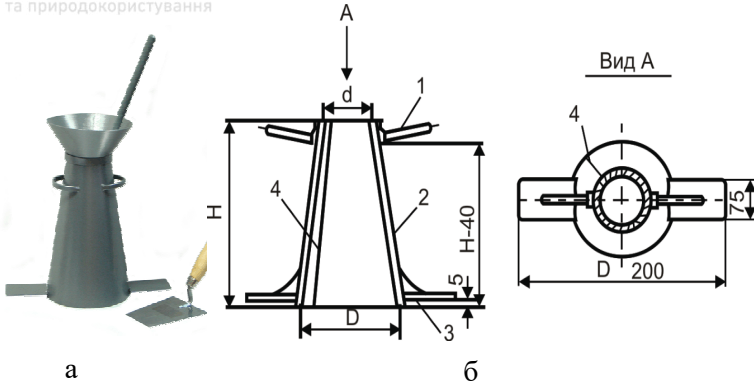
Використання деяких хімічних добавок потребує врахування їх можливої негативної дії (прискорене тужавлення бетонної суміші, корозія арматури, обладнання та оснастки; утворення висолів; зниження стійкості конструкцій під дією блукаючих струмів; розвиток таких видів корозії бетону як взаємодія реакційно здатного кремнезему заповнювачів з лугами та ін.) Наприклад, добавки, що містять хлористі солі, можна використовувати як прискорювачі твердіння лише у залізобетонних конструкціях з ненапруженою арматурою діаметром понад 5 мм. При виготовленні залізобетонних конструкцій, призначених для електрифікованого транспорту та промислових підприємств, які використовують постійний електричний струм, не дозволяється використовувати добавки солей-електролітів.

## 11.2. Властивості бетонних сумішей та бетонів

**Властивості бетонних сумішей.** До основних технологічних властивостей—бетонних сумішей можна віднести їх легкоукладальність та здатність зберігати однорідність і не розшаровуватися.

Під *легкоукладальністю* бетонних сумішей розуміють їхню здатність заповнювати форму або опалубку й ущільнюватися під впливом механічних зусиль.

Мірою легкоукладальності рухомих сумішей є показник *осадки нормального конусу* (конусу Абрамса) (рис. 11.1) в см зі свіжосформованої бетонної суміші. Для литих та самоущільнювальних бетонних сумішей вимірюють *розплив нормального конусу*. Для жорстких бетонних сумішей мірою легкоукладальності є показник жорсткості в с, який визначається часом, необхідним для розтікання і перетворення під дією вібрування в рівновеликий циліндр конуса з бетонної суміші (*спосіб Вебе*) (рис. 11.2).



**Рис. 11.1.** Конус для визначення рухомості:

а) загальний вигляд стандартного конусу; б) схема стандартного конусу: 1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упори; 4 – зварний шов

Залежно від показників рухомості за осадкою і розпливом конуса, а також жорсткості за Вебе встановлені марки бетонної суміші за легкоукладальністю (табл. 11.6).

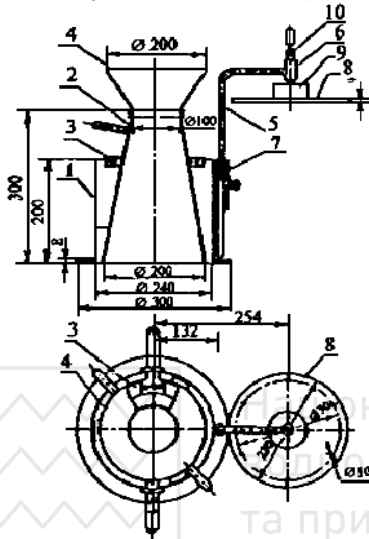
Таблиця 11.6

Марки бетонної суміші за легкоукладальністю

Марка	Норма легкоукладальності за показником		
	жорсткості, с	рухомості, см	
		осадка конуса	розплив конуса
<b>Наджорсткі суміші</b>			
НЖ3	більш 100	-	-
НЖ2	51–100	-	-
НЖ1	50 і менше	-	-
<b>Жорсткі суміші</b>			
Ж4	31–60	-	-
Ж5	21–30	-	-
Ж2	11–20	-	-
Ж1	5–10	-	-
<b>Рухомі суміші</b>			
P1	4 і менше	1–4	-
P2	–	5–9	-
P3	–	10–15	-
P4	–	16–20	26–30–30
P5	–	21 і більше	31 і більше



Відповідно до Європейського стандарту EN 206 – 1:2000, встановлені марки бетонних сумішей за осадкою і розпливом нормального конуса в мм, а також за часом Вебе, в секундах і ступенем ущільнюваності (табл. 11.7).



**Рис. 11.2. Прилад Вебе:**

- 1 – циліндр з фланцем у основі; 2 – конус; 3 – кільце-тримач з ручками;
- 4 – завантажувальна воронка;
- 5 – штатив; 6 – направляюча втулка; 7 – втулка, яка фіксує;
- 8 – диск з шістьма отворами;
- 9 – сталева шайба;
- 10 – штанга

Таблиця 11.7

Марки бетонної суміші відповідно до EN 206-1

Показник	Значення	Марка	Показник	Значення	Марка
Осадка конуса, мм	10–40	S 1	Час Вебе, с	≥ 31	V0
	50–90	S2		30–21	V1
	100–150	S3		20–11	V2
	160–210	S4		10–6	V3
	>220	S5		5–3	V4
Розплив конуса, мм	≤340	F1	Ступінь ущільнюваності*	≥1,46	C0
	350–410	F2		1,45–1.26	C1
	420–480	F3		1.25–1.11	C2
	490–550	F4		1.10–1,04	C3
	560–620	F5		<1,04	C4
	≥630	F6			

\* Ступінь ущільнюваності бетонної суміші характеризує співвідношення між рівнем наповнення стандартної ємності до і після ущільнення вібруванням.





Одним з найважливіших факторів, що визначає показники легкоукладальності, є водовміст бетонної суміші (рис. 11.3). Водопотреба бетонної суміші, тобто водовміст, необхідний для досягнення потрібної рухомості та жорсткості, залежить від виду та кількості цементу, питомої поверхні та пустотності заповнювачів, форми та характеру їх поверхні, співвідношення дрібного та крупного заповнювача, тривалості витримки суміші до її укладання, виду та вмісту пластифікуючих добавок та ін.

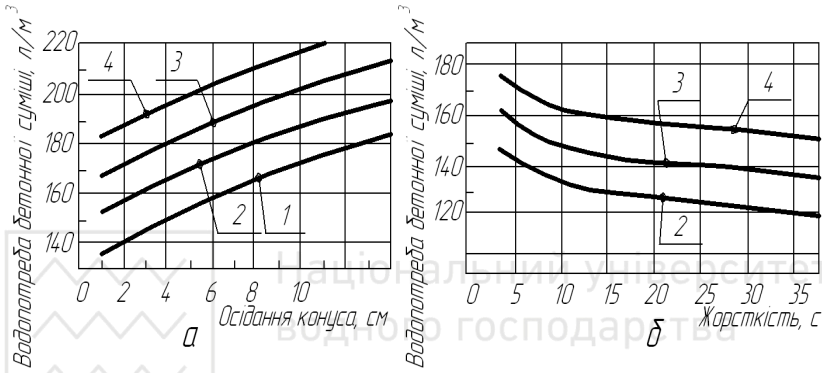
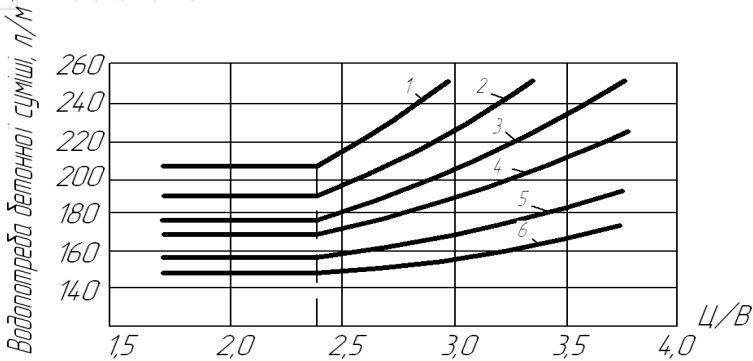


Рис. 11.3. Графік водопотреби рухомої (а) і жорсткої (б) бетонної суміші, виготовленої з використанням портландцементу, піску середньої крупності і гравію найбільшої крупності:

1 – 80 мм; 2 – 40 мм; 3 – 20 мм; 4 – 10 мм

Збільшення нормальної густоти цементів приблизно на 1% викликає підвищення водопотреби бетонної суміші на 1,5–3%. Таким чином, бетони на цементах з підвищеною нормальною густотою при незмінному водовмісті мають меншу осадку конусу та більшу жорсткість.

Зміна витрати цементу при незмінному водовмісті до  $C/V=1/1,68 \cdot K_{н.г}$  ( $K_{н.г}$  – нормальна густота цементного тіста в долях одиниці) не впливає відчутно на легкоукладальність. Це положення називають *правилом постійності водовмісту*, оскільки воно передбачає, що зі збільшенням витрати цементу до деякої межі при незмінному співвідношенні заповнювачів водопотреба суміші майже не змінюється (рис. 11.4).



**Рис. 11.4.** Вплив Ц/В на водопотребу бетонної суміші:

1–3 – суміші з осадкою конуса 10; 5 та 2 см;

4–6 – суміші з жорсткістю відповідно 30; 60 та 100 с (щебінь

5–20 мм, пісок середньої крупності, цемент з нормальною густотою 26–27%)

Зі збільшенням частки піску, поверхні заповнювачів, їх пористості, а також вмісту в них пилу та глини потрібна більша кількість цементного тіста. Якщо ж вона залишиться постійною, то рухомість бетонної суміші знижується. Використання щебеню замість гравію також веде до збільшення жорсткості бетонної суміші.

Внаслідок часткової гідратації цементу, деякого випаровування води та поглинання її заповнювачами рухомість бетонних сумішей знижується при витримуванні їх до укладки та при транспортуванні. Втрата рухомості бетонної суміші при транспортуванні не повинна перевищувати 50% при осадці конусу не більше 8 см та 30% – понад 8 см.

Раціональним технологічним прийомом покращення легкоукладальності бетонних сумішей є використання пластифікуючих поверхнево-активних речовин (ПАР). Суперпластифікатори дозволяють отримувати з малорухомих (ОК=2–3 см) литі бетонні суміші з осадкою конусу 20 см і більше при незмінному водовмісті без зниження міцності. Слабопластифікуючі добавки підвищують осадку конусу від 2–3



до 8 см та менше. Ефект пластифікуючих добавок можна використовувати з метою одночасного зниження витрати води та цементу при незмінній легкоукладальності суміші та міцності бетону, або для зменшення водоцементного відношення та збільшення міцності бетону.

Рухомість та жорсткість бетонних сумішей призначаються залежно від особливостей конструкцій, густоти армування, способу транспортування та ущільнення. Для тонкостінних насичених арматурою виробів потрібна більша рухомість суміші, ніж для масивних малоармованих конструкцій. При використанні сучасних способів ущільнення з'являється можливість підвищити жорсткість бетонних сумішей, що веде до економії цементу і покращує ряд будівельних властивостей бетону.

Поряд з необхідною легкоукладальністю бетонних сумішей важливо забезпечити їх однорідність, яка вимірюється ступенем розшарування сумішей при зберіганні та транспортуванні. *Розшаровуваність* бетонних сумішей розвивається в результаті седиментаційних явищ внаслідок різної густини компонентів бетону. Застосування суміші, що розшаровується, веде до нерівномірного розподілу в бетоні заповнювачів та цементного каменю та погіршенню властивостей бетону. Зменшення розшарування спостерігається при зниженні водовмісту, введенні тонкомелених мінеральних добавок та поверхнево-активних речовин.

Бетонні суміші транспортуються на будівельні об'єкти автобетонозмішувачами або автобетоновозами. Допускається перевезення бетонної суміші автосамосвалами. До місця виконання робіт бетонна суміш може подаватися вантажними кранами, по лотках, стрічкових конвеєрах, трубопровідним транспортом.

Укладання бетонної суміші здійснюється в форми або опалубку з попередньо встановленою арматурою та закладними деталями. Якість укладки визначається ефективністю ущільнення матеріалу по всьому об'єму, запобіганням розшарування. Зменшення щільності бетону на 1% веде до зниження його міцності приблизно на 5%.



Основні способи механічного впливу на бетонну суміш з метою її ущільнення і формування виробів можна розділити на 3 групи:

- статичні (пресування, прокатування, вакуумування),
- динамічні (вібрування, трамбування),
- комбіновані (вібропресування, вібровакуумування, віброштампування й ін.).

Для формування труб, опор, паль та інших конструкцій трубчастого перерізу використовується *центрифугування*, при якому розподіл та ущільнення бетонної суміші відбувається під дією відцентрових сил, які розвиваються у формах, що обертаються.

З безвібраційних способів ущільнення застосовують пресування, роликоче формування, центрифугування і литтєве формування.

У сучасних умовах при масовому застосуванні суперпластифікуючих добавок усе більшого поширення набувають укладання та ущільнення литих та самоущільнювальних бетонних сумішей.

**Властивості бетону.** Основною властивістю бетону як конструкційного матеріалу є *міцність*. Границю міцності бетону знаходять випробуванням контрольних зразків, виготовлених із суміші заданого складу або висвердлених з конструкції або бетонної споруди. При випробуванні на міцність при стиску використовують зразки-куби (рідше циліндри) з розміром ребра від 30 до 7,07 см залежно від крупності заповнювача, що використовується. Еталонними є зразки-куби з розмірами ребра 15 см. Для зразків-кубів з розмірами ребер 7,07; 10; 15; 20; 30 см масштабні коефіцієнти приймають відповідно рівними 0,85; 0,91; 1,0; 1,05 та 1,1.

Основним показником міцності бетону, що нормується, є його *клас*, тобто міцність (в МПа), яка приймається з гарантованою забезпеченістю. Встановлена, як правило, забезпеченість міцності 0,95 означає, що границя міцності бетону, яка відповідає чисельному значенню класу, досягається не менше ніж у 95 випадків із 100. Поряд з класом бетону на практиці використовують поняття *марки* за міцністю (М), яка



характеризує середнє значення границі міцності зразків, відібраних з партії бетонної суміші.

Згідно з європейським стандартом EN 206-1:2000 встановлені класи міцності важкого бетону на стиск: C 8/10; C 12/15; C 16/20; C 20/25; C 25/30; C 32/40; C 35/45; C 40/50; C 45/55; C 50/60; C 55/67; C 60/75; C 70/85; C 80/95; C 90/105. Перші цифри при позначенні класу характеризують необхідну (характеристичну) міцність бетону в МПа, визначену на циліндричних зразках, другі – на зразках-кубах.

На практиці при виготовленні бетону його міцнісні показники спочатку визначають як середні результати випробувань окремих зразків. За чисельним значенням середньої міцності з урахуванням коефіцієнта варіації (мінливості) визначають його клас за міцністю.

Між класом бетону (C) та середньою міцністю партії  $\bar{R}_G$ , що контролюється, існує залежність:

$$C = \bar{R}_G (1 - 1,64 C_v), \quad (11.3)$$

де  $C_v$  – коефіцієнт варіації міцності бетону.

Коефіцієнт варіації міцності бетону знаходять за формулою:

$$C_v = \frac{S}{\bar{R}_G}, \quad (11.4)$$

де S – середнє квадратичне відхилення для партії бетону;

При високій культурі виробництва та стабільних технологічних параметрах коефіцієнт варіації міцності бетону досягає 6–8%, при незадовільному рівні технології – 20–25%. Нормування міцності бетону за класами дозволяє забезпечити необхідну надійність конструкцій незалежно від коефіцієнту варіації. Разом з тим зменшення коефіцієнту варіації, як слідує з формули (11.4), дозволяє при незмінному значенні класу зменшити необхідну середню міцність і відповідно марку бетону, що в свою чергу веде до зниження необхідної витрати цементу.

Для переходу від класу бетону до середньої міцності при нормативному коефіцієнті варіації 13,5% (який приймається при



проектуванні конструкцій з важкого та легкого бетону) можна

використовувати формулу  $\bar{R}_b = C/0,778$ , де  $C$  – чисельне значення класу бетону.

Інтервал часу (вік бетону), через який визначається марка та клас, залежить від виду бетону та ряду виробничих умов. Його приймають, як правило, рівним 28 діб нормального твердіння, тобто при температурі  $(20 \pm 2)^\circ \text{C}$  та відносній вологості повітря не нижче 90%. В окремих випадках, наприклад, для гідротехнічного бетону проектний вік може бути збільшений до 90 або 180 діб, що сприяє економії цементу.

Для розрахунку залізобетонних конструкцій поряд з кубиковою міцністю необхідно знати *призмову міцність*, яку визначають, випробовуючи призми розміром  $20 \times 20 \times 80$  см. Відношення кубикової міцності бетону до призмової не є сталою величиною, воно коливається в інтервалі 0,7–0,8.

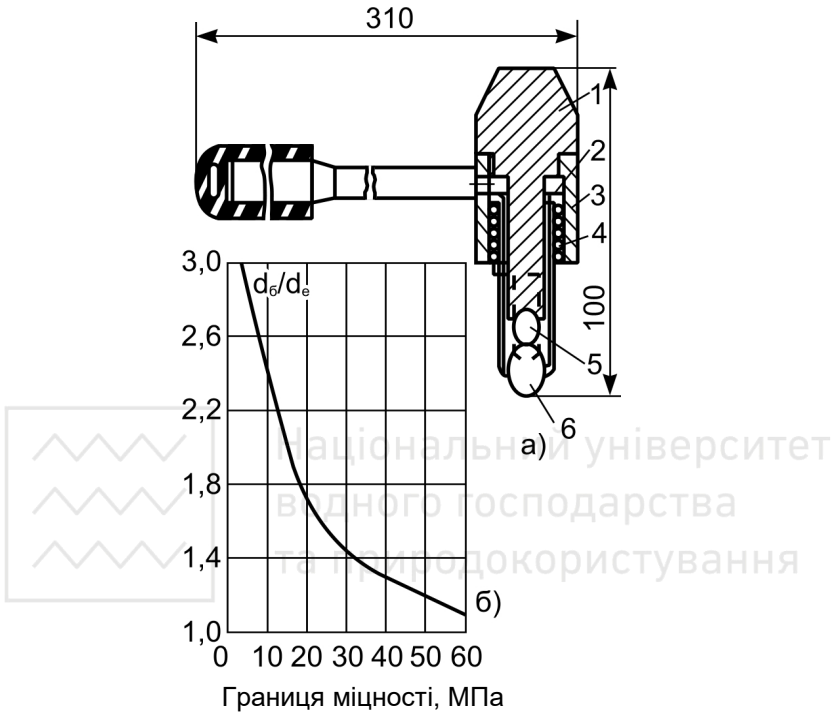
Крім визначення міцності бетону за результатами випробувань контрольних зразків, існують різноманітні *неруйнівні методи контролю міцності* бетону безпосередньо у виробі та конструкціях. Впровадження неруйнівних методів викликано необхідністю оперативного визначення міцності бетону з врахуванням виробничих факторів: відхилень від заданого складу бетону, умов транспортування, укладання, твердіння та ін.

*Механічні методи* неруйнівного контролю засновані на принципах пружного відскоку або вдавлювання. При цьому міцність бетону визначається за пружністю, яка характеризується відскоком ударяючого тіла (прилади Шмідта та ін.), або твердості, вимірної за діаметром відбитку на поверхні конструкції (прилади Фізделя, Кашкарова, Губбера та ін.), (рис. 11.5). Механічні методи дозволяють визначити міцність поверхневого шару і дають високу похибку при неоднорідності бетону у перерізі.

Серед *фізичних методів* неруйнівного контролю міцності бетону розповсюдження набув імпульсний метод, заснований на вимірюванні швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у матеріалі. При постійних складах бетону та умовах



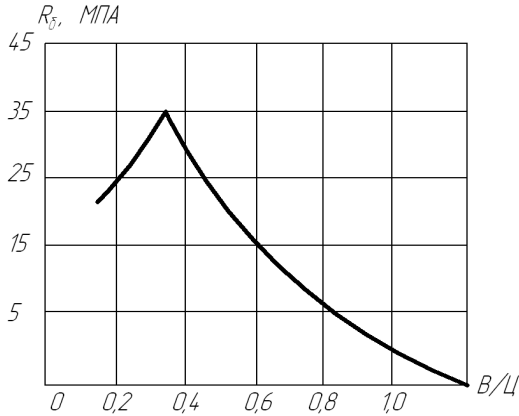
твердіння зміна швидкості розповсюдження ультразвукових коливань вказує на певну зміну міцності.



**Рис. 11.5.** Молоток конструкції К.П. Кашкарова:

- а – загальний вигляд; б – градувальний графік; 1 – корпус;
- 2 – стакан; 3 – головка; 4 – пружина; 5 – кулька; 6 – стержень;
- $d_6$  – діаметр відбитку на бетоні;  $d_e$  – діаметр відбитку на сталоні

Відомо ряд факторів, що впливають на міцність бетону, але головними серед них є активність цементу та водоцементне відношення (рис. 11.6). Під водоцементним відношенням розуміють відношення маси води до маси цементу у свіжо приготіваній бетонній суміші.



**Рис. 11.6.** Залежність міцності бетону  $R_b$  від  $B/C$

Залежність міцності бетону на стиск ( $\bar{R}_b$ ) від активності цементу ( $R_u$ ) та водоцементного відношення ( $B/C$ ) можна представити формулою, яка була запропонована Р. Графом і Н.М. Беляєвим:

$$R_b = \frac{R_u}{A(B/C)^n}, \quad (11.5)$$

де  $A$  і  $n$  – коефіцієнти (за Графом  $A=4-8$ ,  $n=2$ , за Беляєвим  $A=3,5 \dots 4$ ,  $n=1,5$ ),  $R_u$  – активність цементу, що характеризується його міцністю при стиску у віці 28 діб при нормальному твердінні.

Ця залежність виражає основний закон міцності бетону – закон (правило) водоцементного відношення (встановлений Д. Абрамсом у 1919 р.), суть якого полягає в тому, що при постійних матеріалах, технології виготовлення та умовах твердіння міцність бетону залежить, в основному, від водоцементного відношення.

Для прогнозування міцності і розрахунків складів важких бетонів широко використовуються формули, які передбачають, що в певних інтервалах міцність бетону пов'язана з величиною,





оберненою до В/Ц, тобто цементно-водним відношенням (Ц/В) прямолінійною залежністю.

Для орієнтовного прогнозування збільшення міцності бетону протягом часу можна використовувати логарифмічну залежність:

$$R_0^n = R_0^{28} \frac{\lg n}{\lg 28}, \quad (11.6)$$

де  $R_0^n$  – границя міцності бетону на стиск у віці  $n$  діб ( $n > 3$ );

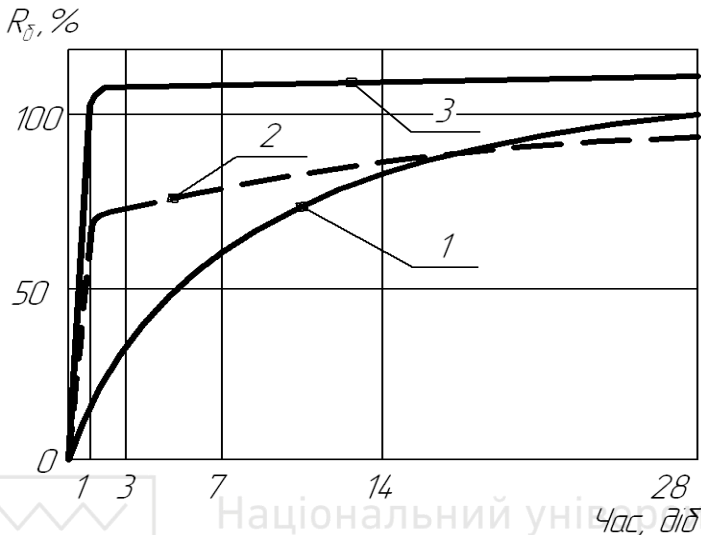
$R_0^{28}$  – 28-добова міцність бетону.

Більш точно прогнозування зростання міцності бетону в часі можливе з врахуванням хіміко-мінералогічного і речовинного складу застосованого цементу.

Збільшення міцності бетону на цементі певного хіміко-мінералогічного складу протягом часу визначається температурновологісними умовами твердіння (рис. 11.7). При підвищенні температури прискорюються процеси твердіння цементного каменю – основного структурного компоненту бетону. Для нормального протікання цих процесів необхідно підтримувати високу вологість з метою запобігання висушуванню бетону.

Позитивний вплив підвищених температур на швидкість тверднення бетонів став основою розробки і широкого застосування в технології залізобетонних конструкцій *тепловологісної обробки*. Бетон нагрівають за допомогою пари, електроенергії, інфрачервоних променів та ін. При температурах більших  $100^\circ \text{C}$  тепловологісну обробку ведуть в автоклавах і спеціальних герметичних формах.

Поряд зі зменшенням тепловтрат найважливіше значення для економії паливно-енергетичних ресурсів набуває розвиток *енергозберігаючих технологій*: застосування високоміцних і швидкотверднучих цементів, введення хімічних добавок, зниження температури і тривалості нагрівання, нагрів бетону електричним струмом та у середовищі продуктів згоряння природного газу, застосування безпрогрівних методів і т.д.



**Рис. 11.7.** Зростання міцності бетону:

1 – в нормальних умовах твердіння; 2 – пропареного при атмосферному тиску і температурі 85° С; 3 – запареного в автоклаві при тиску пари 0,8 МПа і температурі 175° С

Тріщиностійкість бетону значною мірою пов'язана з його деформативними властивостями. Деформації бетону виникають як в результаті твердіння, так і під дією зовнішніх сил.

Усадка бетону відбувається внаслідок виведення залишку води при висушуванні. Вона коливається, як правило, від 0,2 до 0,4 мм/м у річному віці та зростає із збільшенням В/Ц, витрати цементу, при введенні активних мінеральних добавок. Усадка бетону змінюється приблизно пропорційно логарифму часу і особливо швидко збільшується в перші 28 діб (рис 11.8). Деформації бетону при твердінні суттєво знижуються при введенні сталевих арматур. Деформації усадки в бетоні ведуть до утворення тріщин та порушення монолітності споруд. Особливо це відбивається на тонкостінних конструкціях з попередньо напруженого залізобетону.

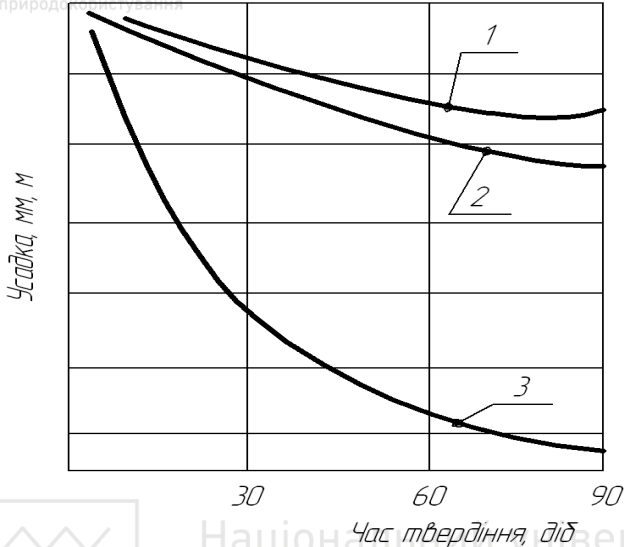


Рис. 11.8. Криві усадки:

1 – бетону; 2 – розчину; 3 – цементного каменю

Під дією на бетон протягом тривалого часу постійного навантаження розвиваються незворотні деформації *повзучості*. Повзучість бетону збільшується при навантаженні конструкцій в ранньому віці, підвищенні водоцементного відношення, витрати цементу, вологості бетону та тривалості прикладення навантаження. Вона залежить від виду цементу та його мінералогічного складу, а також від механічних властивостей та витрати заповнювачів. Бетони на високоміцному малоалюмінатному портландцементі характеризуються меншою повзучістю.

Твердіння бетону супроводжується виділенням теплоти внаслідок протікання екзотермічних процесів гідrataції цементу. Фактори, що впливають на інтенсивність твердіння, відбиваються і на *тепловиділенні (екзотермії)* бетону. Найважливішим фактором тепловиділення є мінералогічний склад цементу. За інтенсивністю розвитку тепловиділення мінерали, що входять до складу цементу, розташовуються в ряд:



$C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$ . Тепловий ефект гідратації  $C_3A$  майже вдвічі вищий, ніж  $C_3S$  і у 5 разів вищий ніж  $C_3S$ .

Тепловиділення бетону збільшується при підвищенні витрати цементу, тонкості його подрібнення, при підвищенні температури, а також в присутності прискорювачів твердіння; знижується – при введенні до цементу або бетонної суміші мінеральних добавок (шлаків, зол ТЕС та ін.) та ПАР.

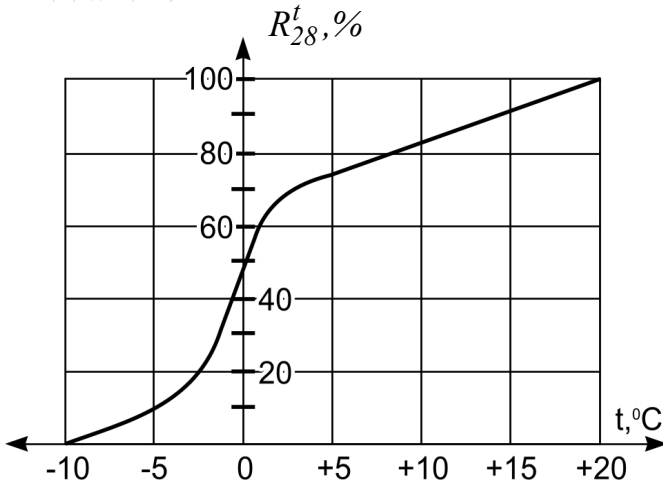
Позитивна роль тепловиділення бетону проявляється при зимовому бетонуванні, а також тепловій обробці з метою прискорення твердіння.

Для масивних споруд – гребель, фундаментів під турбогенератори та ін. тепловиділення бетону відіграє негативну роль. Воно викликає значне підвищення температури (до  $50^{\circ}C$  і вище) у ядрі масиву, розвиток термічних напруг та тріщиноутворення. Зниження саморозігріву бетону в масивних спорудах досягається використанням низькотермічних цементів з тепловиділенням у 3-добовому віці не більше 230 Дж/г. Ефективним є зниження температури бетонної суміші. Використовують також охолодження бетону водою, що циркулює по трубах.

При температурах нижче  $0^{\circ}C$  твердіння бетону різко сповільнюється, а при  $-10^{\circ}C$  практично припиняється (рис. 11.9), що обумовлено замерзанням вільної води та припиненням процесу гідратації цементу. Утворення в бетоні льоду супроводжується підвищенням тиску, що порушує його структуру. При відтаюванні твердіння поновлюється, однак внаслідок погіршення структури знижуються міцність та погіршуються інші властивості бетону.

Зимове бетонування, як правило, виконують способом термосу або електронагріву. Використовуються також спосіб паропрогріву і так звані «холодні бетони», що містять протиморозні добавки.

Спосіб *термосу* застосовується при бетонуванні масивних конструкцій і полягає у твердінні за рахунок теплоти, що виділяється при гідратації цементу, та при використанні підігрітих компонентів. Поверхню бетону захищають теплоізоляційними матеріалами.



**Рис. 11.9.** Наростання міцності свіжоприготованого бетону протягом 28 днів при температурах від +20 до -10° С (в % від R<sub>28</sub>)

*Паропрогрів* здійснюють в парових сорочках або камерах, а також при пропусканні пари крізь труби, закладені в бетоні. При *електронагріванні* твердіння бетону йде за рахунок теплоти, що виділяється в тілі бетону при пропусканні електричного струму крізь металеві електроди, або в результаті теплопередачі від нагрітого повітря. Для підігрівання бетону використовується змінний струм нормальної частоти. Постійний струм викликає електроліз і тому не використовується.

«Холодні бетони» мають здатність твердіти при від'ємній температурі завдяки введенню значної кількості хімічних добавок, які знижують температуру замерзання води замішування. Як протиморозні добавки використовують хлористі та амонійні солі, нітрит натрію, аміачну воду, поташ тощо.

Послаблення та руйнування бетону може бути викликано як деструктивними внутрішніми процесами, так і зовнішніми діями. До числа руйнівних факторів можна віднести хімічну дію



води та речовин, що містяться в ній; позмінне та багаторазове зволоження та висушування; заморожування та відтаювання.

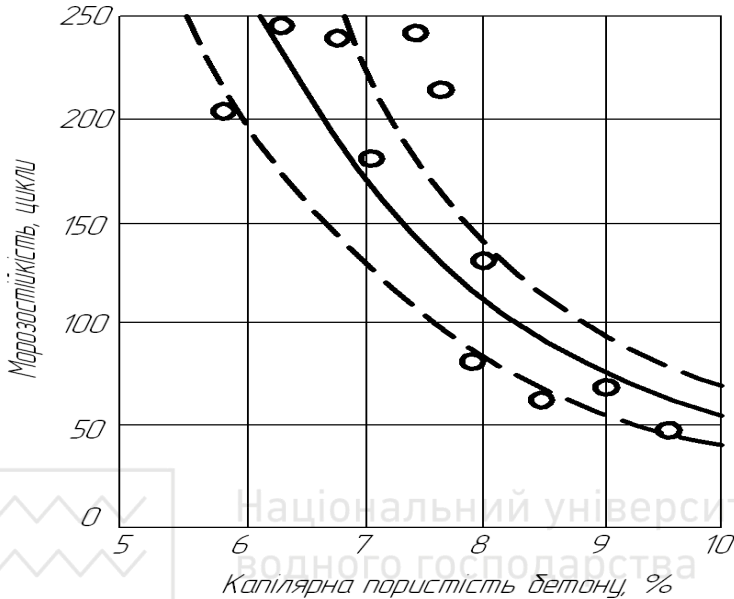
Порушують монолітність бетону та викликають тріщини також температурні перепади, взаємодія лугів цементу з деякими заповнювачами, кристалізація солей в порах бетону та ін.

Під *морозостійкістю* бетону розуміють його здатність витримувати певну кількість циклів позмінного заморожування та відтавання в насиченому водою стані при зниженні міцності не більше 5%. Залежно від кількості циклів заморожування та відтаювання, яку витримують зразки, встановлюються марки за морозостійкістю для важких бетонів F50, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000. Основою для призначення марки з морозостійкістю є розрахункове число циклів заморожування та відтаювання, яке зазнає бетон протягом року за даними спостережень, приймаються до уваги також кліматичні та експлуатаційні умови.

Морозостійкість бетону завжди підвищується при зменшенні відносного об'єму капілярних пор (рис. 11.10) та збільшенні об'єму замкнених пор, заповнених повітрям.

Для одержання бетонів з високими щільністю та морозостійкістю необхідно знижувати водоцементне відношення та витрату води, тобто факторів, що визначають капілярну пористість. При нормальному твердінні бетону для забезпечення його високої морозостійкості рекомендується, щоб В/Ц не перевищувало 0,5, а витрати води були не більшими 160 л/м<sup>3</sup>.

Поряд із зниженням капілярної пористості має значення правильний вибір цементу та заповнювачів. Позитивно відбивається на морозостійкості бетону використання цементу зі зниженим вмістом трикальцієвого алюмінату ( $C_3A < 8\%$ ) та підвищеним вмістом мінералів-силікатів при перевазі трикальцієвого силікату. Введення активних мінеральних добавок до цементу в підвищеній кількості веде до помітного зниження морозостійкості.



**Рис. 11.10.** Залежність морозостійкості бетону від капілярної пористості

Для підвищення морозостійкості бетонів широко використовуються добавки ПАР і особливо повітрявтягуючі. Вони дозволяють знизити водоцементне відношення і об'єм капілярних пор та забезпечити утворення дрібних повітряних пор, до яких відтискається з капілярів вода, що замерзає.

Для конструкцій та споруд, що працюють під дією певного напору води та в умовах агресивного середовища, важливим показником якості бетону є його *водонепроникність*, яка характеризується найбільшим тиском, при якому не спостерігається фільтрація води крізь зразки. Для бетонів, для яких встановлюються вимоги, щодо обмеження проникності, або підвищеної щільності та корозійної стійкості призначають марки бетону за водонепроникністю від W2 до W20.



Основними шляхами фільтрації води є капілярні пори, особливо седиментаційні капіляри, утворені в результаті розширювання бетонної суміші.

Висока водонепроникність бетону досягається зниженням В/Ц, застосуванням розширних, пластифікованих та гідрофобізованих цементів, пуцоланового та шлакопортландцементу. При достатній вологості середовища водонепроникність суттєво збільшується зі збільшенням тривалості твердіння за рахунок зменшення об'єму відкритих пор при гідратації цементу. Водонепроникність та водопоглинання бетону є показниками його щільності, з якою пов'язана стійкість бетону до різних агресивних дій оточуючого середовища (табл. 11.8).

Таблиця 11.8

Показники щільності бетону

Вид бетону за щільністю	Умове позначення	Марка за водонепроникністю	Водопоглинання, % за масою	В/Ц не більше
Нормальний	Н	4	5,7–4,8	0,6
Підвищеної щільності	П	6	4,7–4,3	0,55
Особливо щільний	О	8	4,2	0,45

### 11.3. Різновиди важких бетонів

**Різновиди бетонів за складом і властивостями.** Поряд з найбільш поширеними в будівництві конструкційними бетонами з крупністю заповнювача більше 10 мм (крупнозернисті бетони) застосовують *дрібнозернисті бетони*, в яких крупність заповнювачів не перевищує 10 мм. Розповсюдженим різновидом цього виду бетону є *піщаний бетон*, який не містить крупного заповнювача. Висока питома поверхня заповнювача в дрібнозернистому бетоні обумовлює підвищену витрату цементу, необхідну для заповнення міжзернових пор і створення достатнього шару обмазки з





цементного тіста. Зниження витрати цементу досягається вибором оптимального гранулометричного складу заповнювача, введенням активних мінеральних добавок, застосуванням суперпластифікаторів та ефективних способів ущільнення.

Для дрібнозернистих бетонів характерне підвищене відношення міцності на розтягу при згині до міцності на стиск. При рівній міцності на стиск, міцність при згині для дрібнозернистих бетонів на 10–15% вища ніж у звичайних.

Особливості структури позначаються на деформативних властивостях дрібнозернистих бетонів. Вони мають модуль пружності на 20–30% нижчий ніж у звичайного бетону, більш високі значення усадки і повзучості. Деформативність і повзучість можуть бути значно знижені за рахунок підвищення жорсткості бетонних сумішей, застосування силових методів ущільнення.

При армуванні дрібнозернистого бетону з максимальною крупністю 2,5–3 мм тканими металевими сітками отримують *армоцемент* – матеріал з високою несучою здатністю, який використовується в тонкостінних просторових конструкціях складної конфігурації.

До *високоміцних* важких бетонів відносять бетони класів за міцністю вище С 50/60. Основним напрямком досягнення високої міцності бетону є забезпечення гранично низьких значень водоцементного відношення при достатньо високому ступені гідратації цементу і необхідному ущільненні бетонної суміші. При низьких значеннях В/Ц позитивно впливає на міцність бетону досягнення оптимального співвідношення між вмістом щебеню і розчинової складової.

Традиційними способами зменшення В/Ц при постійній витраті цементу є зниження витрати води і перехід на жорсткі суміші, застосування пластифікуючих добавок, підвищення чистоти заповнювачів, перехід на заповнювачі з меншою питомою поверхнею.

Радикальним способом зменшення В/Ц без істотного погіршення легкоукладальності бетонної суміші є введення добавок суперпластифікаторів (СП). На відміну від звичайних



пластифікаторів, що знижують витрату води до 10–15%, СП дозволяють скорочувати витрати води на 20–30% і більш і відповідно збільшувати міцність бетонів (рис. 11.11).

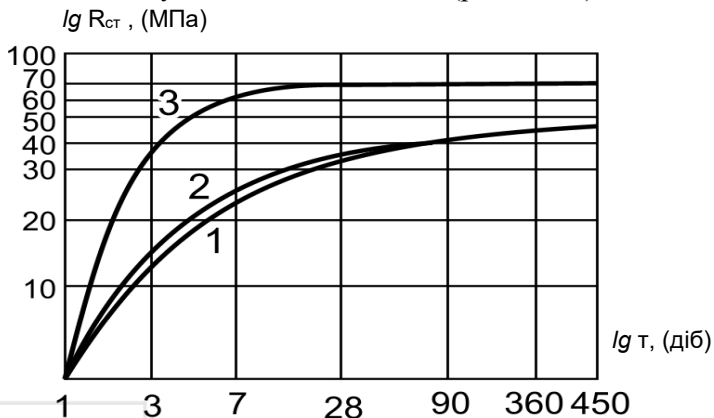


Рис. 11.11. Кінетика тверднення бетонів із суперпластифікатором С-3:

- 1 – бетон без добавки; 2 – з С-3 при постійному В/Ц;  
3 – з С-3 і пониженим В/Ц

Високоміцні бетони при помірних В/Ц можна виготовляти застосовуючи цементу з високою активністю. До ефективних в'язучих для високоміцних бетонів відносять в'язучі низької водопотреби (ВНВ), що отримують тонким помелом портландцементного клінкеру і мінеральної добавки з введенням порошкоподібного суперпластифікатора. У композиції з суперпластифікаторами суттєвий ефект підвищення міцності досягається при введенні високодисперсних мікрокремнеземистих добавок.

До високоміцних бетонів можна віднести і т.зв. *високофункціональні бетони (High Performance Concrete)*, що мають міцність на стиск у віці 2 діб – 30–50 МПа, 28 діб – 60–150 МПа, морозостійкість – F600 і більше, водонепроникність – W12 і вище, водопоглинення – менше 1–2%, стиранисть не більше 0,3–0,4 г/см<sup>2</sup>, регульовані показники деформативності.



Фізико-механічні властивості бетонів суттєво покращуються при просочуванні їх різними органічними та неорганічними продуктами.

При одержанні *бетонополімерних* виробів їх висушують, вакуумують та просочують малов'язкими рідкими мономерами (метилметакрилат, стирол тощо), які потім полімеризують безпосередньо у бетоні за допомогою радіаційного або термokatалітичного способів. При цьому в декілька разів зростає міцність бетону, особливо на розтяг та згин, водонепроникність та морозостійкість, стійкість до агресивних середовищ, стійкість при стиранні, суттєво зменшується повзучість бетону. Бетонополімерні вироби мають властивості, подібні до чавуну, сталі, залізобетону. Використання бетонополімерних труб замість залізобетонних забезпечує економію арматурної сталі. Суттєвий позитивний ефект при використанні бетонополімерів забезпечується за рахунок підвищення довговічності та надійності конструкцій в жорстких умовах експлуатації, особливо під дією хімічно агресивного середовища.

*Полімерцементними* називають бетони, отримані при введенні у бетонні суміші полімерних добавок. Підвищення міцності цементних бетонів на розтяг і їх деформативності – один з головних результатів введення полімерних добавок. При введенні добавок полівінілацетату (ПВА) і латексів можливе збільшення міцності при згині в 2–3 рази. Відзначається також ріст граничної розтяжності і зчеплення з поверхнею старого бетону й арматури. Полімерцементні бетони характеризуються підвищеною адгезійною та ударною міцністю, низькою стираністю, хімічною стійкістю.

**Різновиди бетонів за призначенням.** *Гідротехнічний бетон* застосовують для виготовлення конструкцій та зведення споруд, які постійно або періодично перебувають у воді.

Залежно від розташування гідротехнічного бетону в споруді по відношенню до рівня води гідротехнічний бетон розділяється на підводний (перебуває у воді постійно), зони змінного рівня води, надводний. Бетон в підземних гідротехнічних спорудах розглядають як підводний.



Гідротехнічні бетони поділяються також на масивні та немасивні. Масивні бетони використовують переважно при будівництві гребель. Масивні конструкції потребують спеціальних заходів для регулювання температурних напружень, що виникають при виділенні теплоти в бетоні.

Вимоги до гідротехнічних бетонів ставляться диференційовано з урахуванням зонального розподілу бетону в конструкціях. Особливо жорстким є комплекс вимог до бетону для зони змінного рівня води та надводних зон зовнішніх частин гідротехнічних споруд.

*Дорожній бетон* залежно від призначення поділяють на бетон для одно- та двошарових покриттів, а також для основ вдосконалених покриттів.

Вимоги до дорожнього бетону зумовлені складними умовами його служби в покриттях: діями статичних та динамічних транспортних навантажень, змінної вологості та температури тощо. Для нього велике значення має опір на розтяг при згині. Якісні показники дорожнього бетону призначають залежно від категорії дороги, шару покриття та кліматичних умов служби. Для дорожніх бетонів застосовують портландцемент, властивості якого відповідають необхідним вимогам, спеціальний дорожній портландцемент, а також пластифіковані, гідрофобізовані і сульфатостійкі цементи.

Для підвищення якості бетонної суміші та стійкості бетону проти сумісної агресивної дії розчинів хлористих солей та морозу до бетонної суміші під час приготування вводять поверхнево-активні добавки.

При випробуванні щебеню та гравію для дорожніх бетонів поряд з визначенням міцності визначають їх стиранисть.

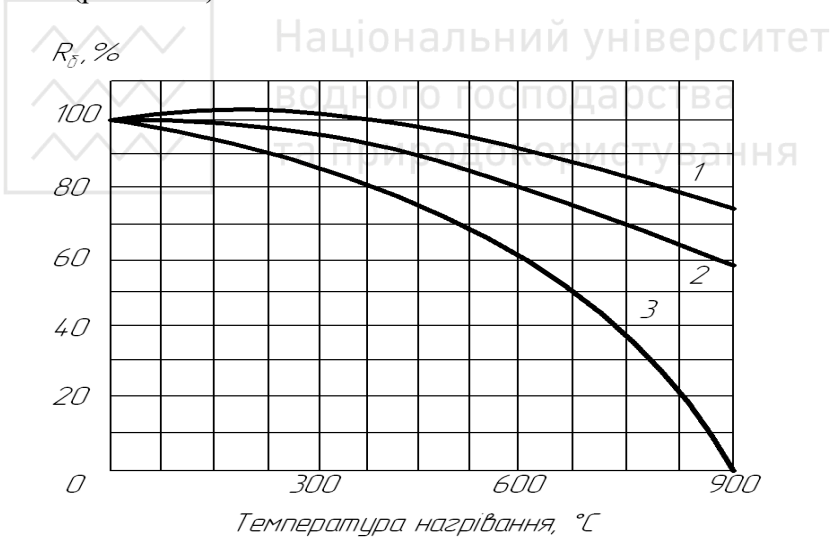
В умовах дорожнього будівництва високу якість бетонних покриттів забезпечують правильним доглядом за тверднучим бетоном. При цьому ефективно застосування різних плівкоутворюючих матеріалів.

Для футерування топків, газоходів, димових труб при будівництві теплових електростанцій, в елементах захисних стін, перекриттів АЕС та інших конструкцій, що нагріваються, застосовують *жаростійкі бетони*. Звичайний важкий



цементний бетон, придатний для виготовлення будівельних конструкцій, що зазнають тривалий вплив температури лише до 200° С.

За гранично допустимою температурою використання жаростійкі бетони поділяються на класи: 3–18 (Клас 3 розрахований на максимальну температуру 300° С, 4 – 400° С і т.д). У жаростійких бетонах можуть використовуватися як гідралічні (портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент), так і повітряні (каустичний магнезит, рідке скло) мінеральні в'язучі. Цементний камінь набуває жаротривких властивостей завдяки введенню до нього різних тонкомелених кремнеземистих добавок, стійких до дії високих температур та зв'язуючих вільний оксид кальцію. Такими добавками служать зола-винесення, доменний, паливний шлаки та ін. (рис. 11.12).



**Рис. 11.12.** Вплив температури на міцність цементу:  
1 – портландцемент 70% + трепел 30%; 2 – портландцемент 70% + пемза 30%; 3 – портландцемент



Звичайні кварцевмісні заповнювачі при нагріванні зазнають поліморфні перетворення, що може викликати руйнування бетону. Нестійкими до дії високих температур є також карбонатні породи.

В бетонах, що працюють при температурах до  $700^{\circ}\text{C}$ , можуть бути використані заповнювачі з базальту, андезиту, туфів та інших гірських порід, які не містять вільного кварцу. Найбільшого розповсюдження як заповнювач для жаростійких бетонів до  $1300^{\circ}\text{C}$ , має шамот – продукт випалювання вогнетривких глин. Для одержання бетонів вищої вогнетривкості використовують магнезитові, хромітові, корундові та інші заповнювачі.

#### 11.4. Декоративні (архітектурні) бетони

Декоративні бетони застосовують для архітектурного опорядження конструктивних елементів будівель і споруд – стін, підлог, сходів та ін. Декоративність бетону досягається як кольором, так і фактурою лицьової поверхні.

Для виготовлення *кольорових бетонів* використовують звичайний — портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент, а також білий і кольоровий портландцементи.

Ступінь білизни білих цементів, визначений коефіцієнтом відбиття за допомогою фотометра, повинен бути не нижче: для цементу 1-го сорту – 80%; 2-го – 75%; 3-го сорту – 70%; для інертних мінеральних добавок – 80%; активних мінеральних добавок – 75%; гіпсу – 70%.

Кольоровий портландцемент виготовляють методом сумісного тонкого подрібнення білого або кольорового клінкеру, активної мінеральної добавки, пігменту та гіпсу.

Пігменти, для кольорового цементу повинні мати достатню фарбуючу здатність, високу стійкість до лугів, сонячного світла і атмосферного впливу. Вони не повинні містити шкідливих домішок і розчинних солей. Із збільшенням вмісту пігментів активність цементу зменшується. Звичайно на



цементних заводах в кольоровий цемент додають не більше 10% пігменту.

Білий і кольоровий цемент характеризуються підвищеною усадкою при твердінні, зниженою морозостійкістю.

Активні мінеральні добавки, що зв'язують гідроксид кальцію в малорозчинні гідросилікати кальцію, значною мірою зменшують утворення вицвітання на декоративних облицюваннях. Цьому сприяє також введення в білий і кольоровий цемент гідрофобних добавок.

Білий і кольоровий цемент зберігають і транспортують в спеціальних контейнерах або мішках.

Введенням пігментів підфарбовують також звичайний цемент. Цемент світлих тонів виготовляють змішуванням звичайного портландцементу з розбілюючими мінеральними добавками (крейдою, меленим вапняком, мармуром і т.п.), а також з білилами. Вміст розбілюючих мінеральних добавок досягає 25%.

*Декоративні щебінь і пісок* виготовляють подрібненням гірських порід, забарвлених в різні кольори (граніту, діориту, діабазу, андезиту, кварциту, мармуру та ін.). Залежно від крупності зерен пісок поділяють на фракції до 2,5 і 2,5–5 мм. Для щебеню встановлено фракції 5–10, 10–20, 20–40 мм.

Для заповнювачів крупністю понад 2,5 мм зерновий склад повинен знаходитися в наступних межах:

Діаметр отворів контрольних сит	d	0,5(d+D)		D
		(для однієї фракції)	(для суміші фракцій)	
Повний залишок на ситах % за масою	90–100	40–80	50–60	0–10

До зернового складу піску фракцій до 2,5 мм висувають такі вимоги: повний залишок на ситі 2,5 мм – не більше 10%; 0,14 мм – не менше 90% маси. Марки за міцністю щебеню і піску не нижче: з вивержених порід – М800, з метаморфічних – М400, з осадових – М300.



Для щебеню встановлюють марки за морозостійкістю: F15, F25, F50, F100, F200 і F300. Для піску їх визначають випробуванням вихідної гірської породи.

Щебінь і пісок, що використовується для бетонів, призначених для влаштування підлог, повинен відповідати вимогам до стираності вихідних гірських порід. Вона не повинна перевищувати  $2,2 \text{ г/см}^2$  при інтенсивності руху менше 100 чол./год. і  $0,5 \text{ г/см}^2$  – при більшій інтенсивності.

Граничний вміст пилоподібних і глинистих частинок в декоративних заповнювачах нормується залежно від виду і марок гірських порід за міцністю. Не можна допускати наявність в заповнювачах глини в грудках, зерен з границею міцності менше 20 МПа понад 5% маси, пластинчатих і голковидних зерен понад 35%.

*Безпіщані декоративні бетони* складаються з цементу і кам'яної крихти в співвідношенні по масі 1:4 і 1:5, склади коректуються залежно від марки цементу та гранулометричного складу заповнювача.

Дрібний заповнювач для кольорових декоративних бетонів, зазвичай, за кольором відповідає використаному цементу, а крупний – контрастує з основним фоном.

Виготовляють бетонну суміш в змішувачах примусової дії. В процесі перемішування суміші, спочатку подають заповнювачі, потім цемент, в який при необхідності заздалегідь вводять пігменти. Після короткочасного сухого перемішування в бетонну суміш додають воду. Кольорові бетони можна виготовляти, використовуючи кольорове цементне тісто, що є продуктом сумісної обробки в'язучих і пігментів в акустичному або ваєрогідродинамічному активаторі. Замість води для замісу можна використовувати також кольорові стабілізовані суспензії, одержані ретельним перемішуванням води та пігментів з додаванням поверхнево-активних речовин.

При виготовленні кольорових бетонів існує небезпека появи на поверхні висолів в результаті вилугування цементного каменю або використання добавок-електролітів. Для попередження висолоутворення ефективно використання гідрофобізуючих добавок (ГКР-10, ГКР-11, СНП, милонафт та ін.).





При формуванні декоративних бетонних виробів слід уникати забруднення поверхонь мастилами шляхом використання полімерних плівок і форм, а також негайним розпалубленням (при застосуванні наджорстких сумішей та інтенсивних методів ущільнення).

Для надання декоративної фактури бетону оголюють поверхню заповнювача шліфувальними, дробильними машинами, фрезами, бучардами, пневмомолотками, піскоструйними апаратами, а також шляхом використання сповільнювачів твердіння, що дозволяють знизити міцність поверхневого шару (рис. 11.13).



**Рис. 11.13.** Декоративні бетони різної фактури:  
1 – гладка; 2 – колена з крупним заповнювачем;  
3 – колена з дрібним заповнювачем; 4 – зерниста;  
5 – мозаїчні фактури, отримані способом розмивання шару в'язучого



*Мозаїчні суміші* виготовляють із застосуванням білого, кольорового або звичайного розбіленого портландцементу і крихти з твердих порід (частіше за все мармур), які піддаються шліфуванню, мають границю міцності при стиску не менше 60, 80 і 100 МПа відповідно для покриттів марок М200, М300, М400. Крихта не повинна містити пилюватих і глинистих домішок та зерен, які легко руйнуються. Твердість крихти повинна відповідати твердості покриття, інакше його якість знижуватиметься унаслідок нерівномірного стирання.

Рекомендується використовувати крихту з водопоглинанням в межах 12–16%; при більш низькому водопоглинанні погіршується її зчеплення з цементним каменем, при більш високому – здатність до шліфування.

Крім кам'яної крихти для деяких мозаїчних сумішей застосовують кварцовий пісок. Для розбілювання звичайного сірого цементу вводять порошок (крупність зерен менше 1,5 мм) з білих гірських порід, границя міцності яких при стиску не менше 20 МПа, в кількості 20...40% маси цементу. Вибираючи склад мозаїчної суміші, виходять з умови створення після обробки поверхні, що містить 75...80% кам'яних заповнювачів і 20...25% цементного каменя. Кількість крупної крихти звичайно не менше 0,8 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> мозаїчного розчину, а об'єм дрібної крихти або піску, що додається, повинен на 10...30% перевищувати об'єм пустот крупного заповнювача.

Склад мозаїчних сумішей залежить від марки матеріалу за міцністю; орієнтовно він може бути наступним, мас.ч.:

Марка матеріалу	200	300	400
Портландцемент	1	1	1
Вода	0,65	0,5	0,4
Пісок	2	1,4	1
Крихта	3,4	2,4	1,7

Рухомість мозаїчної суміші відповідає осадці конуса 2...4 см.



Колір кам'яної крихти, співвідношення її дрібної і крупної фракцій, необхідні кількість і вид пігментів вибирають залежно від заданого кольору і тону покриття.

Виготовлення мозаїчного монолітного покриття включає укладання спочатку жорсткого цементно-піщаного розчину завтовшки 20...25 мм, потім лицьового мозаїчного шару, який після твердіння шліфують мозаїчно-шліфувальними машинами. Під час твердіння повинні бути забезпечені сприятливі умови для запобігання швидкого видалення вологи з бетону. Для цього зазвичай через 2 доби після укладання поверхню мозаїчної підлоги засипають шаром тирси не менше 30 мм і протягом 4...7 діб періодично зволожують. До обробки поверхні мозаїчного покриття приступають після досягнення ним необхідної міцності. Обробка включає операції обдирання (для видалення верхнього шару цементного каменя і оголення заповнювача), шліфування і полірування.

Крім звичайних, влаштовують *набірно-мозаїчні покриття*, імітуючи декоративні гірські породи. Покриття набирають з окремих шматків і крихти природного каменя різних порід заданого кольору і форми і укладають по малюнку на цементно-піщаному розчині. Затверділе покриття шліфують. При влаштуванні такої підлоги заповнювач з декоративного каменя і зв'язуючий його цементно-піщаний розчин повинні бути рівномірними. Інакше підлога при експлуатації нерівномірно стиратиметься.

Для отримання *штампованого* декоративного бетону на пластичну бетонну суміш наносять рельєфний відтиск, що повторює текстуру і форму натурального каменя, цегли, деревини та ін.

*Бетонні мозаїчні плити* призначені для покриття підлог виробничих і громадських будівель. Плити виготовляють одношаровими й двошаровими з шліфованою поверхнею на білому, кольоровому чи звичайному портландцементі марки не нижче М400, із заповнювачем з білої або кольорової мармурової крихти. Двошарові плити розмірами 400×400×30 мм мають верхній шар завтовшки 17–20 мм. Одношарові плити і верхній шар двошарових плит виготовляють з мозаїчної суміші,



додаючи пігменти. Клас бетону мозаїчного шару за міцністю повинен бути не менше В15. Нижній шар двошарових плит виготовляють із цементно-піщаного розчину. Незалежно від товщини плити армують сітками із сталевих дроту діаметром 3–4 мм.

*Плити бетонні фасадні* призначені для облицювання стін і цоколів будівель. Лицьові поверхні плит можуть бути гладкими і рельєфними. Виготовляють плити одношарові й двошарові, армовані та неармовані, формовані, чи отримані шляхом розпилування. Для виготовлення або опорядження плит застосовують декоративний бетон на білому або кольоровому портландцементі, а також на звичайних портландцементях з розбілюючими добавками. Клас бетону – не менше В25; морозостійкість – не менше F35; водопоглинання – не більше 15% за масою.

Фактуру лицьових поверхонь плит поділяють на гладку і рельєфну. Товщина опоряджувального шару з декоративного бетону – не менше 15 мм. Товщина формованих плит повинна бути не менше 30 мм.

Армування плит здійснюється зварними сітками із сталевих холоднотягнутого дроту класу В-1. Товщина захисного шару для арматури з лицьової сторони – не менше 15 мм в плитах для облицювання стін і не менше 20 мм в плитах для цоколів, а з внутрішньої сторони плит – не менше 10 мм. Границя міцності бетону плит на стиск – не менше 20 МПа.

### 11.5. Легкі бетони

До легких відносять бетони, середня густина яких не перевищує 2000 кг/м<sup>3</sup>. Легкі бетони класифікують за структурою на щільні, поризовані, крупнопористі та ніздрюваті. Щільні бетони отримують з застосуванням пористих заповнювачів при повному заповненні простору між зернами заповнювачів зв'язуючою речовиною, поризовані – при частковій заміні повітряними або газовими включеннями. Крупнопористі бетони мають відповідну структуру за рахунок відсутності дрібного заповнювача і обмеження вмісту в'язучого,



ніздрюваті – поризації бетонної суміші в результаті додавання газоутворюючих добавок або аерування чи змішування з технічною піною.

**Бетони на пористих заповнювачах.** За призначенням легкі бетони поділяють на теплоізоляційні, конструкційно-теплоізоляційні і конструкційні (табл. 11.9). Розрізняють також спеціальні види легких бетонів відповідно до умов їхньої експлуатації – жаростійкі, декоративні, хімічностійкі та ін.

Таблиця 11.9

Технічна характеристика легких бетонів

Бетон	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Міцність при стиску, МПа, не менше	Призначення
Теплоізоляційні*	300–500	0,3	Для теплової ізоляції
Конструкційно-теплоізоляційні	500–1600	1,0	Для огорожуючих конструкцій будівель
Конструкційні	1100–2000	12,5	Для несучих конструкцій будівель і споруд

\*Теплопровідність теплоізоляційних бетонів не більше 0,14 Вт/м·°С

Найбільше застосування у будівництві отримали конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони.

В найменуванні легких бетонів вказується вид крупного заповнювача: керамзитобетон, аглопоритобетон перлітобетон і ін. При необхідності в найменуванні легких бетонів може вказуватися також вид дрібного заповнювача

Найбільше застосування у будівництві отримали конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони.

В найменуванні легких бетонів вказується вид крупного заповнювача: керамзитобетон, аглопоритобетон, перлітобетон і ін. При необхідності в найменуванні легких бетонів може вказуватися також вид дрібного заповнювача.



До основних якісних показників, що висуваються ДСТУ БВ.2.7-18-95 до легких бетонів, відносять клас бетону за міцністю на стиск (С) і марку за середньою густиною (об'ємною масою) у сухому стані (D). Залежно від призначення передбачаються класи за міцністю легких бетонів від В0,35 до В40, марки за середньою густиною від D200 до D2000.

Середня густина легких бетонів у сухому стані залежить від густини зерен заповнювачів, витрати цементу, об'ємної концентрації крупного заповнювача, об'ємів міжзернових пористот і втягнутого повітря. Ефективним способом зниження середньої густини є поризація бетонної суміші повітрявтягуючими або пороутворюючими добавками.

Міцність легких бетонів корелюється з їхньою густиною. Великий вплив чинить об'єм міжзернових пористот заповнювача, не заповнений цементним тістом.

Істотний вплив пористого заповнювача приводить до меншого відносного впливу на міцність легкого бетону таких факторів як В/Ц і активність цементу. При незмінній якості пористих заповнювачів для збільшення міцності легких бетонів необхідно підвищувати міцність розчинової складової, що досягається підвищенням витрати цементу або зменшенням об'ємної концентрації крупного заповнювача.

Характерною особливістю легких бетонів є підвищена міцність на розтяг. Цьому сприяє розвинена поверхня заповнювачів, що викликає добре зчеплення з цементним каменем. Відношення міцності на розтяг до міцності на стиск для важких бетонів становить 0,05–0,1, а для легких – 0,06–0,17.

Одним із критеріїв ефективності легких бетонів є коефіцієнт конструктивної якості – відношення границі міцності на стиск до його середньої густини.

Для легких бетонів характерна більша деформативність, ніж для важких. Модуль пружності, наприклад, керамзитобетону на 20–50% менший модуля пружності важкого бетону того ж класу. Модуль пружності зменшується тим більше, чим деформативнішим є заповнювач та вищим його вміст.



Гранична розтяжність легкого бетону в 4–5 разів вища, ніж важкого, і досягає 0,03–0,4 мм/м. Підвищена розтяжність та низький модуль пружності легкого бетону сприяє його тріщиностійкості та дозволяє ефективно використовувати його в різних спорудах.

Загальна усадка легких бетонів на 15–30% вище усадки важких бетонів. Усадкові деформації знижуються при зменшенні водовмісту та витрати цементу.

Теплопровідність легких бетонів залежить від теплофізичних властивостей пористого заповнювача, середньої густині і вологості бетону. Скломісні заповнювачі (шлакова пемза, перліт та ін.) дозволяють на 10–20% при рівній середній густині зменшити теплопровідність бетонів у порівнянні з заповнювачами, в структурі яких переважає кристалічна фаза (аглопорит, керамзит із записочених глин та ін.)

Морозостійкість легких бетонів визначається насамперед морозостійкістю цементного каменю. Збільшення щільності цементного каменю в контактній зоні з пористим заповнювачем сприяє підвищенню морозостійкості бетонів. Морозостійкість легких бетонів зменшується при застосуванні пористих пісків, що збільшують В/Ц і капілярну пористість цементного каменю. Так само як і для важких, для легких бетонів ефективним засобом збільшення морозостійкості є залучення повітря за допомогою повітрявтягуючих ПАР.

Поряд з неорганічними для отримання легких бетонів застосовують органічні пористі заповнювачі переважно рослинного походження (деревні тріска, стружка та ін). Легкі бетони на органічних заповнювачах характеризуються невисокою середньою густиною ( $\rho_0=300\text{--}800\text{ кг/м}^3$ ) і теплопровідністю ( $\lambda=0,093\text{--}0,23\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$ ), а також доброю оброблюваністю. Просоченням деревних заповнювачів мінералізаторами і наступним змішуванням їх з мінеральними в'язучими забезпечується біостійкість і важкоспалюваність матеріалів на їх основі. Недоліками бетонів на деревних заповнювачах є високе водопоглинання і порівняно низька водостійкість.



За призначенням бетони на основі органічних заповнювачів, так само як і інші види легких бетонів, поділяються на теплоізоляційні, конструктивно-теплоізоляційні та конструкційні.

Головним представником групи бетонів на деревних заповнювачах і мінеральних в'язучих є арболіт (рис. 11.14).

*Арболіт* – це легкий бетон на заповнювачах рослинного походження, попередньо оброблених розчином мінералізатора. Він застосовується в промисловому, цивільному і сільськогосподарському будівництві в вигляді панелей і блоків для зведення стін і перегородок, плит перекриття і покриття будинків, теплоізоляційних і звукоізоляційних плит. Арболітові конструкції експлуатують при відносній вологості повітря приміщень не більш 60%, при більшій вологості необхідний пароізоляційний шар.



**Рис. 11.14.** Арболіт

Не допускаються систематичні впливи на арболіт агресивних середовищ і температур понад 50° С і нижче -40° С.

Зовнішня поверхня конструкцій з арболіту, що стикається з атмосферною вологою, незалежно від вологісного режиму експлуатації повинна мати оздоблювальний (фактурний) шар.





**Ніздрюваті бетони.** Ніздрюваті бетони залежно від призначення так само як і легкі бетони на пористих заповнювачах розділяють на *теплоізоляційні* ( $\rho_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ ), *конструкційно-теплоізоляційні* ( $500\text{--}900 \text{ кг/м}^3$ ) і *конструкційні* ( $1000\text{--}1400 \text{ кг/м}^3$ ).

Пориста структура ніздрюватих бетонів може бути отримана в результаті газоутворення при проходженні хімічних реакцій (*газобетони, газосилікати*); піноутворення – змішування водної суспензії в'язучого з попередньо отриманою піною (*пінобетони, піносилікати*); аерування – вспінювання маси, що містить піноутворювач, при перемішуванні. Застосовують також різні комбіновані способи поризації бетонів.

За умовами тверднення ніздрюваті бетони розділяють на автоклавні і безавтоклавні. Перші набирають необхідну міцність в автоклавах в умовах підвищеного тиску і температури водяної пари, другі в умовах нормального тиску при підвищеній температурі або нормальних умовах твердіння.

Середній розмір пор в ніздрюватих бетонах (рис. 11.15) коливається від 0–0,8 до 2–2,2 мм. Застосовуючи деякі технологічні способи обробки ніздрюватих мас, наприклад вібрування, можна регулювати величину пор. В теплоізоляційних ніздрюватих бетонів загальна об'ємна пористість складає 75–90%, в конструкційно-теплоізоляційних вона знаходиться в межах 50–60%.

У виробництві ніздрюватих бетонів, що тверднуть при автоклавній обробці, широко застосовують вапняно-шлакові і вапняно-зольні в'язучі, гідралічна активність яких особливо виявляється з підвищенням температури і тиску водяної пари. Теплова обробка дає можливість використовувати як сировину інертні або малоактивні при нормальному твердненні кислі, низькоглиноземисті як гранульовані, так і відвальні шлаки і золи.

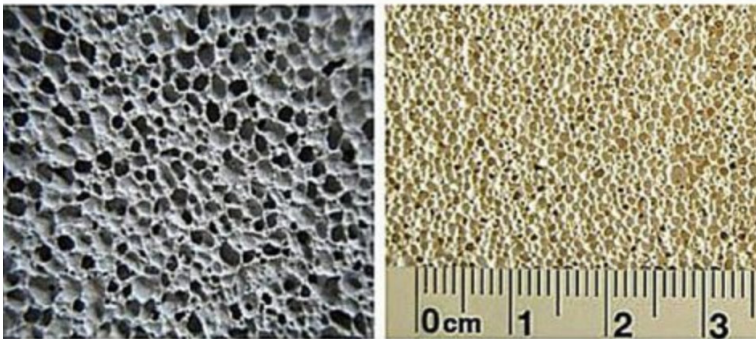
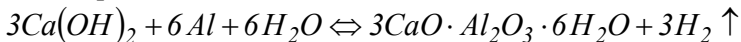


Рис. 11.15. Структура пор виробів з ніздрюватих бетонів

Найбільш розповсюдженим газоутворюючим компонентом служить алюмінієва пудра. Введення пудри забезпечує початок газовиділення в лужному середовищі через 1–2 хв. Поряд з пудрою, що вводиться в суміш у вигляді водної суспензії, застосовують алюмінієву пасту. Газоутворення проходить за реакцією:



В результаті хімічної реакції з 1 г алюмінію виділяється при нормальних умовах 1,254 л водню, при 50° С об'єм водню складає 1,48 л.

Вид в'язучого вибирають з урахуванням умов тверднення і структуроутворення ніздрюватих бетонів. При твердненні в нормальних умовах можливе використання алітових низько- і середньоалюмінатних цементів, шлаколужних в'язучих.

Найбільш високі технічні властивості ніздрюватих бетонів при раціональному використанні в'язучих матеріалів у тому числі на основі шлаків, зол і інших промислових відходів досягаються при тепловологісній обробці в автоклавах. Автоклавна технологія в даний час найбільш характерна для газобетонів. Вироби запарюють зазвичай при тиску 0,8–



1,2 МПа при загальній тривалості 10–17 год. Поряд з автоклавною обробкою для виробів на основі цементу або доменних шлаків застосовують пропарювання або електропрогрів. За безавтоклавною технологією виготовляють переважно дрібноштучні блоки з пінобетону при підвищеній витраті портландцементу.

За показниками середньої густини ніздрюваті бетони поділяють на марки від D300 до D1200. Залежно від гарантованої міцності на стиск розрізняють класи ніздрюватих бетонів: С 0,35–С 15.

Ніздрюваті бетони належать до найбільш ефективних сучасних матеріалів для огорожувальних конструкцій.

## 11.6. Проектування складів бетону

Під проектуванням складів бетону розуміють обґрунтування і вибір виду вихідних матеріалів і їх співвідношень, що забезпечують при заданому критерії оптимальності нормовані проектні вимоги до бетонної суміші і бетону.

Визначення складів бетону виконують експериментальним або розрахунково-експериментальним методом. Останній менш трудомісткий і полягає в орієнтовному розрахунку питомих витрат компонентів бетонної суміші, які повинні експериментально уточнюватися.

У технологічній практиці проектування складів бетону здійснюється на базі досить великої кількості методів, заснованих на різних теоретичних і технологічних передумовах. Усі ці методи можуть успішно застосовуватися на практиці, якщо вони вирішують поставлені задачі. Найбільш розробленими і реалізованими на практиці є *двопараметричні задачі*, коли нормованою властивістю бетону є його міцність при стиску ( $R_{ст}$ ), а бетонної суміші – показник легкоукладальності (рухомість ОК або жорсткість Ж). Для рішення задач цього типу широко застосовуються розрахунково-експериментальні методи, що використовують ряд відомих технологічних залежностей: міцності бетону від



цементно-водного відношення, правило сталості водопотреби бетонних сумішей, правило оптимального вмісту піску та ін.

При рішенні таких задач для важких бетонів послідовно визначають значення цементно-водного відношення, витрату води з урахуванням необхідної рухомості або жорсткості бетонної суміші і витрату заповнювачів, використовуючи припущення про те, що бетонна суміш складається з абсолютних об'ємів всіх її складових. В найпростішому випадку для чотирьохкомпонентної суміші, необхідне знання трьох параметрів: цементно-водного відношення (Ц/В), витрати води (В) і фактору, що характеризує співвідношення заповнювачів (частки піску в суміші заповнювачів ( $\gamma$ ) або коефіцієнта розсунення зерен крупного заповнювача цементно-піщаним розчином ( $\alpha$ )). Останній фактор можна розглядати як оптимізуючий, тому що лише при деякому оптимальному його значенні, в умовах Ц/В=const, можливе досягнення мінімальної витрати цементу. Найчастіше під оптимальним приймають співвідношення заповнювачів, що забезпечує їх найкращу легкоукладальність або мінімальну водопотребу. Для бетонної суміші з великою кількістю компонентів строгий аналітичний пошук оптимального співвідношення заповнювачів стає досить складною задачею, що вимагає застосування спеціальних експериментів. В деяких випадках задача може бути спрощена при використанні емпіричних залежностей.

При проектуванні складів особливо спеціальних видів бетону (гідротехнічного, дорожнього, корозійностійкого і т.д.) виникають багатопараметричні задачі коли порядок з легкоукладальністю і міцністю бетону на стиск нормуються морозостійкість, водонепроникність, тепловиділення та ін. Такі задачі можна розділити на дві підгрупи:

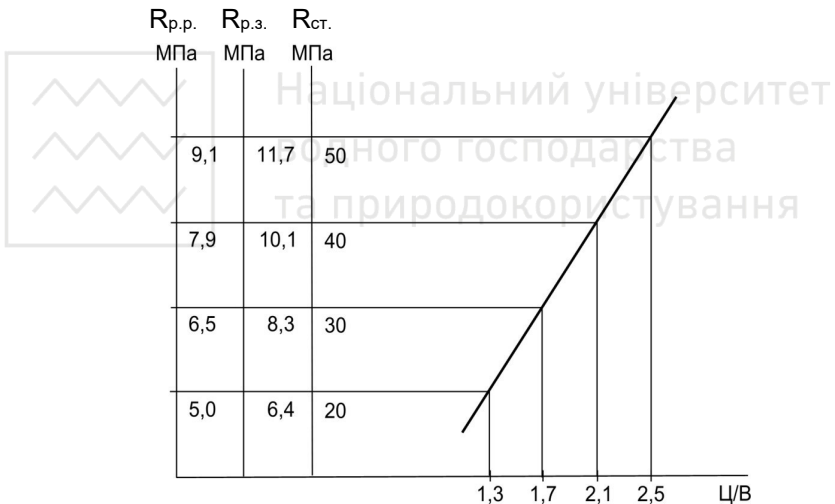
- з нормованими параметрами, однозначно зв'язаними з міцністю бетону при стиску;
- з нормованими параметрами, неоднозначно зв'язаними або незв'язаними з міцністю при стиску.

У першу підгрупу входять, наприклад, задачі з різними нормованими показниками міцності бетону (на стиск, осьовий розтяг, розтяг при згині та ін.). При розрахунку складів таких



бетонів спочатку знаходиться визначальний параметр із нормованих властивостей бетону, відповідна йому міцність при стиску і встановлюється мінімально можливе  $\text{Ц/В}$ , що забезпечує весь набір властивостей. Під «визначальним параметром» розуміється такий нормований параметр, досягнення якого припускає одночасно досягнення й всіх інших параметрів, зазначених в умові задачі.

Наприклад, з рис. 11.16 випливає, що якщо нормуються: міцність при стиску  $R_{ст} \geq 20$  МПа, розтяг при згині  $R_{р.з} \geq 8,3$  МПа і розтяг при розколюванні  $R_{р.р} \geq 7,9$  МПа, то, очевидно, що визначальним параметром є  $R_{р.р}$  і необхідне  $\text{Ц/В}$ , що забезпечує всі три показники властивостей, дорівнює 2.1.



**Рис. 11.16.** Вплив В/Ц на міцність при стиску ( $R_{ст}$ ), розтяг при згині ( $R_{р.з}$ ) і розтяг при розколюванні ( $R_{р.р}$ )

Принциповою особливістю таких задач є існування області  $\text{Ц/В}$ , в межах якої знаходиться  $\text{Ц/В}$ , що забезпечує всі нормовані показники. Чим вужча ця область (для розглянутого прикладу область  $\text{Ц/В} - 1,3-2,1$ ) (рис. 11.16), тим ближче є склад до оптимального і  $\text{Ц} \rightarrow \min$ . Для досягнення цієї умови можуть



використовуватися різні технологічні прийоми: введення добавок-регуляторів властивостей, зміна умов тверднення, підбір вихідних матеріалів та ін.

Нормованими параметрами в задачах другої підгрупи, поряд з міцністю при стиску, можуть бути повзучість, морозостійкість, тепловиділення і т.д.

Для рішення задач даної підгрупи, так само як і попередньої, встановлюється область В/Ц або Ц/В, що забезпечує нормовані параметри, розглядаються технологічні шляхи її звуження й остаточно необхідне значення нормованого В/Ц. Регулювання нормованого В/Ц в цих задачах потребує однак врахування значень інших факторів складу, зокрема кількості цементного тіста, об'єму втягнутого повітря та ін.

Потужним засобом зменшення «ножиців» за В/Ц в морозостійких бетонах є залучення повітря. Характерно при цьому, що значно збільшуючи В/Ц для досягнення заданої морозостійкості, втягнуте повітря в той же час зменшує В/Ц з умови міцності. При цьому загальний позитивний ефект зменшення витрати цементу може бути досить значним

На даній час запропоновано значну кількість формул міцності, вибір яких повинен враховувати їхні особливості і раціональну область застосування. Всі ці формули мають як переваги, так і недоліки і дають орієнтовний прогноз необхідного Ц/В, що повинен уточнюватися емпірично.

Найбільш широко в практиці проектування складів для визначення Ц/В важких бетонів використовують формулу:

$$R_{\sigma} = AR_u(C/B - 0,5), \quad (11.7)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що уточнюється (табл. 11.10) залежно від ряду факторів,  $R_u$  – активність цементу.

Додаткові можливості відкриваються при введенні у формулу міцності замість звичайного мультиплікативного коефіцієнта  $pA$ .

Значення мультиплікативного коефіцієнта  $pA$  можна представити у вигляді:

$$pA = A A_1 \dots A_i \dots A_n, \quad (11.8)$$

де  $A_i$  – коефіцієнт, що враховує додатковий вплив на вихід міцності  $i$ -го фактора ( $i=1 \dots n$ ).



Значення коефіцієнта А

Вид заповнювача	Вміст глини, пілу і мулу в щебені (гравій) і піску, %	Значення коефіцієнта А для бетону на		
		щебені	гравію гірському	гравію річковому і морському
Щебінь (гравій) пісок	0 0	0,64	0,6	0,57
Щебінь (гравій) пісок	0 3	0,61	0,56	0,53
Щебінь (гравій) пісок	1 3	0,58	0,53	0,5
Щебінь (гравій) пісок	2 3	0,55	0,5	0,47
Щебінь (гравій) пісок	2 5	0,52	0,47	0,44

Звичайна технологічна інформація дозволяє врахувати в мультиплікативному коефіцієнті  $pA$ , крім коефіцієнта А, як правило до 2–3 додаткових коефіцієнтів  $A_i$ . Ступінь точності розрахунків залежить від рівня деталізації використовуваних коефіцієнтів. Наприклад, коефіцієнт  $A_\tau$ , що характеризує вплив тривалості нормального тверднення, можна знайти приблизно з відомої логарифмічної залежності:

$$A_\tau = \lg n / \lg 28 = 0,69 \lg n, \quad (11.9)$$

де  $n$  – тривалість тверднення, діб.

В той же час більш точні емпіричні значення цього коефіцієнта для кожного строку тверднення  $n$  можуть знаходитися в досить широкій області, залежно від речовинного і мінералогічного складу цементів та інших факторів. Для бетону на звичайному та алітовому цементах у віці 7 діб вони коливаються в діапазоні 0,60–0,75; 90 діб – 1,1–1,35; 180 діб – 1,3–1,5. При застосуванні шлако- і пуцоланового портландцементів емпіричні значення коефіцієнта  $A_\tau$  будуть відповідно 0,4–0,6; 1,4–1,65; 1,4–2,0. Достатня кількість



експериментальних даних накопичено для врахування у формулі (11.10) впливу на міцність бетону різних хімічних добавок.

Додаткові можливості для розширення діапазону розв'язуваних задач відкриваються при використанні поняття «*приведеного Ц/В*»:

$$\left( \frac{Ц}{В} \right)_{пр} = \frac{Ц + K_{ц.е} D}{B + V_{не}}, \quad (11.10)$$

де  $K_{ц.е}$  – коефіцієнт т.зв. «цементуючої ефективності» добавок, тобто витрата цементу в кг, яку заміняє 1 кг добавки;  $D$  – витрата добавки в кг/м<sup>3</sup>;  $Ц$  і  $B$  – відповідно витрати цементу і води в кг/м<sup>3</sup>;  $V_{не}$  – об'єм повітряних пор в л/м<sup>3</sup>.

В цьому випадку формула (11.7) приймає вигляд:

$$R_{\sigma} = pA \cdot R_{ц} \left( \frac{Ц + K_{ц.е} D}{B + V_{не}} - 0,5 \right). \quad (11.11)$$

Перехід від «приведеного» до фактичного Ц/В можна здійснити за формулою:

$$\frac{Ц}{В} = \left( \frac{Ц}{В} \right)_{пр} - \frac{K_{ц.е} D}{B + V_{не}}. \quad (11.12)$$

Коефіцієнт «цементуючої ефективності» легко визначити по експериментальним даним для рівномірних бетонів за формулою:

$$K_{ц.е} = \frac{Ц_1 - Ц_2}{D}, \quad (11.13)$$

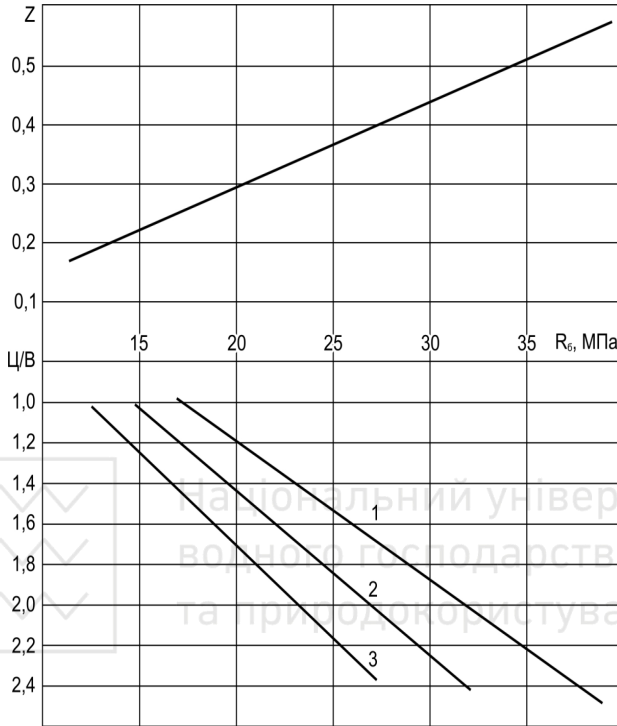
де  $Ц_1$  – витрата цементу в бетоні без добавок;  $Ц_2$  – витрата цементу в бетоні з добавками;  $D$  – витрата добавки.

«Цементуюча ефективність» активних мінеральних добавок є функцією багатьох факторів, що характеризують їх склад, структуру, дисперсність, умови тверднення, вік бетону та ін. Вона залежить і від виду застосовуваного цементу. Приведене Ц/В, в якому вплив на міцність об'єму пор пористого заповнювача прирівнюється («приводиться») до впливу води є більш загальним параметром ніж Ц/В (рис. 11.17) і дозволяє залежності виду (11.12) застосовувати для розрахунків як важких так і легких бетонів.





$(\text{Ц}/\text{В})_{\text{пр}}$



**Рис. 11.17.** Залежність міцності конструктивних керамзитобетонів від  $\text{Ц}/\text{В}$  і  $(\text{Ц}/\text{В})_{\text{пр}}$ :  
1 – пористість керамзиту 0,4; 2 – 0,55; 3 – 0,7

Водопотреба – одна з найважливіших технологічних властивостей бетонних сумішей, однозначно пов'язана з їх легкоукладальністю. Вона чинить також суттєвий вплив на ряд технічних властивостей затверділого бетону.

В практиці проектування складів бетону водопотребу бетонних сумішей визначають зазвичай за усередненими емпіричними даними за допомогою графіків або таблиць (табл. 11.11), що пропонують деякі базові значення витрати води в  $\text{л}/\text{м}^3$  залежно від показників рухомості і жорсткості суміші, що уточнюються залежно від особливостей вихідних матеріалів.



При цьому широко використовується *правило сталості водопотреби*, відповідно до якого витрата води для досягнення необхідної легкоукладальності суміші у визначеному діапазоні витрат цементу або Ц/В залишається практично постійною.

Таблиця 11.11

Водопотреба бетонної суміші

Легкоукладальність		Витрата води, л/м <sup>3</sup> , при максимальній крупності заповнювачів, мм					
Осадка конуса, см	Жорсткість, с	гравій			щебінь		
		10	20	40	10	20	40
		0	31	150	135	125	160
0	30–20	160	145	130	170	155	145
0	20–11	165	150	135	175	160	150
0	10–5	175	160	145	185	170	155
1...2	-	185	170	155	195	180	165
3...4	-	195	180	165	205	190	175
5...6	-	200	185	170	210	195	180
7...8	-	205	190	175	215	200	185
9...10	-	215	200	185	225	210	195

**Примітка:** Таблиця складена для пісків з середньою крупністю. Якщо використовують дрібний пісок, то витрата води підвищується на 10 л, крупний – скорочується на 10 л.

Знання необхідного цементно-водного відношення і витрати води дозволяє легко розрахувати необхідну витрату цементу на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші:

$$Ц = B \cdot (Ц / B). \quad (11.14)$$

Однією з основних задач проектування складів бетону є визначення співвідношення заповнювачів, що забезпечує мінімальну витрату цементу. У бетоні із заданими показниками міцності і легкоукладальності вибір співвідношення дрібного і



крупного заповнювачів заснований на правилі оптимального вмісту піску, відповідно до якого при заданій витраті цементного тіста бетонна суміш має найкращу легкоукладальність або відповідно найменшу водопотребу тільки при певній витраті піску.

Знаючи необхідні об'єми цементного тіста ( $V_{ц,м}$ ) і втягнутого повітря ( $V_{нв}$ ), можна легко визначити абсолютний об'єм суміші заповнювачів ( $V_з$ ) ( $V_з = 1000 - Ц / \rho_ц - B / \rho_в - V_{нв}$ ), а потім необхідні витрати дрібного і крупного заповнювачів:

$$V_n = V_з \cdot r; \quad V_{ц} = V_з - V_n, \quad (11.15)$$

де  $r$  – об'ємна частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів, яка знаходиться по довідковим або експериментальним даним.

Витрати дрібного і крупного заповнювачів за масою:

$$П = V_n \rho_n; \quad Ц = V_{ц} \rho_{ц}. \quad (11.16)$$

У широко застосовуваних розрахунково-експериментальних методах проектування складів бетону передбачається для визначення витрат піску і щебеню використання коефіцієнта заповнення пустот і розсунення зерен щебеню (гравію) цементно-піщаним розчином –  $\alpha$ . Цей коефіцієнт (*коефіцієнт розсунення*) справедливий при допущенні, що бетонну суміш можна представити як двофазну систему, що складається з крупного заповнювача в стандартному насипному стані і цементно-піщаного розчину.

Витрати крупного і дрібного заповнювачів можна легко знайти рішенням системи 2-х рівнянь матеріального балансу. Перше рівняння в системі (11.17) постулює рівність абсолютного об'єму бетонної суміші сумі абсолютних об'ємів вхідних в неї компонентів, друге – відповідність об'єму цементно-піщаного розчину об'ємові пустот крупного заповнювача з урахуванням необхідного їх розсунення для забезпечення нормованої легкоукладальності суміші:



$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000 \quad (11.17)$$

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = \alpha P_{щ} \frac{Щ}{\rho_{н.щ}},$$

де  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{в}$ ,  $\rho_{п}$  і  $\rho_{щ}$  – густини відповідно цементу, води, дрібного і крупного заповнювачів, кг/л;  $P_{щ}$  – пористість крупного заповнювача,  $\rho_{н.щ}$  – насипна густина крупного заповнювача, кг/л.

Звідки:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{щ}} + \frac{\alpha P_{щ}}{\rho_{н.щ}}}, \quad (11.18)$$

$$П = (1000 - Ц / \rho_{ц} - В / \rho_{в} - Щ / \rho_{щ}) \rho_{п}. \quad (11.19)$$

Коефіцієнт розсунення ( $\alpha$ ) визначають за довідковими даними (табл. 11.12).

Таблиця 11.12

Коефіцієнт розсунення (для пластичних бетонних сумішей)

Витрата цементу, кг/м <sup>3</sup>	Значення $\alpha$ при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,3	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,4	1,45	–	–	–
500	1,44	1,52	–	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

**Примітки:** 1. Таблиця складена для середніх пісків з водопотребою  $В_{п}=7\%$ . При збільшенні  $В_{п}$  на кожен відсоток  $\alpha$  зменшується на 0,03, а при зниженні  $В_{п}$  – зростає відповідно на 0,03. 2. Для жорстких бетонних сумішей ( $Ц < 400$  кг/м<sup>3</sup>)  $\alpha = 1,05-1,15$ .

Залежно від конкретних можливостей будівельної лабораторії і графіка проведення робіт з використанням даного бетону об'єм лабораторних робіт при експериментальному уточненні складу бетону може бути різним. Повне коректування досягається при експериментальному уточненні всіх параметрів складу суміші: водовмісту, водоцементного відношення, частки



окремих фракцій у складі заповнювача, об'єму втягнутого повітря. В окремих випадках можливе неповне лабораторне коректування (наприклад, лише водовмісту бетонної суміші, що забезпечує задану легкоукладальність, з наступним уточненням інших параметрів суміші випробуванням бетону виробничого виготовлення).

На відміну від лабораторних (*номінальних*) складів бетону, що приводяться для сухих матеріалів, у виробничих умовах враховують, що пісок і щебінь (гравій) мають деяку вологість.

Виробничі витрати дрібного ( $P_{ер}$ , кг/м<sup>3</sup>) і крупного ( $Щ_{ер}$ , кг/м<sup>3</sup>) заповнювачів збільшують на масу води, що знаходиться в них:

$$P_{ер} = P \cdot (1 + W_n), \quad (11.20)$$

$$Щ_{ер} = Щ \cdot (1 + W_{щ}), \quad (11.21)$$

де  $P$ ,  $Щ$  – витрата піску і щебеню в розрахунковому складі;  $W_n$ ,  $W_{щ}$  – вологість піску і щебеню, частки одиниці.

Відповідно виробничу витрату води ( $B_{ер}$ ) зменшують на масу води, що знаходиться в заповнювачах:

$$B_{ер} = B - P \cdot W_n - Щ \cdot W_{щ}. \quad (11.22)$$

У деяких випадках виробничий склад бетону доцільно виражати у відносних масових частинах, при цьому частку цементу приймають рівній одиниці. В цьому випадку для виробничого складу:

$$1 : P : Щ = \frac{Щ}{P} : \frac{P_{ер}}{P} : \frac{Щ_{ер}}{Щ}. \quad (11.23)$$

Якщо бетонозмішувач, що використовується для приготування суміші, характеризується місткістю по об'єму сухих матеріалів ( $\beta_6$ ) тоді попередньо визначається *коефіцієнт виходу бетонної суміші* ( $\beta_6$ ). Коефіцієнт виходу зазвичай знаходиться в межах 0,55–0,75 і характеризується відношенням об'єму бетонної суміші до суми об'ємів цементу і заповнювачів у насипному стані:



$$\beta_{\sigma} = \frac{I}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц}} + \frac{П_{вр}}{\rho_{н.п}} + \frac{Ш_{вр}}{\rho_{н.щ}}}, \quad (11.24)$$

де  $\rho_{н.ц}$ ,  $\rho_{н.п}$ ,  $\rho_{н.щ}$  – відповідно насипні густини цементу, піску і щебеню (гравію).

При заданих вихідних матеріалах і технологічних режимах критерієм оптимізації складів є витрата цементу. При проектуванні складів бетонів, що містять добавки, мінімізація витрати цементу і, відповідно, вартості бетону досягається не тільки оптимізацією співвідношення заповнювачів, але і вибором оптимальної витрати добавок. Додаткові можливості для оптимізації відкриваються при альтернативних умовах, пов'язаних з вибором вихідних матеріалів, режимів змішування, ущільнення і тверднення бетону. В таких задачах мінімізація вартості бетону може не збігатися з мінімізацією витрати цементу. Зокрема, при мінімізації вартості бетону може виявитися нераціональним застосування дорогих добавок, високоміцних цементів, ефективних з позицій зниження витрати цементу.

Розв'язування задач багатопараметричного проектування складів бетону доцільно виконувати за допомогою набору комп'ютерних програм або комп'ютерних систем, що дозволяють розраховувати базові склади, коректувати їх з урахуванням виробничої інформації, проводити статистичний контроль міцності й інших нормованих властивостей бетону з побудовою технологічних карт і вирішувати ряд суміжних задач, пов'язаних з матеріально-технічним забезпеченням виробництва, обліку матеріалів, що витрачаються, та ін.



## 12. БЕТОНИ НА НЕЦЕМЕНТНИХ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

### 12.1. Силікатні бетони

Силікатні бетони на відміну від звичайних отримують на основі *вапняно-кремнеземистих в'яжучих автоклавного тверднення*. Для силікатних бетонів прийнята та ж класифікація, що і для звичайних – за структурними ознаками і призначенню.

Основними вихідними матеріалами силікатних бетонів є повітряне вапно і кварцовий пісок. Якісні показники сировинних матеріалів повинні забезпечувати їх високу реакційну здатність, яка обумовлена їх хімічним і мінералогічним складом, а також дисперсністю.

Можливе застосування двох основних схем виробництва силікатного бетону – «гідратної» і «кипілочної», що відрізняються умовами гідратації вапна. При *гідратній схемі* вапно гаситься після змішування з піском в гасильному барабані або в силосах. При *«кипілочній» схемі* реалізується гідратаційне тверднення вапняно-піщаної суміші. Ця схема передбачає спільне тонке подрібнення негашеного вапна з частиною кварцового піску і подальше змішування цього тонкодисперсного автоклавного в'яжучого з природним піском-заповнювачем і водою для отримання пластичної легкоукладаємої вапняно-піщаної суміші. Гідроксид кальцію, що утворюється при гашенні в умовах «кипілочної» схеми, характеризується більш високою дисперсністю. Міцність, щільність і довговічність силікатного бетону в умовах «кипілочної» схеми вище, ніж при застосуванні попередньо загашеного вапна («гідратна» схема).

Для виготовлення силікатних бетонів як заповнювачі застосовують кварцові піски, які містять не менше 75–80%  $\text{SiO}_2$ . Більшість домішок в піску є інертними включеннями і не беруть участь в утворенні гідросилікатного зв'язку. Небажані домішки в піску карбонатів і слюди. Є дані, що за наявності в піску 2,5%



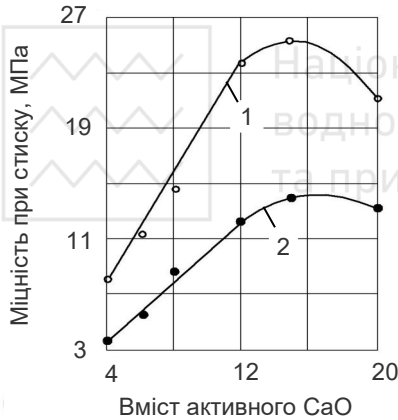
слюди міцність силікатного бетону падає майже на 30%, а при 5% слюди – на 50%.

Тверднення силікатних бетонів відбувається при тепловій обробці в автоклавах насиченою парою під тиском 0,9–1,6 МПа, що відповідає температурам 174,5–200° С.

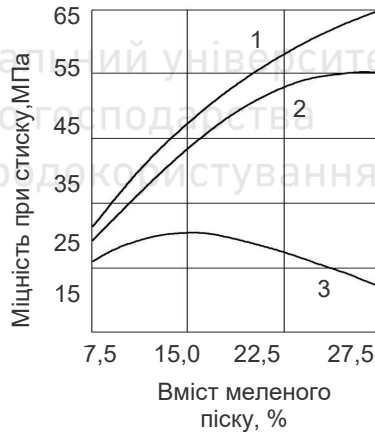
Міцність силікатних бетонів змінюється в широких межах: від 5–10 МПа для легких і до 80–100 МПа для високоміцних важких бетонів.

Міцність дрібнозернистого силікатного бетону змінюється залежно від витрати вапняно-кремнеземистого в'язучого та крупності заповнювача.

Вміст активного оксиду кальцію в силікатобетонних суміші змінюється залежно від необхідної міцності бетону з урахуванням виду, вмісту і крупності піску (рис. 12.1, 12.2).



**Рис. 12.1.** Вплив активного CaO в суміші на границю міцності при стиску вапняно-піщаних зразків: 1 – на основі кварцового піску; 2 – на основі полевошпатового піску



**Рис. 12.2.** Залежність міцності силікатного бетону від вмісту і тонкості помелу піску з питомою поверхнею: 1 – 4500 см<sup>2</sup>/г; 2 – 2500 см<sup>2</sup>/г; 3 – 1500 см<sup>2</sup>/г. Вміст активного CaO в суміші 12,5%

В результаті участі піску в реакції утворення гідросилікатів кальцію витрата вапна в силікатному бетоні приблизно на 30% менше, ніж витрата цементу для звичайних цементних бетонів такої ж міцності.





При використанні негашеного вапна орієнтовно міцність щільного силікатного бетону можна визначити за формулою:

$$R_{\sigma} = 4,05 \left( \frac{S_{\text{м.п.}}}{100} + \frac{1,6}{C_{\sigma} / B - 1} \right) + 18, \quad (12.1)$$

де  $S_{\text{м.п.}}$  – питома поверхня меленого піску, м<sup>2</sup>/кг.

При використанні гашеного вапна:

$$R_{\sigma} = 16 \left( \frac{C_{\sigma}}{B} - 1 \right) + 14, \quad (12.2)$$

де  $C_{\sigma}$  – витрати вапняно-піщаного в'язучого, кг/м<sup>3</sup>.

Підвищення міцності досягається введенням добавок-електролітів, прискорюючих процес утворення гідросилікатів кальцію ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) в кількості 0,5–1%, а також тонкодисперсних активних добавок (трепел, опока, туфи, шлаки та ін.). Підвищення тиску в автоклаві з 0,8 до 1,6 МПа, більш тонший помел в'язучого також сприяє підвищенню міцності бетону.

На міцність силікатного бетону, як і звичайного, істотно впливають не тільки якісні показники в'язучого та в'язучо-водне відношення, але і однорідність суміші, ступінь її ущільнення, водовміст та ін.

Для автоклавного силікатного бетону характерне деяке зниження зчеплення з арматурою. Якщо для звичайного жорсткого бетону на портландцементі відношення міцності зчеплення до міцності при стиску складає 0,23–0,28, то для силікатного бетону воно дорівнює 0,10–0,22. При використанні арматури періодичного профілю зчеплення силікатного бетону з арматурою зростає в 1,5–2,5 рази. В силікатних бетонах більш ймовірна, ніж в цементних, корозія арматури, що пояснюється меншою лужністю середовища.

Водостійкість силікатних матеріалів автоклавного тверднення змінюється в значних межах. Коефіцієнт розм'якшення силікатних бетонів у воді коливається звичайно в інтервалі 0,8–0,9. Найбільш водостійкими є щільні силікатні бетони, цементуюча зв'язка яких складається з гідросилікатів



CSH (В), тоберморита, ксонотліта. Це досягається правильним вибором співвідношення  $\text{CaO}$  і  $\text{SiO}_2$ , належною тонкістю помелу в'язучого, введенням добавок доменного шлаку та ін.

Морозостійкість силікатних бетонів з використанням негашеного вапна, як правило, вище, ніж бетонів, виготовлених за гідратною схемою виробництва. Останні відрізняються підвищеною водопотребою і більш низькою щільністю. Так само як і для цементних бетонів морозостійкість силікатних бетонів можна істотно підвищити, вводячи повітрявтягувальні добавки.

Область застосування у будівництві силікатних бетонів досить широка. Це стінові, облицювальні, конструктивні, теплоізоляційні вироби, вироби спеціального призначення – шпали, тюбінги, пресовані покрівельні вироби та ін.

## 12.2. Шлакові і зольні бетони. Шлаколужні бетони

До бетонів даної групи можна віднести бетони на основі вапняно-шлакових і вапняно-зольних в'язучих, гіпсошлакових, сульфатношлакових. У самостійну групу можна виділити шлаколужні бетони.

Шлаки і золи займають одне з перших місць серед промислових відходів.

Металургійні шлаки утворюються при високотемпературних процесах ( $1300\text{--}1700^\circ\text{C}$ ) в результаті взаємодії палива, руди і плавнів при отриманні металів (металургійні шлаки) або при спалюванні твердих видів палива на теплових електростанціях (паливні шлаки і золи).

При оцінці шлаків як сировини для будівельних матеріалів важливою характеристикою їх хімічного складу є процентне співвідношення в них основних і кислотних оксидів - *модуль основності*:

$$M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3), \quad (12.3)$$

при  $M_0 > 1$  шлаки відносяться до основних,  $M_0 < 1$  – до кислих.

З усіх видів металургійних шлаків у виробництві будівельних матеріалів, в тому числі в'язучих і бетонів, найбільш широко застосовуються доменні шлаки, що зумовлено



їх провідним становищем в загальному балансі шлаків, а також здатністю при швидкому охолодженні набувати гідравлічну активність.

Хімічна активність шлаку визначається *коефіцієнтом якості K*, що розраховується за наступними формулами:

- при вмісті MgO до 10%

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2}; \quad (12.4)$$

- при вмісті MgO більше 10%

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 10}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + (\text{MgO} - 10)}. \quad (12.5)$$

Найбільш поширеним способом переробки шлаків є грануляція, суть якої полягає у різкому охолодженні шлакових розплавів водою, паром чи повітрям і утворенню внаслідок цього склоподібних зерен розміром до 10 мм.

При спалюванні твердих видів палива в топках теплових електростанцій утворюється зола у вигляді пиловидних залишків і кусковий шлак.

*Зола винесення* являє собою тонкодисперсний матеріал, що складається в основному з частинок розміром 5–100 мм. Її хіміко-мінералогічний склад відповідає складу мінеральної частини палива, що спалюється. Наприклад, при згорянні кам'яного вугілля зола являє собою випалену глинисту речовину із включенням дисперсних частинок кварцового піску, при згорянні сланців – мергель з домішками гіпсу і піску. При випалюванні мінеральної частини палива можливе утворення низькоосновних алюмінатів і силікатів кальцію.

Основним компонентом золи-винесення є склоподібна алюмосилікатна фаза, що складає 40–65% всієї маси і має вигляд частинок сферичної форми розміром до 100 мкм.

Золи підрозділяються на *висококальцієві* ( $\text{CaO} > 20\%$ ) і *низькокальцієві* ( $\text{CaO} < 20\%$ ). Для перших переважаючими є кристалічні фази, для других – скло і аморфізована глиниста речовина. Висококальцієві золи, у свою чергу, ділять на



низькосульфатні ( $SO_3 < 5\%$ ), одержувані при спалюванні вугілля і торфу, і сульфатні ( $SO_3 > 5\%$ ) – при спалюванні сланців.

Шлаки і золи набувають здатність тверднути при лужній, вапняної, сульфатної і змішаних видах активізації. Залежно від їх мінералогічного і хімічного складу, дисперсності, виду і концентрації активізатора шлакові і зольні в'язучі матеріали з різною інтенсивністю тверднуть в нормальних умовах і при тепловологісній обробці. В'язучі властивості більшості мінералів, що входять до шлаку і золи, в найбільшій мірі проявляються при тепловологісній обробці в автоклаві при тиску водяної пари не менше 0,8 МПа.

В якості активізаторів шлакових і зольних в'язучих використовують негашене вапно, двоводний або напівводний гіпс. Використання гідратного вапна дає гірші результати, ніж вапна-кипільки. З метою підвищення повітря- і морозостійкості пропарених бетонів на в'язучих із паливних шлаків і золи, кислих гранульованих шлаків кольорової металургії рекомендується введення 15–25% портландцементу.

Із застосуванням шлакових і зольних в'язучих виготовляють ніздрюваті, дрібнозернисті, легкі і важкі бетони.

*Ніздрюваті шлакові бетони*, як і інші види ніздрюватих бетонів виготовляють з в'язучого, кремнеземистого компоненту, пороутворювача і води. У виробництві ніздрюватих бетонів, що тверднуть при автоклавній обробці, ефективним є застосування вапняно-шлакових в'язучих, одержаних на основі гранульованих доменних шлаків. Відвальні шлаки використовують, якщо величина їх модуля основності складає не менше 0,6, а модуля активності не менше 0,4.

Гранульовані і відвальні шлаки, подрібнені до питомої поверхні 150–350 м<sup>2</sup>/кг, можуть бути не тільки компонентами в'язучого, але і активними наповнювачами ніздрюватих бетонів поруч із іншими тонкодисперсними кремнеземистими матеріалами.

Міцність ніздрюватих бетонів на шлакових матеріалах змінюється залежно від середньої густини. Так, теплоізоляційний газошлакобетон з  $\rho_0 = 400\text{--}500$  кг/м<sup>3</sup> має



міцність при стиску 0,6–2 МПа, а конструкційно-теплоізоляційний ( $\rho_0=600\text{--}1200\text{ кг/м}^3$ ) – 3–12,5.

Теплову обробку ніздрюватих бетонів на шлакових в'яжучих здійснюють у пропарювальних камерах при атмосферному тиску при 70–100° С, в автоклавах при тиску 0,9–1,6 МПа і температурі 175–200° С і за допомогою електричного струму.

Конструкції із ніздрюватих бетонів мають високі техніко-економічні показники. Так, стіни із газобетонних панелей в 1,3–2 рази тонші стін із керамзитобетону при більш низькій вартості. Питомі капіталовкладення у виробництво конструкцій із ніздрюватого шлакобетону на 30–40% нижчі, ніж у виробництво аналогічних конструкцій із інших видів бетону.

Шлакові в'яжучі і заповнювачі широко використовують для виробництва легких бетонів із середньою густиною 1200–1600 кг/м<sup>2</sup> і міцністю при стиску 5–25 МПа. Для *легких шлакових бетонів* характерні загальні властивості, притаманні легким бетонам, такі як максимальна міцність при витраті води, що забезпечує мінімальний вихід бетонної суміші, а також при використанні фракціонованих пористих заповнювачів; зростання міцності із збільшенням витрати в'яжучого до певної межі та ін. Особливостями легких шлакових бетонів на безклінкерних шлакових в'яжучих є підвищена деформативність і дещо менше зчеплення із арматурою, ніж у бетонів на портландцементі.

Легкими заповнювачами шлакових бетонів звичайно є: шлакова пемза із насипною густиною  $\rho_0=500\text{--}800\text{ кг/м}^3$ , гранульований доменний шлак ( $\rho_0=700\text{--}1000$ ), доменні поризовані відвальні шлаки ( $\rho_0=800\text{--}1000$ ). Середня густина легких бетонів коливається в залежності від марки і виду заповнювачів.

У будівництві накопичено позитивний досвід використання важких і легких дрібнозернистих шлакових бетонів. Як в'яжучі для них використовують безклінкерні шлакові цемента і шлакопортландцемент, а як заповнювачі – шлаковий пісок і гранульований шлак.



При використанні безклінкерних шлакових в'язучих найкращі фізико-механічні властивості забезпечуються при автоклавній обробці дрібнозернистих бетонів під тиском 0,9–1,6 МПа.

Характерними особливостями дрібнозернистих бетонів на безклінкерних шлакових в'язучих є порівняно висока міцність при осьовому розтягу (0,09–0,12  $R_{ct}$ ) і розтягу при згині (0,15–0,3  $R_{ct}$ ); більша деформативність, ніж у звичайних важких бетонах.

На шлакових і зольних безклінкерних в'язучих при тепловологісній обробці у пропарювальних камерах і автоклавах можна поряд із дрібнозернистими одержувати важкі бетони з крупним заповнювачем з міцністю при стиску від 10 до 50 МПа.

Заміна у важких бетонах крупного заповнювача із щільних гірських порід шлаковим щебенем, одержаним подрібненням щільних металургійних шлаків, практично не знижує, а іноді підвищує міцність бетону за рахунок їх більш розвиненої і активної поверхні. Бетони на шлаковому щебеню мають також більш високу міцність при розтягу і згині, ніж на гранітному.

### 12.3. Шлаколужні бетони

До групи шлаколужних входять бетони, об'єднуючою ознакою яких є застосування шлаколужних в'язучих матеріалів. Основи теорії та технології шлаколужних бетонів розроблені у Київському національному університеті будівництва і архітектури В.Д. Глуховським й успішно розвиваються П.В. Кривенко, Є.К. Пушкарьовою, Р.Ф. Руновою та ін. До шлаколужних бетонів прийнята загальна класифікація бетонів – за структурою і густиною, видом і крупністю заповнювачів, умовами тверднення, призначенням і найбільш характерними властивостями.

Орієнтовний склад важких бетонів, %: мелений гранульований шлак – 15–30; лужний компонент – 0,5–1,5; заповнювачі – 70–85.

Крім традиційних заповнювачів (щебеню, гравію, піску) в шлаколужних бетонах можуть бути використані дисперсні



природні матеріали і побічні продукти різних галузей промисловості.

Для приготування важких і легких шлаколузних бетонів з промислових відходів можна застосовувати різні шлаки, золи і золошлакові суміші ТЕС, горілі породи, відходи каменедробіння і каменепилення, у тому числі вапнякові, дисперсні органічні відходи рослинного походження та ін.

Застосування дисперсних наповнювачів з підвищеним вмістом пилоподібних і глинистих домішок не погіршує фізико-механічні властивості шлаколузних бетонів (рис. 12.3). Це пояснюється їх хімічною взаємодією з лужним замішувачем бетонів із утворенням додаткових цементуючих новоутворень – лужних гідроалюмосилікатів.



**Рис. 12.3.** Залежність міцності при стиску шлаколузного бетону від вологості суміші і масової частки глинистих часток у заповнювачі :  
1 – 1,2%; 2 – 5,2%; 3 – 6,4%; 4 – 8,8%

Фізико-механічні властивості шлаколузних бетонів можна змінювати в широких межах, підбираючи вихідні матеріали, варіюючи склад бетонної суміші і застосовуючи різні технологічні прийоми. Показники більшості властивостей цього виду бетонів наближаються до показників цементних бетонів, а в ряді випадків вони можуть бути і істотно вищими.



Міцність шлаколуужних бетонів може досягати значень понад 100 МПа. Найвища міцність забезпечується при використанні в якості лужного компонента розчинів силікату натрію – мета – і дисилікату. Підвищення модуля силікату натрію (розчинного скла) і зниження щільності розчину різко зменшує міцність.

Найбільшою міцністю відрізняється бетон з застосуванням основних і нейтральних шлаків в умовах тепловологісної обробки. Для бетонів на кислих шлаках особливо при твердненні в нормальних умовах міцність знижується. Збільшення витрати шлаку від 300 до 600 кг/м<sup>3</sup> призводить до збільшення міцності бетону, особливо при твердінні у нормальних повітряно-вологіх умовах.

Для шлаколуужних бетонів значно інтенсивніше, ніж для цементних, зростає міцність при тепловологісній обробці.

За нормальних умов тверднення і тривалому водонасиченні шлаколуужний бетон характеризується більшою інтенсивністю набору міцності на згин у порівнянні з цементним.

Морозостійкість шлаколуужних бетонів змінюється в широких межах. Вона збільшується при збільшенні густини розчину лужного компонента, застосуванні жорстких бетонних сумішей, твердінні бетону в нормальних умовах, використанні заповнювачів оптимального гранулометричного складу.

Шлаколуужні бетони відрізняються високою стійкістю у розчинах сульфату натрію, хлориду та нітрату магнію.

При нагріванні шлаколуужного каменю процеси дегідратації лужних гідроалюмосилікатів протікають плавно без порушення його структури.

На основі шлаколуужних в'язучих, модифікованих введенням шамоту, з використанням шлакопемзових і шамотних заповнювачів можна отримати жаростійкі бетони з міцністю 15–40 МПа і температурою застосування 1000–1100° С.

Здатність шлаколуужних в'язучих до пасивації сталеві арматури дозволяє виготовляти армовані бетони на їх основі високої довговічності.





На основі шлаколуужних бетонів показана ефективність виготовлення конструкцій широкої номенклатури, призначених для експлуатації в різних, у тому числі і важких умовах.

#### 12.4. Гіпсобетони

До гіпсових належать бетони, приготовані з використанням гіпсових в'язучих. З гіпсобетонів виготовляють стінові камені, блоки, панелі, призначені, в основному, для облаштування внутрішніх стін і перегородок.

Номенклатура виробів з гіпсобетонів значно розширюється за рахунок використання в якості в'язучих композицій, що містять портландцемент і гідравлічно активні добавки. Вироби на основі таких змішаних в'язучих можуть застосовуватися також для панелей несучих стін, санітарно-технічних кабін, великорозмірних блоків, безнапірних труб та ін.

Головною перевагою в'язучих на основі напівводного гіпсу, що дозволяє організувати виробництво виробів за конвеєрною схемою і без витримування у формах і значних витрат тепла, є їх здатність набирати міцність протягом короткого часу. За необхідності строки тужавлення гіпсових в'язучих при виготовленні бетонних виробів можна регулювати за допомогою сповільнювачів різного типу в значних межах (від 10–20 хв до 2–3 годин). Тверднення гіпсобетону на будівельному гіпсі протягом 1–2 годин дозволяє забезпечити 35–40% кінцевої міцності, яка досягається в природних умовах через 5–7 діб. Застосування сушіння прискорює набір кінцевої міцності до 6–10 годин. Завдяки такій швидкості тверднення готові вироби можуть вилучатись із форм через 20–40 хв.

Отримання гіпсобетонів з підвищеною міцністю і водостійкістю можливе при застосуванні високоміцного гіпсу, естріх-гіпсу, ангідритових в'язучих. Найбільш перспективні для отримання гіпсобетонів, здатних тверднути як у повітряно-сухих, так і повітряно-вологих умовах, *гіпсоцементнопуццоланові* (ГЦПВ) та *гіпсошлакоцементнопуццоланові* (ГШЦПВ) в'язучі.



У гіпсобетонах застосовують заповнювачі неорганічного й органічного походження. Для отримання конструкційних гіпсобетонних виробів краще використовувати мінеральні заповнювачі, оскільки органічні не здатні створювати досить жорсткий каркас для сприйняття усадочних напружень при висиханні виробів.

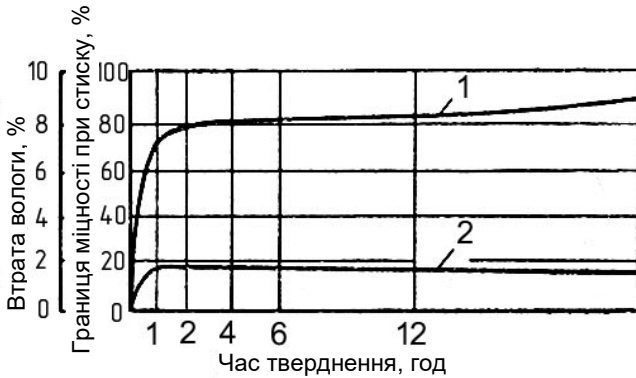
Поширені гіпсобетони на легких пористих заповнювачах. В якості природних заповнювачів застосовують пемзу, туфи, горілі породи, вапняк-черепашник, зі штучних найбільш поширеними є гранульовані доменні, а також паливні шлаки, використовують також керамзит, аглопорит та ін.

За умови застосування в'язучого одного виду і активності, а також заповнювачів певної якості, міцність гіпсових бетонів визначається водогіпсовим (або гіпсоводним відношенням).

Збільшення водогіпсового відношення разом із зростанням пористості і зниженням міцності бетонних виробів вимагає підвищених витрат тепла на сушіння виробів.

Інтенсивність твердіння гіпсобетонів визначається також вологістю навколишнього середовища та інтенсивністю волого-віддачі. За нормальних умов зростання міцності найбільш інтенсивно відбувається на початковому періоді (1–1,5 год від моменту замішування), протягом якого вироби набирають до 35–40% кінцевої міцності; за наступні 20–24 год міцність підвищується незначною мірою, збільшення міцності до 60% відбувається після досягнення вологості 2–3% (рис. 12.4). Максимальна міцність гіпсобетонів спостерігається при досягненні повітряно-сухого стану, при цьому найефективнішим є застосування штучного висушування.

На основі будівельного гіпсу отримують бетони з міцністю 5–10 МПа. Використання високоміцного гіпсу, ангідритового в'язучого та естріх-гіпсу дозволяє підвищити міцність до 20 МПа. Міцність бетонів при використанні змішаних гіпсоцементнопуцоланових і гіпсошлакоцементнопуцоланових в'язучих на основі будівельного гіпсу – 7,5–20 МПа, високоміцного гіпсу – 15–40 МПа.



**Рис. 12.4.** Зміна міцності гіпсобетону залежно від його вологості і тривалості тверднення: 1, 2 за даними різних авторів

На основі будівельного гіпсу отримують бетони з міцністю 5–10 МПа. Використання високоміцного гіпсу, ангідритового в'язучого та естріх-гіпсу дозволяє підвищити міцність до 20 МПа. Міцність бетонів при використанні змішаних гіпсоцементнопуцоланових і гіпсошлакоцементнопуцоланових в'язучих на основі будівельного гіпсу – 7,5–20 МПа, високоміцного гіпсу – 15–40 МПа.

Гіпсобетони на легких заповнювачах характеризуються середньою густиною від 1200 до 1700 кг/м<sup>3</sup>, при використанні перліту густина значно нижча – 400–650 кг/м<sup>3</sup>.

Залежно від сировини, яка застосовується, гіпсобетони на органічних заповнювачах мають середню густиною від 400–500 (паперове волокно, костриця) до 1100–1300 кг/м<sup>3</sup> (тирса, очерет). Міцність таких матеріалів 2,5–7,5 МПа при використанні будівельного гіпсу і ангідритового в'язучого та 3,5–10 МПа – на основі ГЦПВ.

Довговічність гіпсобетонів підвищується при збільшенні щільності і застосуванні гідрофобізуючих добавок. Підвищення щільності бетонів можливе при ретельному підборі суміші заповнювачів і зниженні водогіпсового відношення,



застосуванні мінеральних наповнювачів, в якості яких можуть бути використані зола-винесення, мелені пісок, шлак та ін.

Застосування сталеві арматури для армування гіпсових виробів ускладнене внаслідок суттєвої різниці коефіцієнтів термічного розширення сталі та гіпсу, високої пористості гіпсового каменю і недостатньої його пасивуючої здібності. Гіпсовий камінь утворює при твердінні середовище, яке наближається до нейтрального, що не захищає сталеву арматуру від корозії. В якості арматури гіпсобетонних виробів перспективні мінеральні та полімерні волокнисті матеріали. У бетонах на ГЦПВ і ГШЦПВ арматура кородує менше, проте при використанні і цих в'язучих необхідно застосовувати захисне покриття арматурної сталі.





## 13. ЗАЛІЗОБЕТОН, ФІБРОБЕТОН, АЗБЕСТОЦЕМЕНТ

Матеріали даної групи об'єднує наявність в їх складі армуючого компоненту, що сприймає значною мірою опір розтягуючим і згинальним напруженням, які виникають у виробках при експлуатації. Армуючі елементи матеріалів розрізняють за їх хімічним і речовинним складом, формою, розмірами, ступенем орієнтованості в матричній фазі.

Основним представником композиційних матеріалів (композитів), армованих безперервними волокнами, є залізобетон – основний конструкційний матеріал сучасного будівництва. Цьому сприяють його високі механічні властивості, довговічність, доступність сировинної бази, можливість виготовлення конструкцій любых форм, які відповідають самим різноманітним архітектурним та технологічним вимогам. Спільна робота бетону і сталі в одному матеріалі можлива за рахунок їх високого зчеплення і близьких значень коефіцієнтів термічного розширення. Крім того, в лужному середовищі тверднучого бетону при утворенні достатньо щільного захисного шару стальна арматура добре захищена від корозії.

До армованих композиційних матеріалів можна віднести також фібробетони і азбестоцемент.

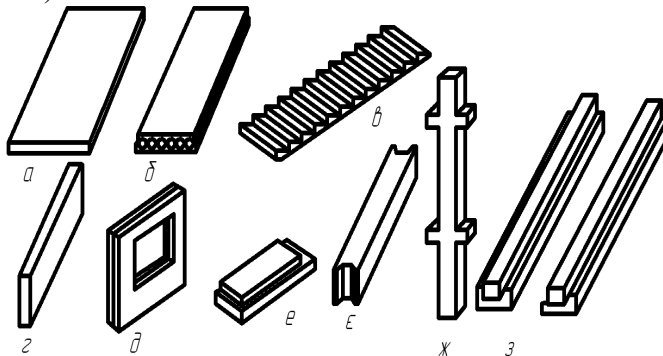
### 13.1. Залізобетон

Залізобетон – композиційний будівельний матеріал, що виготовляють армуванням бетону сталеву арматурою. Перші патенти на залізобетонні вироби отримані французьким винахідником Монье в 1867–1870 рр. В сучасному будівництві залізобетон у вигляді виробів та конструкцій широко застосовується практично у всіх галузях (рис. 13.1, 13.2). Ідея отримання залізобетону ґрунтується на можливості підвищення несучої здатності бетону при дії розтягуючих напружень армуванням його сталеву арматурою.

Залізобетонні конструкції за способом виготовлення поділяють на: *монолітні* (зводять в опалубці безпосередньо на

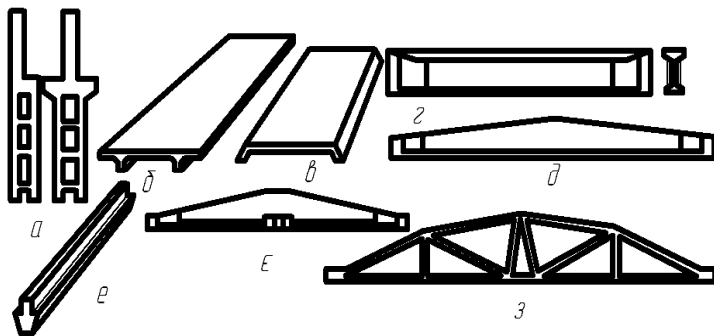


будівельному майданчику), *збірні* (монтують з виробів заводського виготовлення) та *збірно-монолітні* (поєднують збірні залізобетонні елементи і монолітний бетон або залізобетон).



**Рис. 13.1.** Схеми залізобетонних виробів для житлово-цивільного будівництва:

- а – панель перекриття без пустот;
- б – панель перекриття з круглими пустотами;
- в – сходовий марш;
- г – прогін;
- д – стінова панель;
- е – сходова площадка;
- е – ригелі;
- ж – колона;
- з – фундаментний блок



**Рис. 13.2.** Схеми залізобетонних виробів для промислового будівництва:

- а – колона;
- б – панель перекриття типу «подвійне Т»;
- в – плита покриття;
- г – підкранова балка;
- д – двоскатна кроквяна балка;
- е – ригель;
- е – підкроквяна балка;
- з – ферма

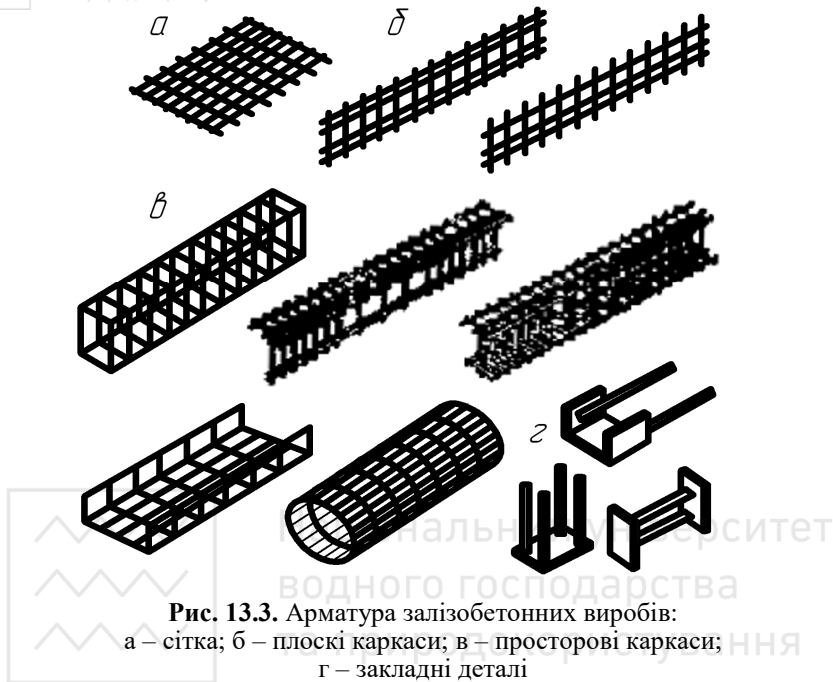


Збірні залізобетонні конструкції порівняно з монолітними мають ряд переваг: спрощується організація робіт на будівельних майданчиках, оскільки основні операції з армування, укладання і твердіння бетонної суміші виконують на заводах, скорочуються строки будівництва та підвищується продуктивність праці тому, що виключаються опалубочні роботи, можливий випуск великорозмірних елементів підвищеної заводської готовності. Проте використання збірних залізобетонних виробів потребує потужного спеціалізованого підйомно-транспортного обладнання, використання різних схем будівель і значних матеріальних затрат на улаштування стиків, не завжди дозволяє забезпечити архітектурну виразність будівель і споруд.

Досвід монолітного будівництва показує, що воно у ряді випадків має техніко-економічні переваги перед збірним: дозволяє знизити витрати на створення виробничої бази, витрати сталі, цементу та енергії. Монолітні конструкції дозволяють суттєво підвищити експлуатаційні характеристики будівель, урахувати сумісну роботу елементів, забезпечити їх високу надійність в роботі. Ефективність монолітного залізобетону знижують значна вартість та трудомісткість опалубочних робіт, низький ступінь механізації арматурних робіт, укладання та розподілу бетонної суміші, а також витрати на транспортування бетонної суміші.

Питання про використання збірного або монолітного залізобетону розв'язується на основі техніко-економічних обґрунтувань з прийняттям до уваги можливості забезпечення проектних вимог до конструкцій і споруд.

**Армування залізобетону.** Арматура в залізобетоні у вигляді стержнів, сіток, каркасів та інших елементів (рис. 13.3) призначена в основному для сприймання напружень при розтягу. Крім робочої арматури у виробі монтують також закладні деталі для з'єднання конструкцій при монтажі, монтажні петлі, розподільну арматуру.



Розрізняють звичайне та попередньо напружене армування. Звичайне армування, хоча і збільшує несучу здатність конструкцій, має обмежені можливості, зумовлені незначною розтяжністю бетону – 0,1–0,15 мм/м. При таких деформаціях напруження в розтягнутій арматурі невеликі і складають приблизно 20–25% її розрахункової міцності. Підвищення міцності бетону в незначній мірі підвищує його розтяжність. Тому вже при порівняно невеликих навантаженнях в бетоні розтягнутої зони конструкцій виникають тріщини, збільшуються прогини, в тріщини проникають волога та гази і розвивається корозія сталльної арматури.

Подолання цього деформаційного бар'єру можливе за рахунок використання попередньо напружених конструкцій, вперше здійсненого на практиці в 1928 р. французьким інженером Фрейсіне.





Суть *попереднього напруження* полягає в обтисканні бетону натягнутою арматурою. При цьому необхідно мати на увазі, що можлива деформація бетону при стиску в 20–25 раз перевищує граничний розтяг.

Найважливішими наслідками попереднього напруження є збільшення тріщиностійкості, економія арматури та зниження маси конструкцій або їх укрупнення. Економія арматури обумовлена можливістю використання надмічної сталі, яка не може бути раціонально використана при звичайному армуванні. В останньому випадку з підвищенням робочого напруження зростає і розтяг надмічної сталі арматури в порівнянні зі звичайною сталлю, що приводить до появи тріщин в розтягнутій зоні залізобетонного елемента та втраті ним несучої здатності.

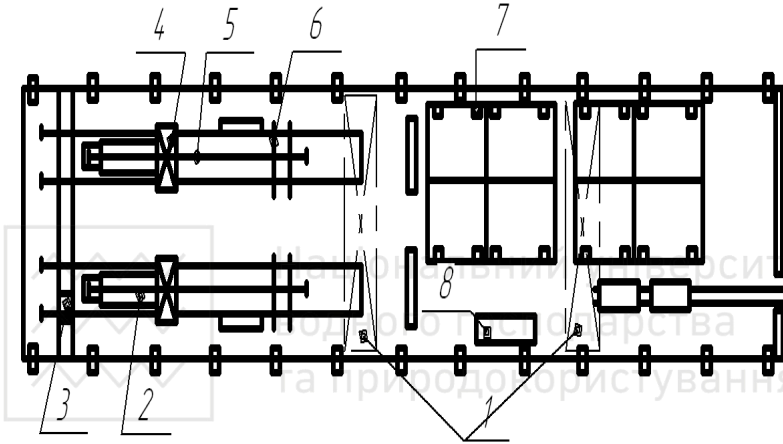
Завдяки попередньому напруженню стало можливим виготовляти конструкції (плити, балки, ферми) для перекриття великих прогонів (більше 9 м), тонкостінні просторові конструкції (оболонки двоякої кривизни, панелі-оболонки розмірами на прогін 12, 18 і 24 м) споруд різного призначення і т.д. З попередньо напруженого залізобетону організовано виготовлення труб великого діаметру для напірних водопроводів, опор високовольтних ліній електропередач і ряду інших конструкцій. Використання попередньо напруженого залізобетону дозволило значно розширити область застосування збірних конструкцій при спорудженні гребель, шлюзів, будівель ГЕС і інших споруд.

Виробництво залізобетонних виробів складається із наступних основних процесів: приготування бетонної суміші; виготовлення арматурних елементів; формування виробів; твердіння бетону; звільнення виробів із форми та їх опорядження.

*Поточно-агрегатний спосіб* виробництва (рис. 13.4) передбачає формування виробів на установках – агрегатах, які включають формовочну машину (наприклад, віброплощадку); бетоновкладальник і машину для укладки форми на пост для формування (формовкладальник). Відформовані вироби з формами переміщують в камери твердіння, а потім розпалублюють і направляють на склад, а вивільнені форми



готують до наступного циклу. Цей спосіб отримав широке застосування, оскільки відзначається гнучкістю і можливістю швидкої переналадки при переході від випуску одного типу виробів до другого, а також вимагає порівняно невеликих капітальних витрат. В найбільшій мірі поточно-агрегатний спосіб відповідає умовам дрібносерійного виробництва на заводах середньої та малої потужності.



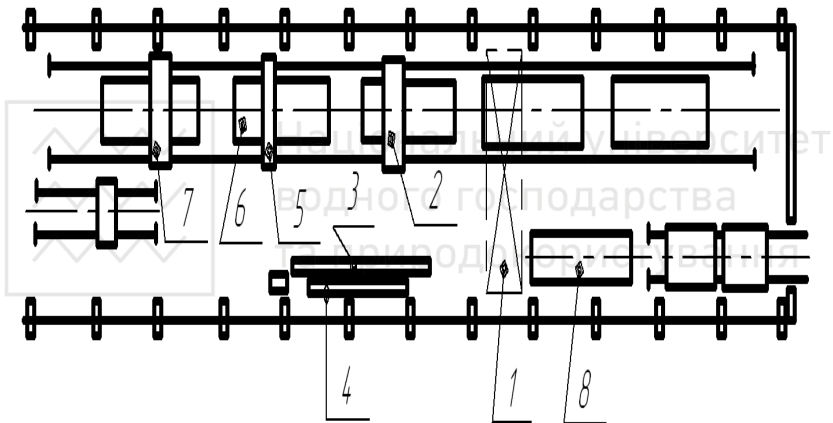
**Рис.13.4.** Агрегатно-потокова лінія для виробництва плит перекриття 3x12 м:

- 1 – кран мостовий; 2 – віброплощадка; 3 – бункер роздаточний;
- 4 – бетоновкладальник; 5 – роликівий конвеєр; 6 – установка для натягування арматури; 7 – пакетувальник форм; 8 – стенд контролю та ремонту виробів

*Конвеєрний спосіб* виробництва відрізняється від поточно-агрегатного поділом технологічного процесу на окремі операції і певним ритмом. Розділяють конвеєри крокової (візкової) і безперервної дії (пластинчасті та ін.). Конвеєрний спосіб дозволяє створити потужний механізований поточний процес, він особливо ефективний при серійному випуску однотипних виробів: стінових панелей, панелей перекриття, колон і ригелів промислових будинків тощо.



При *стендовому способі* (рис. 13.5) вироби виготовляють в нерухомих формах або на спеціально обладнаних стендах. Стендова технологія особливо доцільна при виготовленні крупнорозмірних і попередньо напружених виробів, її застосовують також в умовах полігонів, коли теплова обробка здійснюється в напольних камерах або в термоформах. При стендовому виробництві ускладнена повна механізація і автоматизація технологічних процесів, підвищена трудомісткість. Тривалість технологічного циклу складає звичайно 1–2 діб.



**Рис. 13.5.** Схема стендової лінії з виробництва комплексних плит:

- 1 – кран мостовий; 2,7 – бетоновкладальники; 3 – машина для зміцнювання стержнів; 4 – лінія зварювання стержнів;
- 5 – машина для вкладання пароізоляції; 6 – силова форма;
- 8 – пост нанесення гідроізоляції

Різновидом стендового є *касетний спосіб* виробництва, особливістю якого є формування виробів у вертикальному положенні в стаціонарних роз'ємних групових формах-касетах. При формуванні виробів в касетах досягається відносно висока точність їх розмірів і добра якість поверхні. Разом з тим для них



можлива певна неоднорідність показників міцності по висоті. Касетні лінії забезпечують високу продуктивність праці, потребують менших виробничих площ, затрат пару і електроенергії.

### 13.2. Фібробетони

До фібробетонів або дисперсно-армованих бетонів належить група композиційних матеріалів, що включають короткі відрізки волокон (*фібри*) в цементній матриці. В якості фібри можуть служити різні типи волокон: зі сталі, скла, синтетичних матеріалів, азбесту, вуглецю та ін. Дисперсне армування цементного каменю волокнами дозволяє істотно підвищити його питому міцність особливо на розтяг і згин, тріщиностійкість, стійкість до ударних і вібраційних впливів, опір стиранню та ін.

Найбільш поширені фібробетони на портландцементі, армовані сталевим волокном – *сталефібробетони*. Сталеве волокно зазвичай представлено відрізками дроту, в тому числі з відпрацьованих канатів. Фібра може мати різний поперечний переріз, діаметр від 0,2 до 1,6 мм і довжину від 10 до 160 мм. Поверхня фібр може бути профільованою, обробленою травленням і, як виняток, гладкою. Концентрація фібри в бетоні в більшості випадків коливається від 0,5 до 2% за об'ємом. Введення в бетон сталевих фібр в кількості 1–1,5% за обсягом збільшує його міцність на розтягування до 100%, міцність на згин на 150–200%, міцність на стиск підвищується на 10–25%.

За рахунок більш високої тріщиностійкості сталефібробетон має підвищену морозо-, жаро- і вогнестійкість, водонепроникність. Цінними якостями сталефібробетону є підвищена зносостійкість, ударна та динамічна стійкість.

Використання сталефібробетону перспективно як у збірних, так і в монолітних конструкціях: дорожніх і аеродромних покриттях, торкретних шарах для облицювання шахт тунелів і вогнезахисних футеровок, тонкостінних і ребристих плитах покриттів, елементах оболонки, паль, шпал та ін.



Ефективність застосування сталевібробетонних конструкцій може бути досягнута за рахунок зменшення трудовитрат на арматурні роботи, скорочення витрати сталі і бетону за рахунок зменшення товщини конструкцій, суміщення технологічних операцій приготування бетонної суміші і армування, збільшення довговічності конструкцій і зниження витрат на поточний ремонт.

При значних прольотах і навантаженнях в конструкціях доцільне об'єднання фібрового і стрижневого армування тобто застосування комбінованого армування.

Фібру вводять в попередньо перемішану суміш цементу, води і заповнювача або змішують спочатку заповнювачі і волокна, а потім додають цемент і воду. Для приготування фібробетону використовують також змішувачі з пульсуючим впливом на суміш та інші спеціальні змішувачі.

Поряд зі сталевібробетоном у будівництві є позитивний досвід застосування *склофібробетону*, що дозволяє додатково істотно знизити масу конструкцій. Його отримання засноване на включенні в цементне тісто або цементно-піщаний розчин лугостійкого скляного волокна в кількості до 5% за масою. Міцність на розтяг і згин армованого склом розчину перевищує міцність неармованого розчину в 2–3 рази навіть після 10 років повітряного зберігання. Максимальна деформація від граничного розтягуючого зусилля у склоармованому розчині в 10 разів більша, ніж для неармованого розчину.

З полімерних волокон для дисперсного армування бетону найбільш поширені поліпропіленові, характерна їх особливість - хороша сумісність з портландцементом і висока стійкість в середовищі тверднучих в'язучих. Поліпропіленові, як і інші полімерні волокна виготовляють діаметром 10–500 мкм.

Поліпропіленові волокна так само як і сталеві значно підвищують ранню міцність композитів на розтяг. При введенні вже 0,1% волокна усадка знижується до 50%, істотно збільшується міцність бетону на опір удару.

Бетони з поліпропіленовими волокнами мають високу морозостійкість, бактерицидність, вогнестійкість. Їх застосовують в конструкціях морських споруд, мостів,



водосховищ, торкретних облицюваннях. У порівнянні зі сталевією фіброю поліпропіленова простіше дозується, полегшує укладання бетонної суміші.

### 13.3. Азбестоцемент

*Азбестоцемент* являє собою затверділий цементний камінь, армований волокнами азбесту – волокнистого матеріалу природного походження. Ще в ХІХ ст. було відмічено, що введення азбесту підвищує пластичність цементного розчину і дозволяє отримувати тонкі листи, які після тверднення набувають високу міцність при дії розтягуючих навантажень.

До найбільш розповсюджених азбестоцементних виробів належать хвилясті та плоскі листи, труби та з'єднувальні муфти (рис. 13.6). Азбестоцементні вироби порівняно легко піддаються механічній обробці. Вони значно легші за метал та залізобетон. Середня густина азбестоцементу змінюється від 1400 до 2100 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності на стиск 40–60 МПа, розтяг – 8–15 МПа, водопоглинання знаходиться в межах від 10 до 30%. Основні недоліки азбестоцементних виробів – це невисока ударна міцність та здатність до короблення.

Вихідними компонентами для виробництва азбестоцементу є азбест, портландцемент і вода.

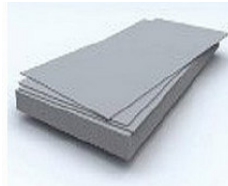
*Азбест* зустрічається в природі у вигляді мінералів-силікатів, що мають волокнисту будову, серед яких у найбільшій мірі розповсюдження та використання набув *хризотил-азбест*. Поряд з хризотил-азбестом в природі зустрічається мінерал *амфібол-азбест*, який на відміну від хризотилового азбесту характеризується канцерогенністю і спричиняє негативну дію на здоров'я людини.



а



б



в



г



д

**Рис. 13.6.** Азбестоцементні вироби:

а, б – хвилястий листовий шифер; в – плоский листовий шифер; г, д – труби

Товарний азбест отримують при збагаченні азбестової руди, представлена прожилками хризотил-азбесту в товщі порід. Залежно від довжини волокна, ступеня його розпушування та вмісту домішок супутніх порід азбест поділяють на сорти та марки. Внаслідок сильних лінійних та вкрай слабких бокових зв'язків кристалів азбест має високу міцність на розтяг (до 300 МПа) та здатність до розщеплення (розпушування) на тонкі волокна.

Для азбестоцементних виробів застосовують спеціальний вид портландцементу, властивості якого сприяють процесу фільтрації твердої фази в азбестоцементній суспензії та прискореному твердінню виробів. Тонкість помелу цього цементу характеризується питомою поверхнею в межах 2200–3200 см<sup>2</sup>/г. Вміст вільного СаО в клінкері не повинен перевищувати 1%, С<sub>3</sub>А – 8%, С<sub>3</sub>S повинно бути не менше 52%. Початок тужавлення може наставати не раніше ніж через 1,5 год від



початку замішування. Цемент для виробництва азбестоцементних виробів, як правило, не містить мінеральних добавок і випускається двох марок – М400 та М500. При цьому на згин його випробовують додатково у 7-добовому віці; він повинен витримувати навантаження відповідно не менше 4,3 та 4,7 МПа.

Технологічний процес одержання азбестоцементних виробів включає розпушування азбесту, ретельне змішування отриманих найтонших волокон з цементом у водному середовищі та утворення суспензії, формування виробів на листо- або трубоформувальних машинах з наступною їх тепловою обробкою. Формування полягає в утворенні з суспензії на січастому циліндрі тонкого шару азбестоцементу, його зневодненні та ущільненні. Отримані заготовки волокнистих листів піддають профілюванню, а труб – токарній обробці. Склад азбестоцементної маси коливається в межах: азбесту 13–17%, портландцементу 83–87% (при виробництві труб вміст азбесту декілька вищий, ніж для листових матеріалів). В деяких випадках до портландцементу добавляють 30–40% тонкомеленого кварцового піску.

*Хвилясті азбестоцементні листи* виготовляють різного профілю (табл. 13.1). Освоєно виробництво великорозмірних хвилястих листів для перекриття прогонів до 9 м. Ці листи призначені для покрівель промислових та сільськогосподарських будівель і споруд. Їх постачають комплексно з деталями, які застосовують для влаштування гребнів, обрамлення торцевих покрить та кутів стін, переходу від схилу до вертикальної поверхні, влаштування деформаційних швів.

Покрівлі із хвилястих азбестоцементних листів відрізняються легкістю, простотою монтажу, не потребують влаштування суцільної жорсткої основи, укладаються по дерев'яній обрешітці або по залізобетонних та сталевих прогонах.





Таблиця 13.1

Характеристика хвилястих азбестоцементних листів та деталей

Найменування показника	Значення для листів профілю			
	40/150	54/20 товщиною, мм		для деталей
		6,0	7,5	
Зосереджене навантаження, кН, не менше	1,5	1,5	2,2	–
Границя міцності при згині, МПа, не менше	16	16,5	19	16
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1600	1650	1700	1600
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	1,5	1,5	1,6	1,5
Водонепроникність, год, не менше	24	24	24	–
Морозостійкість: кількість циклів попереми- ного заморожування та відтавання без помітних ознак руйнування;	25	25	50	25
залишкова міцність, %, не менше	90	90	90	90

Плоскі листи виготовляють пресованими та непресованими. Номінальна довжина листів: 3600, 3000, 2500 мм; ширина – 1500, 1200 мм; товщина – 10, 8, 6 мм. Пресування сприяє покращенню міцнісних властивостей виробів. Границя міцності на згин пресованих листів не менше 23 МПа, середня густина не менше 1800 кг/м<sup>3</sup>, непресованих відповідно 18 МПа та 1600 кг/м<sup>3</sup>.

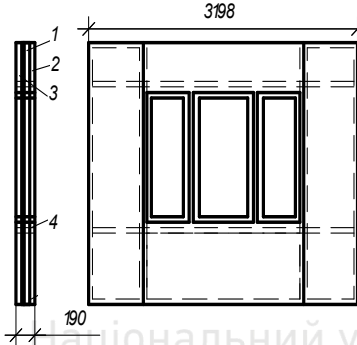
Плоскі листи призначені головним чином для збірних конструкцій стінових панелей, плит покриттів, перегородок, санітарно-технічних кабін, а також для влаштування підвісних стель, вентиляційних шахт і т.п.

При використанні для зовнішнього оздоблення стін, перегородок та панелей всередині будівель застосовують листи, пофарбовані як в масі, так і з поверхні, офактурені рельєфним малюнком. Найбільшого розповсюдження набув спосіб фарбування азбестоцементних листів перхлорвініловими емалями.



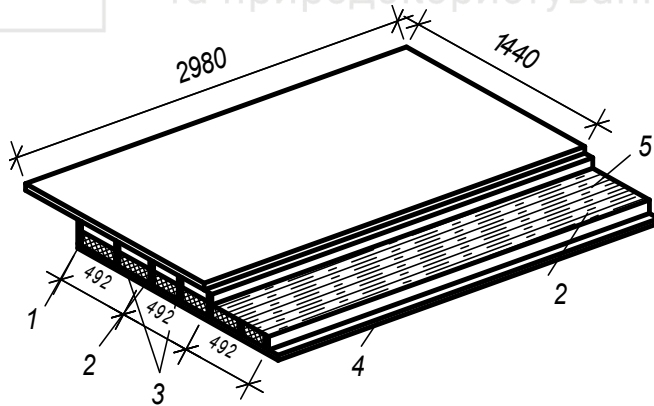
Ефективними є декоративні покриття на основі силікатних фарб. Можливим є також оздоблення азбестоцементних листів шпоном із деревини.

При зведенні огорожуючих конструкцій виробничих споруд широкого застосування набули *азбестоцементні панелі* (рис. 13.7, 13.8).



**Рис. 13.7.** Азбестоцементна стінова панель:

1 – азбестоцементний лист; 2 – усиливач; 3 – бруски;  
4 – підвіконня і злив



**Рис. 13.8.** Азбестоцементна каркасна плита для покриттів:

1, 3 – дерев'яні деталі; 2 – каркас з азбестоцементних швелерів;  
4 – азбестоцементні листи; 5 – утеплювач



При використанні для обшивки плоских листів азбестоцементні панелі застосовують в пологих покриттях виробничих будівель з влаштуванням по них рулонної покрівлі. З використанням хвилястих азбестоцементних листів виготовляють також панелі для скатних покриттів без горищ для будівель під безрулонну покрівлю.

*Азбестоцементні панелі* поділяються за матеріалом несучого каркасу (панелі на дерев'яному каркасі, з азбестоцементних та алюмінієвих профілів); матеріалом утеплювачу (панелі з мінераловатним або пінопластовим утеплювачем типу «сандвіч»); конфігурації листів обшивки.

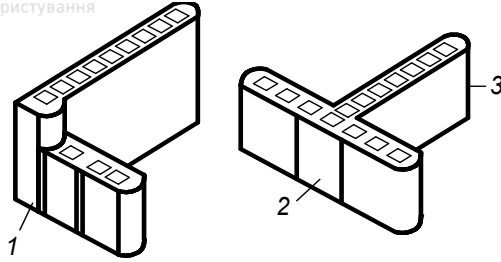
Технологічна схема виробництва азбестоцементних панелей типу «сандвіч» з плитним полістиролом включає нанесення клею на листи верхньої та нижньої обшивок, укладання та запресування між ними утеплювача, витримування виробів у прес-контейнері. Панелі з обох сторін покривають оздоблювальним шаром.

Розроблено технологію виробництва панелей екструзійним способом, при якому вироби безперервно формуються при допомозі пресу видавлюванням крізь мундштук, обрізаються до потрібних розмірів і надходять на твердіння. Виробництво азбестоцементних панелей способом екструзії порівняно з традиційною технологією виготовлення конструкцій з плоских листів дозволяє використовувати азбест низьких сортів, різко скоротити витрату технологічної води, а також повністю трудомісткий процес зборки.

Для влаштування перегородок використовують основним чином екструзійні панелі (рис. 13.9) без утеплювача, для стін та покриттів можуть застосовуватись панелі з утеплювачем.

Фізико-механічні характеристики екструзійного азбестоцементу: границя міцності на згин 16–24, на розтяг – 8–11, на стиск – 32–60 МПа.

Стіни та покриття із азбестоцементних панелей дозволяється зводити в промислових будовах із сухим та нормальним режимами експлуатації. Для ізолювання швів між панелями застосовують пористі прокладки з герметизацією ззовні нетверднучими мастиками.



**Рис. 13.9.** Азбестоцементні екструзійні кутові (1), перехідні (2) та перегородочні (3) панелі

Використання азбестоцементних панелей для стін та покриттів порівняно із залізобетонними забезпечує зменшення маси конструкції в декілька разів, скорочення трудомісткості монтажних робіт.

В будівництві широко застосовують *азбестоцементні труби*. Залежно від призначення їх поділяють на напірні для влаштування закритих напірних та зовнішніх водопроводів та безнапірні для влаштування внутрішньої та зовнішньої каналізації, прокладання електрокабелів, вентиляції та ін.

При будівництві напірних водоводів застосовують азбестоцементні труби класів ВТ-6, ВТ-9, ВТ-12, ВТ-15 з діаметром умовного проходу 100–500 мм. Цифра в позначенні класу вказує максимальний робочий тиск, при якому може використовуватися труба.

Для з'єднання труб застосовують азбестоцементні муфти типу САМ з ущільнюючими гумовими кільцями та чавунні фланцеві муфти 4 м. Азбестоцементні муфти забезпечують герметичність з'єднань аж до розривання труб.

Азбестоцементні труби мають високу стійкість до корозії і не руйнуються під дією блукаючих струмів. Низька капілярна пористість забезпечує водонепроникність, морозостійкість азбестоцементних труб. Вони значно дешевші і довговічніші ніж сталеві та чавунні труби.

Азбестоцементні труби порівняно з металевими дешевші й у 3–4 рази легші, на них не діють блукаючі струми. Їх недоліки – крихкість, низька кислотостійкість.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Виробництво ряду азбестоцементних виробів в деяких країнах заборонено у зв'язку з шкідливим впливом амфібол-азбесту на здоров'я людини. Дослідження показали, однак, що при застосуванні в азбестоцементних виробих хризотил-азбесту шкідливість його впливу практично не відзначається.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## 14. МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ

До основних матеріалів даної групи відносяться матеріали з застосуванням бітумних і дьогтевих в'язучих, а також синтетичних полімерів.

### 14.1. Асфальтові та дьогтебетони

*Асфальтовим бетоном (асфальтобетоном)* називають матеріал, що отримується в результаті затвердіння ущільненої і раціонально підбраної однорідної суміші бітуму або асфальтового в'язучого і мінеральних наповнювачів. Під асфальтовим в'язучим розуміють суміш бітуму з мінеральним наповнювачем – тонкодисперсним порошком, зазвичай виготовленим з карбонатних гірських порід. Як мінеральні заповнювачі для асфальтобетону служать пісок і щебінь або гравій.

Асфальтобетонні суміші залежно від в'язкості використовуваного бітуму і температури при укладанні поділяють на:

– *гарячі*, що виготовляються з використанням в'язких і рідких нафтових дорожніх бітумів і укладаються з температурою не менше 120° С;

– *холодні*, що виготовляються з використанням рідких нафтових дорожніх бітумів і укладаються з температурою не менше 5° С.

Гарячі суміші залежно від найбільшого розміру мінеральних зерен поділяють на: грубозернисті з розміром зерен до 40 мм; дрібнозернисті – до 20 мм; піщані – до 5 мм.

Холодні суміші розподіляються на дрібнозернисті і піщані.

Асфальтобетони з гарячих сумішей залежно від величини залишкової пористості поділяють на: високощільні із залишковою пористістю від 1,0 до 2,5%; щільні – більше 2,5 до 5,0%; пористі – більше 5 до 10%; високопористі – більше 10 до 18%.



Асфальтобетони з холодних сумішей мають залишкову пористість від 6 до 10%.

Щебеневі і гравійні гарячі суміші залежно від вмісту в них щебеню (гравію) поділяють на три типи: А з вмістом щебеню від 50 до 60%; Б – від 40 до 50%; В – від 30 до 40%.

Для холодних сумішей та асфальтобетонів залежно від вмісту в них щебеню (гравію) встановлені типи Бх і Вх.

Гарячі і холодні піщані суміші виготовляють також 2х типів:

– Г і Гх – на пісках з відсівів дроблення, а також на їх сумішах з природним піском при вмісті останнього не більше 30% по масі;

– Д і Дх – на природних пісках або сумішах природних пісків з відсівами дроблення при вмісті останніх менш як 70% за масою.

Залежно від легкоукладальності асфальтобетонні суміші бувають жорсткими, пластичними і литими.

У дорожньому і аеродромному будівництві найбільш широке застосування знайшли гарячі асфальтобетонні суміші, покриття з яких можна влаштовувати на дорогах будь-якого вантажнапруження і вводити в експлуатацію вже через кілька годин після укладання.

Холодні асфальтобетони застосовують на дорогах з малою інтенсивністю руху і для ремонту покриттів. Вони мають меншу міцність і водостійкість, їх переважно застосовують при знижених температурах.

Крупнозернисті асфальтобетони застосовують для нижніх шарів покриттів і основ. Для влаштування верхніх шарів покриттів найбільш широко застосовують дрібнозернисті асфальтобетони, які є найбільш однорідними і мають більшу корозійну стійкість. Застосування піщаного бетону вимагає врахування його підвищеної пластичності, необхідності підбору найбільш щільної мінеральної суміші для мінімізації вмісту бітуму. Зазвичай піщані бетони застосовують для влаштування покриттів на автомобільних дорогах з легким рухом.

Вміст в асфальтобетоні щебеню надає поверхні необхідну шорсткість. Дрібнозернисті багатощебеністі суміші



застосовують на ділянках з великими поздовжніми ухилами при важкому і інтенсивному русі, малощобеністі – для влаштування верхнього шару двошарових покриттів при середній інтенсивності руху з додатковим втоплюванням щебеню для створення шорсткої поверхні.

Переважає застосування в практиці будівництва автомобільних доріг знаходять ущільнювані асфальтобетони. Литий асфальтобетон характеризується високою корозійною стійкістю, меншою схильністю до зносу, однак має знижену зсувостійкість і схильність до утворення тріщин внаслідок підвищеної кількості бітуму. Разом з тим позитивні особливості литого асфальтобетону сприяють його досить широкому застосуванню в ряді країн.

Верхні шари дорожнього одягу виготовляють тільки зі щільного асфальтобетону. Пористі його різновиди можуть бути використані для влаштування нижнього шару покриття або для його основи.

Асфальтобетони залежно від показників фізико-механічних властивостей і застосовуваних матеріалів поділяють на марки (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

Марки асфальтобетонів

Вид і тип сумішей і асфальтобетонів	Марки
Горячі:	
високощільні	I
щільні типів:	
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
пористі	I, II
високопористі щебеневі	II
високопористі піщані	II
Холодні типів:	
Бх, Вх	I, II
Гх	I, II
Дх	II
високопористі щебеневі	I





*Марка* є інтегральним показником якості асфальтобетону, що характеризує його границю міцності при стиску при температурах 50, 20 і 0° С, а також при розколюванні при 0° С, водостійкість при тривалому водонасиченні, коефіцієнт внутрішнього тертя і зчеплення при зсуві.

Область застосування асфальтобетонів різних видів і марок залежно від дорожньо-кліматичної зони і категорії автомобільної дороги наведена в табл. 14.2.

Таблиця 14.2

Область застосування асфальтобетонів при влаштуванні верхніх шарів покриттів автомобільних доріг

Дорожньо – кліматична зона	Вид асфальтобетону	Категорія автомобільної дороги		
		I,II	III	IV
		марка суміші		
I,II,III	Щільний і високощільний	I	II	III
II,III	З холодних сумішей	-	I	II
IV,V	Щільний	I	II	III
IV,V	З холодних сумішей	-	I	II

**Примітка:** До автомобільних доріг I категорії відносяться дороги з розрахунковою інтенсивністю руху більше 7000, II – більше 3000 до 7000, III – більше 1000 до 3000, IV – більше 100 до 1000 (в транспортних одиницях за добу).

Для асфальтобетонів із холодних сумішей встановлено дві марки, показники нормованих властивостей яких змінюються залежно від типу сумішей (табл. 14.3).

Міцнісні властивості асфальтобетону характеризують його здатність чинити опір без руйнування внутрішнім напруженням, що виникають при його навантаженні в певних температурних умовах. Відношення показників міцності при 20 і 50° характеризує *теплостійкість*, а при 20 і 0° С *крихкість* або *пластичність* асфальтобетону. При недостатній теплостійкості в покриттях розвиваються деформації зсуву, що викликають опливання асфальтового бетону на схилах, а при підвищеній крихкості знижується деформативна здатність і трещіностійкість цього матеріалу при низьких температурах.



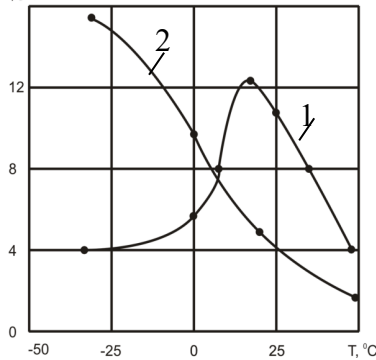
Показники нормованих властивостей асфальтобетонів  
з холодних сумішей

Найменування показника	Значення для марки і типу			
	І		ІІ	
	Бх, Вх	Гх	Бх, Вх	Гх, Дх
Границя міцності при стиску при температурі 20° С, МПа, не менше				
до прогріву:				
сухих асфальтобетонів	1,5	1,7	1,0	1,2
водонасичених	1,1	1,2	0,7	0,8
після тривалого водонасичення	0,8	0,9	0,5	0,6
після прогріву:				
сухих асфальтобетонів	1,8	2,0	1,3	1,5
водонасичених	1,6	1,8	1,0	1,2
після тривалого водонасичення	1,3	1,5	0,8	0,9

Для асфальтобетону як для термопластичного матеріалу розрізняють поведінку під навантаженням в пружно-еластичній стадії, що призводить до руйнування покриття, і в пластичній стадії, що призводить до виникнення неприпустимих деформацій.

Особливістю руйнування асфальтобетону у порівнянні з цементобетоном є різко виражена залежність міцності від часу дії навантаження і температури (рис. 14.1).

*Мінеральний наповнювач* сприяє підвищенню густини асфальтобетону і зниженню витрати бітуму. В якості наповнювача застосовують тонкомелені низькогідрофільні порошки з основних матеріалів – вапняку, доломітів і асфальтових порід. Інколи використовують також пилевидні відходи промисловості. Вміст глинистих частинок в наповнювачі повинно бути не більше 5%. Оптимальною є дисперсність порошку, при якому його питома поверхня складає 4000–5000 см<sup>2</sup>/г.



**Рис. 14.1.** Залежність границі міцності асфальтобетону від температури:

- 1 – на згин при швидкості деформування 250 мм/хв;
- 2 – на стиск при швидкості деформування 3 мм/хв

Покращити структурно-механічні властивості асфальтових бетонів можна добавками деяких полімерів і особливе каучуків. Каучукоподібні полімери в кількості 2–3% від маси бітумів збільшують інтервал пластичності асфальтобетонних сумішей до 100–120° С, понижують на 10–20° С температуру крихкості, значно підвищують їх еластичність в широкому діапазоні температур, покращують ряд інших властивостей. Для забезпечення температурної стійкості асфальтового бетону важливо також забезпечити в ньому оптимальний вміст мінерального наповнювача.

Водостійкість асфальтового бетону характеризується відношенням границь міцності на стиск водонасичених і сухих зразків при 20° С, а також водопоглинанням і набуханням під вакуумом. На водостійкість позитивно впливає підвищення щільності і покращення зчеплення бітуму з мінеральними компонентами. Водостійкість залежить від кількості і хімічного складу бітуму і мінерального порошку. В гідротехнічному асфальтобетоні рекомендується вміст бітуму і порошку на 1–2% вищий ніж в дорожньому.

З методів проектування складів асфальтобетону найбільш поширений метод, що включає визначення гранулометричного складу щебеню, піску і наповнювача; вибір співвідношення між



мінеральними матеріалами з умови отримання досить щільних сумішей; призначення орієнтовної кількості в'язучого з подальшим її коригуванням пробними замісами і випробуванням зразків.

Склад асфальтобетону проектується на основі технічного завдання із зазначенням його типу, призначення, характеристики мінеральних і в'язучих матеріалів.

Орієнтовну кількість бітуму розраховують з урахуванням рекомендацій табл. 14.4 за формулою:

$$B = \frac{(V_{\text{пор}}^0 - V_{\text{пор}}) \rho_b}{\rho_0}, \quad (14.1)$$

де  $V_{\text{пор}}^0$  – пористість мінеральної частини випробуваних зразків, %;

$\rho_0$  – густина мінеральної частини асфальтобетону, г / см<sup>3</sup>;

$V_{\text{пор}}$  – задана залишкова пористість асфальтобетону, % ;

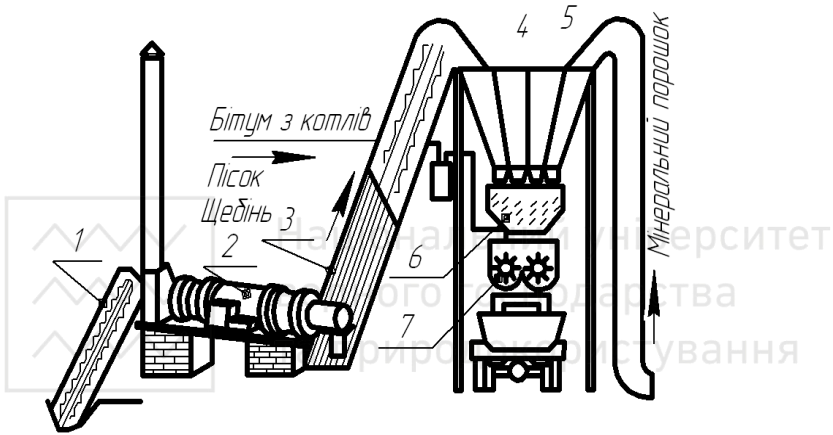
$\rho_b$  – дійсна густина бітуму при 20°С, г / см<sup>3</sup>.

Таблиця 14.4  
Орієнтовний вміст бітуму в асфальтобетонних сумішах

Вид суміші	Вміст бітуму, % за масою
Гарячі високощільні щільні типів	4,0...6,0
А	4,5...6,0
Б	5,0...6,5
В	6,0...7,0
Г и Д	6,0...9,0
пористі	3,5...5,5
високопористі щебеневі	4,0...6,0
високопористі піщані	4,0...6,0
Холодні типів	
Бх	3,5...5,5
Вх	4,0...6,0
Гх и Дх	4,5...6,5
високопористі щебеневі	2,5...4,0



Асфальтові суміші виготовляють на спеціалізованих підприємствах стаціонарного чи тимчасового пересувного типу (рис. 12.5). В технологічний цикл виробництва гарячих асфальтових сумішей входять такі основні операції: сушка, підігрів заповнювачів до  $160\text{--}200^\circ\text{C}$ , розсів їх на фракції; приготування в помольних установках мінерального наповнювача; розплавлення бітуму в плавильних котлах при температурі  $150\text{--}190^\circ\text{C}$ , дозування і ретельне перемішування всіх компонентів.



**Рис. 14.2.** Технологічна схема приготування асфальтобетону:

- 1 – елеватор для піску і щебеню; 2 – сушильний барабан;
- 3 – «гарячий елеватор»; 4 – дозувальний бункер з віброгуркотом;
- 5 – елеватор мінерального порошку; 6 – дозатор; 7 – лопатева мішалка

Готова асфальтобетонна суміш з температурою  $140\text{--}160^\circ\text{C}$  транспортується на будівельний об'єкт, де укладається на спеціальну основу механічними укладачами та ущільнюється за допомогою статичних і вібраційних катків, поверхневих вібраторів та інших спеціальних віброущільнювачів. Основа під асфальтовий бетон повинна бути ущільненою, сухою і рівною, забезпечувати добре зчеплення і сприймати без значних деформацій експлуатаційні навантаження. При необхідності основа протравлюється отрутохімікатами.



## 14.2. Дьогтебетон

*Дьогтебетони* – матеріали, отримані ущільненням суміші дьогтевих в'язучих, заповнювачів і мінерального порошку. Залежно від в'язкості дьогтю дьогтебетонні суміші поділяють на гарячі і холодні. Для отримання гарячих сумішей використовують окислені дьогті і дьогті, модифіковані добавками полімерів (полівінілхлориду, полістиролу та ін.) марок Д-6 і Д-5, а для холодних – Д-4 і Д-5 (марки дьогтю відрізняються в'язкістю).

Залежно від крупності зерен щебеню дьогтебетони поділяють на грубозернисті (розмір зерен до 40 мм) і дрібозернисті (менше 20 мм). Збільшення в бетоні кількості щебеню сприяє підвищенню його щільності, водостійкості, корозійної стійкості та стійкості проти стирання. За показниками пористості дьогтебетони бувають щільними (пористість до 5%) і пористими (6–12%). Введення в дьогтебетони мінеральних порошоків, отриманих помелом карбонатних порід, сприяє підвищенню їх щільності, міцності, водо- і морозостійкості.

Показники фізико-механічних властивостей щільних дьогтебетонів повинні відповідати нормам, приведеним у табл. 14.5.

Таблиця 14.5

Властивості щільних дьогтебетонів з гарячих сумішей

Показники	Дьогтебетони з сумішей марок	
	I	II
Границя міцності при стиску, при 20° С, МПа		
не менше	2,2	1,6
не більше	6,0	6,0
при 50° С для дьогтебетонів з щебених і гравійних сумішей, не менше		
типів		
Б	0,8	0,6
В	-	0,9
піщаних сумішей	0,9	0,7
Коефіцієнт водостійкості, не менше	0,8	0,6
Набухання, % за об'ємом, не менше	0,7	0,5



### 14.3. Бітумні та дьогтеві емульсії, пасти, мастики

*Емульсії і пасти.* В будівництві знаходять застосування водні бітумні і дьогтеві емульсії, які являють собою дисперсні системи, в котрих найдрібніші частинки органічних в'язучих (менші за 1 мкм) рівномірно розподілені в воді. Одержання стійких емульсій досягається застосуванням добавок поверхнево-активних речовин – *емульгаторів*. Як емульгатори використовують водорозчинні високомолекулярні сполуки і мила лужних металів (омилена каніфоль, жирні кислоти, лігносульфонати та ін.). Механізм дії емульгаторів полягає в адсорбції на частинках бітуму чи дьогтю і утворенні захисних оболонок, які сприяють утриманню диспергованих частинок в завислому стані.

Різновидом емульсій є так звані *емульсійні пасти*, емульгаторами яких служать високодисперсні гідрофільні мінеральні порошки (вапно, глина, трепел і т.п.).

В табл. 14.6 приведені характерні рекомендовані склади бітумних емульсійних паст, що застосовують для холодної асфальтової гідроізоляції.

Таблиця 14.6

Рекомендовані склади бітумних паст

Емульгатор	Склад компонентів за масою, %		
	бітум	вода	емульгатор
Глина:			
високопластична	55–65	25–87	8–10
пластична	45–50	31–45	10–14
Суглинок:			
важкий	40–50	30–45	15–20
легкий	35–40	25–30	30–35
Вапно гашене:			
I сорт	50–55	33–42	8–12
II сорт	45–50	34–43	12–16
Трепел, лес, діатоміт	50–55	30–40	10–15



Емульсії та пасти не вміщують летких розчинників, їх можна наносити як на сухі, так і на вологі поверхні. Після випаровування води дисперсна фаза емульсій коагулює і утворюється однорідне покриття.

Бітумні і дьогтеві емульсії і пасти широко застосовуються в дорожньому і гідротехнічному будівництві. Пасти використовують в якості в'язучих для холодних асфальтових мастик.

Для виготовлення емульсій і паст застосовуються в основному в'язкі нафтові бітуми марок БНД 40/60, БНД 90/130. Технологічний процес полягає в підігріві і перемішуванні вихідних компонентів в спеціальних змішувачах.

Покращення властивостей бітумних і дьогтьових матеріалів можна досягти застосуванням композицій в'язучих: дьогтьобітумних, гумобітумних, бітумно- і дьогтьополімерних.

**Мастики.** В групу мастик входять пластичні речовини, які отримують при змішуванні органічних в'язучих з тонкодисперсними порошкоподібними чи волокнистими наповнювачами. В якості порошкоподібних наповнювачів застосовують тонкомелені мінеральні речовини – вапняк, доломіт, крейду, тальк, трепел, золу, цемент та ін.; волокнистих – низькі сорти азбесту, мінеральну вату та ін. До складу мастик залежно від призначення і особливостей компонентів може входити від 10 до 70% наповнювачів.

Назва мастики звичайно вказує на вид в'язучого, що використовується: бітумна, дьогтьова, гумобітумна тощо. Згідно способу застосування мастики бувають гарячими та холодними.

*Гарячі мастики* застосовують з попереднім розігрівом до 130...180° С. Вони швидко тверднуть в результаті зменшення в'язкості в'язучих при охолодженні, мають високу водостійкість і клеючу здатність. Разом з тим їх застосування зв'язане з рядом труднощів: небезпекою роботи з гарячими матеріалами, підвищеною липкістю, необхідністю обігріву транспортних пристроїв та ін. Ці труднощі усуваються при застосуванні *холодних мастик*, які дозволяють механізувати гідроізоляційні роботи, підвищити їх продуктивність і покращити умови праці. Крім цього, холодні мастики дозволяють одержувати більш





тонкий змащувальний шар і більш економне витратити органічні в'язучі. Холодні мастики являють собою суміші органічних в'язучих, розріджених розчинниками, чи водоемульсійних паст з мінеральними наповнювачами. В якості розріджувачів застосовують бензин, лігроїн, уайтспирт, керосин, нафтове масло і ін. Холодні мастики при нормальній температурі середовища застосовують без підігріву, їх твердіння проходить за рахунок випаровування розріджувача або води.

Залежно від призначення мастики розділяють на покрівельні, гідроізоляційні, герметизуючі, шпакльовочні, футеровочні та ін.

Для *покрівельних мастик*, що використовуються при склеюванні рулонних матеріалів та гідроізоляції покрівель, основними показниками є теплостійкість – максимальна температура, за якій двохміліметровий шар мастики, що склеює два зразки пергаменту чи толю, не витікає при витриманні протягом 5 год під кутом  $45^\circ$  та розтяжність – здатність шару мастики, нанесеного на рулонний матеріал, не давати при температурі  $18\text{--}20^\circ\text{C}$  тріщин при спільному згинанні по півколу стержня певного діаметра. Теплостійкість вказується при позначенні марки (МБК-Г-55; МБК-Г-75 та ін.) і коливається для бітумних мастик від  $55$  до  $100^\circ\text{C}$ .

Мастики характеризуються нормальною склеювальною здатністю, якщо розщеплення двох склеєних ними зразків пергаменту (толю) буде проходити по картону не менше, ніж на половині склеєної площі.

Із покрівельних мастик найбільш широке застосування одержали бітумні композиції.

Дьогтеві мастики застосовують для наклеювання толевих матеріалів. В'язучими в них служать дьогті і їх суміші з полімерами.

*Гідроізоляційні мастики* застосовують для створення гідроізоляційних обмазок та заповнення деформаційних швів. Найважливішими вимогами до гідроізоляційних мастик є понижені значення водонасичення і набухання, достатня деформативність.



В табл. 14.7 наведені основні вимоги до гарячих гідроізоляційних асфальтових мастик.

Таблиця 14.7  
Фізико-механічні показники гідроізоляційних асфальтових мастик

Показник	Категорія теплостійкості		
	I	II	III
Температура розм'якшення, °С	90–105	75–90	60–75
Глибина проникнення голки при 25°С не менше, 0,1 мм	5	10	15
Розтягуваність при 25°С не менше, см	0,5	1,5	3
Водонасичення під вакуумом по масі не більше, %	0,5	0,3	0,1
Набухання під вакуумом по об'єму не більше, %	0,05	0,05	0,05

Для штукатурної гідроізоляції і обладнання безрулонних покрівель широко застосовуються холодні асфальтові мастики, які одержують змішуванням бітумних паст з мінеральними наповнювачами. Вони мають підвищене водопоглинання порівняно з гарячими асфальтовими мастиками, однак з часом, процес поглинання води припиняється. Перевагами холодних асфальтових мастик є підвищена міцність і теплостійкість, можливість високої механізації робіт. З бітумно-полімерних мастик поширені бітумно-гумові, бітумно-латексні і бітумно-епоксидні композиції.

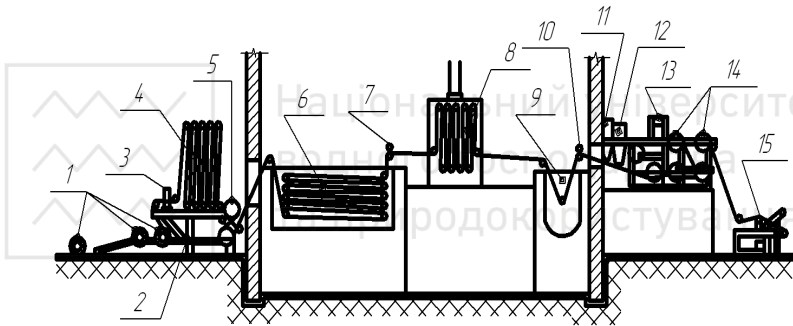
#### 14.4. Бітумні та дьогтеві рулонні матеріали

Рулонні матеріали поділяють на *основні*, які одержують шляхом просочування основи (картону, склотканини та ін.) органічними в'язучими (рис. 14.3) і *безосновні*, котрі виготовляють прокатуванням сумішей в'язучих з наповнювачами. Основні і безосновні матеріали постачають в рулонах довжиною 10–30 м і застосовують для обладнання



покрівель та гідроізоляції. Специфічні вимоги, які висувають до покрівельних матеріалів – це атмосферо- та теплостійкість, гідроізоляційних – водонепроникність, деформативність, біостійкість. Покрівля з рулонних матеріалів для споруд промислового і цивільного призначення використовується в три – п'ять шарів у вигляді покрівельного килима, який укладається по суцільній основі. Для улаштування верхніх шарів застосовують матеріали з покращеними фізико-механічними властивостями, для нижніх – підкладні рулонні матеріали.

Обклеювальна гідроізоляція із рулонних матеріалів також використовується у вигляді багат шарового покриття і є найбільш поширеною.



**Рис. 14.3.** Схема установки для виробництва руберойду:

- 1 – бабіна картону; 2 – розмотувальний станок; 3 – зшиваючий станок; 4 – магазин запасу картону; 5 – сушильні циліндри;
- 6 – просочувальна ванна; 7, 10 – віджимні вальці; 8 – камера для додаткового просочування; 11, 12, 13 – бункери для посипки;
- 14 – охолоджувальні барабани; 15 – намоточний станок

Основні рулонні матеріали поділяють на безпокровні і покривні. Перші отримують просочуванням основи без наступного нанесення покривного шару, другі нанесенням на просочену основу з обох сторін захисних покривних шарів, які забезпечують підвищені технічні властивості і довговічність матеріалів.



До поширених безпокровних матеріалів відносяться *пергамін* та *гідроізол*, які одержують просоченням основи нафтовими бітумами. Основою для пергаміну є покрівельний картон масою 1 м<sup>2</sup> 300 г (П-300) і 350 г (П-350), виготовлений з переробленої суміші ганчір'я, паперової макулатури та волокнистої деревної маси. Його використовують головним чином для покрівель тимчасових будов, а також для пароізоляції. Основою гідроізолу служить азбестовий папір. Його виготовляють марок Гі-Г і Гі-К. Гідроізол Гі-Г застосовують для ізоляції підземної частини споруд, антикорозійного захисту металевих трубопроводів (крім теплових сітей), а гідроізол Гі-К – для гідроізоляції плоских покрівель.

Поширеними покрівельними основними матеріалами є *руберойд* і *толь*, які одержують просоченням покрівельного картону відповідно нафтовими бітумами чи дьогтями з наступним нанесенням на обидві сторони полотна покривного шару органічних в'язучих з наповнювачами та посипки.

*Руберойд* залежно від призначення поділяється на покрівельний і підкладний. Перший служить для улаштування верхнього шару покрівельного килима, другий – нижніх шарів покрівельного килима та гідроізоляції конструкції. Залежно від призначення, марки картону і виду посипки руберойд ділять на марки (табл. 14.8).

Поряд із звичайним виготовляють руберойд, що наплавляється, який приклеюється або безвогневим способом розчинником за рахунок пластифікації покривного шару або оплавленням за допомогою спеціальних пальників. Перспективним різновидом руберойду, що наплавляється є *екарбіт*, який одержують шляхом просочення покрівельного картону м'яким нафтовим бітумом з наступним нанесенням на обидві сторони полотна покривних шарів, до складу яких входять бітум, бутилкаучук, індустріальне масло та наповнювач.

Гідроізоляційні властивості рулонних матеріалів значно покращуються при заміні покрівельного картону скловолокнистими матеріалами і металічною фольгою.



Характеристика руберойду

Призначення та марка руберойду	Марка картону	Вид посипки полотна		Площа рулона, кв. м. ( $\pm 0,5$ )
		з лицьової сторони	з нижньої сторони	
Покрівельний для верхнього шару покрівельного килима: РКК-420А	А-420	Крупкозерниста	Пилоподібна	10
	РКК-420Б	Б-420	->-	10
	РКК-350Б	Б-350	->-	10
РКЧ-350Б	Б-350	Лускоподібна	->-	15
Покрівельний для верхнього шару покрівельного килима з захисним шаром: РКП-350А	А-350	Пилоподібна	->-	15
	РКП-350Б	Б-350	->-	25
Підкладочний для нижніх шарів покрівельного килима: РПП-300А	А-300	->-	->-	20
	РПЛ-300Б	Б-300	->-	20

Як основу для *склоруберойду* використовують – нетканый матеріал (склохолст) із хаотично розміщених скляних волокон, склеєних полімерами. При двохсторонньому нанесенні на скловолокнисту основу полімербітумного в'язучого одержують *армобітеп* – покрівельний та гідроізоляційний матеріал, який відрізняється високою теплостійкістю (не нижче 75° С), гнучкістю, морозостійкістю і незначним водопоглинанням (не більше 0,3% на добу). Армобітеп приклеюють до основи так



само, як і руберойд інших видів. На основі алюмінієвої фольги і бітумно-полімерних в'язучих отримують *фольгоізол*, *фольгоруберойд*, *фольгобітен* і деякі інші рулонні матеріали, призначені для обладнання покрівель і гідроізоляції.

До дьогтевих рулонних матеріалів відносяться толь з крупнозернистою і піщаною посипкою, гідроізоляційний толь з покривною плівкою. Толь застосовують переважно для улаштування покрівель тимчасових споруд, для пароізоляції, як підкладочний матеріал та для гідроізоляції фундаментів.

До безосновних рулонних матеріалів відносяться ізол, бризол, еластобіт та ін. Найпоширенішими безосновними матеріалами є *ізол* і *бризол*, які отримують при використанні бітумногумового в'язучого, наповнювачів і добавок. Порівняно із звичайним руберойдом, ізол і бризол відрізняються значно більшим видовженням, меншим водонасиченням, гниlostійкістю, зберігають гнучкість навіть при від'ємних температурах.

Ізол застосовують в основному для обклеювальної гідроізоляції стін підвалів, підземних споруд, фундаментів, басейнів. Головне призначення бризолу – антикорозійний захист підземних металевих трубопроводів. Приклеюють їх бітумногумовими чи бітумними мастиками. При експлуатації бітумногумових матеріалів слід враховувати їх підвищену повзучість і можливе деформування, особливо на вертикальних поверхнях.

*Еластобіт* виготовляють із бітумно-полімерного в'язучого. Він відрізняється підвищеною міцністю, гнучкістю, еластичністю, має здатність деформуватися без розриву в великому інтервалі температур.

#### 14.5. Полімерні бетони та мастики

До групи полімерних входять бетони, роль в'язучих в яких виконують синтетичні полімери. Полімерні бетони (полімербетони) входять в т.зв. групу *П-бетонів* – бетонів з добавками полімерів або на їх основі. Крім них, в цю групу входять полімерцементні і полімерсилікатні бетони, а також бетонополімери. За своїми властивостями полімерні бетони



займають проміжне місце – між пластмасами і цементними бетонами. Так само як і цементні полімербетони класифікують за густиною, особливостями структури і призначенням. Крім того, полімербетони класифікують за видом в'язучого (рис. 14.4).

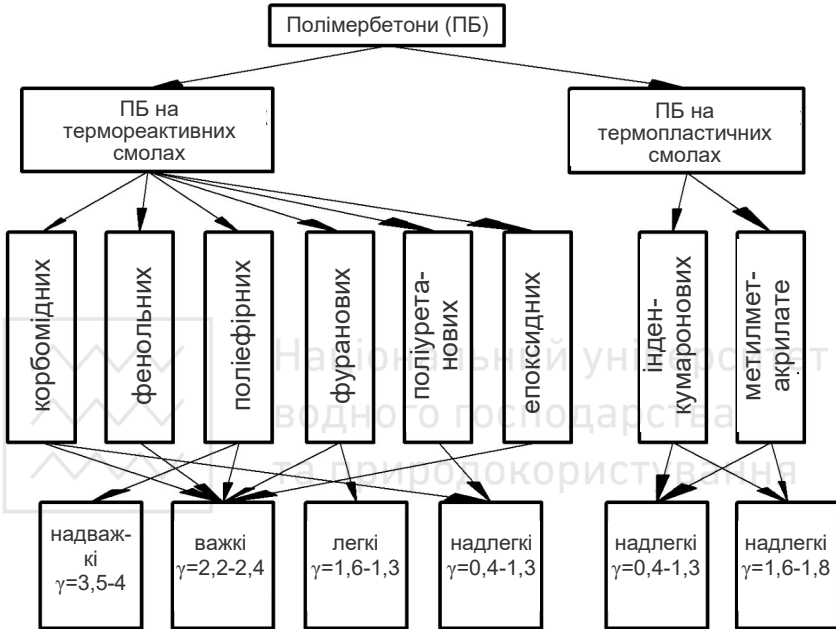


Рис. 14.4. Класифікація полімербетонів

Для даної групи матеріалів, які відрізняються від інших пластмас високим вмістом мінеральних наповнювачів і заповнювачів, в якості зв'язуючого застосовують в основному термореактивні полімери – карбамідні, фенольні, поліефірні, фуранові, поліуретанові, епоксидні. В значно меншій мірі застосовують термопластичні полімери – інден-кумаронові, метилакрілатні, перхлорвінілові.

Найбільше застосування для хімічно стійких бетонів знаходять фуранові (смоли ФАМ. ФА), поліефірні (смола ПН-1) та карбамідні (смола КФ-Ж) полімерні в'язучі. Застосовують



також композиційні фураноєпоксидні (ФАЕД-20) та акрилові смоли (мономер ММА).

Затвердіння полімербетонів здійснюють, як правило, при введенні затверджувачів.

Як в'язуче для полімербетонів поширення набув фурфуролацетоновий мономер (ФА) – рідина з температурою кипіння 160–240° С, нерозчинна у воді, але розчинна в кетонах і складних ефірах. Затвердіння мономера ФА та інших фуранових смол (ФАМ, 2ФА, 4ФА та ін.) відбувається у присутності сульфокислот (бензолсульфокислоти БСК), сульфохлоридів та ін.

Обов'язковою вимогою до заповнювачів в полімербетонах на основі фуранових смол є їх тривала стійкість у кислому середовищі, враховуючи присутність в полімербетоні кислого затверджувача. Використання заповнювачів, що реагують з кислотами (вапняки, доломіти, азбест та ін.), недопустиме.

Розрахунки складів полімербетонів можна виконувати, представивши їх як двокомпонентну систему: наповнена полімерна мастика – крупний заповнювач.

Витрата мінімально необхідної кількості полімерного в'язучого для мастики по В.В. Патуроеву можна знайти за формулою:

$$P_m = \frac{S_n m_n \rho_n \delta}{100}, \quad (14.2)$$

де  $P_m$  – витрата полімерного зв'язуючого для мастики, кг;

$S_n$  – питома поверхня наповнювача, м<sup>2</sup>/кг;

$m_n$  – маса наповнювача, кг;

$\rho_n$  – густина зв'язуючого, кг/дм<sup>3</sup>;

$\delta$  – товщина плівки зв'язуючого ( $\delta \approx 15 \cdot 10^{-7}$  м).

За даними різних дослідників міцність полімербетонів на стиск на фуранових, поліефірних і епоксидних смолах коливається в інтервалі 50–125, на згин 15–40 і розтяг 8–16 МПа

Застосовують два способи твердіння полімербетонів: «на холоді», тобто при звичайних температурах і при підігріві до 40–80° С. У першому випадку матеріал досягає необхідної міцності через декілька днів, у другому – вже через кілька годин після укладання. В інтервалі температур до 100° С границя





міцності та модуль пружності зменшуються пропорційно підвищенню температури.

Велика відмінність в значеннях коефіцієнта температурного розширення полімеру та мінеральних компонентів (у 5–10 разів) призводить до виникнення значних напружень на границі розділу фаз при зміні температури. Максимальна температура експлуатації виробів та конструкцій з полімербетону 150–180° С.

Мінімально допустимі значення коефіцієнта хімічної стійкості полімербетонів по відношенню до кислот при 20° С залежно від їх виду і концентрації коливаються в діапазоні від 0,5 до 0,8.

Полімербетони у порівнянні з бетонами на неорганічних в'язучих мають більш високу усадку, повзучість, чутливість до температурних перепадів, а також більш низькі значення модуля пружності. Лінійна усадка фуранових полімербетонів сягає до 1 мм/м, практично припиняючись через 6–7 діб при твердненні в нормальних умовах і через 1–2 доби при нагріванні. У полімербетонів на поліефірних смолах усадка приблизно така ж, як і при застосуванні мономера ФА, а на епоксидних близька до усадки звичайних цементних бетонів.

Коефіцієнти водо- та морозостійкості полімербетонів оптимальних складів досягають до 0,85–0,90 відповідно після перебування у воді 1 міс. і через 100 циклів заморожування і відтавання. Практично повністю водостійкими та високоморозостійкими є композиції на основі епоксидних смол.

Позитивними особливостями полімерних бетонів є їх висока зносостійкість та ударна міцність. Опір стиранню полімербетонів залежно від виду полімерних зв'язуючих змінюється від 0,001 до 0,04 г/см<sup>2</sup>. Для полімербетонів на мономері ФА та кварцових заповнювачах він в 2–5 разів, а на гранітних заповнювачах у 20–25 разів вище, ніж для цементного бетону. Ударна міцність полімербетонів у 5–10 разів вище, ніж у цементних.

Технологія полімербетонів і виробів на їх основі близька до технології цементних бетонів. Тверднення відформованих виробів відбувається при температурі навколишнього повітря не



нижче  $18^{\circ}\text{C}$  і вологості  $(70\pm 5)\%$  протягом 28–30 діб. Для прискорення процесу тверднення виробу піддають термообробці в термокамерах сухого прогріву при температурі  $80^{\circ}\text{C}$  не менше 14 год. Полімербетони на основі метилметакрилату (ММА) термічній обробці не піддаються.

Висока хімічна стійкість поряд з міцністю та довговічністю полімербетонів відкриває можливість використання їх як конструкційного матеріалу при дії хімічно агресивних середовищ. Висока міцність цих матеріалів у поєднанні з гарним зчепленням їх зі сталевую арматурою дозволяє виготовляти *сталеполімербетонні конструкції* широкої номенклатури.

Найбільший економічний ефект досягається при використанні несучих хімічно стійких сталеполімербетонних конструкцій на промислових підприємствах з агресивним впливом різних технологічних середовищ.

Є позитивний досвід застосування полімербетонів для зносостійкого облицювання гідротехнічних споруд. Цементні бетони без захисних облицювань з чавуну, сталі, граніту і т.п. погано протистоять дії донних наносів. Полімербетонні покриття добре зберігаються в надзвичайно важких умовах експлуатації зносо- і кавітаційно-стійких захисних облицювань.

Полімербетони успішно використовують для виготовлення шахтних стволів, кільцевих колекторів підземних споруд, хімічно стійких і дренажних труб, траверс ЛЕП, контактних опор з високим електроопором. Розширюється виробництво виробів зі штучного оздоблювального каменю із застосуванням поліефірних смол і декоративної кам'яної крихти.

Полімерні мастики і бетони застосовують для влаштування монолітних (наливних) підлог. Покриття на їх основі технологічні, відрізняються високою хімічною стійкістю, міцністю і зносостійкістю, вони гігієнічні і зручні в експлуатації.



## 14.6. Полімерцементні матеріали

Полімерцементні матеріали – композиційні будівельні матеріали, основу яких складає матриця затверділого мінерального в'язучого з розподіленим в ній полімером. Залежно від типу наповнювачів розрізняють полімерцементні мастики з тонкодисперсними наповнювачами і полімерцементні розчини та бетони з дрібним і крупним заповнювачами.

В полімерцементних мастиках, розчинах і бетонах основну структуроутворюючу роль відіграє цемент, а полімерна добавка суттєво змінює властивості готових матеріалів.

Як полімерні компоненти в полімерцементних матеріалах використовують термопластичні полімери (полівінілацетат, акрилові полімери і т.п.) і каучуки, терморективні смоли (епоксидні, карбомідні та ін.) і олігомерні мономери (наприклад, фурфуролацетоновий мономер). Олігомери й мономери в процесі твердіння матеріалу переходять в полімерні продукти під дією затверджувачів, ініціаторів або унаслідок впливу температури, середовища і т.п.

Полімерцементні матеріали виготовляють із застосуванням водонерозчинних і водорозчинних полімерів та водних дисперсій. З добавок водорозчинних полімерів використовують карбомідні смоли. До водорозчинних належать також добавки фурилового спирту з солянокислим аніліном в співвідношенні 7:1. При використанні водорозчинних полімерів оптимальне полімерцементне відношення (П/Ц) не перевищує зазвичай 0,1.

Полімерцементні матеріали на водних дисперсіях полімерів, зокрема полівінілацетатної емульсії та латексів, найбільш поширені. Одна з їх основних особливостей – висока адгезія до інших матеріалів. Ці матеріали широко використовують як опоряджувальні в штукатурних і плиточних роботах, при влаштуванні покриттів підлог. Введення полімерів у вигляді водної дисперсії як добавки до мінеральних в'язучих дає можливість отримувати матеріали з П/Ц=0,15–0,20.

До полімерцементних матеріалів на водонерозчинних полімерах відносяться матеріали на основі поліефірних,



поліуретанових, епоксидних та інших смол. Їх поєднання з цементним в'язучим здійснюється за допомогою емульгаторів, наприклад, оксиетилцелюлози (в кількості близько 0,5% маси цементу). Цьому класу полімерцементних матеріалів властиво  $П/Ц=0,1-0,3$ . Вони мають високу міцність, хорошу адгезію і зносостійкість, високу морозо- і корозійну стійкість.

Основний напрям застосування полімерцементних розчинів і бетонів – влаштування підлог в приміщеннях з інтенсивним рухом людей (вестибюлі видовищні споруди, магазини тощо), транспорту на гумових шинах (електрокари, навантажувачі і т.п.) і підвищеними вимогами до чистоти (цехи точного машинобудування, приладобудування і т.п.). Вид полімерної добавки залежить від особливостей експлуатації покриттів: при впливі води і водних розчинів доцільна добавка латексу, при дії масел і нафтопродуктів віддають перевагу добавці полівінілацетатної дисперсії (ПВАД). Рекомендуються такі склади полімерцементних бетонів для покриття підлог, мас. ч.: портландцемент М400 або М500 – 100; ПВАД або стабілізований латекс СКС-65 ГП – 15–20; пісок – 140–200; кам'яна крихта або щебінь – 260–350; лугостійкі пігменти – 5–10; вода – до забезпечення рухомості бетонної суміші 3–4 см.

З бетонів, які виготовлені з сумішей приведених складів, допускається виробництво покриттів із стиранистю не більше  $0,8 \text{ г/см}^2$ , водопоглинанням не більше 2%, коефіцієнтом розм'якшення 0,6...0,7 (для бетону на ПВАД) і 0,8...0,9 (для бетону на латексі СКС-65 ГП) при міцності на стиск 25–30 МПа.

При виготовленні полімерцементних бетонів спочатку заливають в змішувач полімерну дисперсію і воду, додають сухі пігменти, перемішують 3–4 хв і додають цемент. Після додаткового перемішування тривалістю 2–3 хв у полімерцементне тісто вводять заповнювач і суміш перемішують знову до досягнення необхідної однорідності. Виготовлену суміш слід використовувати протягом 2–3 год.

Для ґрунтування основ використовують розбавлену полімерну дисперсію або низьков'язку полімерцементну композицію.



Разом з мінеральними заповнювачами в полімерцементних складах для покриття підлог застосовують тирсу. Склади полімерцементнотирсових сумішей, мас. ч.: портландцемент – 1; полівінілацетатна дисперсія – 0,1–0,2; тирса – 0,1–0,2; пігменти – 0,02–0,05; вода – 0,3–0,5. Консистенція сумішей по зануренню конуса – 3–3,5 см.

Твердіння покриттів з добавкою ПВАД протягом трьох діб здійснюється у вологих, а потім в повітряно-сухих умовах. Покриття з добавкою латексу СКС-65 ГП твердіють у повітряно-сухих умовах із періодичним зволоженням поверхні.

Разом із розчинними і бетонними сумішами для влаштування тонкошарових (2–4 мм) покриттів підлоги застосовують полімерцементні мастики (шпаклівки). До нанесення мастикового покриття основу ґрунтують і після висихання ґрунтовки через 2–4 год наносять шпаклювальний шар, який після твердіння шліфують.

Завдяки високим експлуатаційним властивостям полімерцементних сумішей їх використовують також для влаштування штукатурних покриттів. Такі покриття мають низьку стиранисть, високу корозійну стійкість.

Зовнішнє опорядження будівель можна здійснювати полімерцементними розчинами, склади яких наведених в табл. 14.9.

Таблиця 14.9

Склади матеріалів для опоряджувальних  
полімерцементних розчинів

Компонент	Склад, мас. ч.	
	1	2
Дисперсія ПВАД 50%	1,0	-
Латекс СКС-65 ГП стабілізований	-	1,0
Цемент білий М400	3,8	5,5
Пісок кварцовий білий фракції 0...0,315 мм	10,0	9,0
Мармурова або вапнякова мука	3,3	4,5
Вапно будівельне у вигляді вапняного тіста	1,0	2,7
Азбест 7-го сорту або азбестовий пил	0,4	0,5
Пігменти атмосферолугостійкі	0,05–0,1	0,5–0,1



Для зовнішніх і внутрішніх штукатурок застосовують також гіпсополімерцементні розчини, в які вводять 10–15% латексу СКС- 65 ГП або 15–20% дисперсії ПВАД від маси цементу. При цьому механічна міцність розчинів зростає більш ніж у 2 рази, підвищується морозостійкість, збільшується пластичність розчинових сумішей. Водов'яжуче відношення гіпсополімерцементних розчинів – 0,4–0,55; мастик – 0,8–0,9.

Полімерцементні суміші знаходять широке застосування для опорядження будівельних конструкцій. Полімерцементними мастиками виконують декоративні покриття з одного або декількох шарів товщиною до 5 мм. Декоративні покриття з мастик наносять на заздалегідь підготовлену поверхню вологістю не більше ніж 8%. Підготовка поверхні полягає в усуненні дефектів (тріщин, раковин і т.п.) і очищенні її від пилу та жирних плям.

Для утворення фактурного шару в мастикую вводять кам'яну крихту або фракціонований пісок. Декоративні покриття влаштовують також за допомогою подрібнених матеріалів, які наносять по шару мастики. З цією метою використовують відходи виробництва щебеню, скляну крихту, шлак та інші зернисті матеріали розміром 0,63–3,0 мм. Довговічність покриттів збільшують поверхневою гідрофобізацією.

Полімерцементними мастиками і розчинами кріплять різноманітні облицювальні матеріали. Рекомендуються такі склади розчинів, мас. ч.:

1) для кріплення внутрішніх облицювань: портландцемент М400 або М500 – 1; дисперсія ПВАД – 0,2–0,3; кварцовий пісок – 3; хлорид кальцію – 0,01; вода – до отримання суміші з рухомістю 5–6 см;

2) для кріплення зовнішніх облицювань: портландцемент М400 або М500 – 1; латекс СКС-65ГП – 0,2–0,3; кварцовий пісок – 3; стабілізатор – 0,01–0,02.



## 14.7. Полімерні вироби для облицювань і підлог

Полімерні будівельні вироби класифікують за різними ознаками: за призначенням (для покриття підлог, опорядження стін, будівельних конструкцій та ін.); за основним полімером, що входить в їх склад (полівінілхлоридні, поліетиленові, полівінілацетатні, поліефірні, епоксидні та ін.); за способом виготовлення (пресовані, каландрові, екструзійні, литі та ін.); за структурою (щільні, ніздрюваті, крупнопористі, волокнисті, шаруваті, без підоснови, на підоснові та ін.); за жорсткістю (жорсткі, напівжорсткі, м'які, гнучкі); за зовнішнім видом (рулонні, листові, плиткові, погонажні, мастичні); за фактурою лицьової поверхні (гладкі, рифлені, тиснені та ін.); за кольором (одно- та багатоколірні).

*Жорсткі пластмаси* – тверді, пружні матеріали з модулем пружності понад 1 ГПа; вони мають мале відносне подовження при розриві, для них характерні крихке руйнування. Прикладами жорстких пластмас є фенопласти, амінопласти, гліфталеві полімерні матеріали.

*Напівжорсткі пластмаси* мають модуль пружності понад 0,4 ГПа. Залишкові деформації оборотні й цілком зникають при нагріванні. До напівжорстких пластмас відносяться поліпропілен, поліаміди.

*М'які пластмаси* – це матеріали з низьким модулем пружності (0,02–0,1 ГПа), великим відносним подовженням при розриві. Залишкові деформації оборотні і поволі зникають при нормальній температурі. До м'яких пластмас відносяться полівінілацетат, поліетилен.

*Еластичні пластмаси* – м'які, гнучкі матеріали, модуль пружності яких менше 0,02 ГПа, з великими оборотними деформаціями при розтязі. До цих матеріалів відносяться каучуки, поліізобутилен.

Експлуатаційно-технічні вимоги до полімерних будівельних виробів визначаються їх призначенням (табл. 14.10).



Основні групи пластмас залежно від їх властивостей

Характеристика	Пластмаси
Загального призначення	Полівінілхлорид, поліпропілен, фенопласти, амінопласти
Високоміцні	Поліформальдегід, фенопласти, епоксидні та поліефірні склопластики, полікарбонат, поліуретани, поліаміди
Теплостійкі	Політетрафторетилен, поліпропілен, фенопласти, поліорганосилоксани
Негорючі або такі, що самогасяться	Полівінілхлорид, модифікований поліетилен, політетрафторетилен, модифіковані поліефірні склопластики, фуранові пластмаси
Морозостійкі	Поліізобутилен, етилцелюлоза, поліорганосилоксани, полікарбонат, деякі види каучуків
Електроізоляційні	Поліетилен, полівінілхлорид, полістирол, поліорганосилоксани, фторопласти, епоксидні пластмаси
Прозорі	Поліметилметакрилат, полівінілбутираль, полістирол, ацетилцелюлоза, полікарбонат, поліетілентерфталат, поліефіракрилати і поліефірмалеїнати
Антикорозійні	Каучуки, поліізобутилен, епоксиласти, фуранові пластмаси, полівінілхлорид, інденкумаронові матеріали

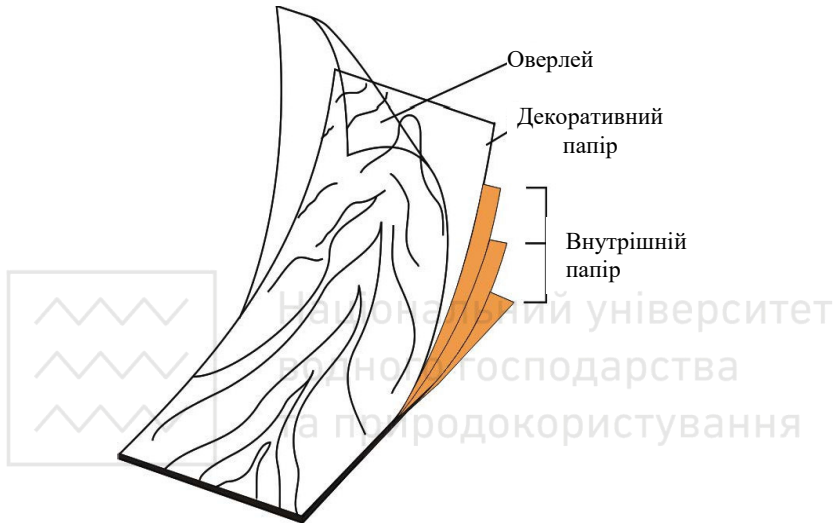
**Облицювальні пластмасові вироби.** Декоративний *паперово-шаруватий пластик* – листовий матеріал, який отримують гарячим пресуванням спеціальних видів паперу, просочених синтетичними термореактивними полімерами (рис. 14.5).

Паперово-шаруватий пластик – гігієнічний, світло- і теплостійкий, твердий і декоративний матеріал. Завдяки достатній хімічній стійкості, він не псується від дії різних миючих засобів, розчинів кислот і лугів, органічних розчинників





і мінеральних масел. Пластик витримує нагрівання до  $130^{\circ}\text{C}$ . Залежно від якості лицьової поверхні і фізико-механічних показників пластик ділиться на марки: А – для застосування в умовах, що вимагають підвищеної стійкості проти зносу; Б – для застосування в менш жорстких умовах; В – для застосування як опоряджувального матеріалу.



**Рис. 14.4.** Декоративний паперово-шаруватий пластик

Розміри листів, мм: довжина –  $(400-3000)\pm 5$ ; ширина –  $(400-1600)\pm 5$ ; товщина 1; 1,3; 1,6; 2; 2,5; 3.

Лицьова декоративна поверхня паперово-шаруватого пластика виконується однотонною або з друкованим малюнком. Вона повинна бути гладкою, глянцевою або матовою. Нелицева поверхня пластика може бути шорсткою. Паперово-шаруватий пластик з друкованим малюнком імітує цінні породи деревини, мармуру, малахіту.

Лист паперово-шаруватого пластика утворюється трьома шарами: лицевим, внутрішнім і тильним (компенсуючим).

Густина пластику – не менше  $1400\text{ кг/м}^3$ .



Перед використанням листи пластика рекомендується витримувати не менше ніж 3 доби в приміщенні з температурою не менше ніж 20° С і вологістю не більше ніж 60%.

Паперово-шаруватим пластиком облицьовують стіни житлових, суспільних і виробничих споруд, транспортних засобів, торгового устаткування, дверних полотен та ін. Пластик можна свердлити і пиляти пилами з дрібними зубцями, а також нарізувати ножицями гільйотин.

Для приклеювання пластика на бетонні, гіпсові та оштукатурені поверхні зазвичай застосовують кумарононаїритові мастики. Перед нанесенням розчину поверхню заґрунтовують 8%-ою полівінілацетатною дисперсією.

Облицьовуючи пластиком поверхні виробів з деревини, застосовують клеї на основі карбамідоформальдегідних, фенолформальдегідних і полівінілацетатних полімерів, а також латексів.

*Склопластики* – матеріали з скляних волокон або тканин, просочених синтетичним полімером. Залежно від виду і розміщення наповнювача розрізняють склопластики на основі орієнтованих волокон, тканин або матів.

У будівництві знаходять застосування конструктивний склотекстоліт і листові склопластики (рис. 14.6).



**Рис. 14.6.** Вироби із склопластиків



*Склотекстоліт* отримують гарячим пресуванням пакетів з оброблених полімерним в'язучим полотнищ скляної тканини. Основним в'язучим для склотекстоліту є фенолформальдегідні смоли резольного типу.

Довжина листів і плит – 2400 мм, ширина – 800–1150 мм, товщина – 0,5–1,5 мм.

Фізико-механічні властивості склотекстоліту різних марок:

Густина, кг/м <sup>3</sup> , не більше	1850–1900
Водопоглинання виробів різної товщини %, не більше	0,6–3
Границя міцності, МПа, не менше:	
– на стиск паралельно шарам	54–88
– на розтяг по основі	211–392

*Листовий склопластик* випускають трьох типів: плоский і хвилястий з подовжною або поперечною хвилею; кожен тип ділиться на марки А і В.

Довжина листів плоского і хвилястого склопластика з подовжною хвилею 1000–6000, ширина не менше ніж 800, товщина 1,5–2,5 мм; довжина листів з поперечною хвилею не більш ніж 4000, ширина не менше ніж 800, товщина 1,5–2,5 мм.

Склопластик виготовляють непрозорим (лист 1 мм завтовшки пропускає до 50% падаючого на нього світла), напівпрозорим (50–60%) і прозорим (60–85%).

Листовий поліефірний склопластик характеризується хімічною стійкістю, легко піддається механічній обробці, може експлуатуватися в інтервалі температур від -50 до +80° С.

Фізико-механічні властивості листового поліефірного склопластика різних марок:

	А	Б
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1300	1200
Водопоглинання за 24 год., не більше	1,2	0,5
Границя міцності на розтяг, МПа, не менше	50	40



Листовий склопластик використовують для декоративного оздоблення і виготовлення світлопрозорих легких огороджуючих конструкцій стін і покриттів.

Листи з неластифікованого полівінілхлориду (вініпласту) застосовують для облицювання внутрішніх стін виробничих споруд, де на стіни діють різні кислоти й луги. Їх виготовляють з неластифікованої полівінілхлоридної композиції з добавками допоміжних речовин (стабілізатори, мастила та ін.) пресуванням або екструзією. Температурний діапазон експлуатації листів від 0 до 60° С за відсутності дії на пластик ударів і вібрації. Допускається нижня межа експлуатації до -50° С. Листи випускають завдовжки не менше 1300 мм, завширшки 700 мм і завтовшки 1–20 мм.

Різновидом полівінілхлоридних листів є облицювальні рельєфні листи, які виготовляють з полівінілхлориду методом вакуумформування.

Полівінілхлоридні декоративні листи «Полідекор» (рис. 14.7) виготовляють методом вакуумформуванням жорсткої полівінілхлоридної плівки, заздалегідь з'єднаної з опоряджувальною плівкою. Листи можуть мати поверхню, що імітує різблення по дереву або чеканку по металу. Завдяки оздобленню листів друкованою плівкою колір і фактура їх поверхні мало відрізняються від імітованих матеріалів.

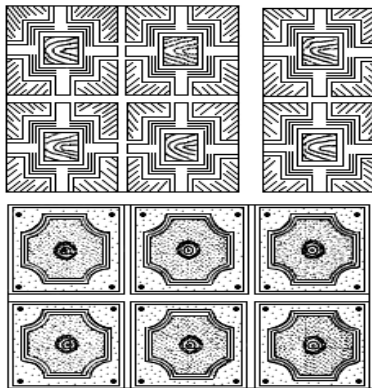


Рис. 14.7. Листи «Полідекор»



*Екструдований полістирол* загального призначення виготовляється у вигляді прозорих, «молочних» і кольорових листів завдовжки 500–3500, завширшки 600–2000 і завтовшки 1,5–6 мм. Екструдований полістирол має густину 1050 кг/м<sup>3</sup>, прозорість – 90%, відносне подовження 1–3%, границю міцності на розтяг 45–55, при згині 75–80 МПа, ударну в'язкість 14 кДж/м<sup>2</sup>. Він водостійкий, стійкий до дії розчинів лугів і багатьох кислот. Листи з екструдованого полістиролу застосовують для влаштування світлопрозорих огорож, душових кабін, оранжерей, теплиць та ін.

Недоліками полістиролу, є горючість і здатність руйнуватися під дією багатьох органічних розчинників і масел.

*Поліпропіленовими листами* облицьовують внутрішні стіни громадських, адміністративних і промислових будівель. Листи виготовляють методом екструзії, випускають завдовжки 1600–2000 мм, завширшки 800–1200 мм і завтовшки 1,5–4 мм. Поліпропіленовим листам властива підвищена теплостійкість, вони можуть працювати при температурі до 100° С, густина листів – 900 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності на розтяг 32 МПа, відносне подовження 300%, ударна в'язкість 25,40 кДж/м<sup>3</sup>. Поліпропіленові листи мають підвищену крихкість, тому їх не рекомендується кріпити цвяхами чи шурупами.

Листовий поліетилен застосовується як облицювальний і антикорозійний матеріал. Виготовляється методом екструзії з поліетилену низької і високої щільності, (відповідно високого і низького тиску).

*Скло органічне технічне (оргскло)* являє собою полімерний матеріал на основі метилового ефіру метакрилової кислоти. Акрилове скло стійке до атмосферних дій, не руйнується під дією ультрафіолетових променів, удароміцне і морозостійке. Залежно від призначення випускають безбарвне прозоре, кольорове прозоре і кольорове непрозоре оргстекло.

Марки скла: ТОСП – скло органічне технічне пластифіковане, ТОСН – скло органічне технічне неластифіковане.



Технічне органічне скло виготовляють у вигляді листів прямокутної форми з максимальними розмірами до 1250 мм і завтовшки від 0,5 до 24 мм.

Фізико-механічні показники оргскла повинні відповідати нормам, наведеним в табл. 14.11.

Таблиця 14.11

Фізико-механічні властивості технічного органічного скла

Показник	Норма для марок прозорого скла		
	безбарвного		кольорового
	ТОСП	ТОСН	ТОСП
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1180	1180	1180
Міцність на розрив, МПа, не менше	55,0	69,0	59,0
Відносне подовження при розтягуванні %, не менше	2	2,5	2
Лінійна усадка %	3,5	3,5	3,5
Коефіцієнт пропускання %, не менше (для безбарвного скла з номінальною товщиною до 30мм)			
Температура розм'якшення °С, не нижче, для листів завтовшки:			
3...6 мм	92	110	-
7...24 мм	92	112	-
25...200 мм		113	-
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup> , не менше, для листів завтовшки			
3...4 мм	8,8	8,8	7,8
5...24 мм	13	15	12
25...200 мм	-	15	-

З плиткових виробів для внутрішнього облицювання стін і перегородок застосовуються переважно полістирольні плитки.

Полістирольні облицювальні плитки випускають трьох видів: квадратні з розмірами 100x100x1,25 і 150x150x1,35, прямокутні – 300x100x1,35 і фризіві – 100x20x1,25; 100x50x1,25, 150x20x1,35; 150x50x1,35 мм.



Лицьова поверхня плиток повинна бути гладкою, глянцевою, без тріщин, подряпин, напливів і здуття. Плитки виготовляють зазвичай білого або інших кольорів.

На тильній стороні плитки по периметру передбачений борт 5 мм шириною і 0,25 мм заввишки. Решта тильної поверхні рифлена.

Полістирольні плитки застосовують для облицювання внутрішніх стін і перегородок приміщень житлових, суспільних та виробничих будівель з підвищеним вологісним режимом експлуатації. Забороняється облицювання полістирольними плитками стін і перегородок з легкозаймистих матеріалів, а також приміщень з нагрівальними приладами відкритого вогню, дитячих установ і сходових кліток.

Поверхня під облицювання повинна бути сухою (вологість не більше 8%) і гладкою. Плитки наклеюють мастиками на основи каніфольної, перхлорвінілової, інденкумаронової, карбонільної та інших смол.

Поряд із полістирольними для облицювання стін застосовують *фенолітові плитки*, які отримуються пресуванням суміші з фенолформальдегідних смол, отверджувача і наповнювача (деревна мука, каолін, тальк та ін.). Розміри фенолітових плиток – 100x100 і 150x150 мм, товщина 1,5 мм. Забарвлення плиток різноманітне і залежить від виду пігменту, введеного до складу прес-матеріалу. Фенолітові плитки характеризуються високою механічною міцністю і хімічною стійкістю, вони термостійкі, паронепроникні, водо- і морозостійкі.

Фенолітові плитки призначені для облицювання внутрішніх стін лабораторій, виробничих цехів та інших приміщень, де можлива дія на облицювання агресивних хімічних середовищ.

*Профільні погонажні вироби* (рис. 14.8) виготовляють способом екструзії на основі полівінілхлориду або його співполімерів з різними добавками.

До профільних полівінілхлоридних виробів, що широко застосовуються в будівництві для опорядження стін та стель різних приміщень відносяться *пластикові панелі (вагонка)*. Вони характеризуються комірчастою поздовжньою внутрішньою структурою, завдяки чому мають високі звуко- і теплоізолюючі



властивості. Стандартні розміри панелей: довжина – від 2500 до 6000 мм, ширина 100–300 мм, товщина 8–12 мм. Між собою панелі з'єднуються за принципом «паз-гребінь» або «паз-паз».



**Рис. 14.8.** Профільні погонажні вироби

Пластикові панелі мають достатньо високу міцність, волого- і теплостійкість, широкую колірну гамму, характеризуються простотою монтажу. Вони зберігають необхідні експлуатаційні властивості на протязі не менше 10 років у діапазоні температур від  $-50$  до  $50^{\circ}\text{C}$ .

**Рулонні і плиткові полімерні матеріали для підлог.** Рулонні і плиткові полімерні матеріали для підлог класифікують за основною сировиною, структурою, жорсткістю та ін.

*Рулонні полімерні матеріали* за видом основної сировини поділяють на полівінілхлоридні, алкідні, гумові, коллоксилінові і на основі синтетичних волокон. За структурою вони бувають безпідосновні (одно- і багатошарові) і з підосовною (тканинною, плівковою і теплозвукоізоляційною).

Всі рулонні матеріали відносяться до гнучких (тріщини не утворюються при вигинанні зразка навколо стержня діаметром менше ніж 100 мм). Вони виготовляються одно- та багатоколірними з гладкою, рифленою, витисненою і ворсовою фактурою.

Найчастіше у будівництві застосовуєть *полівінілхлоридні лінолеуми*. Їх виготовляють з полівінілхлориду, пластифікаторів, наповнювачів, пігментів та різноманітних добавок каландровим, екструзійним чи вальцовим способами, а на підоснові – способом просочування.





Полівінілхлоридний багато- і одношаровий лінолеум без підоснови використовують для покриття підлог (рис. 14.9) приміщень житлових, суспільних і промислових будівель, крім приміщень, пов'язаних з інтенсивним рухом, дією абразивних матеріалів, жирів і масел.

Лінолеум залежно від структури виготовляють трьох типів:

БП – багатошаровий з лицьовим шаром із прозорої полівінілхлоридної плівки з друкованим малюнком;

Б – багатошаровий одноколірний або мармуровидний;

О – одношаровий одноколірний або мармуровидний.

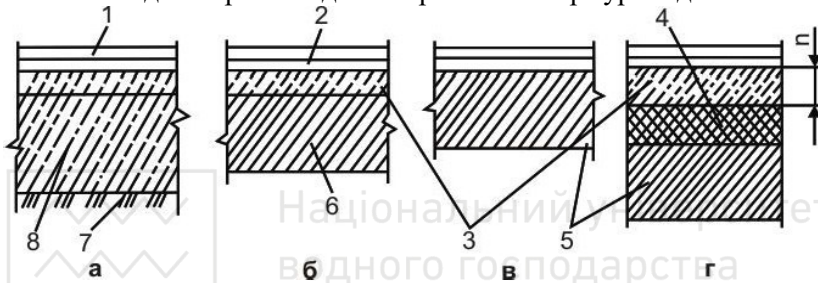


Рис. 14.9. Підлоги з лінолеуму:

а – на ґрунті; б – на перекритті зі стяжкою; в – на плиті перекриття;

г – на перекритті зі стяжкою, укладеною на тепло- або звукоізоляційному шарі;

1 – покриття; 2 – клейовий прошарок; 3 – стяжка; 4 – тепло- або звукоізоляційний шар; 5, 6 – плити перекриття; 7 – ґрунт основи; 8 – бетонний підстилаючий шар

Довжина полотнища в рулоні повинна бути не менше 12 м. Рулони можуть складатися з двох частин при довжині однієї з них не менше 3 м. Загальна кількість складених рулонів у партії не повинна перевищувати 10%.

Розміри лінолеуму повинні бути, мм:

ширина	1200–2400
загальна товщина для всіх типів	1,5 і 1,8
товщина лицьового шару	
для лінолеуму типу Б, не менше	0,4
для лінолеуму типу БП, не менше	0,2



Допускається виготовляти лінолеум типу Б загальною товщиною 2,1 мм. Ширина лінолеуму визначається специфікацією споживача, узгодженою з підприємством-виробником.

Показники фізико-механічних властивостей лінолеуму повинні відповідати нормам наведеним в табл. 14.12.

Таблиця 14.12

Показники фізико-механічних властивостей  
полівінілхлоридного лінолеуму без підоснови

Показник	Типи		
	БП	Б	О
Стираність, мкм, не більше	60	100	120
Деформативність, мм, не більше:			
абсолютна деформація	0,40	0,50	0,60
абсолютна залишкова деформація	0,20	0,25	0,25

Поряд із звичайним, без підоснови, виготовляються також маслобензостійкий, важкозаймистий лінолеум і лінолеум з антистатичними властивостями.

Полівінілхлоридний лінолеум на тканий і нетканій підоснові використовують для підлог приміщень житлових, суспільних і промислових будівель. Його не рекомендується застосовувати в умовах інтенсивного руху, дії абразивних матеріалів, жирів, масел і води.

За видом лицьової поверхні цей вид лінолеуму виготовляють трьох типів:

А – багатоколірний (мармуровидний) або одноколірний з лицьовим захисним шаром з полівінілхлоридної плівки;

Б – багатоколірний з лицьовим захисним шаром з прозорого полівінілхлоридного шару;

В – багатоколірний чи одноколірний з наповненим лицьовим захисним шаром.

Розміри лінолеуму, мм:

Довжина	12000; 24000
Ширина	1200; 2400
Товщина загальна	1,6; 2,0
Товщина захисного шару лінолеуму типу А	0,15; 0,20; 0,25; 0,30



Показники фізико-механічних властивостей лінолеуму  
приведені в табл. 14.13.

Таблиця 14.13

Нормовані показники фізико-механічних властивостей  
полівінілхлоридного лінолеуму на тканинній підоснові

Показник	Типи		
	А	Б	В
Стіраність, мкм, не більше	50	90	100
Абсолютна залишкова деформація, мм, не більше	0,35	0,45	0,45
Зміна лінійних розмірів, %, не більше	0,8	0,8	0,8
Питомий поверхневий електричний опір, Ом, не більше	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$

*Полівінілхлоридний лінолеум на теплозвукоізолюючій підоснові* складається з двох шарів: верхнього та нижнього. Верхній шар лінолеуму виготовляють з полівінілхлориду, наповнювачів, пігментів, пластифікаторів та різних добавок. Він може виготовлятися з прозорою лицьовою полівінілхлоридною плівкою і друкованим малюнком. Нижній шар лінолеуму – це нетканий голкопробивний матеріал, який служить теплозвукоізолюючою підосновою.

Лінолеум призначений для влаштування підлог приміщень житлових будівель. Застосовують його в приміщеннях громадських і виробничих будівель за відсутності інтенсивного руху і дії абразивних матеріалів, жирів, масел і води.

*Полівінілхлоридний лінолеум спінений на тканинній підоснові* виготовляють багатоштриховим з друкованим малюнком, захищеним прозорим полівінілхлоридним шаром. Використовують для підлог приміщень житлових будинків; допускається його застосування у приміщеннях громадських будівель за відсутності інтенсивного руху та дії абразивних матеріалів, жирів і масел. Лінолеум випускають у рулонах завдовжки 12 м, завширшки 1350–1600 мм, завтовшки 3,5 мм. Фізико-механічні показники лінолеуму: стіраність – не більше



ніж 90 мкм; абсолютна залишкова деформація – не більше ніж 1,7 мм; зміна лінійних розмірів – не більше ніж 0,5%.

*Алкідний (гліфталевий) лінолеум* виготовляють з алкідних смол, наповнювачів і пігментів на підоснові з тканих і нетканих матеріалів. Використовують його для покриття підлог приміщень житлових, громадських, дитячих, лікувально-профілактичних і виробничих будівель, вагонів метрополітену та інших поверхонь, які не зазнають впливу кислот, лугів і розчинників. Лінолеум випускають марок А і Б 15...30 м завдовжки, 2000 ( $\pm 10$ ) мм завширшки, 2,5; 3,0; 4,0 та 5,0 ( $\pm 2$ ) мм завтовшки. Підоснови — антисептовані льоно-джутокенафні тканини або неткані матеріали. Лінолеум випускають одно- чи багатоколірним з друкованим малюнком та гладенькою лицьовою поверхнею.

До недоліків алкідного лінолеуму належать підвищена крихкість і схильність до тріщин і зламів. Тріщини з'являються звичайно при неправильному транспортуванні, зберіганні та укладанні. Алкідний лінолеум слід зберігати тільки у вертикальному положенні, укладати при температурі не нижче 10° С. При мінусовій температурі лінолеум стає крихким.

*Лінолеум гумовий багатошаровий – релін* – виготовляють з гумових сумішей на основі синтетичних каучуків. Використовують для покриття підлог приміщень житлових, громадських і виробничих споруд, а також у вагонах наземного транспорту (рис. 4.10).

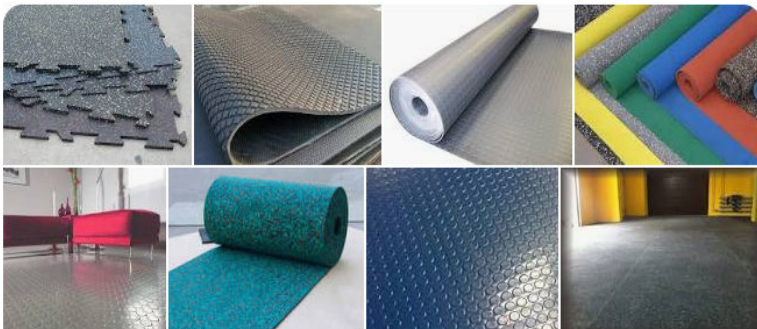


Рис. 14.10. Релін



Залежно від основи гумових сумішей релін поділяють на типи: А – для покриття підлог приміщень житлових, громадських, виробничих будівель та у вагонах наземного транспорту; Б – для покриття підлог приміщень громадських і виробничих будівель, обладнаних примусовою вентиляцією; В (антистатичний) – для покриття підлог приміщень хірургічних операційних і спеціальних лабораторій.

Розміри реліну: ширина – 1000, 1200, 1400, 1600 мм; товщина – 3 мм.

Фізико-механічні показники реліну: втрата маси при стиранні – не більше ніж  $0,05 \text{ г/см}^2$ ; твердість за кульковим твердоміром – не більше 1 мм; пружність – не менше 75%; водовбирання – не більше 1%; гнучкість – при випробуванні на стержні діаметром 20 мм не повинні з'являтися тріщини.

Експлуатаційні властивості реліну зберігаються в інтервалі температур від  $-25$  до  $+80^\circ \text{C}$ . Недоліками є специфічний запах, слабе зчеплення з клеючими мастиками. Застосування реліну допускається за умови примусової вентиляції (у громадських та адміністративних будівлях). У житлових приміщеннях допускається укладати релін на основі каучуків, які відрізняються незначною токсичністю, малою електризованістю та стійкістю проти старіння.

*Релін з пористим шаром* складається з верхнього зносостійкого декоративного шару, середнього пористого теплозвукоізолюючого і нижнього шарів. Усі шари реліну повинні бути добре вулканізованими, розшарування не допускається.

Релін з пористим шаром призначений для покриття підлог кухонь, санвузлів, коридорів та інших підсобних приміщень. Не рекомендується використовувати його в приміщеннях з можливою дією кислот, лугів, жирів, розчинників та нафтопродуктів.

*Колоксиліновий (нітроцелюлозний) лінолеум (НЛГ)* – рулонний одношаровий матеріал без підоснови, що виготовляється методом вальцювання із сировинної суміші, яка містить полімер, пластифікатори, наповнювачі, барвники та антипірен.



Полімерною сировиною для лінолеуму є колоксилін – продукт нітрації деревної або бавовняної целюлози. Якість колоксилінового лінолеуму залежить від складу наповнювачів. Кращі сорти лінолеуму дістають, наповнюючи масу азбестом. Більш низька якість лінолеуму із наповнювачами з гіпсу, піритних недогарків тощо. Цей лінолеум використовують для покриття підлог приміщень житлових, громадських і виробничих будівель. Не допускається його застосування в приміщеннях, де працюють з кислотами, лугами, розчинниками, а також там, де на лінолеум діють вода, жири, масла, абразивні матеріали (пісок, металева стружка), в приміщеннях з температурою нижче  $0^{\circ}\text{C}$  і вище  $50^{\circ}\text{C}$ .

Лінолеум НЛГ випускають марок А і Б. Постачають у рулонах 12–30 м завдовжки, 1000, 1100, 1200 та 1400 мм завширшки, 2 мм завтовшки.

Фізико-механічні показники лінолеуму НЛГ: стиранистість – не більше ніж 350 мкм, абсолютна деформація при вдавлюванні – не більше ніж 0,7 мм, абсолютна залишкова деформація – 0,35 мм; усадка – максимум 0,5%, водовбирання – не більше ніж 9%; гнучкість – при випробуванні на стержні діаметром 30 мм не повинні з'являтися тріщини.

Колоксиліновий лінолеум має червоний або коричневий колір. Він еластичний, вологостійкий, достатньо гнучкий, в тому числі при мінусових температурах (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ), його недоліком є підвищена займистість. Цей лінолеум не можна застосовувати у видовищних і дитячих закладах та в місцях, де працюють з розчинниками, кислотами та відкритим вогнем.

*Килими з полівінілхлоридного лінолеуму* (рис. 4.11) виготовляють на спеціалізованих лініях при температурі повітря не нижче  $15^{\circ}\text{C}$ . Вони призначені для покриття підлог в приміщеннях житлових і суспільних будівель з сухим і нормальним вологісним режимом експлуатації (крім дитячих дошкільних установ). Перед зварюванням та після зварювання килимів, розгорнуті полотна лінолеуму витримують у приміщенні не менше двох діб.



Рис. 14.11. Килими з лінолеуму

*Синтетичні килимові покриття* замінюють лінолеум, паркет та інші матеріали.

Вони знаходять застосування для влаштування підлог у житлових і офісних приміщеннях, будівлях підвищеного класу (студіях, санаторно-курортних і дитячих установах, готелях). Синтетичні килими залежно від матеріалу бувають капроновими, поліамідними, шерстяними та ін., залежно від технології – тканими, ворсопрошивними (тафтинговими), клейовими (нетканими) і голкопробивними (повстяними).

Килимові покриття можуть бути однотонними або мати багатоколірний малюнок, гладку або рельєфну поверхню. Остання створюється за рахунок поєднання ворсу різної висоти, тисненням та іншими способами.

*Полімерні плиткові матеріали* забезпечують велике число дизайнерських рішень, можливість легкого ремонту і доступу до комунікацій, укладених під покриттям. Їх розділяють за видом основної сировини, за кольором (одно- і багатоколірні), формою (квадратні, прямокутні, фігурні), фактурою лицевої поверхні (гладкі, рифлені).

*Полівінілхлоридні плитки* виготовляють одно- і багатошаровими завтовшки 1,5; 2,0; 2,5 мм, вирублюючи металевим штампом з немірних відрізків лінолеуму, отриманого каландровим або вальцовим способами.

Полівінілхлоридні плитки призначені для покриття підлог приміщень житлових, суспільних і виробничих будівель, на які не діють абразивні матеріали, жири і масла. Їх виготовляють



одно- і багатоколірними з гладкою або тисненою лицьовою поверхнею.

*Плитки «Превініл»* виготовляють методом пресування з полівінілхлориду, наповнювачів, пігментів, пластифікаторів, добавок і подрібнених обрізків полівінілхлоридних матеріалів. Використовують для покриття підлог приміщень суспільних і виробничих споруд.

*Кумаронові плитки* за розмірами і показниками фізико-механічних властивостей близькі до полівінілхлоридних, проте жорсткіші та зносостійкі. Плитки виготовляють з суміші інденкумаронового полімеру, порошкоподібного та волокнистого наповнювачів і пластифікатора.

Плитки відрізняються міцністю, хімічною стійкістю, добре миються і не горять. Їх стиранисть – 0,04–0,08 г/см<sup>2</sup>, водопоглинання – не більше ніж 1%, коефіцієнт теплопровідності – майже 0,14 Вт/(м·°С).

*Фенолітові плитки* отримують пресуванням фенолоальдегідних преспорошків, що складаються з суміші полімеру, наповнювача і спеціальних добавок. Розмір плиток – 100×100, 150×150 мм, товщина – 4–5 мм (на тильній стороні є ребра жорсткості).

Плитки мають різноманітне забарвлення. Вони водо-, тепло-, морозо-, кислото-, термостійкі, високоміцні і зносостійкі. Густина – до 1400 кг/м<sup>3</sup>, стиранисть 0,02–0,04 г/м<sup>2</sup>, границя міцності на стиск – 120 МПа, на згин – 50...70 МПа. Водопоглинання плиток за 24 год. становить 0,02%, максимальна температура експлуатації 120–130° С. Застосовують їх для влаштування підлог у приміщеннях з високоагресивним середовищем та значними навантаженнями.

*Гумові плити* виготовляють методом пресування гумових сумішей на основі синтетичних каучуків і крихт зі зношених шин. Плитами покривають підлоги у виробничих приміщеннях. Їх застосовують також для опорядження терас, балконів, лоджій та ін. Не допускається використання їх в приміщеннях з постійною дією кислот, лугів, жирів.





## 14.8. Лакофарбові матеріали

**Загальні відомості.** До лакофарбових відносяться природні або штучні матеріали, які наносять у в'язкорідкому стані тонким шаром на будівельні конструкції і деталі з метою утворення плівки для захисту їх від шкідливого впливу оточуючого середовища, архітектурно-художнього оформлення і покращення санітарно-гігієнічних умов. Їх поділяють на основні і допоміжні. Основні – це фарби, лаки та емалі, допоміжні – ґрунтувальні та шпаклювальні суміші, які використовують при підготовці поверхонь для фарбування, розчинники, розріджувачі тощо. Лакофарбові матеріали розрізняють також по типу плівкоутворюючих речовин (олійні, глифталеві, епоксидні, вапняні, силікатні та ін.), по виду рідкої фази (водні і безводні), відношенню до дії води (водо- і неводостійкі), переважному призначенню (хімічно стійкі, термостійкі, електроізоляційні та ін.) (табл. 14.14).

Таблиця 14.14  
Класифікація малярних сумішей за умовами експлуатації покриття

Суміші	Переважне призначення за умовами експлуатації покриття
Атмосферостійкі	Покриття, стійкі до атмосферних впливів в різноманітних кліматичних умовах, які
Обмежено-атмосферостійкі	Покриття, які експлуатуються під навісом і в середині неопалюваних і опалюваних
Консерваційні	Покриття, які використовуються для тимчасового захисту поверхні, що фарбується, в процесі виробництва, транспортування і зберігання виробів. Покриття, стійкі до дії прісної води та її
Спеціальні	Покриття, які мають специфічні властивості: стійкі до рентгенівських та інших випромінювань, які світяться, терморегулюючі, протиобростаючі, для фарбування гуми, пластмас тощо



Суміші	Переважне призначення за умовами експлуатації покриття
Маслобензостійкі	Покриття, стійкі до дії мінеральних масел і консистентних мастил, бензину, гасу та інших нафтових продуктів, які вміщують не більше 20% ароматичних речовин
Хімічно стійкі	Покриття, стійкі до дії кислот, лугів та інших рідких хімічних реагентів та їх пари
Термостійкі	Покриття, стійкі до дії підвищених
Електроізоляційні	Покриття, на які діють електричні напруги, електрична дуга і поверхневі розряди

Найбільш поширеними в будівництві є полімерні лакофарбові матеріали.

*Фарби* використовують для створення непрозорого кольорового декоративного і захисного покриття, що приховує текстуру матеріалу, який фарбується. В склад фарб входять зв'язуючі або плівкоутворюючі та фарбуючі речовини – пігменти. Вони можуть містити наповнювачі, завдяки яким можна знизити витрату пігментів, та спеціальні компоненти, котрі покращують технологічні та експлуатаційні властивості матеріалів (прискорювачі твердіння – сиккативи, розріджувачі тощо).

*Лаки* – це дисперсії природних або синтетичних полімерів, бітуму, оліфи в легких розчинах. При необхідності в склад лаків вводять пластифікатори, сиккативи та інші добавки. Лаки застосовуються для створення прозорого безфарбового покриття та остаточного опорядження поверхні, що фарбується, а також для захисту фарбової плівки від механічних пошкоджень.

*Емалеві фарби (емалі)* – суспензії пігментів в полімерних або олійних лаках.

*Грунтовочні суміші* забезпечують необхідне зчеплення між зачищеною поверхнею і покриттям. Звичайно грунтовки



складаються із таких матеріалів, що і фарби, але мають менший вміст пігментів.

*Шпатлівки* застосовують для заповнення пор та вирівнювання поверхонь для фарбування. Поряд з розчином клеючої речовини вони вміщують значну кількість наповнювача, як правило, крейди.

До шпатлівок по складу близькі *підмазочні пастки*, які відрізняються більшим вмістом клею та інших зв'язуючих, які покращують їх адгезійні властивості, тобто зчеплення з основою.

**Основні компоненти лакофарбових матеріалів.** Плівка лакофарбового покриття утворюється зв'язуючим, яке входить в склад як підготовчих, так і лицевих шарів. В якості зв'язуючих можуть бути застосовані матеріали як органічного так і неорганічного походження. Неорганічними зв'язуючими можуть служити різні види мінеральних в'язучих матеріалів. З органічних зв'язуючих широко застосовуються оліфи і синтетичні полімери.

На основі *оліф* виготовляють масляні (олійні) фарби. Оліфи ділять на три групи: натуральні, ущільнені (напівнатуральні) і штучні (синтетичні).

Натуральні оліфи – продукти термічної обробки при 150–300° С рослинних (в основному льняних або конопляних) олій з введенням для прискорення твердіння 2–4% *сиккативів* – марганцевих або кобальтових солей жирних кислот. Ущільнені, або напівнатуральні оліфи отримують розчиненням рослинних олій, з наступним ущільненням оксидацією або полімеризацією. Штучні оліфи виготовляють термічною або хімічною обробкою полімерів часто з добавками рослинних олій. Прикладом може служити гліфталева оліфа.

Всі оліфи мають властивість тверднути на повітрі в тонкому шарі на протязі 12–24 год. Найбільш високою якістю відрізняються натуральні оліфи, які використовуються для приготування високоякісних олійних фарб для зовнішнього та внутрішнього фарбування металевих конструкцій, покрівлі та столярних виробів.



Із синтетичних полімерів, що використовуються як зв'язуючі лаків, фарб, і емалей, найбільш ефективні фенолформальдегідні, карбамідні, перхлорвінілові, полівінілацетатні і ряд інших високомолекулярних сполук.

Водонерозчинні зв'язуючі використовуються в комбінації з органічними розчинниками або у вигляді водної емульсії. Органічні розчинники, як правило, токсичні, їх використання вимагає спеціальних заходів по техніці безпеки та промислової санітарії. Водоемульсійні фарби не мають запаху, нешкідливі, легко наносяться на поверхню, в тому числі і вологу, швидко висихають. Але вони утворюють менш щільні покриття, менш стабільні і морозостійкі, можуть піддаватися мікробіологічному руйнуванню.

Основними властивостями, що визначають якість зв'язуючих в лакофарбових матеріалах, є в'язкість, густина, колір, прозорість, час затверднення, адгезія, твердість, гнучкість, здатність шліфуватися та поліруватися.

Фарбуючі матеріали, крім зв'язуючих вміщують *пігменти* – тонкодисперсні матеріали, нерозчинні в зв'язуючій речовині і розчиннику та здатні в суміші з нею утворювати непрозорі покриття різноманітних кольорів і відтінків. При виборі пігментів враховують колір, світло- і атмосферостійкість, стійкість до дії зв'язуючих, маслоємність, а також стійкість проти впливу сірководню та інших хімічних сполук.

Пігменти поділяють на білі, чорні і з різними відтінками сірі, червоні, жовті, зелені, сині та коричневі. В табл. 14.15 приведені мінеральні пігменти поширені в будівництві.

Основними вважаються пігменти червоного, синього і жовтого кольорів. Інші кольори можна одержати, змішуючи пігменти між собою в різних пропорціях. Наприклад, зелений колір досягається змішуванням синього і жовтого пігментів, фіолетовий – червоного і синього, оранжевий – червоного і жовтого тощо. Здатність пігментів надавати при змішуванні один одному своє забарвлення називають фарбуючою здатністю або інтенсивністю.



Таблиця 14.15

Область застосування мінеральних пігментів

Пігменти	Колір	Область застосування
Крейда	Білий	Ґрунтівки і шпатлівки, водні
Білила цинкові	Білий	Масляні і силікатні фарби
Литопон сухий	Білий	Масляні фарби
Білила титанові	Білий	Масляні фарби та емалі
Перекис	Чорний	Водні та безводні фарбові суміші
Сажа	Чорний	Безводні суміші
Графіт	Сірий	Водні та безводні фарбуючі
Сурик залізний	Червоний	Водні та безводні фарбуючі
Мумія суха	Червоний	Водні та безводні фарбуючі
Охра суха	Жовтий	Водні та безводні фарбуючі
Крон цинковий	Жовтий	Масляні, емалеві та клеєві фарби
Оксид хрому	Зелений	Водні та безводні фарбуючі
Ультрамарин		Водні та безводні фарбуючі
Лазур залізна	Синій	Водні нелужні суміші

*Фарбуючу здатність* визначають за допомогою розбілів, тобто змішуванням пігментів з послідовно зростаючою дозою крейди для водних, або білил для олійних сумішей і порівняльною оцінкою отриманих вифарбувань. Пігменти малої інтенсивності, наприклад охра, стають малопомітними вже при розбілах 1:15, з високою, наприклад лазурь, зберігають свій відтінок при розбілах 1:2017 і вище. Такі інтенсивні пігменти для розрідження і здешевлення змішують з наповнювачами – крейдою, каоліном, тощо.

Друга важлива характеристика пігментів – *покривність* або властивість покривати – доза пігменту, необхідна для повного покриття раніше нанесеного на поверхню шару контрастної фарби. Пігменти низької інтенсивності разом з тим можуть мати високу покривність. Наприклад, охра має велику покривність (60–90 г/см<sup>2</sup>) при малій фарбуючій здатності, лазур – навпаки. Покривність збільшується з підвищенням різниці показників заломлення світла між пігментом і зв'язуючим.



Для покращення ряду властивостей і здешевлення фарбуючих сумішей використовують наповнювачі.

**Основні види фарб та лаків.** *Емульсійні фарби* – пігментовані емульсії полімерів у воді. Основними представниками фарб цієї групи є полівінілацетатні, стіролбутадієнові, акрилатні, гліфталеві водорозріджувані суміші. В емульсійні фарби крім пігментів додають емульгатори та інші допоміжні речовини. Твердіння емульсійних фарб йде в міру розпаду емульсії, внаслідок чого вже через 1–2 години утворюється міцне, світло- та водостійке газопроникне покриття. Емульсійні фарби пожежно- та вибухобезпечні, не токсичні. Їх можна наносити на непросохлі поверхні штукатурки чи бетону, враховуючи вологопроникність утворюваної плівки. Емульсійні фарби використовують для зовнішнього і внутрішнього фарбування по цеглі, каменю, бетону, штукатурці і дереву.

*Масляні фарби* являють собою суспензії пігментів в оліфі. В їх склад при необхідності додають наповнювачі, сикативи та інші добавки. Фарби виготовляють густотертими або придатними до використання. Вони застосовуються для різних видів фарбування по металу, дереву, штукатурці, бетону з урахуванням якості оліфи та виду пігменту. Так, наприклад, суміші з використанням оліфи-оксоль придатні для фарбування поверхонь в середині приміщень, на відміну від фарб на натуральній та гліфталевій оліфах, які призначені для нанесення як на внутрішні, так і зовнішні покриття.

Використання литопонових білил, які темніють під дією світла, не дає можливості використовувати масляні фарби для зовнішніх малярних робіт, а свинцевих білил, що вміщують шкідливі речовини, – для фарбування внутрішніх поверхонь житлових приміщень.

*Емалеві фарби* є різновидом сумішей, зв'язуючими для яких служать розчини синтетичних полімерів в органічних розчинниках. Процес плівкоутворення емалевих фарб йде в міру випаровування органічних розчинників.

У будівництві поширені перхлорвінілові, пентафталеві, гліфталеві, епоксидні та інші емалеві фарби. Кожна з них має



свою раціональну область використання. Так пентафталеві емалі раціонально використовувати для покриття дерев'яних підлог, перхлорвінілові для фарбування фасадів будинків, гліфталеві – внутрішніх елементів будинків по шпатлівці, дереву, металу.

Розчиняють емалеві фарби бензином, сольвентом, скіпідаром, ксилолом, толуолом і деякими іншими речовинами.

*Лаки*, що використовуються для будівельних робіт діляться на наступні групи: олійно-смоляні, безолійні синтетичні, на основі бітумів, нітро- і етилцелюлозні, спиртові.

Властивості та галузь використання лаків визначається властивостями органічних зв'язуючих. Так, лаки на основі сечовиноформальдегідних, поліефірних полімерів використовуються для фарбування паркетних підлог, для опорядження фанери, столярних виробів, деревностружкових плит. Пентафталеві лаки застосовують для лакування зовнішніх і внутрішніх покриттів по дереву, масляні фарби – по металу; перхлорвінілові лаки – для захисту різноманітних будівельних конструкцій від агресивних середовищ. Бітумні лаки служать для антикорозійних покриттів металічних деталей. Нітролаки широко використовують для лакування металів, пофарбованих та непофарбованих виробів із дерева.

Одним з найбільш поширених, дешевих і ефективних способів захисту будівельних конструкцій від передчасного руйнування внаслідок процесів корозії є їх обробка лакофарбовими матеріалами. У більшості випадків лакофарбовий захист проводиться з використанням поширених і недорогих матеріалів – бітумів, оліфи або доступних полімерів. Теплостійкість таких лаків не більше 50° С, лугостійкість також невелика. Змішуванням з алюміневою пудрою з них виготовляють фарби для захисту металевих виробів і конструкцій від корозії.

*Етиленові лаки і фарби* виготовляють на основі полімера вінілацетилена. Відрізняються високими антикорозійними і малярними якостями, здатністю твердіти при температурі до -25° С. Етиленові лаки відносно швидко старіють на світлі. Стейку і економічну фарбу одержують змішуванням етиленового лаку (60%) і залізного сурику (40%).



*Перхлорвінілові* лакофарбові покриття відрізняються високою довговічністю (10–12 років) атмосферо- і хімічною стійкістю. Строк придатності перхлорвінілових сумішей при 15–25° С складає 6–8 годин. Для одержання щільного покриття потрібно нанести 6–10 шарів.

*Хлоркаучукові* матеріали поряд з високою стійкістю до дії кислот і лугів мають високу еластичність і стійкість до атмосферних дій. В порівнянні з перхлорвініловими вони більш економічні, а покриттям, одержаним з них, характерний менший строк висихання. Виготовляють також тиксотропні емалі на основі хлоркаучука зі спеціальними добавками.

*Епоксидні* лакофарбові матеріали після твердіння стають високоміцними, твердими і щільними. Їх відмінні особливості - висока адгезія до бетонних та інших поверхонь. Ефективні суміші отримують на основі епоксидних, етинолевих, фурилових та інших полімерів, а також бітумів.

*Кремнійорганічні* лаки та емалі відрізняються високою хімічною і термічною стійкістю. При довгостроковій експлуатації вони витримують температуру до 300° С.

Види ґрунтовок і шпатлівок повинні відповідати видам фарбуючих – сумішей. Так, при вапняному фарбуванні використовують вапняні, а при силікатному – силікатні ґрунтовки. При використанні масляних та інших безводних фарб рекомендується використовувати ґрунтувальні та шпатлювальні суміші на оліфі або інших синтетичних зв'язуючих.

## 14.9. Матеріали для обклеювання стін

До основних матеріалів для обклеювання стін відносяться шпалери і декоративні плівки.

*Шпалери* – рулонний матеріал на паперовій чи іншій основі з друкованим або тисненим малюнком на одно- або багатоколірному фоні. Декоративне покриття шпалер може мати певний малюнок, а також імітувати текстуру дерева, фактуру тканин, поверхню металу та інші матеріали.





Шпалери виготовляють наступних видів: паперові, вінілові та текстильні на паперовій основі, а також на основі з нетканих композиційних матеріалів (флізелінові).

*Паперові шпалери* поділяють на 2 види: сімплекс-шпалери (шпалери, що мають один шар паперу) і дуплекс-шпалери (шпалери, що складаються з двох склеєних шарів паперу).

*Вінілові шпалери* мають вінілове покриття різної густини на паперовій основі, що надає їм міцність і вологостійкість. Застосовуються вінілові шпалери, як правило, в приміщеннях з підвищеними гігієнічними вимогами. Серед вінілових шпалер можна виділити окремі категорії, що розрізняють за способом виготовлення, густиною, зовнішнім виглядом: спінений вініл, плоский вініл, щільний («кухонний») вініл.

*Акрилові шпалери* є аналогом вінілових спінених шпалер, але на основу наноситься не вінілова, а акрилова емульсія.

*Текстильні шпалери* – паперове полотно, ламіноване нитками з натуральних або змішаних волокон. Шпалери випускають шириною від 53 до 80 см. Текстильні шпалери володіють підвищеними теплоізоляційними і звукопоглинальними властивостями, світлостійкістю. Вони відносяться до групи важкоспалимих матеріалів, а матеріали, що містять лляні волокна мають бактерицидні властивості. Випускаються також текстильні шпалери на синтетичній основі, які є текстильним полотном, наклеєним на поролон.

*Велюрові шпалери* – паперове полотно, на яке в процесі виробництва спочатку наноситься малюнок, а потім велюрові ворсинки. Велюр – тканина, м'який натуральний матеріал, поверхня якого складається з безлічі ворсинок. В результаті утворюється м'яка оксамитова поверхня. Текстильні та велюрові шпалери призначені для обклеювання стін і стель офісних, житлових і адміністративних будівель.

Паперові та вінілові шпалери виготовляють гладкими і рельєфними, тисненими, профільними й металізованими. Останні ламінують металевим шаром на основі фольги або металізованої плівки.

Залежно від стійкості верхньої сторони шпалер при експлуатації їх виготовляють наступних марок:



- В-О – водостійкі при наклеюванні;
- В-1 – водостійкі при експлуатації;
- М-1 – стійкі до миття;
- М-2 – з високою стійкістю до миття;
- М-3 – стійкі до тертя;
- С – стійкі до сухого стирання.

Призначення шпалер відповідно до різних марок приведене в табл. 14.16.

Таблиця 14.16

Призначення шпалер за марками

Марка шпалер	Призначення
С, В-0, В-1, М-1	Для обклеювання стін і стель житлових і громадських будівель
М-1, М-2	Для обклеювання стін і стель передпокоїв, міжквартирних коридорів житлових будівель, гуртожитків та інших громадських будівель. Не рекомендуються шпалери марок М-2 для ігрових, спальних кімнат, дитячих установ, палат лікувально-профілактичних установ
М-3	Для обклеювання санвузлів і ванних кімнат всіх типів будівель

Останніми роками на ринку з'явився ряд нових видів шпалер. Особливим видом шпалер є *шпалери під фарбування*. Вони випускаються на паперовій і флізеліновій основах, зазвичай в рулонах великої довжини і просочуються спеціальним водовідштовхувальним складом. Шпалери цього типу дозволяють знижувати вимоги до якості підготовки стіни, мають здатність до паропроникання. Їх можна до 5–15 разів перефарбовувати дисперсійними фарбами. *Структурні шпалери* виготовляють з двох шарів фактурного паперу білого кольору, склеєних між собою. Виготовляють також тришарові тиснені шпалери з додатковим шаром паперу, що додає велику жорсткість полотнищу і сприяє кращій взаємодії з клеєм, що наноситься на стіну. *Грубоволокнисті шпалери* складаються з двох шарів щільного паперу із запресованими між ними



деревними волокнами (тирсою). Наявність тирси забезпечує зернисту фактуру покриття. Шпалери витримують до 15 циклів перефарбовування. *Скловолокнисті шпалери* мають основу із склотканини, що надає їм високий ступінь вогнестійкості, міцність і еластичність.

Шпалери постачають в рулонах з окрайкою або без неї. Максимальна довжина полотна для шпалер, що поступають у роздрібну торгівлю рекомендується не більше 42 м. Відхилення від номінальної довжини полотна в рулоні повинні бути не більше  $\pm 1,5\%$ .

Для шпалер нормуються стійкість забарвлення до світла, стійкість до стирання, розривне зусилля у вологому стані, білізна, стійкість рельєфу тиснення, вміст шкідливих речовин, що виділяються при експлуатації в повітряне середовище.

Умовне позначення шпалер (14.12) включає їх клас (паперові, вінілові, текстильні на паперовій основі, шпалери на флізеліні), корисну ширину і довжину полотна в рулоні (у сантиметрах), марку, стійкість забарвлення до світла, спосіб наклеювання і зняття з основи після наклеювання.

На рис. 14.12 приведені поширені позначення, що вказуються на шпалерах.

Різновидом паперових шпалер є лінкруст – рулонний матеріал з рельєфним малюнком, що отримують з суміші синтетичних полімерів і наповнювачів, що наносяться на паперову основу. Довжина полотна в рулоні – не менше 12 м, корисна ширина – 500, 600, 700 і 900, товщина – 0,5–1,2 мм, ширина окрайки – 3–20 мм. Лінкруст призначений для внутрішнього опорядження стін в приміщеннях з нормальним температурно-вологісним режимом експлуатації. Для лінкрусту нормуються поверхневе водонасичення (не більше  $1 \text{ г}/100 \text{ см}^2$ ) і розривне зусилля (не менше  $9,8 \text{ Н}/\text{см}$ ).

Перед використанням лінкруст витримують в приміщенні одну-дві доби.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

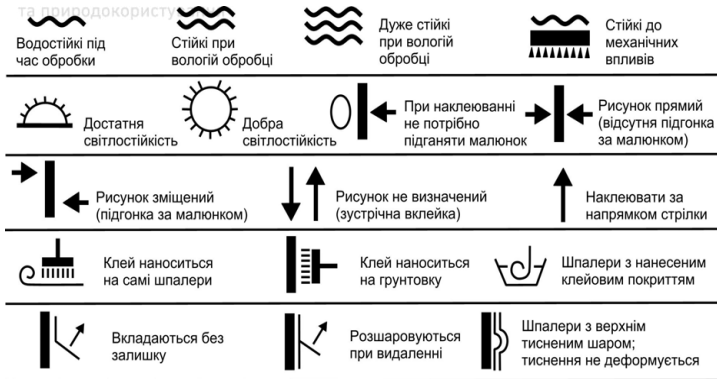


Рис. 14.12. Умовне позначення шпалер

*Полівінілхлоридна декоративна обпоряджувальна плівка* – рулонний опоряджувальний матеріал, що виготовляється вальцово-каландровим способом з полівінілхлориду, пластифікаторів, пігментів і різних добавок. Випускають плівки типу ПДСО з клейовим шаром на зворотній стороні, захищеним антиадгезійним папером, і типу ПДО – без клейового шару.

Довжина рулону плівки ПДО – 150 м, ширина – 1500–1600 мм, товщина – 0,15 мм; довжина плівки ПДСО до 800 м, ширина – 450–900 мм, товщина – 0,15 мм.

Поверхня плівки може бути гладкою або тисненою, багатоколірною з друкованим малюнком. Не допускаються сторонні включення, подряпини, раковини, складки, смуги, бризки від фарб, викривлення малюнка, розриви, крізні отвори. Допустиме руйнівне напруження на розтяг в подовжньому напрямі – не менше 9,8 МПа, зміна лінійних розмірів в подовжньому напрямі – не більше 7%, у поперечному – не більше 1,5%. Плівку можна мити водою кімнатної температури.

Плівки типу ПДО і ПДСО призначені для внутрішнього опорядження поверхонь стін приміщень житлових і громадських будівель, дверей, вбудованих меблів.

*Віністен* – безосновний полівінілхлоридний рулонний матеріал з рельєфною поверхнею, призначений для опорядження стін в приміщеннях громадських будівель для короточасного перебування людей.



До плівок на паперовій основі належать ізоплен, пеноплен і поліплен.

*Ізоплен* – рулонний матеріал, що виготовляється промазуванням сумішшю з полівінілхлориду, пластифікаторів, наповнювачів, пігментів і різних добавок паперової основи. Його змотують в рулони 10, 12, 18 м довжиною, 500, 600 і 750 мм шириною; 0,3 мм товщиною.

Ізоплен випускають трьох типів: А – одноколірний; Б – багатоколірний з друкованим малюнком, покритим прозорим полівінілхлоридним шаром; В – багатоколірний з друкованим малюнком на лицьовій стороні плівки. Ізоплен призначений для внутрішнього облицювання стін і вбудованих меблів в житлових, громадських і промислових будівлях.

*Піноплен* – рулонний матеріал, що виготовляється з полівінілхлориду, стабілізатора, пластифікатора, піноутворювача і пігментів, нанесених на паперову основу. Випускають в рулонах 6, 12 і 20 м довжиною, 500–1300 мм шириною, 0,8–4,6 мм товщиною, одно- або багатоколірним, з витисненою або гладкою поверхнею.

Пінопленом обклеюють коридори і кухні житлових приміщень, туалети, кабінети, готельні номери, допоміжні приміщення у виробничих спорудах. Не можна обклеювати пенопленом сходові клітки, фойє, вестибюлі, приміщення з масовим перебуванням людей, дитячі установи, лікарні.

*Поліплен* – рулонний матеріал, що виготовляється з полівінілхлоридного друкованого шару з пластифікаторами, стабілізаторами, пігментами і наповнювачами, нанесеними на паперову підоснову. Випускають у рулонах 6; 10,5; 12; 18 і 25 м довжиною, 450 і 640 мм шириною, не менше 0,2 мм завтовшки. Застосовують поліплен для опорядження таких самих приміщень як і пеноплен.

Для наклеювання шпалер, лінкрусту та плівок рекомендуються різноманітні клеї і мастики.

Міцність склеювання перевіряють, відриваючи просушені обклеювальні матеріали від поверхні: розрив має відбуватися по паперу або основі, а не по клейовому шару.



## 15. МАТЕРІАЛИ З ДЕРЕВИНИ

Під деревиною розуміють звільнену від кори тканину волокон стовбура дерева.

В будівництві деревину широко застосовують у вигляді пиломатеріалів, фанери, столярних виробів, клеєних конструкцій, збірних дерев'яних будинків, виробів з відходів деревообробки та лісопиляння.

Матеріали з деревини відрізняє від інших ряд позитивних особливостей: порівняно висока механічна міцність при невеликій середній густині, здатність легко оброблятися, пружність, низька теплопровідність, значна стійкість до попереминого заморожування і відтаювання та іншим агресивним діям.

До факторів, що обмежують застосування матеріалів з деревини у будівництві, відносяться гігроскопічність, здатність у змінновологісних умовах до загнивання, короблення, розбухання і розтріскування, різномірність фізико-механічних властивостей в різних напрямках (анізотропність), спалюєність.

Притаманні деревині недоліки значною мірою усуваються шляхом її модифікації полімерними речовинами, антисептиками, антипіренами.

Найширше застосовується у будівництві деревина хвойних порід. За масштабами застосування хвойних порід в будівництві вони розміщуються в наступний ряд (за зменшенням): сосна, ялина, модрина, ялиця, кедр. Найкращими фізико-механічними властивостями володіє модрина, деревина якої ціниться завдяки високій щільності, міцності і стійкості проти загнивання.

Із листяних порід для відповідальних конструкцій на повітрі і під водою, для паркету, столярних виробів широко застосовується деревина дуба.

З кожним роком все більш важливою стає проблема бережливого використання лісових багатств – джерела не тільки будівельної деревини, але й найрізноманітніших хімічних та інших продуктів, а також як одного з головних природних факторів. З розвитком виробництва збірного залізобетону та



інших сучасних будівельних матеріалів застосування деревини обмежується лише дійсно раціональною областю, де її техніко-економічні переваги стають суттєвими. Все більшого значення зазнає проблема утилізації відходів заготовки та переробки деревини, виробництва різноманітних матеріалів на їх основі.

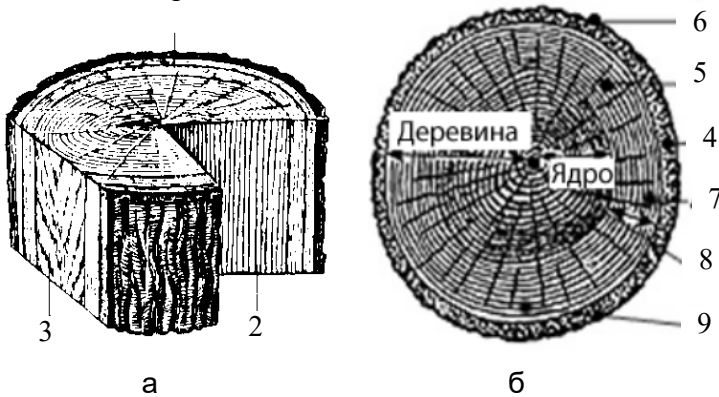
### 15.1. Будова деревини

**Структура деревини.** Деревина характеризується шарувато-волокнистою структурою (рис. 15.1) і складається з клітин, що мають різну форму, величину і призначення. Так, 90–95% деревини хвойних порід складають *трахеїди* – витягнуті вздовж стовбура пустотілі клітини деревини довжиною 2...5 мм і шириною 30...70 мм, що проводять воду та розчини від кореня до крони. Оболонку клітин утворює переважно клітковина або *целюлоза* ( $C_6H_{10}O_5$ ) – головний компонент несучого остову дерева. В склад клітинних стінок і міжклітинної речовини входять також полісахариди – *лігнін* та *геміцелюлоза* – складні органічні сполуки, за складом близькі до целюлози.

Звичайно деревина включає 40...50% целюлози, 20...30% лігніну та 15...30% геміцелюлози, 1...3% приходяться на супутні компоненти (смоли, масла, дубильні речовини та ін.).

Елементарний середній хімічний склад деревини практично однаковий для всіх порід: 49,5% вуглецю, 44,08% кисню, 0,12% азоту і 6,3% водню. Мінеральні речовини, що дають при згорянні деревини золу, складають 0,2...1,7%. В склад золи входять, головним чином, солі лужноземельних металів.

Деревина є головною і найбільш ємною за масою частиною стовбура. Крім неї, приблизно в центрі стовбура (рис. 15.1) знаходиться серцевинна трубка, що має звичайно діаметр 2...5 мм. Це найслабша, що легко піддається загниванню, частина стовбура.



**Рис. 15.1.** Будова деревини:

а – основні розрізи деревини: 1 – поперечний (торцевий);  
2 – радіальний; 3 – тангенціальний;

б – будова деревини в поперечному розрізі: 4 – кора; 5 – камбій;  
6 – луб; 7 – заболонь; 8 – серцевинна трубка;  
9 – серцевинні промені

Деревина зовні покрита *корою*, що захищає дерево від атмосферних та зовнішніх механічних дій. Кора включає два шари: зовнішній – *корку*, що виконує захисну функцію і внутрішній – *луб*, що активно бере участь в русі поживних речовин в дереві.

На границі між лубом і деревиною знаходиться тонкий шар клітин, здатних до поділу і росту, що називається *камбієм*. Камбій зумовлює приріст деревини та кори.

Деревину залежно від особливостей макроструктури ділять на три групи – ядрову, спілодеревну та заболонну. Деревина ядрових порід (сосна, кедр, модрина, дуб, ясень, тополя та ін.) має більш темне забарвлення центральної частини *ядра* і більш світле периферійної частини – *заболоні*. В ранньому віці деревина всіх порід складається тільки з заболоні. Ядро утворюється, наприклад, у сосни у віці 30...35 років, у дуба 8...12 років. Воно складається з відмерлих клітин, просочених і закупорених відкладеннями смоли, вуглекислого кальцію, дубильних та інших речовин. Ядро має підвищену щільність і стійкість проти загнивання.





Якщо центральна частина деревини має однаковий колір з периферійною й відрізняється тільки меншою вологістю, вона називається не ядром, а *спілою деревиною*. В групу спілодеревних порід входять ялина, піхта, бук, липа, осика і ін. Спіла деревина, так як і ядро, є більш щільною частиною стовбура і не приймає участі в сокопровідній сітці.

*Заболонь* складається з більш молодих клітин і призначена для руху вологи з розчиненими в ній мінеральними речовинами. З віком заболонь поступово переходить в ядро або спілу деревину. При однаковій вологості заболонна деревина за багатьма механічними властивостями наближається до ядрової. Стійкість її проти загнивання менша, але вона легше просочується антисептичними речовинами. До заболонних лісових порід, що практично мають однакову за забарвленням і вологістю деревину як в центрі, так і на периферії, відносяться багато порід (кедр, вільха, граб і ін.).

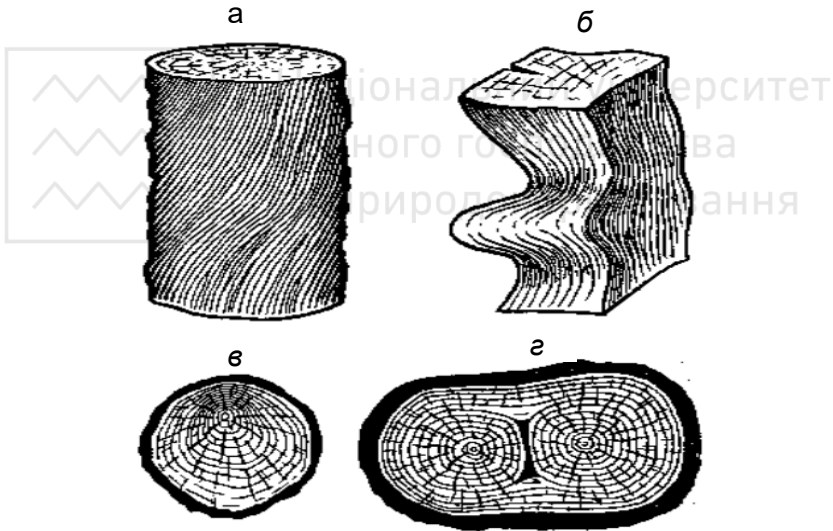
Деревина складається з окремих *річних шарів*, що відрізняються неозброєним оком особливо в хвойних породах. На поперечному перерізі стовбура ці шари мають вигляд концентричних кілець, що оточують серцевину. Річні шари включають дві частини – ранню та пізню деревину. *Рання деревина* утворюється весною, вона світліша і м'якша від пізньої, що утворюється тільки в кінці літа. Особливо сильно виділяється ця відмінність у хвойних порід. Склад *пізньої деревини* в значній мірі визначає фізико-механічні властивості деревини в цілому. В пізній деревині хвойних порід зосереджені смоляні ходи. Смола, що заповнює їх, зменшує водопоглинання деревини, збільшує стійкість до загнивання.

Для всіх порід деревини є характерним наявність *променів* – ліній, що радіально розходяться до кори безпосередньо від серцевини або на деякій віддалі від неї. Вони служать в деревині для проведення водних розчинів поживних речовин в горизонтальному напрямку. Деревина легко розколюється по серцевинним променям і дає тріщини при усушці, так як клітини, що входять в ці ділянки, зв'язані між собою порівняно слабо.



В деревині листяних порід, крім серцевинних променів, ослабленими елементами структури є *судини* – трубчасті утворення клітин діаметром 0,1...0,4 мм і довжиною звичайно до 10 см, направлені вздовж стовбура.

**Вади деревини.** До вад деревини відносять дефекти її будови, порушення цілності та інші пошкодження та дефекти, що знижують якість лісоматеріалів (рис. 15.2). Згідно діючої класифікації всі вади діляться на групи: сучки, грибні барви і гнилі, хімічні барви, пошкодження комахами, деформації, тріщини, вади форми стовбура, вади будови деревини, рани, ненормальні відкладання в деревині, механічні пошкодження і дефекти обробки.



**Рис. 15.2.** Основні вади будови деревини:  
а – нахил волокон; б – завількуватість;  
в – крень; г – подвійна серцевина

Основною сортовизначальною вагою деревини є *сучкуватість*; сучки являють собою основу гілок, розташованих в деревині стовбура. Негативний вплив сучків полягає у



погіршенні механічних властивостей деревини внаслідок порушення однорідності і викривлення волокон. Сучки заважають також обробці деревини, а в деяких випадках супроводжуються внутрішньою гнилістю. В характеристиці сучкуватості деревини вказується вид сучків (форма, ступінь зростання, стан деревини), їх розміри й число.

Гниття деревини виявляється у поступовій зміні її кольору, зменшенні середньої густини та міцності.

Гнилі викликаються розвитком в деревині найпростіших рослинних організмів – *грибів*. Гриби, що обсідають деревину, не містять хлорофіл і не можуть самі синтезувати органічні речовини. Внаслідок цього вони змушені живитися готовими органічними сполуками і тому селяться на дереві.

Розвиток грибів у деревині відбувається тільки за певної вологості (звичайно 25...70%) і температури повітря в середньому від 5 до 25° С. У воді загнивання не відбувається, тому що припиняється доступ кисню, необхідного для життєдіяльності грибів. Розвиток грибів припиняється також при температурі нижче 0° С і вище 40...45° С. Хімізм гниття деревини полягає в її розкладанні з виділенням вільного вуглекислого газу і води.

Розрізняють деструктивну і корозійну *гнилість*. Першу породжують гриби, що руйнують клітковину мертвої деревини, причиною другої є лісові гриби, що паразитують на живій деревині і які вживають, головним чином, лігнін.

Деструктивна гнилість характеризується призматичним розтріскуванням і потемнінням деревини, а корозійна супроводжується розшаруванням деревини за річними кільцями із забарвленням її в коричневі кольори.

Поряд з деревноруйнівними є група деревнозабарвлюючих грибів, які надають деревині різноманітні барви і майже не погіршують її фізико-механічних властивостей. Різновидом барв деревини є *пліснява*, яка зустрічається на сирій заболоні деревини всіх порід і викликана плодоносом пліснявих грибів.

Пошкодження деревини комахами носять назву *червоточин*. Головну масу комах-шкідників деревини



складають різні види жуків (короїди, дубоїди, точильщики та ін.).

В морях є група сильних руйнівників деревини з класу моллюсків або ракоподібних (морська шашіль, морський рачок, мокриця тощо), в річках і озерах вони не водяться.

За ступенем пошкодження деревини встановлюють різновид червоточин (поверхнева – до 3 мм, неглибока – до 5 мм, глибока (трухлява) – більше 5 мм) – і підраховують число отворів.

*Деформації* та *тріщини* – група дефектів, що є наслідком зміни форми або порушення щільності деревини. Вони виникають під дією значних внутрішніх напружень, що утворюються в процесі росту дерев, за різкої зміни температур, нерівномірного видалення вологи тощо.

*Тріщини* (рис. 15.3) розрізняють метикові, відлупні та морозні, що утворюються в молодому дереві та тріщини висихання, що виникають в зрубаній деревині. Метикові тріщини мають радіальний напрямок і спостерігаються тільки на торцях, оскільки починаються від серцевини і не доходять до кори. Відлупні тріщини також є внутрішніми, але вони йдуть по річним шарам перпендикулярно радіусу.

На відміну від метика і відлупа, морозні тріщини та тріщини висихання являють собою зовнішні поздовжні розриви, що розповсюджуються від бокової поверхні вглиб матеріалу радіальним напрямком.

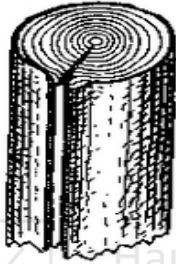
На механічні властивості деревини впливають число, характер та розміри тріщин, а також їх напрямок по відношенню до діючих сил. Так, при згині найбільший негативний вплив проявляє тріщина нейтральної зони, що знаходиться в площині, перпендикулярній силі. Найменший вплив має тріщина, площина якої співпадає з напрямком зусилля.



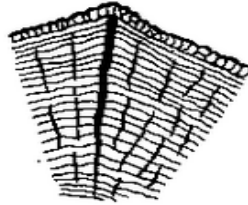
*a*



*б*



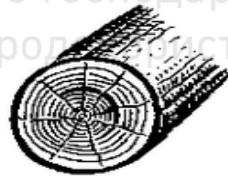
*в*



*г*



*д*



*е*

**Рис. 15.3.** Типи тріщин:

*a, б* – метикова проста і складна; *в, г* – морозна відкрита і закрита; *д, е* – відлупна кільцева і часткова

До вад форми стовбура відносять збіжність, закомелість, нарости і кривизна, а до вад будови деревини – нахил волокон, завилькуватість, завиток, крень та ін. Ці вади можуть призвести до збільшення витрат сировини при розпилюванні деревини, зниження міцності та іншим небажаним явищам.



## 15.2. Фізико-механічні властивості деревини

На фізичні та механічні властивості, а також придатність деревини впливає її вологість. Для свіжозрубаних дерев вологість коливається від 30 (дуб) до 45% (ялина). Повітряно-суха деревина, що довгий час лежала на повітрі має вологість 15...20%.

Розрізняють гігроскопічну (зв'язану) і вільну вологу в деревині. Гігроскопічна волога просочує оболонки клітин і утримується фізико – хімічним зв'язком. Максимальна кількість гігроскопічної вологи, яка може бути поглинена деревиною при витримуванні на повітрі, насиченому водяними парами, називається *точкою насичення* кліткових оболонок або *границею гігроскопічності*. Максимальна вологість кліткових стінок свіжозрубанної деревини або зволоженої шляхом витримування у воді називається *границею насичення*. При температурі 15...20° С вологість деревини, що відповідає границям насичення і гігроскопічності, практично однакова і в середньому для всіх порід деревини дорівнює 30%.

На відміну від зв'язаної вільна вода заповнює канали судин та міжклітинний простір і утримується фізико-механічними зв'язками з деревиною. Видалення вільної води вимагає менших енергетичних витрат, тому її вплив на властивості деревини значно менш суттєвий. При висиханні деревини спочатку переважно видаляється вільна вода, а потім зв'язана. Процес висихання деревини припиняється при досягненні нею рівноважної вологості, тобто вологості оточуючого повітря. Значення рівноважної вологості можливо відшукати за спеціальними діаграмами.

При видаленні з деревини зв'язаної вологи має місце *усушка*, тобто скорочення розмірів лісоматеріалів. Навпаки, при зволоженні деревини стінки кліток потовщуються, що викликає *набрякання*. Вологісні деформації найбільш суттєві поперек волокон. Так, повна лінійна усушка деревини в тангенціальному напрямку складає 6...10%, а вздовж волокон – всього 0,1...0,63%. Значення усушки і набрякання зростають також зі збільшенням середньої густини деревини.



Вологісні деформації можуть бути розраховані за допомогою коефіцієнтів усушки  $K_y$  і набрякання  $K_n$  що характеризують відповідні деформації за зниженням або збільшенням вмісту зв'язаної води в деревині на 1%.

Співвідношення між  $K_y$  і  $K_n$  визначаються за формулою:

$$K_y = \frac{100K_n}{100 + 30K_n} \quad (15.1)$$

Коефіцієнти об'ємної усушки деяких розповсюджених порід поряд з іншими фізико-механічними властивостями наведені в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Фізико-механічні властивості деревини

Порода дерева	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт об'ємної усушки	Границя міцності вздовж волокон, МПа при			
			стиску	розтягу	статичному згині	радіальному розколюванні
Хвойні:						
модрина	660	0,52	64	125	111	9,9
сосна звичайна	550	0,44	48	104	86	7,5
ялина	445	0,43	45	103	79	6,9
ялиця сибірська	375	0,39	39	67	68	6,4
кедр сибірський	440	0,42	38	78	62	6,2
Листяні:						
дуб	690	0,43	57	123	108	10,2
береза	630	0,54	55	168	110	9,3
бук	670	0,47	55	123	108	11,6
липа	495	0,49	45	121	88	8,6
вільха	520	0,43	44	101	80	8,1
осика	495	0,41	42	125	78	6,3
тополя	440	0,42	39	88	62	6,1
ясень	690	0,48	52	140	182	12,2



При висиханні, внаслідок нерівномірності розподілу вологості по перетину деревини та анізотропності, в ній з'являються внутрішні напруження. Розвиток цих напружень може викликати розтріскування та жолоблення лісоматеріалів.

Для запобігання цих дефектів особливе значення має режим сушки деревини. Сушка – одна з найбільш відповідальних і трудомістких операцій в технології деревообробки. Для столярних виробів вологість не повинна перевищувати 8...10%, а для зовнішніх конструкцій – 15...18%.

При розрахунку процесів сушки, просочування та ін. необхідно знати теплові властивості деревини. Внаслідок пористої будови деревина погано проводить тепло. Мала теплопровідність деревини, особливо поперек волокон, зумовлює широке застосування її в огорожувальних конструкціях будівель, що отоплюються. Дерев'яний брус, товщиною 15 см, еквівалентний за теплопровідністю цегляній стіні товщиною в 2,5 цегли.

Коефіцієнт лінійного розширення деревини вздовж волокон складає всього (3...5)  $10^{-60} \text{ C}^{-1}$ , тобто в 3...10 разів менший, ніж для металу, бетону і скла, завдяки чому в дерев'яних будівлях і спорудах можна не влаштовувати температурних швів. В поперечному напрямку волокон зміна лінійних розмірів в 7...10 разів більша, ніж в поздовжньому.

Суха деревина має дуже малу електропровідність, приблизно таку ж, як і хороші електроізоляційні матеріали. Проте з підвищенням вологості електропровідність зростає. За вологості, що відповідає границі насичення, вона багаторазово більша електропровідності сухої деревини.

Густина деревини визначається сукупністю речовин, що є складовими частинами оболонки клітин. Оскільки ці речовини мають практично однаковий склад для всіх порід, істинна густина деревини (густина речовини деревини) коливається у вузьких границях – від 1,49 до 1,56 г/см<sup>3</sup> і дорівнює в середньому 1,53 г/см<sup>3</sup>.

Середня густина деревини залежить від вологості і пористості породи. Значення середньої густини вказується стосовно до стандартної 12%-ної вологості ( $\rho_{o(12)}$ ). В діапазоні





від нульової до 30%-ної вологості застосовують перерахункову формулу:

$$\rho_{o(12)} = \rho_{o(\omega)} [1 + 0,01(1 - K_y)(12 - \omega)] , \quad (15.2)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт об'ємної усушки;  $\omega$  – вологість.

При вологості деревини більше 30% для перерахунку середньої густини можна використовувати формулу:

$$\rho_{o(12)} = \frac{A\rho_{0(\omega)}}{1 + 0,01\omega} , \quad (15.3)$$

де  $A=12,22$  для берези, буку, модрина, білої акації;  $1,203$  для інших порід.

За середньою густиною деревини всі породи умовно ділять на три групи: легкі ( $\rho_o < 550 \text{ кг/м}^3$ ), середні ( $\rho_o = 550 \dots 750 \text{ кг/м}^3$ ) і важкі ( $> 750 \text{ кг/м}^3$ ).

Показники механічних властивостей деревини, як її фізичні властивості, залежать від вологості, причому впливає тільки зв'язана вода, що знаходиться в кліткових стінках. Збільшення вмісту зв'язаної води різко зменшує показники всіх механічних властивостей. Міцність деревини від зміни вологості можна розрахувати за формулою:

$$R_{12} = R_{\omega} [1 + \alpha(\omega - 12)] , \quad (15.4)$$

де  $R_{12}$  і  $R_{\omega}$  – границя міцності деревини при 12%-й вологості і вологості  $\omega$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт зниження міцності деревини при зростанні її вологості на 1% (для границі міцності при стиску вздовж волокон і статичному згині  $\alpha=0,04$ ; при розтягу вздовж волокон  $\alpha=0,01$ ).

Внаслідок структурних особливостей механічні властивості деревини залежать, також, від кута між напрямком діючого зусилля і напрямком волокон.

Найбільш важливою і характерною механічною властивістю деревини є *міцність при стиску* вздовж волокон. Ця властивість деревини є визначальною для паль, ферм, колон, стояків та інших дерев'яних конструкцій.

При дії стискаючих зусиль поперек волокон в більшості випадків не вдається виявити руйнування; тому обмежуються визначенням умовної границі міцності. Умовна границя



міцності на стиск поперек волокон в середньому для всіх порід приблизно в 10 раз менша границі міцності на стиск вздовж волокон.

Міцність деревини на стиск поперек волокон має практичне значення в місцях врубок або з'єднань дерев'яних деталей з металічними (під башмаками, болтами, тощо), для залізничних шпал та ін.

*Границя міцності деревини при розтягу* вздовж волокон в 2 і більше разів вища чим при стиску (табл. 15.1). Для сосни і ялини, наприклад, вона дорівнює в середньому близько 100 МПа. При розриві поперек волокон границя міцності в 10-40 разів менша. При цьому міцність в радіальній площині у всіх порід вища, чим при розриві в тангенціальній площині. Це викликано тим, що в останньому випадку проходить розрив слабких серцевинних променів, тоді як в радіальній площині він іде по ранній і щільній пізній зоні. Опір розтягу особливо сильно знижується при наявності сучків.

Деревина в конструкціях і виробих рідко працює на розтяг. Це зумовлено важкістю запобігання руйнуванню деталей в місцях закріплення. Показники міцності деревини на розтяг поперек волокон урахуються для запобігання її розтріскування при інтенсивних режимах сушки.

Деревина широко застосовується для конструкцій, що працюють на поперечний згин; в міжповерхових перекриттях, в мостових фермах, естакадах, підмостях, сходах, тощо. Міцність деревини при поперечному статичному згині є середньою між міцністю при розтягу і стиску вздовж волокон. В середньому для різних порід вона може бути прийнята рівною приблизно 90 МПа.

Для розрахунку дерев'яних конструкцій в деяких випадках важлива міцність деревини при зсуві і крученні. Найбільш розповсюдженим видом випробувань на зсув є сколювання вздовж волокон, опір якому складає приблизно 0,15 границі міцності при стиску. Міцність при крученні для основних порід майже в 1,5 раз вище міцності сколювання.

При обробці ріжучими інструментами і при стираючих діях важлива *твердість деревини*. Ця властивість визначається



на зразках-кубах методом вдавлювання. Найбільша твердість (50–90 МПа) притаманна ясеню, буку, в'язу, модрині.

Для деревини особливо, при роботі в вологих умовах, характерна *повзучість*, що приводить до помітних деформацій конструкцій тривалого навантаження.

Деревина при роботі в сухих приміщеннях, на відкритому повітрі, а також в підземних і підводних спорудах, в умовах, що виключають утворення грибів, характеризується високою стійкістю. Механічні властивості деревини змінюються значною мірою після перебування в річковій воді лише протягом кількох років. Морська вода вже через порівняно короткий строк помітно погіршує властивості деревини.

За дією кислот і лугів механічні властивості деревини погіршуються в міру збільшення їх концентрації. *Корозійна стійкість* листяних порід більш низька, ніж хвойних.

В межах однієї породи стійкість деревини залежить від її щільності. Стійкість збільшується з віком дерева, при переході від заболони до ядра і від нижньої частини стовбура до верхньої. Захист деревини від загнивання здійснюється в основному хімічною обробкою антисептиками, а від загоряння – за допомогою антипіренів.

Направлена зміна властивостей деревини досягається її модифікацією за рахунок пресування після попереднього пропарювання або нагрівання, а також введення в її структуру синтетичних полімерів. Модифікована деревина має в декілька разів більшу міцність, твердість, ударну в'язкість, понижену гігроскопічність і водопоглинання.

*Антисептики* – це токсичні сполуки, що надають деревині стійкості до грибів, комах та морських деревоточіїв. Залежно від хімічних і фізичних властивостей антисептики можна розділити на три групи: масла та розчинні в маслах; розчинні в органічних розчинниках; розчинні у воді. В першу групу антисептиків входять, головним чином, кам'яновугільні та сланцеві просочувальні масла; в другу – розчинні в органічних розчинниках пентахлорфенол і нафтенат міді. Основними представниками третьої групи є фтористий натрій, хлористий цинк та ін.



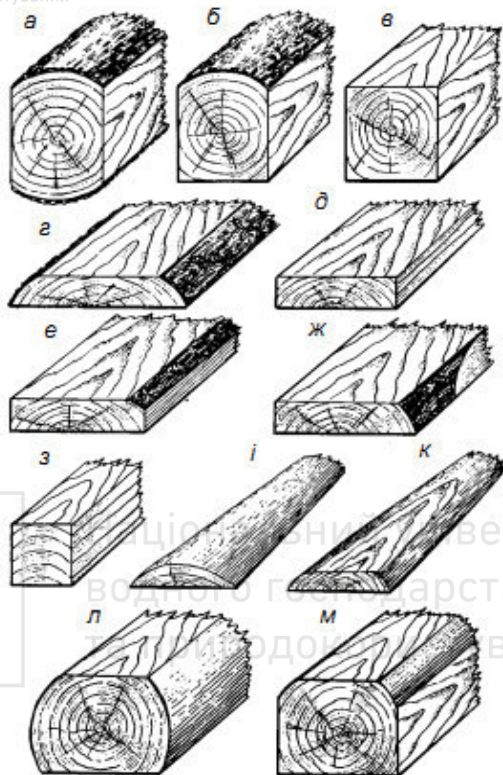
Речовини, що збільшують вогнестійкість деревини, називають *антипіренами*. Захисна дія антипіренів може бути зумовлена виділенням при нагріванні кристалізаційної води у вигляді пари або інших негорючих газів, що відтісняють повітря від поверхні деревини і розбавляють горючі гази (сірчаноокислий і фосфорноокислий амоній, галун). Багато антипіренів (наприклад, бура, борна кислота, силікат натрію, хлористий цинк) плавляться при нагріванні і утворюють захисну щільну плівку, що покриває поверхню деревини і заважає доступу кисню. Такі антипірени як гідроксид калію, деякі клеї, сприяють при високій температурі створенню піноподібного теплоізоляційного шару.

На практиці застосовують звичайно суміші різних антипіренів. Просочена вогнезахисними сумішами деревина при дії полум'я тліє, але не горить. Після видалення вогню тління припиняється. Деревину від загоряння можуть захистити також різноманітні фарби.

### 15.3. Піломатеріали, погонажні вироби

*Піломатеріали* – продукція з деревини, яку отримують при поздовжньому розпилюванню колод на частини та подальшому їх розкроюванню. За формою та розміром поперечного перерізу піломатеріали діляться на бруси, бруски, дошки, пластини, четвертини та обапіл (рис. 15.4).

Піломатеріали виготовляють з деревини хвойних порід – сосни, ялини, модрини, кедра і листяних порід – дуба, буку, граба, в'яза, берези, вільхи, осики, тополі, липи. За характером обробки їх підрозділяють на обрізні, односторонньо обрізні (напівобрізні) і необрізні. В обрізних піломатеріалах всі чотири сторони пропиляні, а розміри обзелу не перевищують допустимих. В одnobічно обрізних піломатеріалах ребра пропиляні частково (одне ребро), і розмір обзелу перевищує розміри, допустимі для обрізних піломатеріалів. Одnobічно обрізні піломатеріали випилюють лише з листяних порід.



**Рис. 15.4.** Види пиломатеріалів:

- а* – двокантний брус; *б* – трикантний брус; *в* – чотирикантний брус;  
*г* – необрізна дошка; *д* – чистообрізна дошка; *е* – обрізна дошка з тупим  
обзелом; *ж* – дошка обрізна з гострим обзелом; *з* – брусок;  
*і* – обапіл горбильний; *к* – обапіл дощатий; *л* – шпала необрізна;  
*м* – шпала обрізна

Пиломатеріали поділяють на *дошки* – не більше ніж 100 мм завтовшки з відношенням ширини до товщини від 3 і більше, *бруски* – менше 100 мм завтовшки з відношенням ширини до товщини менше 3 і *бруси* – понад 100 мм завширшки і завтовшки. Останні бувають чотирикантними (обпиляними з чотирьох сторін) і двокантними (обпиляними з двох паралельних сторін).



### Номинальні розміри пиломатеріалів наступні:

- довжина: для твердих листяних порід – 0,5...6,5 м з градацією 0,10 м; для м'яких листяних порід і берези – 0,5...2,0 м з градацією 0,10 м, 2,0...6,5 м з градацією 0,25;
- товщина – 19, 22, 25, 32, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм;
- ширина: для обрізних – 60, 70, 80, 90, 100, 110, 130, 150, 180, 200 мм; для необрізних і одnobічно обрізних – 50 мм і більш з градацією 10 мм.

Номинальна товщина і ширина пиломатеріалів встановлені для деревини з вологістю 20%. При вологості деревини понад або менше 20% розміри пиломатеріалів встановлюють з урахуванням величини усушки.

Довжину пиломатеріалів і заготовок вимірюють по найменшій відстані між торцями, ширину обрізних пиломатеріалів – у будь-якому місці по їх довжині, але не ближче 150 мм від торців. За ширину необрізних пиломатеріалів приймають розмір посередині їх довжини (без урахування кори), обчислений як напівсума розмірів обох сторін.

Товщину пиломатеріалів і заготовок перевіряють у будь-якому місці їх довжини, але не ближче 150 мм від торців. Об'єм пиломатеріалів визначають в кубічних метрах за номінальними розмірами.

Дошки і бруски з деревини хвойних порід підрозділяють на п'ять сортів (добірний, 1...4-й), а бруси – на чотири сорти (1...4-й).

Пиломатеріали з деревини листяних порід підрозділяють на три сорти (1...3-й). Сорт пиломатеріалів визначають за наявністю сучків, трухлявини, вад росту і червоточини. Сорт залежить також від точності розпилювання, чистоти обробки і ступеня пожелобленості матеріалів.

Пиломатеріали добірного, 1...3-го сортів виготовляють сухими (вологість не більше 22%), сирими (вологістю понад 22%) і сирими антисептованими. Вологість пиломатеріалів 4-го сорту не нормується.

При зберіганні пиломатеріалів найбільш поширений пакетний метод, який дає можливість механізувати трудомісткі процеси укладання штабелів та їхнього розбирання.



*Деталі дерев'яні профільні* для будівництва – це підвіконні дошки, поручні та ін.

Для виготовлення струганих погонажних деталей зазвичай використовують деревину сосни, модрина, кедра, ялини, ялиці, а для приміщень з відносною вологістю не більше 70% можна використовувати деревину буку, берези, вільхи, тополі, липи. Не допускається виготовляти поручні з деревини модрина, ялиці, ялини і тополі, дошки підлоги – з липи і тополі, а зовнішню обшивку – з деревини м'яких листяних порід і берези. Вологість деревини для наличників, плінтусів, розкладок поручнів і підлоги повинна бути  $12\pm 3\%$ .

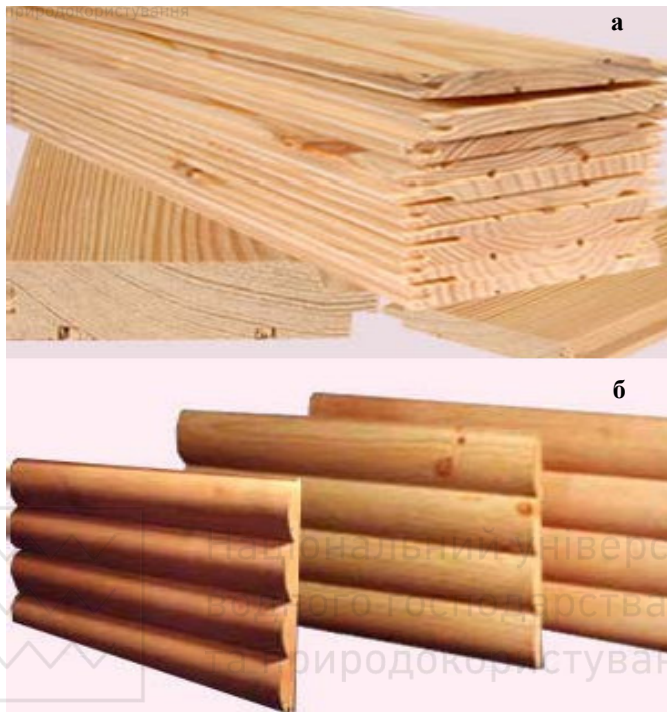
До дерев'яних профільних виробів відноситься *вагонка* (рис. 15.5) – фрезерована тонка дошка, товщина якої зазвичай не перевищує 22 мм. Вагонку поділяють на три сорти: А, В і С, що відрізняються обмеженнями за такими вадами деревини як сучки, тріщини, гnilі, зміни забарвлення та ін., а також за допустимими відхиленнями від номінальних розмірів. В окрему групу виділяють вагонку класів «Екстра» або «Преміум». Їх характерна відмінність від вагонки сорту А – повна відсутність сучків.

Різновидом євровагонки є вагонка – «блок-хаус», що імітує поверхню оциліндрованої колоди. Матеріалом для виготовлення вагонки цього типу служать дошки радіального розпилу. При облицюванні вагонкою «блок-хаус» стіни імітують поверхні характерні для рубаного будинку. Євровагонка може бути також імітована «під брус».

Дошки для підлог мають гребінь і шпунт, зміщені до нелицьової поверхні (рис. 15.6).

Дошки й бруски з деревини осики і вільхи застосовують тільки в житлових будинках, лікарнях, дитячих садках і яслах.

Дошки завтовшки 36 мм застосовують для підлог виробничих цехів, фізкультурних залів та інших приміщень з підвищеним навантаженням на підлогу.



**Рис. 15.5.** Види вагонки: **а** – вагонка звичайна;  
**б** – вагонка «блок-хаус»

Для підлог житлових приміщень застосовують дошки завтовшки 28 мм і шириною: для хвойних порід – 68...118 мм (з градацією через 10 мм), для листяних порід – 38...58 мм з тією ж градацією.

Дошки й бруски для покриття підлоги повинні змикатися по всій довжині, а гребені та пази по всій довжині дощок чи брусків повинні зберігати свою форму. Нижню сторону дощок і брусків для покриття підлог антисептують.

Деталі виготовляють із суцільних заготовок або із заготовок, склеєних по довжині зубчатим клейовим з'єднанням різних типів і розмірів. Клейові з'єднання деталей для покриття підлог повинні бути водостійкими.



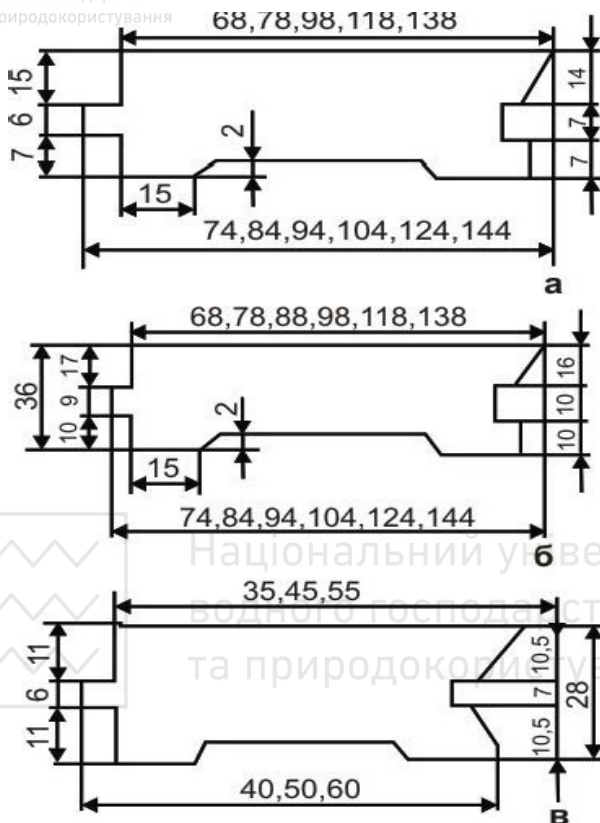


Рис. 15.6. Дошка (а, б) і брусок (в) для підлогу

Для деревини деталей, що постачаються в роздрібну торгівлю, допускається вологість до 12%.

Клейові з'єднання в деталях виконують на клеях не нижче середньої водостійкості. Міцність клейових з'єднань повинна бути не менше, МПа: на сколювання уздовж волокон – 4, на вигин при зубчатому з'єднанні – 24.

Деталі виготовляють без опоряджувального покриття, забарвленими чи облицьованими шпоном і синтетичними матеріалами. Пакують деталі в транспортні пакети, комплектуючи вироби одного перерізу і однієї породи деревини.



При транспортуванні деталі захищають від механічних пошкоджень, зволоження і забруднення. Зберігають деталі в сухих закритих приміщеннях, поміщеними в штабелі за типами і розмірами. Під штабелями і між рядами деталей або упаковок в двох-трьох місцях по їх довжині укладають дерев'яні прокладки однакової товщини.

## 15.4. Паркетні матеріали

Для влаштування підлог в житлових і громадських будівлях широко застосовують *дерев'яні щити* (рис. 15.7) і *паркетні матеріали*.



Рис. 15.7. Тришарові рейкові щити

Дерев'яні щити складаються з фрезерованих рейок, які сполучаються в паз і гребінь без або на клею.

Залежно від якості деревини і обробки щити поділяють на марки А і Б.

Щити виготовляють з деревини берези, осики та ін. м'яких листових порід а також з відходів деревини хвойних порід. Щити завтовшки 22 мм виготовляють з деревини берези.

Паркетні матеріали включають паркет – матеріал, який складається з дерев'яних пластин із твердих порід, а також



матеріали, що імітують паркет. В основному набув поширення паркет з дуба, бука, карагача, ясена, клена, в'яза, граба, берези. Останнім часом також застосовують паркет з нетрадиційних матеріалів – пресованого бамбука і твердих порід латиноамериканських дерев.

Пластини по бічних кромках мають гребені і пази. Зазвичай гребінь розташовується на одній довгій і одній короткій кромці, а на двох інших робляться пази. Набагато рідше зустрічається паркет з двох видів пластин – на одних пластинах тільки пази, а на інших тільки гребені. Гребені і пази забезпечують щільне з'єднання окремих пластин в єдине ціле.

*Паркет штучний* призначений для влаштування підлог в житлових і громадських приміщеннях, а також допоміжних будівлях промислових і сільськогосподарських підприємств.

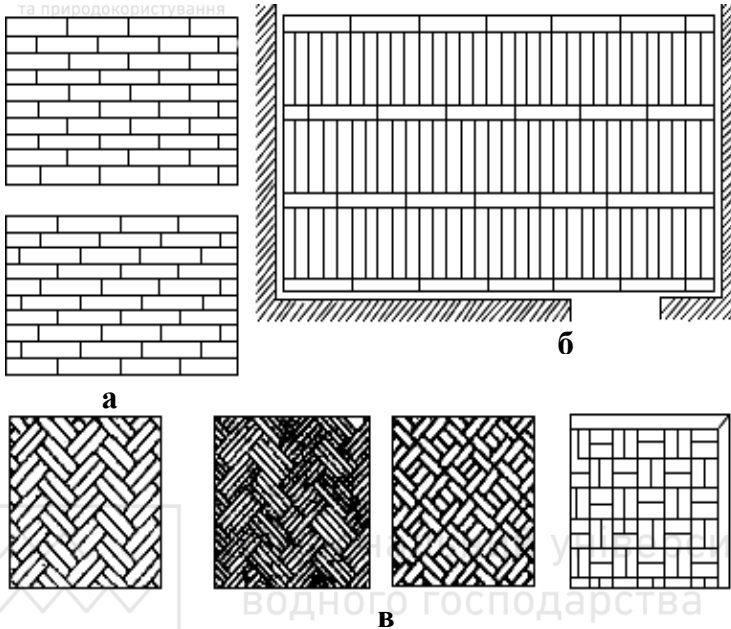
Штучний паркет складається з паркетних планок (рис. 15.8), які залежно від профілю ребер поділяються на типи П<sub>1</sub>, – планки з гребенями і пазами на протилежних ребрах і торцях, П<sub>2</sub> – планки з гребенем на одному ребрі і пазами на іншому ребрі й торцях.

Залежно від рівня якості, породи деревини та обробки планки поділяють на марки А і Б.

Паркет марки А застосовують для влаштування і ремонту підлог у громадських будівлях і відповідних приміщеннях промислових підприємств, марки Б – для влаштування і ремонту підлог у житлових будинках.

Планки марки А виготовляють з деревини дуба і тропічних порід. Густина деревини тропічних порід при вологості заготовок 25% – не менше ніж 600 кг/м<sup>3</sup>.

Планки марки Б виготовляють з деревини дуба, бука, ясена, клена, береста (карагача), в'яза, берези, звичайної сосни, сибірської сосни, корейської сосни, модрина, а також тропічних порід і модифікованої деревини з показниками експлуатаційних і фізико-механічних властивостей, що не поступаються деревині перелічених порід.



**Рис. 15.8.** Настилення штучного паркету візерунками:  
**а** – прямим; **б** – килимом; **в** – складними візерунками

Планки із звичайної та корейської сосни, а також модрина виготовляють з радіальним розрізом деревини. Кут нахилу річних шарів на торці до лицьової сторони планки – не менше  $45^\circ$ . Вологість деревини планок при відвантаженні споживачеві –  $(9\pm 3)\%$ .

При транспортуванні і зберіганні планок повинна бути забезпечена цілісність упаковок та дотримані умови, що виключають можливість механічних пошкоджень, зволоження, дії сонячних променів і забруднення.

Пачки планок слід зберігати, укладеними правильними рядами і розсортованими в опалювальних приміщеннях при відносній вологості повітря  $(55\pm 25)\%$ , в умовах, що виключають їх зволоження.

*Дошки паркетні* призначені для влаштування підлоги в житлових будинках. Паркетна дошка складається з паркетних планок, наклеєних за певним малюнком на основу (рис. 15.9).



На ребрах і торцях є пази і гребені для з'єднання паркетних дощок між собою.



**Рис. 15.9.** Тришарова паркетна дошка

Залежно від породи і вад деревини планок лицьового покриття паркетні дошки підрозділяють на марки А і Б. Паркетні планки наклеюють на основу паркетної дошки за різними візерунками.

Допускається виготовляти за домовленістю виробника із споживачем паркетні дошки з іншими варіантами розміщення планок, а також складати паркетні планки з різних порід деревини з урахуванням художнього і колірного вирішення малюнка паркетної дошки і паркетного покриття в цілому.

Вологість деревини паркетних дощок при відвантаженні споживачу –  $(8 \pm 2)\%$ .

Клейові з'єднання виготовляють, застосовуючи синтетичні клеї середньої чи підвищеної водостійкості. Границя міцності клейового з'єднання при випробуванні на відрив паркетних дощок – не менше 0,6 МПа.

Лицьову поверхню паркетних дощок покривають прозорим паркетним лаком. За домовленістю виробника зі

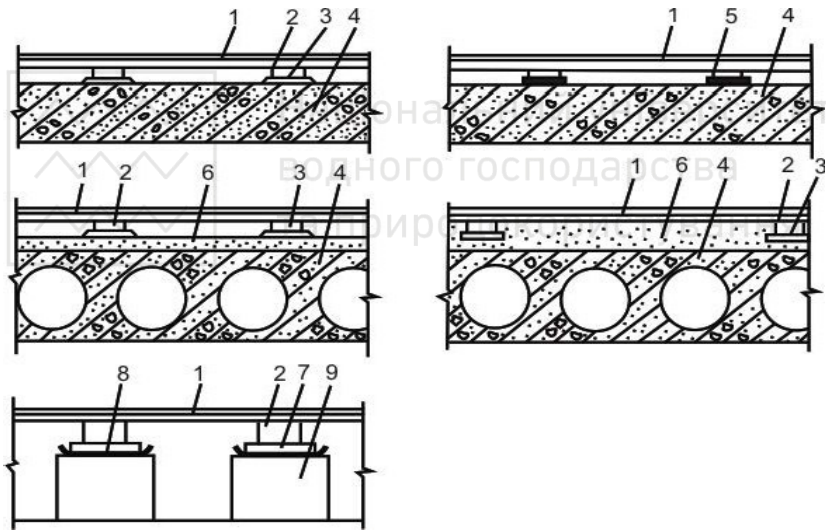


споживачем допускається постачання паркетних дощок марки Б з нелакованою поверхнею.

Паркетні дошки складають в пачки масою до 40 кг попарно лицьовою стороною одна до іншої. Між лакованими поверхнями паркетних дощок укладають прокладки з паперу.

Пачки зберігають укладеними на прокладки правильними рядами і розсортованими по типах, марках, розмірах, породах деревини планок і варіантах їх розміщення в опалювальних приміщеннях.

Паркетні дошки завтовшки 15 і 18 мм укладають на суцільну основу, а дошки завтовшки 23, 25, 27 мм – по лагам (рис. 15.10).



**Рис. 15.10.** Конструктивні схеми підлог з паркетних дощок:

- 1 – паркетна дошка; 2 – дерев'яна лага; 3 – звукоізоляційна прокладка;
- 4 – панель міжповерхового перекриття; 5 – лага або прокладка з пружних матеріалів, прикріплена до панелі на бітумній мастиці;
- 6 – піщана засипка; 7 – дерев'яна підкладка; 8 – рулонна гідроізоляція;
- 9 – бетонний або цегляний стовпчик



*Паркетні щити* призначені для влаштування підлог у житлових і громадських будівлях.

Щит складається з паркетних планок, квадратів шпону або фанерної облицювальної плити, наклеєних за певним малюнком на основу (рис. 15.11). Залежно від виду лицьового покриття виготовляють щити, фанеровані паркетними планками (П), квадратами струганого чи луценого шпону (Ш) і квадратами фанерної облицювальної плити (Ф).

Залежно від породи і якості деревини лицьового покриття щити підрозділяють на марки А і Б.



**Рис. 15.11.** Паркетний щит

Вимоги до паркетних щитів марки А відповідають вимогам вищої категорії якості. Щити, облицьовані квадратами фанерної облицювальної плити, шпоном, а також планками з деревини сосни, виготовляють лише марки Б.

Зазори між паркетними планками, квадратами шпону або фанерними облицювальними плитами допускаються не більше ніж 0,3 мм.

У ребрах щитів роблять пази для їх з'єднання за допомогою шпонок. Допускається виготовлення паркетних щитів з наскрізними пазами, які не доходять до ребер на 100 мм, а також щитів з гребенями і пазами на протилежних ребрах.



Паркетні планки і квадрати шпону наклеюють на основу паркетного щита за різними візерунками, варіанти яких показані на рис. 15.12. При розміщенні паркетних планок в одному напрямі їх наклеюють перпендикулярно до рейок основи. Направлення волокон у шпоні і рейках взаємно перпендикулярне.

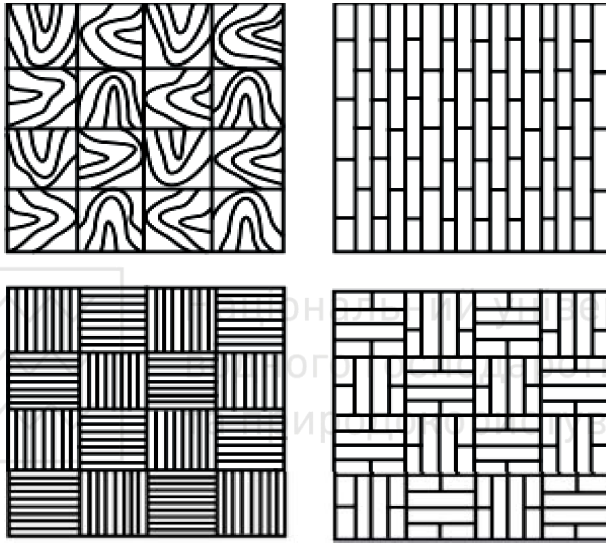


Рис. 15.12. Варіанти візерунків паркетних щитів

Клейові з'єднання виконують, застосовуючи синтетичні клеї середньої або підвищеної водостійкості.

Лицьовий бік паркетних щитів зазвичай має прозоре лакове покриття. Упаковка, маркування, транспортування і зберігання їх такі ж, як і паркетних дощок. Паркетні щити укладаються на лаги, відстань між осями лаг відповідає ширині щита. Щити розмірами 800x800 мм слід укладати на лаги з кроком 400 мм.

Один з різновидів паркетних щитів набирають з *паркетіту* – матеріалу у вигляді двошарових плиток, основу яких виготовляють з тирси і верстатної стружки, змішаних з





в'яжучими, а облицовальний шар – із шпону листяних порід (берези, осики, вільхи, тополі), модифікованого синтетичними полімерами.

*Мозаїчний (художній) паркет* (рис. 15.13) виготовляють у вигляді килимів, що складаються з окремих планок, наклеєних лицьовою поверхнею на папір або еластичний біостійкий матеріал. Мозаїчний паркет, як і інші види паркету, призначений для влаштування підлог у житлових і громадських будівлях. Його виготовляють з найбільш цінних порід деревини. Пластини такого паркету мають різну форму і за рахунок підбору кольору, фактури деревини, а також вузьких пластин різного кольору викладається художній орнамент або малюнок.



**Рис. 15.13.** Елементи мозаїчного паркету

Паркет залежно від способу фіксації планок для утворення килима розділяють на типи:

- П1 – планки наклеєні лицьовою стороною на папір, що знімається разом з клейовим шаром після настилу паркету на основу підлоги;
- П2 – планки наклеєні зворотною стороною на еластичний (теплозвукоізоляційний) біостійкий матеріал, що залишається в конструкції підлоги після настилу паркету.

Як еластичний матеріал використовують бітумізовані деревноволокнисті плити, плити з гумової крехти та ін.



Основна форма килима паркету – квадрат. Допускається виготовлення паркету у формі прямокутника. Паркетний килим збирають з елементарних квадратів, що зазвичай складаються в шаховому порядку.

Основою *художніх паркетних щитів* є двошаровий щит, склеєний з брусків завширшки 25...70 мм. Волокна деревини верхнього шару основи повинні бути направлені під кутом 45° до нижнього шару основи.

Щити паркетні художні призначені для покриття підлог унікальних будівель. Вони представляють собою двошарову дерев'яну основу з лицьовим покриттям з паркетних планок з прямими ребрами, наклеєних на основу у вигляді квадратних елементів, які розміщені у шаховому порядку.

Лицьове покриття щитів набирають не менше ніж з трьох різних порід деревини.

*Ламінат* – матеріал для підлог на основі деревноволокнистих плит і кількох шарів паперу, просочених меламіновими або акриловими смолами і запресованих із плитою при високих температурах і тиску. На відміну від природних матеріалів, ламінат виготовляють не з натуральної деревини, він включає друкований декоративний шар на полімерній основі, покритий зносостійкою плівкою.

Ламінат може імітувати мармур, граніт, килимові покриття, кахляну плитку та ін.

Більшість сучасних ламінатів мають чотиришарову конструкцію (рис. 15.14). Її основу складає деревноволокниста плита високої щільності. Це пластина завтовшки 6–10 мм, що має густину 800–1100 кг/м<sup>3</sup> (залежно від величини очікуваних навантажень), високу міцність і вологостійкість.



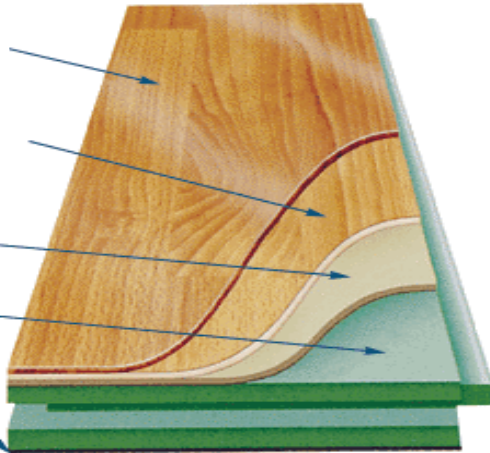
1. Шар акрилової  
чи меламінової смоли

2. Шар декоративного  
паперу

3. Плівка, що збільшує  
вологостійкість

4. Панель ДВП -  
основа ламінату

5. Шар з  
вологостійкого паперу



**Рис. 15.14.** Ламінат

Для отримання малюнку на ламінаті спочатку фотографується фрагмент деревини або іншого матеріалу, потім зображення переноситься на папір, який просочується меламіновою або акриловою смолою. Отриманий таким чином декоративний папір поміщається над плитою і накривається зверху *оверлеєм* – міцною захисною плівкою з нетканого целюлозного матеріалу, яка також просочена смолою. Для додання оверлею підвищеної стійкості до стирання, на його поверхню напилюється оксид алюмінію. Знизу під плиту підкладається стабілізуюча прокладка, що компенсує напруження, яке створюється двома верхніми шарами. Ламінат пресується на пресах при температурі 200° С під тиском 4 МПа. Після витримки листи ламінату розрізають на панелі, розміри яких зазвичай знаходяться в діапазоні 190...300 мм (ширина), 1180...2000 мм (довжина), і фрезерують на торцях шипи і пази, необхідні для з'єднання панелей. Ламінат укладають в житлових приміщеннях, офісах, магазинах, музеях, готелях, спортивних залах тощо. Підлоги, що ламінують, настиляють «плаваючим» способом, тобто панелі не кріпляться до основи, а з'єднуються між собою за допомогою клею.



## 15.5. Матеріали з клеєної деревини

Клеєна деревина відноситься до найбільш ефективних будівельних матеріалів. Вона може бути шаруватою – зі шпону (фанера, деревношаруваті пластики), масивною – з кускових відходів лісопиляння та деревообробки (панелі, щити, бруси, дошки), комбінованої (столярні плити).

*Клеєні вироби* (рис. 15.5) з кускових відходів деревини класифікують за видом клею, що застосовується, за характером обробки та конструктивними особливостями. Міцність склеювання деревини залежить від пористості, співвідношення ранньої та пізньої деревини в річних шарах, її вологості, хімічного складу, кута нахилу волокон. Встановлено, що міцність склеювання лінійно пов'язана з пористістю, вона зростає також в міру збільшення вмісту целюлози.



**Рис. 15.15.** Види клеєних виробів:

а, б – двотаврові балки; в – блок із дощок;  
г – клеєна арка із піварок; д – клеєна ферма

Перевагами клеєної деревини є її низька середня густина, водостійкість, можливість одержання з маломірного матеріалу виробів складної форми або великих конструктивних елементів, в клеєних конструкціях послаблюється вплив анізотропії деревини, вони характеризуються гниlostійкістю і низькою здатністю до загоряння, не піддаються усушці і жолобленню. Клеєні дерев'яні конструкції за строками і трудозатратами при зведенні будівель, а також стійкості при дії агресивного повітряного середовища часто з успіхом конкурують із



сталними і залізобетонними конструкціями. Їх застосування ефективно при зведенні сільськогосподарських підприємств, виставочних і торгівельних павільйонів, спортивних комплексів, будівель і споруд збірного типу.

Клеєні дерев'яні конструкції, як і залізобетонні, можна випускати попередньо напруженими, армуючи їх сталними стержнями. В армованих конструкціях у вигляді суцільних або пустотілих балок несуча здатність майже в 2 рази вища, ніж в цільнодерев'яних.

Номенклатура виробів з клеєної деревини широка. Так з відрізків дощок зклеюють панелі, що мають границю міцності на сколювання вздовж волокон по клеєному шву не менше 6 МПа. Міцність на статичний згин зубчато-шипового з'єднання складає не менше 35% міцності бездефектної деревини. Такі панелі застосовують для обладнання перегородок, обшивки будинків, настилів підлог.

З кускових відходів лісопиляння виготовляють клеєні щити, що застосовуються, головним чином, для настилання підлог. Для їх виготовлення застосовують кускові відходи, що розкроюють на бруски і сушать до вологості 10...12%, а потім склеюють при пресуванні. Щити стругають з двох сторін на рейсмусовому верстаті, обрізають по периметру до заданих розмірів з одночасною вибіркою на бокових кромках паза та гребню.

При виготовленні клеєних виробів у будівництві економія ділової деревини складає до 20%, а вартість конструкцій зменшується в 3...4 рази порівняно із вартістю конструкцій з цільної деревини.

Конструкції з клеєної деревини дозволяють зменшити масу будівель в 2,5...3 рази, знизити трудозатрати на 25...30%, скоротити строки будівництва в 1,5...2 рази.

До основних видів клеєних індустріальних дерев'яних конструкцій відносяться балки, рами, арки, ферми, просторові конструкції.

*Фанера* – листовий матеріал, склеєний з трьох і більше шарів лущеного шпону. *Шпон* – облицювальний матеріал у вигляді тонких листів деревини, отримуваних струганням брусів (струганій) або лущенням коротких пропарених колод з берези,



вільхи, сосни та ін. Луцений шпон використовується окрім виробництва фанери також у виробництві деревно-шаруватих пластиків та інших видів шаруватої клеєної деревини, для фанерування деталей і столярних виробів. Струганий шпон застосовують, в основному, як облицювальний матеріал для виробів з деревини. Зовнішні шари шпона у фанері називаються сорочками, внутрішні – серединками. Фанеру виготовляють з деревини берези, вільхи, ясена, дуба, липи, осики, тополі, клена, ялини, сосни, смереки, кедра і модрина.

Для опорядження приміщень застосовують фанеру загального призначення із зовнішніми шарами зі шпону листяних порід, декоративну фанеру, фанеру бакелізовану і фанерні плити.

Фанеру загального призначення (рис. 15.16) поділяють залежно від зовнішнього вигляду поверхні на сорти, за ступенем водостійкості клейового з'єднання на марки, за ступенем обробки поверхні на шліфовану і нешліфовану.



**Рис. 15.16.** Фанера загального призначення

Фанера ФК для внутрішнього використання склеюється карбамідною смолою. Фанера ФСФ склеюється фенольною смолою. Це водостійка фанера для використання як усередині приміщень, так і зовні, зокрема під покрівлю.

За ступенем механічної обробки поверхні фанеру поділяють на:



- нешліфовану – НШ;
- шліфовану з одного боку – Ш1;
- шліфовану з двох боків – Ш2.

Фанеру виготовляють п'яти сортів: Е (еліта), І, ІІ, ІІІ, ІV.

Розміри листів фанери: довжина і ширина 1200...3600 мм, товщина 3...30 мм. Для фанери нормується вологість 5...10%, границя міцності на сколювання по клейовому шву після кип'ятіння 0,6...1,5 МПа, при статичному згині вздовж волокон зовнішніх шарів – 25...55 МПа для фанери ФК і 30...60 МПа для фанери ФСФ.

*Декоративну фанеру (ДФ)* виготовляють з березового, вільхового і липового шпону з трьох і більше листів і облицьовують плівковим покриттям у поєднанні з декоративним папером або без нього. Випускають декоративну фанеру чотирьох марок (ДФ-1, ДФ-2, ДФ-3 і ДФ-4). Фанера ДФ-2 і ДФ-4 має непрозоре покриття з декоративного паперу, що імітує структуру цінних порід дерева. У фанери ДФ-1 і ДФ-3 облицьовальне покриття прозоре, таке, що не приховує текстуру деревини. Застосовують декоративну фанеру для внутрішнього опорядження стін, перегородок, дверних полотен та ін.

За видом облицьовального покриття і полімерних смол декоративну фанеру поділяють на марки, приведені в табл. 15.2

Таблиця 15.2

#### Марки декоративної фанери

Марка	Вид облицьовального покриття	Назва смол
ДФ-1	Прозоре (безбарвне або забарвлене), не закриває текстуру натуральної деревини	Сечовино-меламіно-формальдегідні
ДФ-2	Непрозоре, з папером, що імітує текстуру цінних порід деревини, або з іншим малюнком	
ДФ-3	Прозоре, підвищеної водостійкості (безбарвне або забарвлене), що закриває текстуру натуральної деревини	Меламіно-формальдегідні
ДФ-4	Непрозоре, підвищеної водостійкості, з папером, що імітує текстуру цінних порід деревини, або з іншим малюнком	



Нормовані значення фізико-механічних властивостей декоративної фанери приведені в табл.15.3.

Таблиця 15.3

Фізико-механічні властивості декоративної фанери

Показник	Порода деревини	
	береза	вільха, тополя, липа, осика, сосна, ялина, модрина
Границя міцності на сколювання по клейовому шару після вимочування у воді впродовж 24 ч, МПа, не менше	1,2	1,0
Вологість %, не більше	10	
Водостійкість: для фанери марок ДФ-1 і ДФ-2 (після витримки зразка на повітрі при 20...25° С впродовж 24 год.) для фанери марок ДФ-3 і ДФ-4 (без додаткової витримки)	Плями і набухання не допускаються	
Світлостійкість, бали, не нижче: для фанери марок ДФ-1 і ДФ-3 із безбарвним облицювальним покриттям після чотиригодинного опромінювання для фанери марок ДФ-1 і ДФ-3 із забарвленим облицювальним покриттям, ДФ-2 і ДФ-4 після двогодинного опромінювання	4 4	
Теплостійкість	Не допускаються тріщини і луцнення	
Міцність склеювання облицювального покриття зі шпоном	Облицювальне покриття не повинне відшаровуватися в точці перетину двох ліній надрізу	

Листи декоративної фанери складають у пакети, прокладаючи між лицьовими шарами папір.





*Бакелізовану фанеру* ФБ, виготовляють на основі березового шпону, який просочується фенолформальдегідними смолами (бакелітовим лаком). Таку фанеру можна використовувати в жаркому кліматі при дії вологих агресивних середовищ. Для цього виду фанери характерні підвищена щільність і міцність.

Для фанери марок ФБС, ФБС1, ФБС-А і ФБС1-А застосовується фенолформальдегідна спирторозчинна смола, а для фанери марок ФБВ і ФБВ1 фенолформальдегідна водорозчинна смола.

Бакелізовану фанеру випускають завдовжки 1500...7700 мм, шириною 1250...1550 мм і завтовшки 5...18 мм. Її застосовують для конструктивних елементів, перегородок і внутрішньої обшивки будівель.

*Фанерні плити* – багатошарові вироби, виготовлені з декількох шарів шпону, склеєних синтетичними клеями на основі фенолформальдегідних і карбамідоформальдегідних смол.

Залежно від якості деревини і дефектів обробки зовнішніх шарів встановлюють сорти плит.

*Столярні плити* – це рейкові щити, обклеєні з обох боків березовим, буковим, вільховим або сосновим шпоном (рис. 15.17). Довжина плит до 2,5 м, ширина до 1,5 м, товщина 30 мм і більше.



**Рис. 15.17.** Столярні плити

Для виготовлення плит використовують рейки з деревини хвойних, м'яких листяних порід і берези (зазвичай 3–4 сортів), відходи лісопильного і фанерного виробництва.



Рейки щита можуть бути попередньо склеєні або зібрані на сухо. Плити можуть постачатися необлицьованими (покритими лишедвомашарамилушеного шпону) або з облицьовальним струганим шпоном (поверх лушеного) з одного чи з обох боків.

Фізико-механічні властивості плит наведені в табл. 15.4.

Таблиця 15.4

Фізико-механічні властивості столярних плит

Показник	Норма для плит при товщині двох шарів лушеного шпону, мм	
	3,0...3,6	>3,6
Вологість %	8±2	
Границя міцності на статичний згин упоперек рейок, МПа, не менше, для товщини, мм:		
16	22	25
19	18	20
22	14	15
25	12	15
30	11	15
більше 30	10	12
Границя міцності на сколювання по клейовому шарі в сухому стані, МПа, не менше	1	1

Плити можуть постачатися з нешліфованими поверхнями, що шліфуються з одного боку, шліфованими з обох боків.

*Деревношаруваті пластики (ДШП)* – багат шарові матеріали, що виготовляються з просочених синтетичними смолами листів шпону різних порід деревин, що склеюються один з одним при високому тиску в процесі гарячого пресування. Деревношаруваті пластики мають високу міцність, зносостійкість і малий коефіцієнт тертя.



ДШП завтовшки від 1 до 15 мм вважаються листовим матеріалом, понад 15 мм – плиточним. Плити виготовляються завтовшки до 60 мм.

Листи і плити, склеєні з суцільних по довжині листів шпону вважаються суцільними, а склеєні з декількох по довжині листів – складеними. Складений деревношаруватий пластик має меншу міцність.

Суцільні листи випускають завширшки 950 мм і завдовжки 700, 1150 і 1500 мм, а також розміром 1200×1500 мм. Складені листи виготовляються наступних розмірів: 2400×950, 4800×1200, 5600×1200 мм.

Залежно від розташування волокон деревини шпону виготовляють різні марки деревношаруватих пластиків: ДШП-А, ДШП-Б, ДШП-В та ін.

Густина листів із ДШП 1250...1280 кг/м<sup>3</sup>, вологість 3...8%, водопоглинання за 24 год. залежно від товщини не більше 5...15%, границя міцності на розтяг вздовж волокон не менше 137...157, поперек волокон – 108...132 МПа.

Плити із ДШП мають густину не менше ніж 1280...1300 кг/м<sup>3</sup>, вологість не більше 6...10%, водопоглинання – 18...20%, границя міцності на розтяг, вздовж волокон не менше 127...255, на стиск – 98...176 МПа.

Різновидами деревинних пластиків є лігнуглеводні і п'єзотермопластики, що одержують з тирси або відходів переробки сільгосппродуктів з застосуванням гарячого пресування.

Під дією температури при отриманні *лігнуглеводних пластиків* відбувається частковий гідроліз полісахаридів деревини та утворення органічних кислот, що є каталізаторами деструкції лігнуглеводного комплексу. Хімічно активні продукти (лігнін і вуглеводи) взаємодіють між собою при пресуванні. Внаслідок утворюється більш міцний і щільний матеріал, ніж деревина.

Суттєвими недоліками виробництва лігнуглеводних пластиків є необхідність потужного пресового обладнання і тривалого циклу пресування.



*П'єзотермопластики* можуть виготовлятися з тирси двома способами: без попередньої обробки вихідної сировини і з його гідротермальною обробкою.

По першому способу виробництва п'єзотермопластиків технологія близька до технології лігновуглеводних пластиків.

По другому способу кондиційну тирсу розміром менше 4 мм обробляють в автоклавах паром при температурі 170...180° С і тиску 0,8...1 МПа. Гідролізована пресмаса частково висушується і за певної вологості послідовно піддається холодному та гарячому пресуванню. Питомий тиск холодного і гарячого пресування – 15 МПа, температура останнього – 160° С.

П'єзтермопластики поділяють на ізоляційні, напівтверді, тверді та надтверді.

За середньої густини 700...1100 кг/м<sup>3</sup> п'єзотермопластики, виготовлені з березової тирси, мають границю міцності на статичний згин 8...11 МПа. За підвищеної середньої густини – до 1350...1330 кг/м<sup>3</sup> межа міцності досягає 25...40 МПа.

Фізико-механічні властивості п'єзотермопластиків дозволяють застосувати їх для підлог, дверей, а також як опоряджувальний матеріал.

## **15.6. Деревностружкові, деревноволокнисті і цементностружкові плити**

*Деревностружкові плити* виготовляють гарячим пресуванням деревних стружок з полімерним в'язучим.

Плити підрозділяють:

- за фізико-механічними показниками – на марки П-А і П-Б;
- за якістю поверхні – на І і ІІ сорти;
- за видом поверхні – із звичайною і дрібноструктурною (М) поверхнею;
- за ступенем обробки поверхні – на шліфовані (Ш) й нешліфовані;
- за стійкістю до води – із звичайною та підвищеною (В) водостійкістю;
- за вмістом формальдегіду – на класи емісії Е1, Е2, Е3.



Розміри плит знаходяться в наступному діапазоні:

товщина – від 3 і більше з градацією 1, довжина – 1830...5680,  
ширина – 1220...2500 мм.

Фізико-механічні показники плит густиною від 550 кг/м<sup>3</sup>  
до 820 кг/м<sup>3</sup> повинні відповідати нормам, указаним в табл. 15.5.

Таблиця 15.5

Фізико-механічні властивості деревностружкових плит

Найменування показника	Норма для плит марок	
	П-А	П-Б
Вологість, % $T_n^*$ $T_v^*$	5 12	5 12
Розбухання по товщині: за 2 год (розмір зразків 25×25 мм), % ( $T_v$ )***	12	15
Границя міцності при згині, МПа, для товщини, мм ( $T_n$ ):		
від 3 до 4	13	14
від 7 до 13	14	12,5
від 21 до 25	0,30	0,20
від 33 до 40	0,20	0,14
вище 40	0,20	0,14
Границя міцності на розтяг перпендикулярно поверхні плити, МПа, для товщини, мм ( $T_n$ ):		**/*
від 3 до 4	0,45	0,31
від 7 до 13	0,4	0,28
від 21 до 25	0,30	0,20
від 33 до 40	0,20	0,14
вище 40	0,20	0,14
Питомий опір нормальному відриву зовнішнього шару, МПа, для товщини, мм, ( $T_n^{**}$ )		
від 3 до 4	0,8	–
від 7 до 13	0,8	–
від 21 до 25	0,8	–
від 33 до 40	0,8	–
вище 40	0,8	–



продовження табл. 15.5

Найменування показника	Норма для плит марок	
	П-А	П-Б
Модуль пружності при згині, МПа, для товщини, мм, ( $T_n$ )**		
від 3 до 4	1800	–
від 7 до 13	1800	–
від 21 до 25	1500	–
від 33 до 40	1200	–
вище 40	1050	–
Шорсткість поверхні, мкм, не більше:		
для шліфованих плит зі звичайною поверхнею	50	63
для шліфованих плит з дрібноструктурною поверхнею	32	40
для нешліфованих плит**	320	500
Пожолобленість, мм ( $T_v$ )	1,2	1,6

\*  $T_n$  і  $T_v$  – відповідно нижня і верхня межі показників.

\*\* – визначається за узгодженням виробника зі споживачем.

\*\*\* – для плит підвищеної водостійкості.

Плити шліфуються для подальшого облагороджування ламінуванням, кашируванням або шпонуванням (рис. 15.18).



Рис. 15.18. Зразки декоративних деревностружкових плит



Деревностружкові плити перевозять усіма видами транспорту, захищаючи їх від дії атмосферних опадів і механічних пошкоджень. Зберігають в закритих приміщеннях у горизонтальному положенні штабелями.

*Орієнтовано-стружкові плити (ОСП)* – плити, що включають орієнтовану плоску стружку, які отримують при термічній переробці деревини шляхом пресування при високому тиску і температурі з використанням фенолальдегідних полімерів (рис. 15.19).



**Рис. 15.19.** Орієнтовано-стружкова плита (ОСП)

Орієнтовано-стружкові плити є, переважно, тришаровим матеріалом, виконаним з «деревної шерсті» – подовженої (6... 9 см) тріски деревини хвойних порід. Головна особливість плит ОСП – різна орієнтація тріски. У верхньому і нижньому шарах тріска розташовується уздовж довжини всієї плити, а в середньому шарі – перпендикулярно покриваючим шарам. Така структура плит забезпечує високу механічну міцність, вона вище ніж у фанери або деревно-стружкових плит у 3 рази. При цьому зберігається достатня гнучкість.

Розрізняють 3 основних види плит ОСП:

- ОСП-1 – плити, призначені для використання в умовах зниженої вологості (меблі, обшивка, упаковка);
- ОСП-2 – плити, що використовуються при виготовленні несучих конструкцій в сухих приміщеннях;
- ОСП-3 – плити, що витримують важкі режими експлуатації (несучі конструкції в умовах підвищеної вологості).



Плити виготовляють шліфованими і нешліфованими.

Випускають також лаковані, ламіновані і шпунтовані плити.

Колір плит варіюється від ясно-жовтого до коричневого залежно від породи деревини, рецептури зв'язуючого і режиму пресування.

Підвищена міцність плит ОСП дозволяє добре утримувати шурупи і цвяхи, вони характеризуються стабільністю форми, не схильні до викривлення, мають підвищену водостійкість (розбухання при знаходженні у воді протягом 24 годин складає 17...25%, при цьому матеріал не руйнується і практично зберігає міцність). Плити легко обробляються, для них характерні високі звукоізоляційні властивості.

Густина плит змінюється залежно від виду використовуваної деревини і технологічного процесу виготовлення. Вона, зазвичай, знаходиться в межах 600...680 кг/м<sup>3</sup>. Основні розміри плит: 2500×1250 мм, 2440×1220 мм, 3660×1220 мм при товщині 6...38 мм.

Найбільш поширеною областю застосування плит ОСП є їх використання як матеріалу для виготовлення панелей каркасних будинків, обшивки стін, підлог і покрівлі. Плити застосовують також для: перекриттів, несучих балок та ін.

*Деревноволокнисті плити* (рис. 15.20) виготовляють гарячим пресуванням волокнистої маси, яка складається з органічних, переважно целюлозних волокон, води, наповнювачів, синтетичних полімерів і деяких спеціальних добавок.

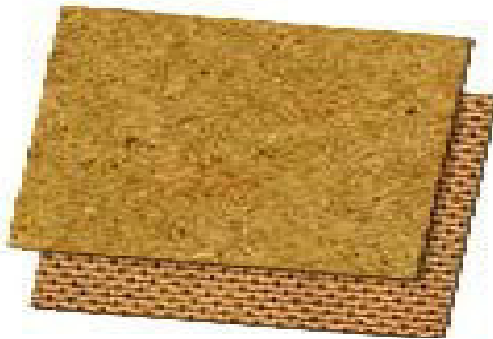


Рис. 15.20. Деревноволокниста плита





Сировиною для виготовлення плит служать відходи деревообробних виробництв і лісозаготівель, стебла очерету, льняна костриці та інші рослинні матеріали.

Плити залежно від густини та інших властивостей поділяють на: м'які (густиною до  $400 \text{ кг/м}^3$ ), напівтверді (густиною від  $400$  до  $800 \text{ кг/м}^3$ ), середньої густини (від  $600$  до  $850 \text{ кг/м}^3$ ) і високої густини (більше  $850 \text{ кг/м}^3$ ).

Плити за властивостями і видом лицьової поверхні підрозділяють на марки:

- Т – з необлагородженою лицьовою поверхнею;
- Т-С – з лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси;
- Т-П – з підфарбованим лицьовим шаром;
- Т-СП – тверді плити з підфарбованим лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси;
- Т-В – з необлагородженою лицьовою поверхнею і підвищеною водостійкістю;
- Т-СВ – з лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси і підвищеною водостійкістю;
- НТ – зниженої густини (напівтверді);
- СТ – підвищеної міцності (надтверді) з необлагородженою лицьовою поверхнею;
- СТ-С – підвищеної міцності (надтверді) з лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси.

Тверді плити марок Т, Т-С, Т-П, Т-СП залежно від рівня фізико-механічних показників підрозділяють на групи якості: А і Б, за якістю поверхні плити цих марок поділяють на І і ІІ сорт.

М'які плити залежно від густини поділяють на марки: М-1, М-2 і М-3.

Плити марок СТ, Т-В, Т-СВ застосовують для покриття підлог, в конструкціях зовнішніх і балконних дверей з подальшою обробкою лакофарбовими матеріалами.

Фізико-механічні властивості деревоволокнистих плит повинні відповідати значенням, наведеним в табл.15.6.

Розміри плит: твердих – довжина  $1220 \dots 6100$ , ширина  $610 \dots 2140$ , товщина  $2,5 \dots 6$  мм, м'яких – довжина –  $1220 \dots 3000$ , ширина  $1220$ , товщина  $8 \dots 16$  мм.



Таблиця 15.6

Фізико-механічні властивості деревноволокнистих плит

Найменування показника	Норма для плит марок							
	СТ	Т-В, Т-СВ	Т, Т-П, Т-С,Т-СП		НТ	М-1	М-2	М-3
			група А	група Б				
Густина , кг/м <sup>3</sup>	950- 1100	850- 1100	850- 1100	800- 1100	Не менше 600	200- 400	200- 350	100- 200
Границя міцності на згин, МПа: нижня межа, $T_n$	47	40	38	33	15	1,8	1,1	0,4
Розбухання по товщині протягом 24 год, %: верхня межа $T_v$	13	10	20	23	30	Не нормується		
Вологість %: нижня межа $T_n$	3	4	4	4	3	Не нормується		
верхня межа $T_v$ , не більше	10				12			
Водопоглинання за 2 год %: верхня межа $T_v$	Не нормується				34			

Плити зберігають в закритих приміщеннях розсортованими за марками та розмірами.

При транспортуванні приймають заходи для захисту плит від атмосферних опадів і механічних пошкоджень.

Різновидами деревноволокнистих плит являються плити МДФ і HDF, що виготовляються з тонкодисперсної деревноволокнистої маси методом сухого гарячого пресування. Плити МДФ і HDF мають високі фізико-механічні властивості, легко піддаються механічній обробці, вологостійкі, не розбухають від води і не жолобляться від пари, стійкі до грибів і мікроорганізмів. Їх застосовують для виготовлення



декоративних меблевих фасадів, стінових панелей, профілів, виробництва дверей і наличників.

*Деревноволокнисті плити з лакофарбовим покриттям* застосовують як опоряджувальний матеріал при будівництві житлових і громадських будівель і для виготовлення полотен дверей та інших виробів.

Номінальні розміри плит, мм: довжина 1200...2700, ширина 1000...1700, товщина 2,5...6,0 мм.

Залежно від зовнішнього вигляду лицьового лакофарбового покриття плити підрозділяють на типи А – з кольоровим декоративним друкованим малюнком і Б – одноколірні. Лицьова поверхня плит може бути глянцевою і матовою.

Лакофарбове покриття плит повинно бути стійким, зберігати свій первинний вигляд і колір при дії на нього протягом 2 год води або мінерального масла.

Плити комплектують за типом, кольором, декоративним друкованим малюнком і розмірам.

*Цементностружкові плити* (рис. 15.21) виготовляють пресуванням суміші з деревних частинок, портландцементу і хімічних добавок. В якості сировини для виробництва плит використовують тонкомірну деревину хвойних і листяних порід.



**Рис. 15.21.** Цементностружкові плити з декоративним покриттям



Плити водо-, морозо- та біостійкі, нетоксичні, добре обробляються інструментом, мають високу механічну міцність на стиск. Їх випускають двох марок: ЦСП-1 і ЦСП-2. Довжина плит – 3200 і 3600 мм, ширина – 1200 і 1250 мм, товщина – 8...40 мм. Фізико-механічні показники цементостружкових плит наведені в табл. 15.7.

Таблиця 15.7

Фізико-механічні показники цементостружкових плит

	ЦСП-1	ЦСП-2
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1100	1400
Вологість, %, не більше	9	9
Розбухання по товщині після 24 год витримування у воді, %, не більше	2	2
Водопоглинання за 24 год, %, не більше	16	16
Границя міцності на згин, МПа, не менше, при товщині, мм:		
8...16	12	9
18...24	10	8
26...40	9	7
Твердість, МПа, не менше	45	65
Морозостійкість (зниження міцності при вигині після 50 циклів), %, не більше	10	10

Цементностружкові плити рекомендується застосовувати для внутрішньої і зовнішньої обшивки панелей стін, плит покриттів і перекриттів, каркасних перегородок, підвісних стель, санітарно-технічних кабін, елементів підлог, столярно-будівельних виробів.

При використанні зовні, а також всередині приміщень з вологим режимом між плитами залишають компенсаційний зазор з урахуванням лінійної зміни розмірів плит при зволоженні.

Плити, що використовують всередині приміщень з сухим і нормальним режимом вологості, опоряджують лакофарбовими матеріалами, декоративними плівками, шпалерами.

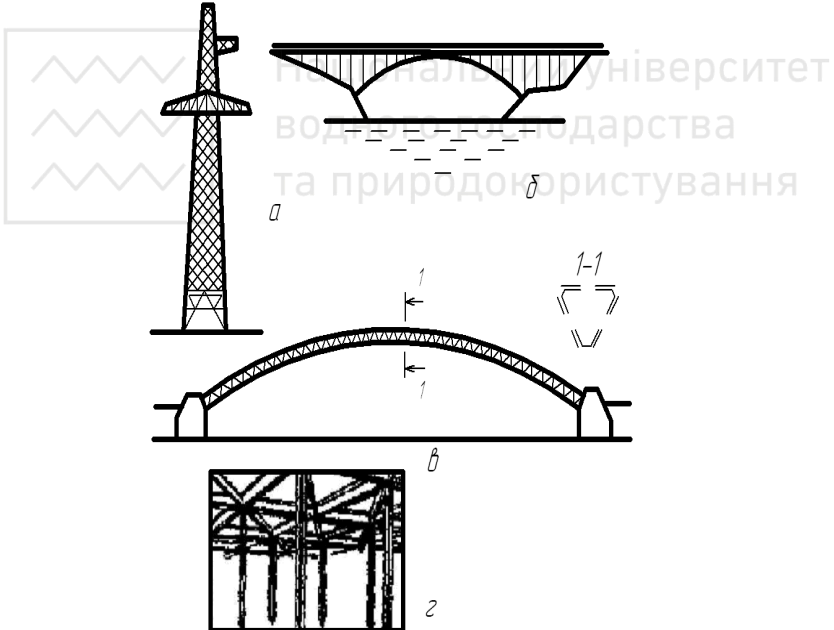


## 16. МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ

До металів належать речовини, що мають ряд специфічних особливостей: блиск, високу тепло та електропровідність.

У сучасній техніці, зокрема в будівництві, найширше використовують залізобетонні сплави – *сталі* (до 2,14% С) та *чавуни* (2,14...6,67% С). Питома вага їх у загальному обсязі металевих конструкцій становить 95...97%. Чавуни та сталі є основними представниками чорних металів. До кольорових металів належать: алюміній, магній, цинк, а також їхні сплави.

Металеві матеріали у будівництві використовують переважно у вигляді різноманітних виробів: листів, кутикових, двотаврових і швелерних профілів, труб.



**Рис. 16.1.** Алюмінієві каркасні конструкції:  
а – опора ВЛ; б – каркас мосту; в – трипоясний каркас  
арочного покриття; г – каркас будинку



Збільшується виробництво легких сталевих конструкцій з економічних профілів прокату та низьколегованих, високоміцних сталей. Маса легких конструкцій порівняно із звичайними сталевими конструкціями менша у 4...6 разів, приблизно на третину зменшуються трудові витрати.

Розширюється застосування легких сплавів на основі кольорових металів, особливо алюмінію (рис. 16.1). З алюмінієвих сплавів виготовляють зовнішні стінові панелі, конструкції підвісних стель і перегородок, віконні рами, двері, вітражі, жалюзі, тощо. Наближаючись за міцністю до конструкцій з будівельних сталей, конструкції з алюмінієвих сплавів мають меншу масу ( $2,7...2,9 \text{ т/м}^3$ ) та кращі вогнестійкість, сейсмостійкість, холодостійкість і довговічність.

### 16.1. Залізовуглецеві сплави та сплави з кольорових металів

**Залізовуглецеві сплави.** Головними класифікаційними ознаками залізовуглецевих сплавів є склад та структура, призначення та найхарактерніші технічні властивості.

Залежно від складу та структури чавуни поділяють на дві основні групи: сірі і білі. У *сірих чавунах* вуглець міститься переважно у вигляді графіту, у *білих* – цементиту (карбіду заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Для перших характерний злам темносірого кольору, а для других – матовобілого.

Сірий чавун має добрі ливарні якості на відміну від білого, що має високу твердість і крихкість. З сірого чавуну виготовляють сантехнічне обладнання, труби, плити для підлог, тубінги для тунелів та інші вироби. Маркують сірий чавун літерами СЧ. Після літер зазначають цифри, які вказують середню границю міцності на розтяг, наприклад, СЧ 20 (границя міцності на розтяг не менше 200 МПа).

Якщо до рідкого сірого чавуну перед розливанням вводять спеціальні добавки, то отримують модифікований, зокрема, *високоміцний чавун*. Його легують хромом, нікелем, молібденом, титаном, алюмінієм з метою отримання чавуну з



особливими властивостями: жаростійкого антифрикційного, антикорозійного тощо.

Білий чавун призначений, в основному, для переробки його на сталь і отримання ковкого чавуну. *Ковкий чавун* відрізняється від сірого підвищеною пластичністю, здатністю легко оброблятися. Його отримують тривалим нагріванням (відпалом) білого чавуну при температурі 760...980° С. Маркуючи високоміцні (ВЧ) та ковкі (КЧ) чавуни вказують границю міцності на розтяг та відносне видовження у відсотках, наприклад ВЧ 60-2, КЧ 45-6. Чавуни із спеціальними властивостями використовують тоді, коли відливка, крім міцності, має бути стійкою до зношення, корозії тощо.

За складом сталі поділяють на вуглецеві та леговані. *Вуглецеві сталі*, крім заліза та вуглецю, містять домішки ряду хімічних елементів, що вносяться вихідними сировинними матеріалами або зумовлені особливостями виробництва. Розрізняють низько – (до 0,3% С), середньо – (0,3...0,5% С) і високовуглецеві (понад 0,5% С) сталі. Леговані сталі містять поряд із звичайними і легуючі домішки, тобто спеціально введені елементи – хром (Х), нікель (Н), молібден (М), вольфрам (В), кремній (С), марганець (Г), мідь (Д), фосфор (П), титан (Т), ванадій (Ф), азот (А).

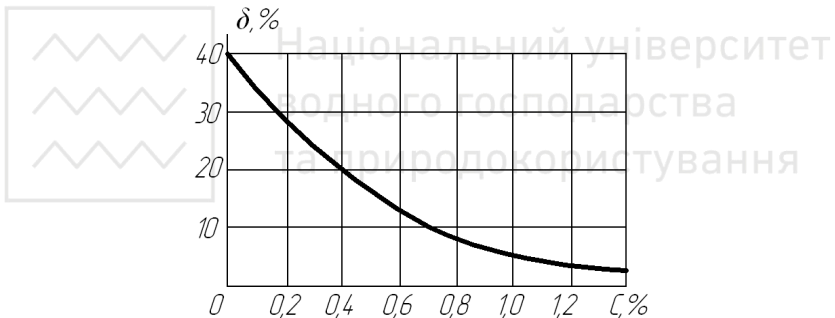
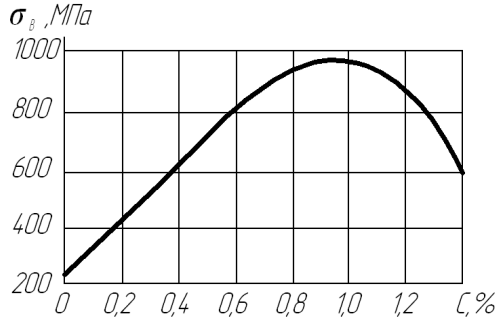
За призначенням сталі поділяють на конструкційні, інструментальні та спеціального призначення.

Для будівельних конструкцій застосовують переважно конструкційну вуглецеву сталь, що містить 0,65...0,70% вуглецю. При збільшенні кількості вуглецю від 0,65 до 1,35% і вмісті марганцю до 0,4% отримують інструментальну сталь, при зменшенні вуглецю до 0,2% – сталь для глибокої витяжки, з підвищеним вмістом сірки та фосфору – автоматну сталь, яку використовують в основному для виготовлення кріпильних деталей (втулок, гайок, гвинтів тощо).

Із збільшенням вмісту вуглецю зростає міцність і твердість сталей, але знижується пластичність (рис. 16.2) та зварюваність. Вуглецеві сталі, повністю розкислені після виплавлення, називають спокійними (СП), розкислені частково – напівспокійними (ПС) і киплячими (КП). Спокійні сталі



твердіють без помітного виділення газів. Порівняно з напівспокійними та киплячими сталями їм притаманні кращі міцнісні властивості, але водночас менший вихід металу при прокатуванні й вища вартість.



**Рис. 16.2.** Вплив вмісту вуглецю на міцність ( $\sigma_b$ ) і відносне видовження ( $\delta$ ) сталі

За якістю вуглецеві сталі бувають звичайної якості та якісні. Сталь звичайної якості використовують для виготовлення будівельних конструкцій, арматури, труб тощо. Застосовують сталі трьох груп: група А – з нормованим складом; Б – нормованими властивостями; В – з нормованими механічними властивостями та хімічним складом. Сталь кожної групи додатково поділяють на категорії залежно від нормованих показників. Сталь групи А має три, групи Б – дві, групи В – шість категорій.





Маркуючи сталь, зазначають, крім її номера, групу (за винятком групи А), ступінь розкислення і категорію. Наприклад, Ст3пс2 означає, що сталь марки Ст3 напівспокійна, другої категорії. Між індексом, який вказує на ступінь розкислення, та номером марки може стояти літера Г, що означає підвищений вміст марганцю, наприклад, ВСт3Гпс2. Якщо зростає марка сталі, то зростає її міцність і твердість, зменшується відносне видовження.

Основною для будівельних зварних конструкцій є сталь групи В (табл. 16.1). Для неї встановлені такі марки: ВСт2, ВСт3, ВСт3Гпс, ВСт4, ВСт5.

Таблиця 16.1

Характеристика вуглецевих сталей групи В

Категорія поставки	Марка сталі всіх ступенів розкислення	Кількісний склад	Тимчасовий опір	Відносне видовження	Згин у холодному стані	Границя міцності	Ударна в'язкість		
							При температурі		Після механічного старіння
							+ 20°С	- 20°С	
1	ВСт2...ВСт5	+	+	+	+	-	-	-	
2	ВСт2...ВСт5	+	+	+	+	+	-	-	
3	ВСт3, ВСт4	+	+	+	+	+	-	-	
4	ВСт3, ВСт3Гпс	+	+	+	+	+	-	+	
5		+	+	+	+	+	-	+	
6		+	+	+	+	+	+	+	

Примітка: «+» означає, що характеристика нормується, «-» - не нормується.

Вуглецеві якісні сталі мають підвищену чистоту, для них звужені границі вмісту вуглецю, вміст сірки не повинен перевищувати 0,04%; таким самим має бути вміст фосфору. Залежно від ступеня розкислення ці сталі можуть бути спокійними або киплячими. Маркують їх цифрами 0,5; 8; 10; 20...45 тощо, які вказують середній вміст вуглецю у сотих долях відсотка.

Марка *легованої сталі* означає її наближений хімічний склад: цифри перед літерами – середній вміст вуглецю,



збільшений у 100 разів; цифри після букв – вміст легуючої добавки у відсотках, наприклад, марка 09Г2СД розшифровується так: вуглецю 0,09%, марганцю до 2%, кремнію до 1%, міді до 1%.

Для низьколегованих конструкційних сталей залежно від гарантованих характеристик встановлені категорії, які відрізняються умовами випробувань на ударну в'язкість.

Вибираючи марки сталі та категорії їхньої поставки, враховують ступінь відповідальності та умови експлуатації сталевих конструкцій. У найважчих умовах працюють зварні конструкції при низьких від'ємних температурах, а також під дією динамічних вібраційних або рухомих навантажень.

**Сплави з кольорових металів.** Для виробництва алюмінієвих сплавів, фольги, кабельних та струмопровідних виробів використовують алюміній технічної чистоти, який містить 0,15...1% домішок. Сплави з алюмінію поділяють на дві групи: сплави, що деформуються, з яких прокатуванням, пресуванням, волочінням, куванням і штампуванням отримують різноманітні вироби, і ливарні, призначені для виготовлення відливок. Найтипівіші алюмінієві сплави, що деформуються (типу *дюралюмінію*), містять 2,2...5,2% Cu, до 1,75% Mg, до 1% Si, до 1% Fe та до 1% Mn. Марки дюралюмінію позначаються літерою Д з наступною цифрою – умовним номером сплаву, з підвищенням якого збільшується його механічна міцність. Серед ливарних алюмінієвих сплавів найпоширеніші *силуміни* – сплави алюмінію з кремнієм, якого добавляють 4...13%.

Крім алюмінієвих сплавів, у будівництві застосовують *мідні сплави* – латунь і бронзу. У *латуні* основним легуючим елементом є цинк (до 45%), а у *бронзі* – олово, алюміній, кремній та інші елементи. Маркуючи бронзу та латунь, вказують їхній склад. Наприклад, алюмінієва бронза, що містить 8...10% Al та 2...4% Fe, маркується так БрА39-4. У простій латуні вказують вміст міді (Л80, Л70 тощо), а у легуваних – також легуючих елементів.

До найлегших конструкційних матеріалів належать *магнієві сплави* (густина магнію 1,7 г/см<sup>3</sup>). Так само, як і алюмінієві



сплави, їх поділяють на сплави, що деформуються (МД) та ливарні (МЛ). Низька густина у поєднанні з високою міцністю та корозійною стійкістю характерна також і для титанових сплавів.

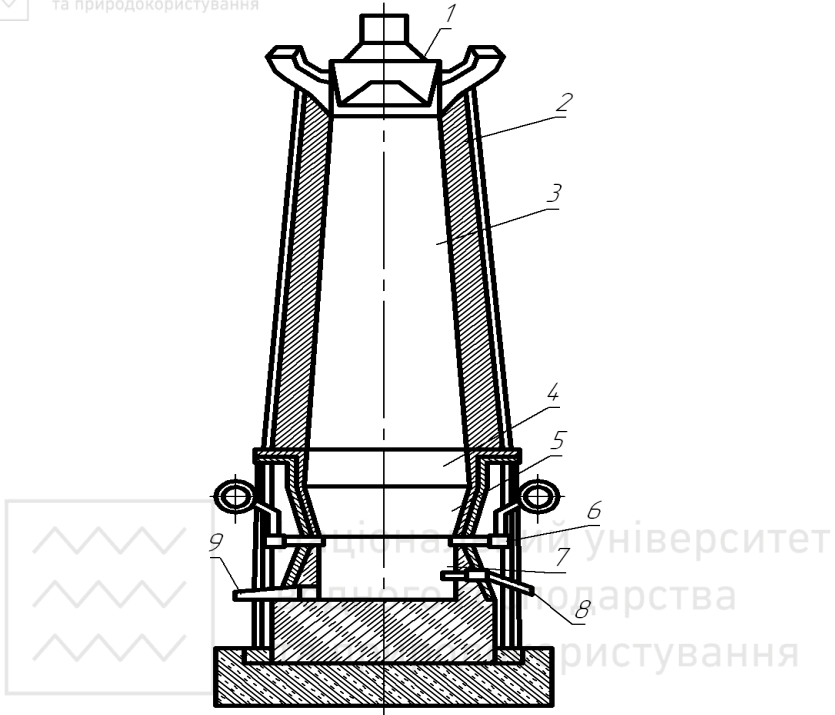
## 16.2. Технологія металевих сплавів

**Отримання чавуну та сталі.** Технологічний процес добування чорних металів включає виплавлення чавуну із залізних руд з наступною переробкою його в сталь.

Основним способом отримання чавуну є *доменний*. Доменний процес складається з трьох стадій: відновлення заліза з оксидів, що містяться в руді, науглецювання заліза та шлакоутворення. Сировинними матеріалами є залізні руди та флюси.

Залізні руди до плавлення піддають попередній обробці та дробінню, збагаченню і грудкуванню. Збагачують подрібнену руду найчастіше магнітною сепарацією. Для вилучення піщаних та глинистих частинок руду промивають водою. Дрібні та пилюваті руди огрудковують агломерацією – спіканням на колосникових решітках агломераційних машин або обкочуванням у грануляторі з наступним сушінням та випалюванням. Основне паливо при плавленні чавуну – кокс, який є джерелом тепла та безпосередньо бере участь у науглецюванні заліза. Флюси (вапняки, доломіти або пісковики) застосовують для зниження температури плавлення пустої породи та зв'язування її з золюю палива у шлак.

Доменна піч – це вертикальна шахта зі стінами із вогнетривкої цегли, розміщеними у сталевому кожусі (рис.16.3). Зверху у піч пошарово завантажують підготовлені сировинні матеріали. Внаслідок горіння коксу за наявності кисню повітря, що нагрівається у нижній частині печі, утворюється оксид вуглецю, який відновлює залізо з руди і може хімічно взаємодіяти з ним.



**Рис. 16.3.** Схема доменної печі:

- 1 – засипний апарат; 2 – колошник; 3 – шахта; 4 – розпар;  
5 – заплечики; 6 – повітряні фурми; 7 – горн; 8 – летка для  
випуску шлаку; 9 – летка для випуску чавуну

Водночас з відновленням заліза відновлюються кремній, фосфор, марганець та інші домішки.

Розплавлені при температурі 1380...1420° С чавун і шлак випускають через летки. Чавун розливається у форми, а шлак йде на переробку. У доменних печах виплавляють чавун, призначений для виробництва сталі, ливарний – для отримання різноманітних чавунних виробів, спеціальні чавуни (феросиліцій, феромарганець), які використовують у виробництві сталі як розкислювачі або легуючі добавки.

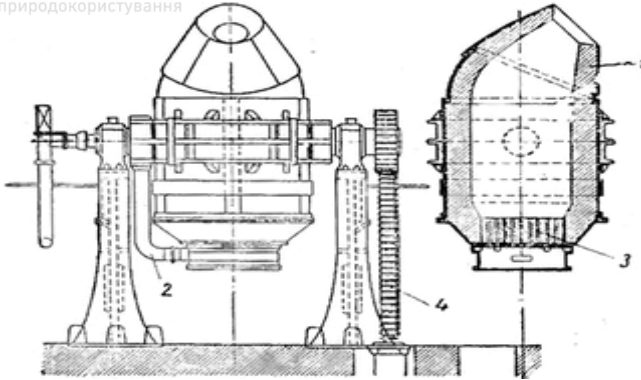


Сталь виплавляють з чавуну окисленням мартенівським, конверторним та електроплавильним способами. Основним способом є мартенівський, але останніми роками поширений кисневоконверторний спосіб, який має суттєві техніко-економічні переваги.

При *мартенівському* способі сталь виплавляють у мартенівських печах, в яких спалюється газ або мазут, а у спеціальних камерах-регенераторах нагрівається повітря і газоподібне паливо за рахунок акумульованої теплоти відхідних продуктів горіння. Шихта містить чавун і металевий брухт – скрап та залізну руду. Сталь одержують внаслідок плавлення шихти, при якому утворюється велика кількість закисного заліза, окислення вуглецю та інших домішок і розкислення-відновлення заліза із закису добавками феросиліцію, феромарганцю або алюмінію.

*Конверторний* спосіб виробництва сталі полягає у продуванні повітря або кисню через чавун, налитий у конвертор (рис. 16.4). Після закінчення процесу конвертор повертають горизонтально, припиняють дуття, перевіряють склад сталі та виливають її у ківш. Нині поширений киснево-конверторний спосіб, при якому дуття здійснюється чистим киснем. Киснево-конверторний спосіб характеризується високою продуктивністю, не потребує великих капітальних витрат і палива. Коефіцієнт використання теплоти при цьому способі становить близько 70%.

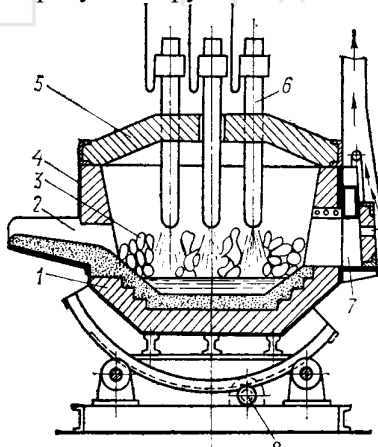
*Електроплавильний* спосіб отримання сталі є найсучаснішим. У електричних печах виплавляють якісну сталь, яка має високу чистоту та добру розкисленість. Основним матеріалом для електроплавлення сталі є сталевий брухт.



**Рис. 16.4.** Схема конвертора:

- 1 – обертовий барабан;
- 2 – футеровка; 3 – фурми для подачі повітря;
- 4 – поворотний механізм

Електроплавлення ведуть у дугових (рис. 16.5) або індукційних печах. У дугових печах метал нагрівається за рахунок теплоти, що виділяється електричною дугою, яка утворюється між електродом та розплавленим металом, у індукційних – за рахунок струмів високої частоти.



**Рис. 16.5.** Дугова електрична піч для плавлення сталі:

- 1 – футеровка ; 2 – жолоб; 3 – шихта; 4 – стальний циліндр; 5 – склепіння; 6 – електроди;
- 7 – завантажувальне вікно; 8 – механізм для завантаження або зливання сталі і шлаку



Прогресивним є спосіб отримання сталі за допомогою *дуплекс-процесу*, коли рідкий чавун переробляють у сталь у конверторах, а потім в електropечax сталь доводять до заданого хімічного стану.

Сучасними методами отримання сталі є *електрошлакове, плазменнопроменеве та електроннопроменеве* переплавлення. При електрошлаковому переплавленні високоякісні леговані сталі отримують із злитків звичайної сталі, які плавляться за рахунок теплоти, що виділяється при проходженні крізь них електричного струму. Розплавлений метал проходить крізь шар рідкого шлаку та очищується від шкідливих домішок та газів. При плазменно-променевому переплавленні джерелом теплоти є плазмова дуга, а при електроннопроменевому – потік електронів, що випромінюються кобальтовою гарматою з утворенням у плавильному просторі глибокого вакууму.

Ефективним є отримання сталі *прямим відновленням* з руд, минаючи доменний процес. Напівфабрикатом для виробництва сталі при цьому способі є губчасте залізо, яке отримують в обертових або шахтних печах і піддають дробінню та відділенню від пустої породи. У разі прямого відновлення заліза з руд немає потреби у коксохімічному виробництві – основному при доменному процесі, що суттєво підвищує продуктивність виробництва сталі.

Сталь, випущену з печей, заливають у спеціальні чавунні форми – *ізложниці* або подають на безперервне лиття. При безперервному розливанні струмінь розплавленого металу надходить спочатку до кристалізатора, що охолоджується водою, а потім до зони вторинного охолодження та автоматично розрізується на злитки потрібної довжини. Безперервне лиття, порівняно із штучним, дає змогу підвищити продуктивність праці, якість сталі, скоротити відходи ливарного виробництва.

**Отримання алюмінію.** Із сплавів кольорових металів у будівництві найбільш широко використовують алюмінієві сплави. Найширше практичне застосування отримали, алюмінієво-мідно-магнієві (дюралюміні), алюмінієво-кремнієві (силуміни), алюмінієво-марганцеві та алюмінієво-магнієві (магналії) сплави.



Сировиною для виробництва алюмінію є гірські породи з високим вмістом  $Al_2O_3$  – боксити, нефеліни, алуніт тощо. Процес отримання алюмінію складається з трьох технологічних стадій: отримання чистого глинозему, його електролізу та вилучення первинного алюмінію і рафінування, тобто його очищення. Для одержання глинозему алюмінієві руди обробляють у лугах або кислотах залежно від складу домішок. При лужному способі вилучення домішок утворюється водний розчин алюмінату натрію, який легко розпадається з утворенням гідроксиду алюмінію, а потім після прожарювання і  $Al_2O_3$ . При кислому методі спочатку утворюються солі алюмінію, які також послідовно перетворюються у  $Al(OH)_3$  та  $Al_2O_3$ .

Металевий алюміній отримують методом електролізу глинозему у рідкому електроліті – розплавленому криоліті  $Na_3AlF_6$ . Електроліз здійснюють у електролізних ваннах, які послідовно сполучають у серії по 80... 100 шт. Рідкий алюміній очищають або рафінують у закритому ковші продуванням хлором при температурі 750...770° С.

Традиційна технологія отримання алюмінієвих сплавів включає отримання алюмінієвого розплаву і розчинення у ньому легуючих елементів.

**Термічна обробка металів.** Ефективним способом цілеспрямованої зміни структури металів з метою отримання потрібних властивостей є термічна обробка. Термічна обробка металевих матеріалів полягає у нагріванні їх до проектної температури, витримуванні та охолодженні із заданою швидкістю до певної температури. Процеси термічної обробки поділяють на власно термічну обробку під дією лише теплоти - загартовування, відпалювання, відпускання, нормалізацію; термомеханічну обробку при комбінованій дії теплоти та пластичного деформування; фізико-термічну обробку при поєднанні дії теплоти та зміни хімічного складу металу.

*Загартування* металів полягає у нагріванні їх до температури не нижче критичних точок, тобто точок на діаграмі стану, яри яких якісно змінюється фазовий стан сплавів, наступному витримуванню та швидкому охолодженні. Загартовуючи вуглецеві та низьколеговані сталі, прагнуть





отримати голчасту структуру мартенситу. *Мартенсит* – це перенасичений твердий розчин вуглецю у  $\alpha$  – Fe. При охолодженні у воді аустеніт (високотемпературна модифікація заліза та його сплавів) зберігається до температури приблизно  $200^{\circ}\text{C}$ , а потім миттєво перетворюється у мартенсит. Структура мартенситу – найтвердіша та крихка структура сталі.

Для усунення внутрішніх напружень, що виникають при загартуванні сплавів, і досягнення найкращої комбінації міцності та пластичності їх піддають *відпусканню* – нагріванню до температури нижче нижніх критичних точок. Розрізняють низьке, середнє та високе відпускання.

Температура нагрівання при низькому відпусканні становить  $150\text{...}200^{\circ}\text{C}$ , а при високому –  $600\text{...}650^{\circ}\text{C}$ . Під час відпускання сталі мартенсит переходить у більш стійкі структури.

Якщо потрібно зменшити твердість, підвищити пластичність і в'язкість металів, їх оброблюваність, то застосовують *відпал*. Характерною особливістю відпалу є повільне охолодження, якого досягають під шаром піску, шлаку тощо. При відпалі сталей після попереднього нагрівання утворюється аустенітова структура, яка, повільно охолоджуючись, переходить до рівноважної структури відповідно до діаграми стану.

Для досягнення дрібнозернистої однорідної структури з дещо меншою пластичністю, але з більш високою твердістю, ніж після відпалу, здійснюють *нормалізацію* сплавів, відмінною особливістю якої є охолодження на повітрі. Нормалізація є простішим видом обробки порівняно з відпалом. Вона підвищує твердість і дає змогу отримати чистішу поверхню сталі при різанні.

*Термомеханічна обробка* металів включає нагрівання, пластичне деформування та охолодження металу, поєднані в єдиній технологічній схемі. Суть поєданого процесу полягає в тому, що заготовки відразу після закінчення гарячої обробки тиском (кування, прокатування) загартовують. При цьому заготовки спеціально не нагріваються, а використовується залишкова теплота після гарячого формування. Внаслідок цього економиться паливо для нагрівання під загартування, зменшується



потреба у нагрівальних печах, скорочується час на виготовлення деталей та суттєво поліпшуються механічні властивості.

*Хіміко-термічна обробка* металів полягає у насиченні поверхні виробів вуглецем, азотом, алюмінієм та іншими елементами. Цьому виду обробки піддають вироби, призначені для роботи на стирання у комбінації з ударними навантаженнями, тобто у тих випадках, коли вони повинні мати високу твердість поверхневих шарів при досить в'язкій серцевині. Залежно від особливостей деформованого елемента можна впливати також на міцність від втоми, підвищувати опір поверхні матеріалу дії зовнішніх агресивних середовищ тощо.

Найчастіше використовують *цементацію* – насичення сталі вуглецем. Поверхневий шар низьковуглецевих сталей під час цементації науглецьовується до 0,8... 1,1% C і піддається термічній обробці, внаслідок якої набуває структури мартенситу. При науглецьовуванні вироби розміщують у сталеві ящики, засипають цементаційною сумішшю, яка складається з активованого вугілля та вуглекислої солі, нагрівають до температури 900...950° C. Кисень повітря, нагріваючись з вуглецем, утворює оксид вуглецю, який у разі наявності заліза дисоціює з утворенням вуглецю.

Крім цементації використовують азотування, ціанування, алітування, хромування, та інші види хіміко-термічної обробки металів.

В останні роки розширюється поверхнева обробка виробів за допомогою оптичних квантових генераторів (лазерів). Порівняно з іншими видами *лазерне нагрівання* має такі переваги: можливість обробки важкодоступних місць та поверхонь деталей складної конфігурації; відсутність короблення та деформації деталей; можливість передавання енергії променя на великі відстані та обробка деталей, виготовлених з будь-яких матеріалів (чавунів та сталей, кольорових і твердих сплавів, порошкових металів); висока швидкість процесу тощо. Застосування сучасних лазерних установок забезпечує можливість повної механізації та автоматизації процесу.

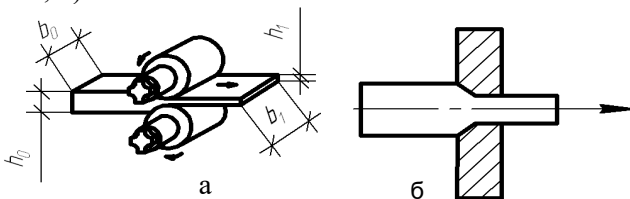


**Обробка металів тиском.** Обробку металів тиском здійснюють прокатуванням, волочінням, пресуванням, куванням та штампуванням. Ці способи ґрунтуються на використанні пластичної деформації холодного або нагрітого металу під дією валків, штампів, бойків тощо.

При пластичному деформуванні металів змінюється не лише їхня форма, але й структура – відбувається витягування зерен, подрібнення їх. Обробка металів у холодному стані приводить до наклепу – підвищенню границі міцності та твердості при зниженні пластичної та ударної в'язкості. Значно впливає на деформаційне зміцнення температура. Якщо температура підвищується, то пластичність безперервно зростає, а опір деформуванню зменшується. У міру нагрівання відбувається перекристалізація, відновлюється попередня структура матеріалу. Опір металів деформуванню зростає, якщо збільшується швидкість деформації.

*Прокатуванням* називають обробку металів тиском, при якій деформація здійснюється здавлюванням між циліндрами (валками) прокатного стану, що обертаються (рис. 16.6, а). Вихідними матеріалами для отримання прокатних виробів є литі заготовки, а готовою продукцією – різноманітні профілі.

*Волочіння* – це обробка металів тиском протягуванням дроту, прутка або труби крізь отвір матриці з перерізом, меншим за вихідний переріз заготовки. За допомогою волочіння вироби набувають заданої геометричної форми, точних розмірів, чистої поверхні. Волочіння металів здійснюють переважно у холодному стані на спеціальних волочильних станках (рис. 16.6, б).



**Рис. 16.6.** Обробка металів тиском:  
а – прокатування; б – волочіння



*Пресування* – продавлювання пластичних матеріалів, що містяться у контейнері, крізь вихідний отвір матриці. Цей метод обробки тиском застосовують переважно для виготовлення виробів різноманітних профілів з кольорових металів, а у деяких випадках також із сталі.

*Кування та штампування* – це процеси обтиснення металеві заготовки між двома бійками або у штампах з метою отримання виробів заданої форми. При куванні та штампуванні деталі отримують, деформуючи гарячі (а при штампуванні й холодні) заготовки навантаженням із застосуванням молотів або пресів.

### 16.3. Структура, склад і властивості сплавів

**Структура металевих сплавів.** Метали – типові кристалічні речовини, властивості яких зумовлені особливостями їх кристалічної структури. Для кожного металу характерна певна кристалічна ґратка. Зчеплення між елементами кристалічної ґратки металів є результатом дії фізико-хімічних сил, найбільш суттєвими серед яких є сили між позитивно зарядженими іонами, що складають ґратку, та оточуючими їх вільними електронами (металевий зв'язок). Теоретична міцність металів досить велика і становить, наприклад, для заліза приблизно  $10^4$  МПа. Однак різні метали мають фактичну міцність у багато разів нижчу від теоретичної через дефекти кристалів, мікротріщини, різні вclusions і особливо дислокації.

Властивості металів значною мірою зумовлені особливостями їх кристалізації, яка відбувається при переході металів з рідкого стану в твердий. Чим дрібніше зерна, тим міцніше і пластичніше метал. Кожен метал кристалізується при строго визначеній температурі. У разі швидкого відведення теплоти утворюється багато центрів кристалізації та відбувається їх інтенсивний ріст. В результаті виділяється значна кількість теплоти, яка дає змогу підтримувати метал у рідкому стані. Метали при різній температурі можуть мати різну



кристалічну структуру. Ці перетворення, які називають поліморфними, також суттєво відбиваються на їх властивостях.

При сумісній кристалізації декількох елементів утворюються сплави у вигляді механічної суміші, твердого розчину або хімічних сполук.

Властивості сплавів, що є механічною сумішшю зрощених кристалів, є середніми між властивостями елементів, що їх утворюють.

Тверді розчини та хімічні сполуки можуть мати властивості, які суттєво відрізняються від властивостей елементів, що їх утворюють. Характерними зразками хімічних сполук, які трапляються у сплавах заліза з вуглецем, є карбід заліза або *цементит*,  $Fe_3C$ , у сплавах алюмінію з міддю –  $CuAl_2$ .

На відміну від чистих металів, кристалізація сплавів відбувається не при строго визначеній температурі, а у деякому температурному інтервалі між початком та кінцем кристалізації. Рівноважний стан сплавів, залежно від їхнього складу та температури, вивчають за діаграмами стану (рис. 16.7). На діаграмах стану є ряд характерних ліній і точок. Лінія початку затвердіння сплавів називається лінією *ліквідуса*, кінця затвердіння – лінією *солідуса*. Точка на діаграмі при якій досягається найнижча температура плавлення сплаву називається *евтектикою*.

У системі залізо-вуглець утворюються такі основні фази: рідкий розчин вуглецю у залізі; *ферит* – твердий розчин вуглецю у  $\alpha$  – або  $\delta$  – Fe з об'ємно центрованою кубічною ґраткою; *аустеніт* – твердий розчин вуглецю у  $\gamma$  – Fe з гранецентрованою кубічною ґраткою, *цементит* – карбід заліза з ромбічною ґраткою. Ферит близький за властивостями до чистого заліза, він пластичний, його твердість  $HV=80...100$ , видовження 30...50%, границя міцності при розтягу 250...300 МПа. Аустеніт має вищу твердість, ніж ферит ( $HV=170...200$ ), йому також притаманні пластичність та низькі міцнісні властивості. Цементит – один з найтвердіших ( $HV=800$ ) та крихких компонентів залізовуглецевих сплавів.

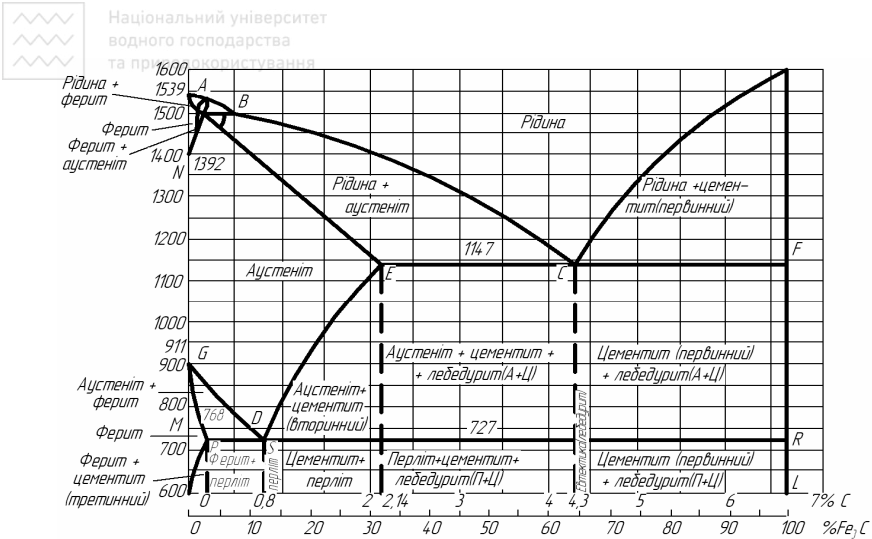


Рис. 16.7. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів

При охолодженні сплавів тверді розчини можуть розпадатися (евтектоїдний розпад). Продуктом такого розпаду аустеніту при температурі  $727^{\circ}\text{C}$  та вмісті вуглецю  $0,81\%$  є зокрема *перліт* – суміш фериту та цементиту. У процесі кристалізації залізовуглецевих сплавів утворюється також *ледебурит* – евтектична суміш аустеніту та цементиту. Внаслідок розпаду аустеніту при температурі  $250...450^{\circ}\text{C}$  кристалізується *бейніт* – високодисперсна суміш фериту та карбиду заліза.

Фазові перетворення у процесі кристалізації сплавів – основне явище, що використовується для зміни їх структури та властивостей. Різноманітність властивостей сталей головним чином визначається перетвореннями аустеніту.

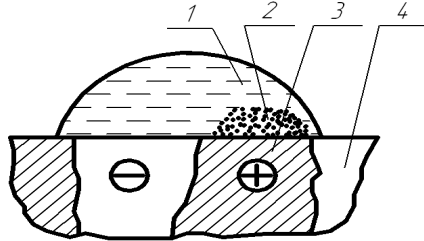
За допомогою діаграм стану вибирають сплави такого складу і структури, яким притаманні необхідні властивості.

**Корозія металів.** *Хімічна корозія* металів спостерігається у сухих газах та неелектролітах. У першому випадку метали руйнуються, взаємодіючи з газами та парами при температурі понад  $100^{\circ}\text{C}$  (окислення металу під час нагрівання, корозія пічної арматури, лопатей парових і газових турбін), у другому – корозія відбувається у нафті, бензині, мастилах тощо.



Найбільше метали руйнуються внаслідок *електрохімічної корозії*, тобто під дією електролітів – водних розчинів солей, кислот і лугів. Цей вид корозії відбувається в атмосферних умовах, при дії морських, річкових, ґрунтових та інших вод.

У залізовуглецевих сплавах анодом здебільшого є ферит, а катодом – цементит або неметалеві включення (рис. 16.8).



**Рис. 16.8.** Схема електрохімічної корозії сталі:

1 – вода; 2 – продукти корозії; 3 – цементит; 4 – ферит

Особливо інтенсивно протікає електрохімічна корозія при періодичному впливі електроліту на метал, наприклад, у разі попереднього зволоження та висушування металевих конструкцій гідротехнічних споруд.

Корозія металів прискорюється під дією електричного струму. *Електрокорозія* металів відбувається при підключенні конструкції до додаткового джерела струму, наприклад, якщо проходить трубопровід несучих трамвайних рейок. Активному протіканню процесу корозії сприяє вуглекислий та сірчистий гази, хлорид водню та хлористі солі.

Корозійну стійкість різних металів порівнюють за єдиною шкалою (табл. 16.2).

Боротьба з корозією металоконструкцій у будівництві – найважливіша народногосподарська задача. У всьому світі щороку близько 10% металу, що виплавляється, втрачається внаслідок корозії.



Шкала корозійної стійкості металів

Група стійкості	Швидкість корозії, мм за рік	Бал	Група стійкості	Швидкість корозії, мм за рік	Бал
Цілком стійкі	Менше як 0,001	1	Понижено стійкі	0,1...0,5	6
Вельми стійкі	0,001...0,00	2		0,5...1	7
Стійкі	0,005...0,01	3	Малостійкі	1...5	8
	0,01...0,05	4		5...10	9
	0,05...0,1	5	Нестійкі	Понад 10	10

Для захисту металу від корозії застосовують різні методи. Найефективніше підвищують корозійну стійкість сталей добавки нікелю, хрому, фосфору і особливо міді; негативно впливає марганець. Поширеним методом підвищення корозійної стійкості будівельних сталей є легування їх 0,2...0,4% Cu, при цьому стійкість проти корозії зростає на 20...30%.

Метали захищають від корозії, застосовуючи лакофарбові, неорганічні неметалеві та металеві покриття. Ефективні лакофарбові покриття розроблені на основі синтетичних полімерів. До неорганічних покриттів належать найрізноманітніші захисні плівки: оксидні, фосфатні, цементні, азбестоцементні, емалеві та інші.

Металеві покриття розрізняють за механізмом захисної дії (анодні та катодні), а також за способом нанесення (гальванічні, металізаційні, нанесені з розплаву або вакуумним насиченням тощо). Анодне покриття характерне тим, що його електродний потенціал більш від'ємний, ніж у металі, який воно захищає. У разі пошкодження покриття руйнується з більшою швидкістю, виконуючи протекторну роль щодо основного металу. Для анодних покриттів сталі призначені переважно цинк і алюміній, для катодних – мідь, олово, нікель та ін. Якщо порушуються анодні покриття, то їхня захисна дія зникає.

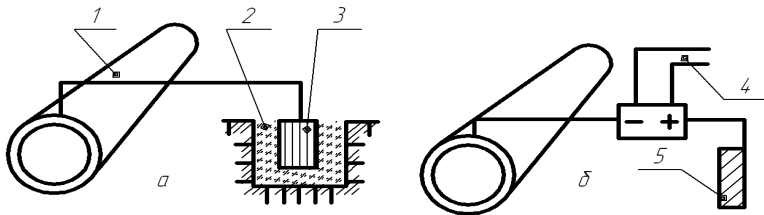
Термін служби покриттів становить 25...50 років. Вони дають змогу забезпечити заміну високолегованих сталей





низьколегованими, захист сталі у атмосферних умовах і при високій температурі, у морській воді тощо. Серед кольорових металів для покриттів найперспективнішим є алюміній. Наносять захисні плівки з алюмінію та його сплавів за допомогою електродугових металізаційних апаратів, випаровуванням у вакуумі, електролітичним осадженням, плазмовим та лазерним напиленням.

Активним методом захисту від корозії є *електрохімічний метод*. Він ґрунтується на зміні електрохімічного потенціалу конструкції завдяки поляризації їх постійним струмом від зовнішнього джерела або від протектора. При *протекторному захисті* (рис. 16.9) до металу, який захищають від корозії, під'єднують цинкові протектори-анооди, які дають змогу захистити від корозії цінну конструкцію. Для захисту від корозії морських гідротехнічних споруд, магістральних трубопроводів та інших відповідальних конструкцій використовують *катодний захист*. У цьому випадку конструкцію, яку захищають, під'єднують до від'ємного полюса постійного джерела струму і сталь виконує роль катода. Анодом є механічний брухт, під'єднаний до позитивного полюса.



**Рис. 16.9.** Захист металевих трубопроводів від корозії:  
а – протекторний; б – катодний; 1 – труба; 2 – засипка;  
3 – протектор; 4 – джерело електричного струму; 5 – метал

Швидкість корозії металів знижують за допомогою добавок інгібіторів та пасиваторів. Успішно гальмують корозійний процес у нейтральних та лужних середовищах сильні окислювачі – солі лужних та лужноземельних металів (хромати, нітрати та ін.). Використання добавок (зокрема



нітрит-нітрат кальцію) ефективно при захисті від корозії сталеної арматури в залізобетоні.

#### 16.4. Листовий прокат та профільовані вироби

**Листовий прокат.** Основним матеріалом для листових будівельних виробів, що виготовляються холодним профільюванням, штампуванням і під забарвлення є *тонколистова оцинкована сталь*. Цей вид сталі підрозділяють на групи і категорії.

Група сталі визначається за призначенням: для холодного штампування (ХШ), для холодної профілізації (ХП), під забарвлення (ПЗ) і загального призначення (ЗП).

Категорії сталі визначають за:

- здатністю до витягування (для сталі групи ХШ): нормальною (Н), глибокою (Г) і дуже глибокою (ВГ);
- рівномірністю товщини цинкового покриття: з нормальною (НР) і зменшеною різнотовщинністю.

Сталь виготовляють з візерунком (КР) і без візерунка кристалізації (МТ) з шириною листів від 710 до 1500 мм і товщиною від 0,5 до 3 мм.

Залежно від товщини покриття оцинковану сталь поділяють на 3 класи: П (підвищений) – від 40 до 60 мм, перший – від 18 до 40 мм та другий – від 10 до 18 мм.

Оцинковану сталь виготовляють з вуглецевої холоднокатаної рулонної сталі. Основні нормовані фізико-механічні властивості сталі залежно від групи і категорій наведені в табл. 16.3.

В умовному позначенні оцинкованої сталі вказують розміри листів, точність прокатки, наявність візерунку кристалізації, групу, клас цинкового покриття, характер крайки (обрізна чи необрізна), різнотовщинність (нормальна або помірна), а також номер діючого стандарту

Сортамент для оцинкованої сталі приймається відповідно до норм сортаменту для листового холоднокатаного прокату. Оцинкована сталь виготовлюється в листах завтовшки від



0,35 до 5,0 мм і рулонах завтовшки від 0,35 до 3,5 мм, завширшки 500 мм і більше.

Таблиця 16.3

Фізико-механічні властивості оцинкованої сталі

Сталь оцинкована		Тимчасовий опір розриву, МПа, не менше	Границя текучості, МПа, не менше	Відносне подовження % не менше для сталі завтовшки, мм			
групи	категорії витяжки			до 0,7	0,7... 1,5	1,5... 2,0	вище 2,0
ХШ	Н	300...490	-	21	22	23	24
	Г	275...430	-	23	24	26	26
	ВГ	255...410	-	26	28	29	30
ХППЗ	-	-	230	20	22	-	-
ЗП	-	-	-	-	-	-	-

Сталевий лист, оцинкований електролітичним способом, випускається завтовшки 0,5...1,2 мм, завдовжки 1000...2000 мм і з шириною рулону до 1250 мм.

Підвищеною корозійною стійкістю характеризується *сталевий лист з алюмоцинковим покриттям*. Склад цього покриття (55% алюмінію, 1,6% кремнію, решта – цинк) забезпечує багаторівневий захист сталевій основі і міцне зчеплення з нею.

Алюмоцинкове покриття може працювати при температурі до 350° С без погіршення якості поверхні виробів. Основні властивості алюмоцинкових покриттів перевершують властивості цинкових у 2...6 разів залежно від умов і середовища випробувань. При використанні контактного і електродугового зварювання для отримання виробів застосування листової сталі з алюмоцинковим покриттям дозволяє значно зменшити кількість шкідливих цинкових парів.

Поряд з оцинкованим прокатом, а також прокатом з алюмоцинковим покриттям виготовляють сталь з алюмінійованим і алюмокремнезистим покриттями. Алюмінієві покриття стійкіші цинкових приблизно в шість разів при однаковій масі і в 2,5 разів при однаковій товщині.



Алюмініювані вироби зберігають блиск до температури 470° С, відбиваючи 85% тепла і світла.

Для виготовлення облицювальних та інших будівельних виробів застосовують *тонколистовий рулонний прокат із захисним декоративним лакофарбовим покриттям*.

*Нержавіючі сталеві листи* можуть бути виготовлені з товстолистої чи тонколистої корозійностійкої сталі, а також двошарової корозійностійкої сталі.

Двошарові листи виготовляють з основним шаром з вуглецевої або низьколегованої сталі і плакованим шаром з корозійностійких сталей і сплавів. Їх поділяють за товщиною корозійностійкого шару та класами по суцільності зчеплення шарів. Товщина двошарових листів 4...60 мм. Залежно від товщини листів товщина корозійностійкого шару може змінюватися від 0,7 до 6 мм. Листи виготовляють завширшки 1200...2800 мм. Залежно від товщини і ширини листів їх довжина може знаходитися в інтервалі 3200...9400 мм.

*Алюмінієві листи* підрозділяють за способом виготовлення на неплаковані і плаковані. Плакування – нанесення на поверхню металевих виробів тонкого шару іншого металу або сплаву з метою підвищення їх корозійної стійкості, зміни фізико-механічних властивостей і підвищення декоративності. У тонких листах (до 1,9 мм) товщина плакуючого шару (на кожній стороні) складає 1,5...8% від номінальної товщини. Для листів більше 1,9 мм товщина шару рівна 1,5...4% від їх товщини.

Листи, не зміцнені термічною обробкою, відрізняються високою пластичністю, добре обробляються штампуванням, мають порівняно невелику кількість зовнішніх дефектів. Термічна обробка дозволяє змінити структуру і поліпшити ряд властивостей алюмінієвих листів.

**Профільовані вироби.** Сталеві конструкції виготовляють з прокатних виробів, а також з гнутих і зварних профілів (рис. 16.10).

Найбільше використовують *прокатні вироби*, які поділяють на чотири групи: сортову сталь, листову сталь, спеціальні види прокату, труби. З прокатних профілів збирають



найрізноманітніші ґратчасті та суцільні конструкції: колони, балки, бункери, щогли, башти, трубопроводи, резервуари тощо.

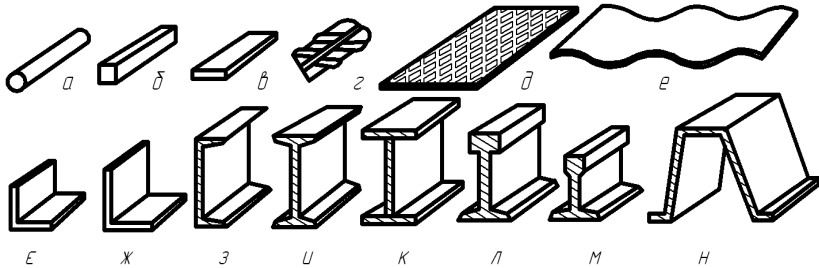


Рис. 16.10. Сортамент сталей:

а – кругла; б – квадратна; в – полоsoва; г – періодичного профілю; д – рифлена; е – хвиляста; ж – кутова рівнобока; з – кутова нерівнобока; и – швелер; к – двотавр; л – двотавр зварний; м – рейки кранові; н – рейки залізничні; о – шпунтова пала

Сортова сталь включає профілі масового попиту (круглу, квадратну, кутикову сталь, швелери, двотаврові балки) та профілі спеціального призначення (рейки та ін.). З сортової сталі у будівництві найширше використовують кутикові профілі, двотаври, швелери.

*Кутиковий профіль* може бути двох типів: рівнополічковий та нерівнополічковий. Найлегші кутикові профілі мають розміри 20×20 мм та товщину 3 мм (20×3), а найважчі – відповідно 250×250 та 30 мм (250×30).

*Двотаври та швелери* вибирають за номерами, що відповідають їхній висоті в міліметрах. Номери двотаврів змінюються від 10 до 60, швелерів – від 5 до 40. Двотаври прокатують завдовжки до 19 м, швелери – до 18 м. їх застосовують в основному як балки, що працюють на згин та осьове навантаження. Швелери відрізняються від двотаврів зсунутою до краю полиць стінкою. Форма швелерів спрощує кріплення до їхніх стінок інших елементів. Швелери широко використовують як прогони покрівель промислових споруд.

Основним видом спеціального прокату для будівництва є арматурна сталь (рис. 16.11).

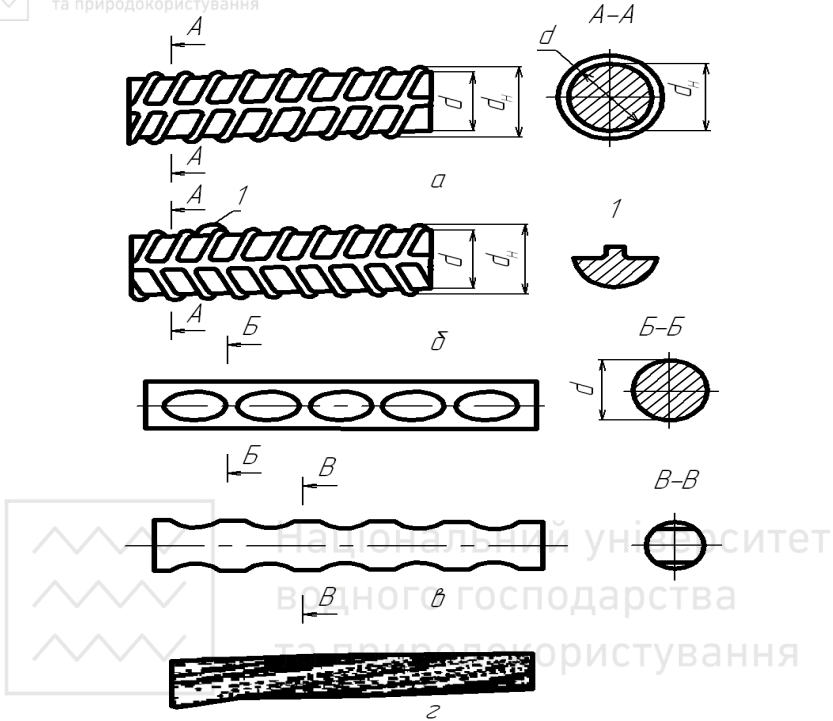


Рис. 16.11. Арматурна сталь:

а – класу А –II(А-300); б – класу А –III(Ат300); в – дріт  
періодичного профілю; г – семидротяне арматурне пасмо

**Арматурний прокат.** Він поділяється на класи залежно від показника механічних властивостей (встановленого стандартом нормованого значення умовної чи фізичної границі плинності в Н/мм<sup>2</sup>) та службових властивостей.

Залежно від технічних властивостей прокат поділяють на:

- зварюваний (індекс С);
- незварюваний (без індекса С);
- тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс К);
- нетривкий до корозійного розтріскування (без індекса К);
- зварюваний та тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс СК).



Арматурний прокат виготовляють класів: А240С – з гладким профілем, А400С, А500С, А600, А600С, А600К, А800, А800К і А1000 – з періодичним профілем.

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

Арматурний прокат постачають у прутках і мотках. Прутки повинні мати поперечні виступи серповидної форми, які не з'єднуються з поздовжніми виступами (табл. 16.4).

Таблиця 16.4

Властивості арматурного прокату

Клас арматурного прокату	Температура електронагрівання, °С	Механічні характеристики		
		Границя текучості фізична (умовна), $\sigma_T$ , $\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір розриванню $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне видовження після розривання, $\delta_p$ , %
		не менше ніж		
А 400С	–	400	500	16
А 500С	–	500	600	14
А 600С	400	600	800	12
А800СК	400	800	1000	8

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

Для зведення башт, щогл, опор ВЛ, інших гратчастих конструкцій широко використовують *металеві труби*. Металеві труби у водогосподарському будівництві застосовують для напірних трубопроводів, прокладці трубопроводів у важкодоступних місцях, коли використання труб з других матеріалів неможливе. Стальні труби застосовують в трубопроводах з робочим тиском більше 1,5 МПа, чавунні – більше 1,2 МПа. Труби, що працюють під тиском піддаються гідравлічному тиску (Р), МПа, який розраховують за формулою:



$$P = \frac{20S\sigma_q}{D_{вн}}, \quad (16.1)$$

де  $S$  – мінімальна товщина стіни, мм;  $\sigma_q$  – допустиме напруження;  $D_{вн}$  – внутрішній діаметр труби, мм.

За способом виготовлення їх поділяють на безшовні гарячо- та холодноформовані й електрозварні з поздовжнім прямим або спіральним швом.

Для транспортування води при робочому тиску до 2 МПа в меліоративних системах широко застосовують сталеві електрозварні труби з внутрішнім цементно-пісчаним і зовнішнім бітумним або другим захисним покриттям. Різновидом сталевих труб з антикорозійним покриттям є труби тонкостінні оцинковані. Їх застосовують для вкладання трубопроводів зрошувальних систем з тиском 0,8...1,5 МПа.

Основні розміри сталевих труб наведені в табл.16.5.

Основні розміри сталевих труб

Таблиця 16.5

Труби	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Довжина, м
Безшовні	25...820	2,5...75	4...12,5
Безшовні холоднодеформовані тонкостінні	5...250	0,3...9	4...12,5
товстостінні та особливо товстостінні	5...250	0,6...20	4...12,5
6...250	1,6...24	4...12,5	
Прямошовні електрозварні	8...1620	0,8...20	5...12,0
Електрозварні із спіральним швом	159...1420	3,5..14	10...18,0

Поряд із круглими зварними трубами для сталевих конструкцій використовують квадратні та прямокутні гнutoзварені труби (рис. 16.12).





Рис. 16.12. Круглі та профільні металеві труби

*Профілі сталеві листові (профнастил)* (рис. 16.13) застосовують для облицювання стін, стель, улаштування внутрішніх перегородок, покрівлі та інших огорожень. Гофри мають трапецієвидну форму і виготовляються на профілевигинаючих станах. Профільовані листи класифікують за:

- призначенням – для настилу покриттів (Н);
- матеріалом заготовки – з тонколистового оцинкованого прокату, прокату з алюмоцинковим покриттям (АЦ), алюмінієвого прокату та прокату з алюмокремнієвим покриттям (А і АК); прокату з електролітичним цинковим покриттям (ЕОЦП);
- наявністю захисно-декоративного лакофарбового покриття – без покриття і з покриттям.

Профільовані листи виготовляються кратні (250 мм) мірної довжини від 3 до 12 м – для настилу; кратні (300 мм) мірної довжини від 2,4 до 12 м – для стінових огорожень.

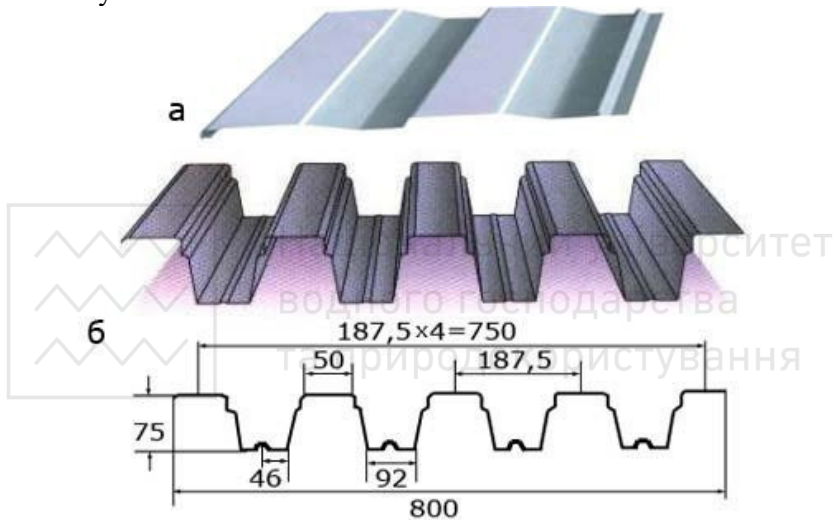
Можливе виготовлення також листів будь-якої іншої мірної довжини.

При умовному позначенні профільованих листів указують їх тип, розміри в мм, матеріал початкової заготовки, позначення лакофарбового покриття і діючий стандарт.

Різновидом профільованих листів, що застосовують як облицювальний матеріал для стін є *металосайдинг*. Металосайдинг особливо зручний для обшивки фасадів складної форми з великою кількістю вікон. Він імітує дощату обшивку фасадів (вагонку). Може бути виконаний з тисненням під дерево або без нього. Його виготовляють з холоднокатаної оцинкованої



сталі завтовшки до 0,5 мм з полімерним покриттям. Металосайдинг може бути також виготовлений з алюмінію. Від інших видів облицювальних матеріалів для фасадів будівель металосайдинг відрізняється міцнісними характеристиками, він стійкий до різких перепадів температури і дозволяє вести монтаж у будь-яку пору року, має низький коефіцієнт термічного розширення, високу кольоро- і вогнестійкість. Профілі металосайдингу мають перфоровану крайку для монтажу.



**Рис. 16.13.** Профільовані металеві вироби: а – сайдинг; б – профнастил

*Алюмінієві профілі* об'єднують велику групу будівельних виробів, що отримують гнуттям, пресуванням і штампуванням. Гнуті профілі застосовують як напівфабрикати для різноманітних конструкцій архітектурно-будівельних деталей і огорожень.

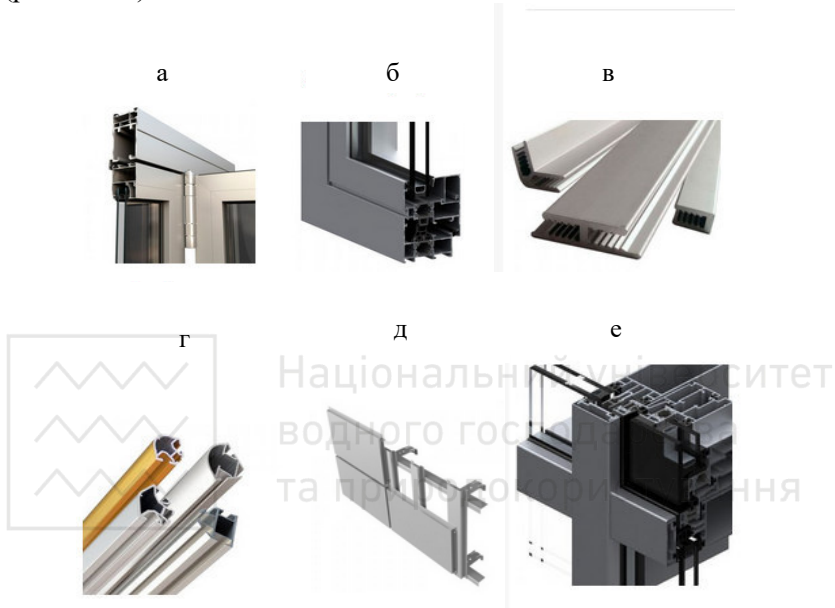
Гнуті профілі з листового прокату поділяють на відкриті і замкнуті стрижні, гофровані листи і перфоровані деталі.

Пресовані профілі підрозділяють залежно від геометричних особливостей на суцільні і порожністі.



Порожнисті профілі мають замкнуті порожнини. До них відносять гладкі труби.

Найширше в будівництві застосовують алюмінієві профілі куткового перерізу, таври і двотаври, швелери, смуги (рис. 16.14).



**Рис. 16.14.** Алюмінієві профілі:

а – дверний; б – віконний; в – для композитних панелей;  
г – для торгово-виставкових систем; д – для вентиляованих  
фасадів; е – для остеклення фасадів

При нагріванні до  $350\text{...}450^\circ\text{C}$  з алюмінієвих заготовок пресуванням отримують профілі різноманітної конфігурації, а за допомогою прокату – стрічки, листи і плити. З листів холодним гнуттям або штампуванням можна виготовити гнуті профілі прокату, фігурні листові панелі і будівельні деталі. Форма таких напівфабрикатів може бути різною залежно від експлуатаційних вимог.

Складені профілі виготовляють із суцільно пресованих, гнутих профілів та з листів.



Металеві стелі виготовляються з тонколистової сталі або алюмінію з різними декоративними покриттями, матовим і глянцеvim забарвленням, полімерним напиленням, дзеркальним металізованим шаром. Елементи металевих стель можуть мати гладку, гофровану, перфоровану поверхню, на них може бути нанесений малюнок. Перфоровані металеві стелі застосовуються для поліпшення звукопоглинаючих характеристик. Інтенсивність звукопоглинання регулюється кількістю і діаметром перфорованих отворів. Покращена звукоізоляція досягається використанням металевих панелей з наклеєним покриттям з мінерального або скловолокна.

### 16.5. Сендвіч-панелі. Композитні панелі

Металеві профільні вироби широко застосовуються для влаштування навісних вентиляованих фасадів, що дозволяють захистити будівлі від шкідливих атмосферних впливів і придати їм сучасного виду. Фасадні облицювальні вироби виконують роль екрану, який влітку відбиває значну частину ультрафіолетового і теплового потоку, а взимку зменшує тепловтрати. У конструкції вентиляованого фасаду між утеплювачем і облицювальним матеріалом передбачений вентиляційний зазор, який забезпечує вільну циркуляцію повітря. Металеві матеріали використовують як для зведення каркасу, так і для облицювання вентиляованих фасадів.

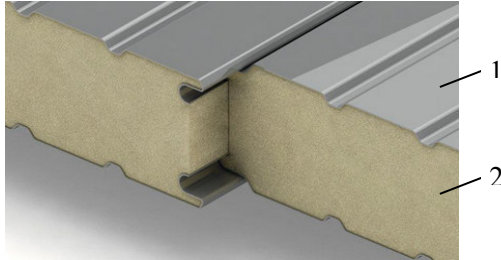
У системах вентиляованих фасадів знаходять застосування фасадні касети і панелі.

*Фасадні касети* – об'ємні панелі, що являють собою металеві конструкції із гнутими з чотирьох сторін листами. Вони виготовляються з оцинкованого листа з полімерним покриттям методом гнуття. У фасадних касетах є отвори для кріплення вентиляції стіни і відведення конденсату.

*Сендвіч-панелі* – будівельні вироби, що складаються з конструкційних обкладок і теплоізоляційного шару (рис. 16.15). В якості обкладок панелей застосовують сталевий або алюмінієвий лист з полімерним покриттям із поліестеру і додатковою захисною знімною полімерною



плівкою, що забезпечує захист від механічних пошкоджень. Облицювання панелей може бути виконане також з нержавіючої сталі.



**Рис. 16.15.** Сендвіч-панелі:

1 – обкладка; 2 – теплоізоляційний наповнювач

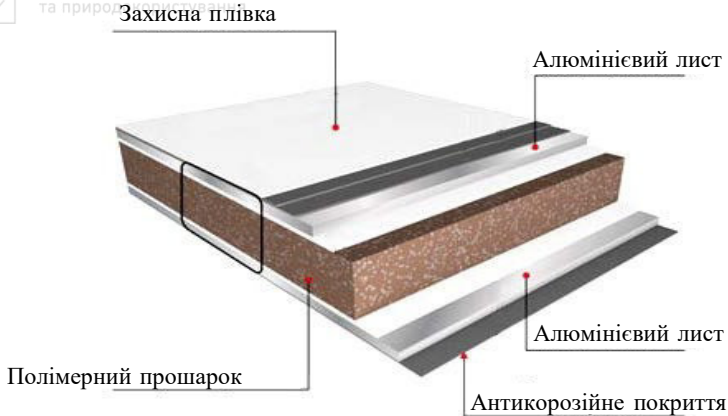
Для приміщень з підвищеним санітарно-гігієнічними вимогами випускаються панелі з покриттями, які можуть знаходитися у контакті з харчовими продуктами. Випускаються також вогнестійкі і забарвлені панелі.

Теплоізоляційними наповнювачами сендвіч-панелей можуть бути пінополіуретан, мінеральна вата, пінополістирол.

Виготовляють покрівельні і стінові панелі. Стінові панелі застосовують для обшивки зовнішніх стін і влаштування внутрішніх перегородок будівель. З'єднання суміжних стінових панелей здійснюється «в шпунт і в паз».

Панелі з утеплювачем з пінопласту можуть експлуатуватися в неагресивних і слабоагресивних середовищах при температурі зовнішньої поверхні від  $-65$  до  $+75^{\circ}\text{C}$ , температурі внутрішньої поверхні до  $+30^{\circ}\text{C}$ , відносній вологості повітря в приміщеннях не більше 60%.

*Композитні панелі* – багатошаровий матеріал, що складається з двох алюмінієвих листів і заламінованого між ними полімерного або мінерального прошарку (рис. 16.14). Зовнішня сторона панелей покривається захисною плівкою, яка знімається після виконання монтажних робіт. Панелі виготовляють у вигляді безперервної стрічки, що дозволяє виготовляти вироби заданої довжини.



**Рис. 16.16.** Композитна панель

Ефективне застосування композитних панелей як для зовнішнього, так і внутрішнього облицювання будівель. Вони можуть експлуатуватися в діапазоні температур  $-50...80^{\circ}\text{C}$  при підвищених вимогах до пожежної безпеки і, забезпечуючи високий рівень надійності, естетичної виразності огорожень.

Композитні панелі різних марок виготовляють товщиною 2...6 мм, шириною 1220...1570 мм, довжиною 1000...6000 мм. Для їх виготовлення використовують алюмінієвий лист товщиною 0,2...0,5 мм. Освоєно виробництво композитних панелей з лицьовим шаром з полірованої нержавіючої сталі. Для внутрішнього шару зазвичай застосовують поліетилен низької густини. На лицьову поверхню панелей наносять поліестерні або інші полімерні покриття залежно від модифікації панелей. Полімерні покриття дозволяють отримати широку кольорову палітру, є хімічно стійкими, забезпечують постійність кольору і блиску. Покриття може імітувати природний камінь, деревину, мати дзеркальну і рельєфну поверхню.

Композитні панелі піддаються за допомогою спеціалізованого устаткування різанню, фрезеруванню, зварюванню, вальцюванню і згинанню. З них можливим є виготовлення касет, навісних вентильованих фасадів.

При рівній жорсткості панель важить в 1,5...1,6 рази менше, ніж алюмінієва, і в 3...4 рази менше, ніж сталевий лист.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Айракетов Д. П. Архитектурное материаловедение. М. : Стройиздат, 1963. 310 с.
2. Байер В. Е. Архитектурное материаловедение. М. : Архитектура-С, 2019. 264 с.
3. Пылаев А. Я. Архитектурное материаловедение : курс лекций. Ростов-на-Дону : Арх ЮФУ, 2011. 284 с.
4. Баженов Ю. М. Технология бетона : уч.пособие. М. : Высш.шк., 1987. 415 с.
5. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны : уч.пособ. М. : Стройиздат, 1990. 396 с.
6. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : підручник. К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», К. : КНУБА, 2003. 472 с.
7. Горчаков Г. И., Баженов Ю. М. Строительные материалы : ученик. М. : Стройиздат, 1986. 688 с.
8. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Бордюженко О. М. Довідник з будівельного матеріалознавства : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2011. 438 с.
9. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L., Rubakov Y. Construction Materials Based on Industrial Waste Product. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2016. P. 242.
10. Dvorkin L. I., O.Dvorkin end Sunny Nwoubani. Construction materials. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2010. 409.
11. Дворкин Л. И. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. Рівне : РДТУ, 1999. 478 с.
12. Дворкін Л. Й., Пушкарьова К. К., Дворкін О. Л. Використання техногенних продуктів у будівництві : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2009. 339 с.
13. Дворкін Л. Й., Гоц В. І., Дворкін О. Л. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів : навч. посіб. Київ : «Основа», 2014. 304 с.
14. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. Рівне : РДТУ, 2000. 477 с.
15. Будівельне матеріалознавство. Курс лекцій і практикум : нав. посіб. / за ред. Л. Дворкіна. Рівне : УДУВГП, 2002. 366 с.



16. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительное материаловедение : уч. пособ. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 832 с.
17. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Опоряджувальні будівельні матеріали : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2011. 291 с.
18. Строительное материаловедение : учебник / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарева, В. Б. Барановский и др. К. : Основа, 2007. 704 с.
19. Матеріалознавство (для архітекторів та дизайнерів) : підручник / К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих, О. А. Гончар, О. П. Бондаренко. К. : «Ліра-К». 2012. 592 с.
20. Дворкин Л. И. Бетоноведение : в 2-х т. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 1300 с.
21. Дворкін Л. Й., Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство : підручник. Рівне : НУВГП, 2016. 448 с.
22. Дворкін Л. Й. Властивості мінеральних будівельних матеріалів. Рівне : НУВГП, 2019. 422 с.
23. Дворкін Л. Й. Будівельні розчини. Київ : Каравела, 2021. 224 с.





Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчальне видання

*Дворкін Леонід Йосипович*

## **АРХІТЕКТУРНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

*Підручник*

*Друкується в авторській редакції*

*Технічний редактор*

*Г.Ф. Сімчук*

Підписано до друку 25.03.2022 р. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Ум.-друк. арк. 32,5. Обл.-вид. арк. 34,2.

Тираж 100 прим. Зам. № 5583.

*Видавець і виготовлювач  
Національний університет  
водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*