МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

О. М. ПШІНЬКО, А. В. КРАСНЮК
В. В. ПУНАГІН, О. В. ГРОМОВА

Будівельне матеріалознавство на транспорті

ЗАТВЕРДЖЕНО МІНІСТЕРСТВОМ ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЯК ПІДРУЧНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

ВИДАВНИЦТВО ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА
2010

УДК 666.970
ББК 38.3
Б 90

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. *С. І. Федоркін* (Національна академія природоохоронного та курортного будівництва); д-р техн. наук, проф. *Н. М. Руденко* (Східноукраїнський національний університет імені В. Даля); д-р техн. наук, проф. *В. Д. Петренко* (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів
(*лист № 1.4/18-Г-1213 від 28.11.06*)

Б 90 **Будівельне** матеріалознавство на транспорті: [Текст] / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. В. Пунагін, О. В. Громова. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
ISBN 966-8471-38-4

У підручнику розглянуті основні наукові положення сучасного будівельного матеріалознавства, особливості використання композиційних матеріалів у транспортному будівництві. Наведені фізико-хімічні процеси отримання та спрямованого регулювання характеристик будівельних матеріалів, які використовуються на транспорті. Описані сучасні методи підвищення якості та довговічності матеріалів для транспортного будівництва.

Для студентів будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів, аспірантів, докторантів, наукових співробітників та фахівців, що працюють у галузі транспортного будівництва.

Іл. 142. Табл. 38. Бібліогр.: 175 назв.

УДК 666.970
ББК 38.3

© Пшінько О. М., Краснюк А. В., Пунагін В. В., Громова О. В., 2010
© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна, редагування, оригінал-макет, 2010

ISBN 966-8471-38-4

ВСТУП

Будівельне виробництво що є складовою сучасної технології будівництва, займає сьогодні особливе місце в транспортній галузі України. Слід відзначити, що його прогрес залежить від розвитку будівельного матеріалознавства. При цьому, розглядаючи техніко-економічні аспекти виготовлення й застосування будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, необхідно враховувати, що будівельна індустрія:

– за обсягами переробленої сировини й відповідними транспортними витратами порівняння тільки з гірничовидобувною промисловістю;

– витрачає колосальну кількість енергії, оскільки ряд технологічних процесів відбувається за високих (до 1 450 °С) температур;

– споживає до 20 % усього виробленого в країні металу;

– практично визначає інженерний, естетичний і експлуатаційний рівень будівель і споруд.

Тому ефективність будівельного виробництва може бути забезпечена шляхом використання основних досягнень сучасного матеріалознавства, а інженер-будівельник-технолог зобов'язаний добре розбиратися не тільки в технологічних схемах і відповідному устаткуванні, але й у будові матеріалів, у широкому спектрі їх найрізноманітніших властивостей, у складних, найчастіше суперечливих хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних процесах, які відбуваються під час їх виготовлення. Для цього необхідно знати основні закони й положення фундаментальних наук, насамперед фізики і хімії, що є основами сучасного будівельного матеріалознавства.

Саме цим питанням присвячений даний підручник, що доповнює існуючу літературу, у якій будова речовини й структура фізичних тіл у взаємозв'язку з основними властивостями будівельних матеріалів практично не розглядалися. При цьому автори свідомо прагнули до максимально

простого викладу матеріалу, не вдаючись до досить складного аналітичного апарату молекулярної фізики, фізичної і колоїдної хімії, термодинаміки й механіки. Основна мета підручника – розкриття матеріалознавчої сутності явищ і процесів, які визначають технологічні основи будівельного виробництва, закономірності формування властивостей будівельних матеріалів і виробів у процесі експлуатації на транспорті.

РОЗДІЛ 1

Теоретичні основи матеріалознавства. Структура матеріалу як універсальний визначальний параметр будівельного матеріалознавства

1.1. Поняття про структуру фізичного об'єкта

Із зростанням потреб виробництва й завдяки розвитку науки і техніки виникає необхідність вивчення будови матерії, що складається з окремих атомів і молекул, а також ще менших елементарних частинок. Вивчення будови матерії є одним із найважливіших напрямків розвитку природознавства нашого століття.

Практично немає жодної галузі знання, у якій не використовувалися б уявлення про структуру. Спробуємо дати визначення поняттям «структура», «формування структури» (чи «структуроутворення»), що сьогодні широко застосовуються в науці й техніці.

Математики виходять із припущення про існування множини різних, цілком визначених елементів. При цьому, які саме елементи утворюють множину, несуттєво – головне полягає в тому, що ці елементи визначеної природи. Якщо a є елементом множини m, то пишуть

$$a \in m \tag{1.1}$$

і це відношення є важливою ознакою структури.

Математичне поняття структури невіддільно від понять «множина», «елемент», «відношення», «операція» і т. д., а природа елементів не відіграє істотної ролі. Характер даної структури визначається тільки відношеннями між елементами (структури алгебричні, топологічні, метричні та ін.)

Аналогічно можна визначити й поняття реальних (фізичних) структур. Кожна система складається з елементів, упорядкованих певним чином і пов'язаних певними відношеннями. Під структурою системи ми розуміємо спосіб організації елементів і характер зв'язку між ними. При цьому несуттєво, яка природа елементів. Говорячи про структуру системи, ми не звертаємо уваги на те, які елементи утворюють систему, а розглядаємо лише сукупність відношень між ними. Структура системи, визначена як сукупність відношень, задає зв'язок між елементами системи.

Зміни відношень (взаємодії) між елементами структури можна проілюструвати на прикладі (рис. 1.1). Розглянемо структуру, яка складається з деякої кількості однакових елементів, розташованих на рівних відстанях один від одного.

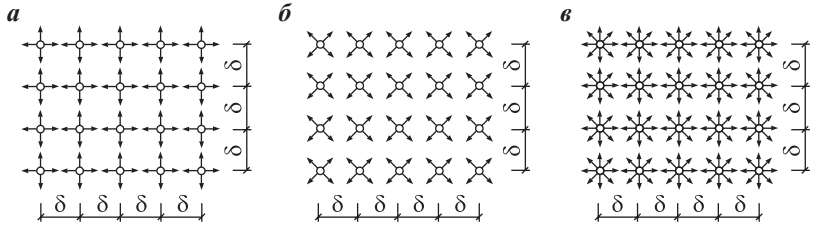


Рис. 1.1. Зміна взаємодії між дисперсними частинками

У першому випадку (рис. 1.1, *а*) сили F взаємодії спрямовані тільки ортогонально, кожна з них діє на відстані δ, і взаємодія будь-якої довільно обраної частинки із сусідніми визначається дією чотирьох пар сил.

У другому випадку (рис. 1.1, *б*) маємо ті ж частинки й ті ж сили, але напрямок їх дії змінено; отже, відстань між частинками дорівнює $\delta\sqrt{2} > \delta$, і при незмінній величині сили F інтенсивність взаємодії між сусідніми частинками буде менша, тобто можна припустити, що міцність такої структури відповідно нижче, ніж у попередньому випадку.

І нарешті, якщо кожна частинка оточена неперервним силовим полем, тобто сили діють ніби у всіх напрямках (рис. 1.1, *в*), то інтенсивність взаємодії буде максимальна. Отже, така структура буде найбільш організована й міцна.

У реальних системах, розглянутих у фізиці, виділяються *просторові* й *часові* структури. У структурах просторового типу елементами множин є атоми молекул, дисперсні частинки й агрегати цих частинок. Аналіз цих структур пов'язаний з поняттями симетрії й упорядкованості (наприклад, сніжинка, кристалічні ґрати й т. д.). Часова структура невіддільна від ди-

наміки системи, інакше кажучи, від законів руху. Тут особливо важливі принципи односпрямованості, часу й причинності.

Наявність просторово-часових структур є загальною і фундаментальною властивістю матерії. Поширюючи ці положення на будівельне матеріалознавство, слід відмітити просторово-часовий характер утворення структур більшості будівельних матеріалів. Наприклад, частинки глини, що у висушеному стані являють собою незв'язану сипучу суміш, до якої незастосовне таке поняття, як міцність, після зволоження за рахунок дії міжмолекулярних сил різної природи структуруються, набувають нових властивостей. Це дозволяє відформовувати з вологих сумішей вироби різних розмірів і конфігурацій. Надалі, у результаті зневоднювання відформованих виробів їх міцність багаторазово підвищується, оскільки між агрегатами частинок починають діяти сили притягання більш високого порядку. І нарешті, у процесі випалювання інтенсивність силових взаємодій між елементами сформованої структури зростає ще більше за рахунок заміни міжмолекулярних взаємодій хімічними зв'язками, що утворилися в міру розвитку й перебігу твердофазових хімічних реакцій.

Аналогічно можна розглянути твердіння мінеральних в'яжучих речовин (гіпс, вапно, цемент) і матеріалів на їх основі (бетон), утворення структури металів у металургійних процесах, полімеризацію пластичних мас і т. ін. Отже, у всіх випадках ми маємо справу з довільною множиною первинних структурних елементів (у першому наближенні можна вважати, що це частинки вихідної сировини), що в результаті комплексу технологічних впливів утворять структуру кінцевого продукту з конкретними заданими властивостями.

Тому для подальшого вивчення структур і процесів їх утворення насамперед необхідно чітко уявляти, що ж таке:

а) елементи, з яких складаються ці структури;

б) які сили ці елементи поєднують.

1.2. Елементи структур матеріальних тіл

Структуру природних матеріалів слід розглядати на двох рівнях: мікро- і макрорівень.

Мікрорівень – це рівень атомів і молекул. Більш високу організацію – елементарні частинки – розглядає відповідна галузь сучасної фізики, і ми цих питань торкатися не будемо.

Атом – найменша частинка хімічної речовини, що є носієм її властивостей. Атом являє собою електронейтральну мікросистему, що складається з позитивно зарядженого ядра й негативно заряджених електронів. Він здатний існувати необмежено довго за відсутності взаємодії з іншими частинками чи електромагнітного випромінювання. Основна маса атома зосереджена в його ядрі й характеризується масовим числом, рівним сумі чисел протонів і нейтронів; заряд ядра відповідає атомному (порядковому) номеру елемента в періодичній системі Д. І. Менделєєва.

Електрони в атомі утворюють оболонки (шари). Найближча до ядра позначається буквою *K*, наступні *L*, *M*, *N*, … відповідно до головних квантових чисел $n = 1, 2, 3, 4, \ldots$ Оболонка К може містити 1 чи 2 електрони, наступні оболонки – не більше 8, 18, 32, … Повністю заповнені оболонки характерні для атомів благородних газів. Електрони не повністю заповнених зовнішніх оболонок, так звані *валентні електрони*, визначають хімічні властивості елементів.

З'єднуючись хімічно з атомами того ж чи іншого елемента, атоми утворюєть молекули. Різноманітність хімічних сполук, що існують у природі, зумовлена різними сполученнями атомів у молекулах.

Молекула – найменша частинка речовини, що визначає її властивості й здатна до самостійного існування; вона складається з атомів одного чи різних хімічних елементів і існує як єдина динамічна система атомних ядер і електронів.

Енергія молекули, обчислювана десятками і сотнями джоулів на моль, утворюється з квантованих складових – енергій електронного руху, коливального руху атомних ядер, а також поступального й обертального рухів самих молекул у просторі. Стійкість молекули в якому-небудь електронному стані визначається наявністю мінімуму потенціальної енергії коливального руху ядер. Геометрія молекул, зумовлена рівноважним розташуванням атомних ядер, характеризується такими параметрами, як довжина зв'язків, валентні кути тощо.

Молекула електронейтральна, однак, якщо «центри ваги» її позитивних і негативних зарядів не збігаються, вона полярна й має власний електричний дипольний момент. Крім того, молекула характеризується здатністю набувати в зовнішньому електричному полі дипольний момент – поляризуватися.

У молекулі може міститися від двох (H_2, N_2, CO і т. д.) до багатьох сотень і тисяч атомів (макромолекули); відповідно, розміри молекул змінюються від 0,1 до 1 000 і навіть 1 000 000 нм.

Структурні зміни, що відбуваються на мікрорівні, – це або хімічні реакції, або механічні перетворення типу розламу твердого тіла, коли під

дією потужних, головним чином, зовнішніх сил рвуться міжмолекулярні зв'язки.

Макрорівень – це рівень частинок і агрегатів частинок.

Частинки – це найдрібніші складові вихідної речовини (породи), одержані шляхом диспергування в результаті механічних, хімічних чи фізико-хімічних впливів на цю речовину.

У свою чергу, *диспергуванням* називають тонке подрібнення твердих чи рідких (розпилення) тіл у навколишньому середовищі, у результаті якого утворюються порошки, суспензії. Поряд із протилежними процесами – агрегуванням, конденсацією чи кристалізацією, диспергування є одним із основних методів одержання дисперсних систем. Диспергування потребує тим більшої витрати роботи (енергії), чим більша утворювана поверхня і поверхнева енергія на межі диспергованого тіла з навколишнім середовищем. Тому умови подрібнення визначаються не тільки структурою і складом диспергованого тіла, але й фізико-хімічними особливостями навколишнього середовища.

Диспергування твердих тіл відбувається в результаті механічного, хімічного чи фізико-хімічного деформування тіла з його подальшим руйнуванням у гранично напруженому стані по найбільш слабких місцях – дефектах структури, що розвивається під дією напруги. При цьому витрачена на деформування робота приблизно пропорційна поверхневій енергії. У міру переходу до дрібніших частинок їх міцність зростає. Цим пояснюється різке зниження ефективності диспергування для частинок діаметром 10^{-6}–10^{-7} м (практична межа для механічного подрібнення). Крім того, у міру досягнення досить високого ступеня дисперсності подрібнені частинки починають злипатися між собою, перешкоджаючи подальшому диспергуванню. Додавання невеликої кількості (частки відсотка) поверхнево-активних речовин інтенсифікує диспергування, тому що вони підвищують поверхневий натяг на нововиникаючих границях поділу фаз, а також утворюють структуровані адсорбційні шари, які перешкоджають зворотному злипанню частинок.

1.3. Загальні закономірності формування структур дисперсних матеріалів

Вологі дисперсні (в основному, силікатні) матеріали у первісному стані являють собою дисперсійне середовище, у якому статистично рівномірно розподілені полідисперсні частинки твердої фази. Залежно від фізико-хімічних властивостей дисперсних частинок і від технологічних особливостей виготовлення конкретних матеріалів і виробів, товщина водяних прошарків може значно коливатися. У деяких випадках кількість дисперсної фази обмежується границею плинності системи, тобто її здатністю зберігати форму під дією власної ваги. В інших, наприклад при шлікерній чи литтєвій технології виробництва, початкова кількість води значно вища границі плинності й відстані між твердими частинками стають настільки великими, що міжмолекулярні сили притягання не можуть протистояти дії поля гравітаційних сил.

П. А. Ребіндер виділяє три основні групи дисперсних структур:

– коагуляційні структури, утворені шляхом зчеплення частинок слабкими ван-дер-ваальсовими силами крізь тонкі залишкові прошарки дисперсійного середовища;

– конденсаційно-кристалізаційні структури, утворені як хімічними силами головних валентностей при просторовій полімеризації, так і безпосереднім зрощенням кристаликів новотворів;

– перехідні колоїдні структури, які за своїми властивостями близькі до ліофільних.

Кожна із зазначених структурних груп характеризується конкретним набором основних фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, що зумовлюють характер подальших перетворень матеріалу, тобто власне механізм його твердіння.

До основних структурних особливостей водно-силікатних систем, що тверднуть, варто віднести такі:

1) усі дисперсні системи – як керамічні, так і утворені на базі мінеральних в'яжучих матеріалів – у вихідному стані належать до коагуляційних структур (періодичні колоїдні структури);

2) у процесі розвитку всі структури, незалежно від їх складу й конкретних властивостей, проходять через проміжну стадію колоїдного стану;

3) кінцевим станом затверділих мінеральних в'яжучих матеріалів є конденсаційно-кристалізаційна структура;

4) кінцевим станом зневоднених керамічних мас є конденсаційна структура.

Тому процеси формування конденсаційних і конденсаційно-кристалізаційних структур з вологих дисперсних систем у кожному конкретному випадку мають свої специфічні особливості. Причому основним фактором, який визначає принципові розбіжності у механізмі структуроутворення й у кінцевих властивостях матеріалів, є характер взаємодії між дисперсною фазою і дисперсійним середовищем, які можуть бути як хімічно активними, так і інертними один стосовно іншого.

Очевидно, що всі ці взаємодії виявляються в зонах контактів між частинками чи агрегатами частинок. Тому поняття про фізичну природу контактів, їх енергетику й еволюцію є необхідною складовою будівельного матеріалознавства.

Під взаємодією елементів структури фізичних тіл розуміється їх здатність притягатися один до одного з утворенням деякої просторової конфігурації, що має певні міцнісні показники. Взаємодія є результатом прояву дії сил різної природи: хімічної, колоїдно-хімічної і т. п. Найпростішим випадком реалізації взаємодії дисперсних частинок є їх механічне ущільнення, тобто зближення під дією зовнішнього тиску до таких відстаней, на яких починається прояв далекодійних міжмолекулярних сил притягання.

Умовою взаємодії між окремими частинками чи агрегатами частинок є наявність на їх поверхні нескомпонованих валентностей (неспарених електронів) – хімічна взаємодія чи ненасичених поверхнево-активних центрів – міжмолекулярна взаємодія. Причиною взаємодії є також і дія адсорбційних, капілярних та інших сил колоїдно-хімічної природи, поява яких зумовлена різницею тисків на границі поділу співіснуючих фаз.

1.4. Агрегатні стани речовин

Залежно від відстані між частинками й від сил взаємодії між ними речовина може знаходитися у твердому, рідкому чи газоподібному стані. Також агрегатний стан речовини залежить від температури і тиску.

За досить низьких температур речовина перебуває у твердому стані (винятками є деякі гази, наприклад азот, гелій і т. ін.). Відстань між частинками твердих кристалічних речовин практично дорівнює розміру самих частинок. Середня потенціальна енергія частинок більша їх середньої

кінетичної енергії. Рух частинок, що утворюють кристали, дуже обмежений, тому що сили, що діють між ними, утримують їх поблизу положення рівноваги і ймовірність перебування частинок у цих місцях максимальна. Саме цією обставиною зумовлена сталість форми й об'єму твердих кристалічних тіл, а також значні величини опору зрушення.

При плавленні кристалів утворюється рідина. Рідкий стан відрізняється від твердого тим, що не всі частинки перебувають на тих же відстанях, що й у кристалах – частина молекул розташована на значно більших відстанях. У цьому стані середня кінетична енергія молекул приблизно дорівнює їх середній потенціальній енергії.

Твердий і рідкий стан звичайно поєднують загальним терміном – *конденсований стан*.

У результаті випаровування (кипіння) рідина переходить у газоподібний стан. У ньому частинки перебувають на відстанях, що значно перевищують їх розміри, і тому сили взаємодії між ними дуже малі. Частинки можуть вільно переміщатися. Якщо у твердій речовині всі частинки утворюють єдиний агрегат, а в рідині – значну кількість великих і міцних агрегатів, то в газах можуть зустрічатися лише частинки, що складаються з 2…5 молекул, причому кількість таких частинок порівняно невелика. Середня кінетична енергія частинок газу значно більша їх потенціальної енергії. Тому сили притягання між ними недостатні для того, щоб утримати їх одна біля одної.

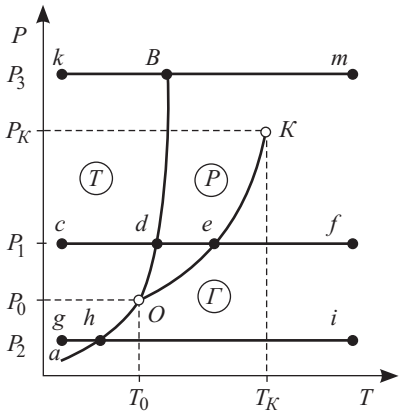


Рис. 1.2. Діаграма стану однокомпонентної системи

Отже, стан і властивості речовини визначаються температурою і тиском. Якщо тиск невеликий, а температура досить висока, то речовина буде перебувати в газоподібному стані; за низької температури вона буде твердою, за помірних температур – рідкою. Відповідно до цього фазова діаграма речовини (рис. 1.2) складається з трьох полів, що відповідають твердому (Т), рідкому (Р) і газоподібному (Г) станам. Ці поля відокремлені одне від одного кривими плавлення (кристалізації) *OB*, кипіння (конденсації) *OK* і сублімації (десублімації) *Oa*. Точка *O* їх змикання називається *потрійною точкою*, а при $P = P_0$ і $T = T_0$ речовина існує в трьох агрегатних станах. Точка *K* обриву

кривої кипіння називається критичною точкою: при $P = P_к$ і $T = T_к$ кипляча рідина і суха насичена пара зовсім не відрізняються одна від одної.

З рис. 1.2 випливає, що:

– при тиску $P < P_1 < P_к$ (точка *c*) ізобарне нагрівання твердої речовини приводить до її плавлення (точка *d*);

– після того як уся речовина розплавляється, підведення теплоти знову веде до підвищення температури (процес *de*);

– у точці *e* рідина закипає, тобто температура знову перестає зростати.

Тривалість обох температурних зупинок (у точках *d* і *e*) визначається за інших рівних умов кількістю речовини і її природою. Чим більше узято речовини і чим вище її теплота плавлення і пароутворення (тобто чим вище енергія взаємодії між частинками), тим на більший інтервал часу розтягнуться ізотермічні «перевали» через криві *OB* і *OK*.

Далі:

– при деякому $P_2 < P_0$ (точка *O*) відбудеться перетворення з кристалічної речовини безпосередньо в газоподібну (у точці *h*), тобто сублімація;

– при $P_3 > P_к$ (точка *K*) нагрівання кристалів після їх плавлення (точка *k*) приводить речовину в такий стан (умовно названий «надкритичним»), після досягнення якого (наприклад, у точці *m*) рідина й газ не відрізняються один від одного.

Слід зауважити, що для переважної більшості речовин $P_0 < 1$ атм. Для тих деяких речовин, для яких $P_0 > 1$ атм (наприклад, двоокис вуглецю CO_2), нагрівання кристалів при $P = 1$ атм викликає сублімацію.

Чим вище тиск, тим за більшої температури відбувається плавлення, пароутворення і сублімація. Винятками є деякі речовини (серед них H_2O та Bi), для яких підвищення тиску викликає зниження температури плавлення.

На рис. 1.2 наведена найпростіша фазова діаграма однокомпонентної системи, але якщо досліджувана речовина має не одну, а кілька модифікацій, тоді для кожної нової фази з'явиться нова область.

Пряма чи зворотна послідовність у ланцюзі перетворень «тверде→рідке→газоподібне» не є загальною закономірністю. Можливі випадки, коли нагрівання речовини здійснюють в умовах, що приводять до безпосереднього переходу твердого тіла в газоподібний стан (наприклад, згоряння твердого палива). Не виключені випадки, коли цей ланцюг обривається внаслідок того, що відбуваються хімічні зміни речовини. Так, нагрівання вапняку $CaCO_3$ викликає за певної температури, котра тим вище, чим вище тиск CO_2, його розкладання на CaO і CO_2, а не плавлення.

Також не можна перевести NO_2 з газоподібного стану в рідкий і твердий: охолодження (стиск) NO_2 приводить до утворення іншої речовини – N_2O_4.

Чим вище температура і нижче тиск газу, тим більш незалежний рух його частинок. Біля межі (при $P \to 0$) стають нехтовно малими як взаємодія між частинками, так і їх об'єм у порівнянні з об'ємом, займаним газом. Такий газ називають ідеальним.

Природно, що взаємозв'язок між параметрами стану речовини – температурою T, тиском P и об'ємом V для ідеального газу описується найбільш простим співвідношенням. Це рівняння Менделєєва–Клапейрона

$$PV = nRT, \tag{1.2}$$

де n – число молів газу в об'ємі V;
R – універсальна газова стала;
T – абсолютна температура газу.
Для одного моля

$$P\upsilon = RT, \tag{1.3}$$

де υ – мольний об'єм.

В умовах помірних і високих тисків і низьких температур, тобто коли стиск відбувається за рахунок об'єму, не зайнятого самими частинками, рівняння (1.2) повинно бути трохи видозмінене

$$P(\upsilon - b) = RT, \tag{1.4}$$

де поправковий член b враховує власний об'єм молекул і взаємне відштовхування їх одна від одної при малих відстанях.

Рівняння

$$P(V - b) = \text{const} \tag{1.5}$$

варто було б назвати рівнянням М. В. Ломоносова, який вперше відзначив, що «…густина повітря при великих стисках не пропорційна пружностям його…», і обґрунтувавши цей факт кінцевими розмірами частинок. Дійсно, лише при $b = 0$

$$PV = \text{const} \quad \text{або} \quad \rho = \text{const}P, \tag{1.6}$$

де ρ – густина газу.

Крім того, у неідеальному газі не можна не враховувати і сили взаємного притягання молекул, тобто потрібно використовувати рівняння вигляду

$$(P + P_i)(\upsilon - b) = RT, \qquad (1.7)$$

де додатковий тиск P_i зумовлений наявністю взаємного притягання молекул, є внутрішнім тиском.

Рівняння (1.7), у якому цей член прийнятий прямо пропорційним квадрату густини, називається рівнянням Ван-дер-Ваальса. Це одне з перших і найбільш вивчених рівнянь стану реальних газів.

1.4.1. Кристалічний стан

Слово «кристал» завжди асоціюється з багатогранником тієї чи іншої форми. Однак, форма не є визначальною властивістю кристалічного стану. Основною особливістю кристалічних тіл є ізотропність, чи *векторіальність*, властивостей – залежність ряду властивостей (міцність під час розтягу, теплопровідність, стискання та ін.) від координати (напрямку).

В основі аналізу форми кристалів лежать закони сталості двогранних кутів та цілих чисел.

Закон сталості двогранних кутів: у всіх кристалах однієї речовини кути між відповідними гранями рівні (закон Ромі да Лиля, 1763 р.).

Так, у кристалах NaCl усі кути між гранями рівні 90°. Однак закон сталості кутів зовсім не означає, що всі кристали однієї речовини мають однакову форму: зображені на рис. 1.3 кристали кварцу різні за формою, але кути між відповідними гранями в них однакові.

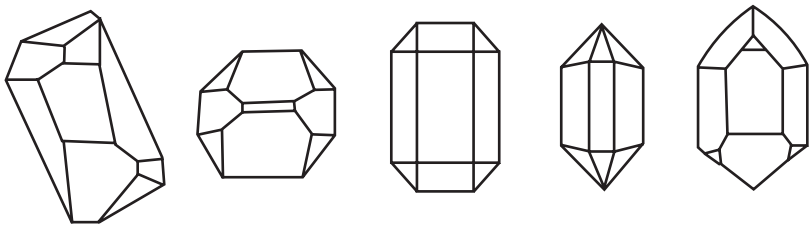


Рис. 1.3. Різні форми кристалів кварцу

Закон цілих чисел: грані кристала завжди орієнтовані таким чином, що відрізки, що відтинаються на трьох координатних осях кристала однією

гранню, належать до відрізків, що відтинаються на тих же осях іншою гранню, як цілі числа (закон Гаюі, 1784 р.).

Звичайно частинки, з яких складаються кристали (атоми, іони, молекули), не є кубами чи паралелепіпедами, але вони розташовані в кристалах у правильному порядку, створюючи кристалічні ґрати, які можна розглядати як складову з елементарних осередків, що мають форму паралелепіпедів.

Симетричні фігури мають один чи декілька елементів симетрії: центри, осі чи площини симетрії.

Центром симетрії називають точку, що поділяє навпіл усяку пряму, що проходить через неї і проведена до перетинання з границями фігури.

Площина симетрії поділяє фігуру на дві частини, кожна з яких є дзеркальним відображенням іншої.

Віссю симетрії називають лінію, при повороті навколо якої на 360° фігура збігається сама із собою *n* раз. Число *n* називають *порядком осі*. Розрізняють осі другого, третього і т. д. порядків (осі першого порядку звичайно не розглядаються – при повороті на 360° будь-яка фігура сполучається сама із собою).

У 1867 р. академіком А. В. Гадоліним була теоретично доведена можливість 32 видів симетрії кристалічних форм, кожна з яких характеризується певним сполученням елементів симетрії. Сьогодні відомі кристали всіх 32 видів симетрії (у часи А. В. Гадоліна було відомо близько 20 видів).

Усі види симетрії кристалів підрозділяються на три категорії: нижчу, середню і вищу. Кристали нижчої категорії не мають осей вищого (вище другого) порядку; для середньої категорії характерна одна вісь вищого порядку; для вищої – кілька таких осей.

Відомо багато випадків, коли одна речовина існує в різних кристалічних формах, тобто відрізняється за своєю внутрішньою будовою, а тому – і за своїми фізико-хімічними властивостями. Таке явище називається *поліморфізмом*. Так, для двоокису кремнію відомі три модифікації: кварц, тридиміт і кристобаліт. Стійкість цих модифікацій спостерігається лише у визначеному інтервалі температур: за звичайних температур – кварц, в інтервалі 870…1 470 °С – тридиміт, в інтервалі 1 470…1500 °С – кристобаліт.

Іншою характерною властивістю кристалів є *ізоморфізм* – властивість атомів, іонів чи молекул заміщати один одного в кристалічних ґратах, утворюючи змішані кристали.

Кристалічні ґрати підрозділяються на кілька типів залежно від виду частинок, які знаходяться у вузлах ґрат, і від характеру зв'язку між ними.

У вузлах *атомних* кристалічних ґрат знаходяться нейтральні атоми, з'єднані один з одним ковалентними зв'язками. Речовин, що мають атомні ґрати, порівняно небагато (алмаз, кремній, сполуки деяких елементів з вуглецем і кремнієм – карбіди й силіциди). У цих твердих тілах усі атоми однаково зв'язані один з одним. У структурі атомного кристала неможливо виділити окрему молекулу – весь кристал варто розглядати як одну гігантську молекулу. Оскільки ковалентні зв'язки дуже міцні, речовини, що мають атомні ґрати, є твердими, тугоплавкими й практично нерозчинними.

У *молекулярних* кристалічних ґратах у вузлах розташовані молекули, зв'язані між собою міжмолекулярними силами. Більшість речовин з ковалентним зв'язком утворюють ґрати подібних типів.

Оскільки міжмолекулярні сили значно слабкіші сил хімічного зв'язку, то молекулярні кристали легкоплавкі, характеризуються значною летючістю, твердість їх невелика. Особливо низькі температури плавлення і кипіння мають ті речовин, молекули яких неполярні. Наприклад, кристали парафіну дуже м'які, хоча ковалентні зв'язки -С-С- у вуглеводневих молекулах, з яких складаються ці кристали, такі ж міцні, як зв'язки в алмазі.

Іонні кристалічні ґрати, у вузлах яких попеременно розташовані позитивні й негативні іони, характерні для сполук елементів, які сильно відрізняються за електронегативністю (наприклад, фториди лужних металів). Як і у випадку атомних ґрат, в іонних кристалах не можна виділити окремі молекули (немає переважної взаємодії даного іона з яким-небудь іоном протилежного знака), і весь кристал слід розглядати як одну величезну молекулу.

Зв'язки між іонами є міцними, тому іонні сполуки мають високі $T_{плав}$ і твердість, хоча ці показники найчастіше нижче, ніж в атомних кристалів.

Кристалічні ґрати, утворені металами, називають *металевими*. У вузлах таких ґрат знаходяться позитивні іони металів, а валентні електрони можуть пересуватися між ними в різних напрямках. Сукупність вільних електронів іноді називають електронним газом.

Така будова ґрат зумовлює високу тепло-, електропровідність і пластичність металів. Під час механічного деформування не відбувається розриву зв'язків і руйнування кристалів, оскільки іони, що його утворюють, ніби плавають у хмарі електронного газу.

1.4.2. Аморфний стан

Аморфні речовини відрізняються від кристалічних ізотропністю, тобто, подібно рідині, однаковими значеннями даної властивості під час вимірювання в будь-якому напрямку усередині речовини. Аморфна структура, так само як і структура рідини, характеризується *близьким порядком* – це означає, що відхилення від упорядкованості розташування молекул речовини в міру віддалення від даної молекули увесь час зростають і на великих відстанях стають дуже значними.

Тому перехід аморфної речовини з твердого стану в рідкий не супроводжується стрибкоподібною зміною властивостей, що характерно для кристалічних речовин, що мають конкретну температуру плавлення $T_{\text{плав}}$. Так, на відміну від кристалічної речовини, аморфна характеризується інтервалом розм'якшення ($T_A - T_Б$) і неперервною зміною властивостей (рис. 1.4).

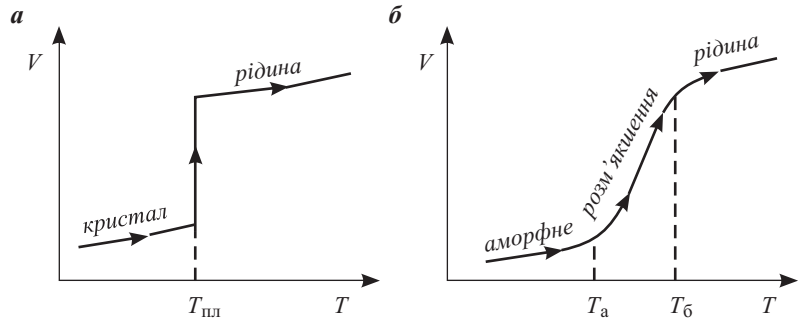


Рис. 1.4. Зміна об'єму під час нагрівання кристалічних (*а*) і аморфних (*б*) речовин

Інтервал розм'якшення залежно від природи речовини може складати кілька десятків і навіть сотень градусів. Наявність інтервалу розм'якшення, у якому аморфна речовина перебуває в пластичному стані, безпосередньо свідчить про структурну нееквівалентність її частинок і як наслідок лише про поступове руйнування зв'язків під час нагрівання. Однак ця нееквівалентність не настільки велика, це підтверджують невеликі значення теплоти перетворення аморфних тіл у кристалічні.

Часто аморфні й кристалічні форми – це різні стани однієї речовини. Однак на практиці кристалізація аморфних речовин спостерігається дуже рідко – структурні зміни уповільнені великою в'язкістю твердих тіл. Бага-

то аморфних речовин, зокрема більшість органічних полімерів, закристалізувати не вдалося. Тому без використання спеціальних заходів, наприклад тривалого високотемпературного впливу, перехід до кристалічного стану відбувається зі зникаюче малою швидкістю. Можна вважати, що речовина в аморфному стані є цілком стійкою.

Уподібнюючи аморфне тіло рідині й розглядаючи його як переохолоджену рідину, «заціпенілу» через дуже велику в'язкість, необхідно пам'ятати, що, на відміну від рідин, в аморфних речовинах обмін місцями між сусідніми частинками не відбувається. Велика в'язкість розплавів утруднює рух і переорієнтування молекул, що перешкоджає утворенню твердої фази. Тому в разі швидкого охолодження рідин (розплавів) вони твердіють не в кристалічному, а в аморфному стані.

Так, типовим аморфними тілом є силікатне скло. Тому аморфний стан часто називають склоподібним, розуміючи під склом аморфно (тобто без кристалізації) закаменілий розплав. Завдяки величезній в'язкості скло зберігається тисячоріттями без видимих ознак кристалізації.

Характерним прикладом переведення речовини з аморфного стану в кристалічний є ситали (чи шлакоситали) – склокристалічні матеріали, у яких завдяки спрямованій кристалізації мікрочастинки кристалічної фази рівномірно розподілені в склі. Структура ситалів нагадує мікробетон, де наповнювачем є кристалічна фаза, а зв'язуючим – прошарок скла між кристалами.

Маючи позитивні властивості свого «предка» – скла, у тому числі високу технологічність, ситали позбавлені більшості його недоліків (крихкості, малої міцності під час вигину, низької термостійкості). Сировиною для одержання ситалів служать ті ж природні матеріали, що і для скла, до яких ставляються підвищені вимоги щодо чистоти, а також спеціальні домішки – модифікатори.

Аморфними речовинами є також і полімери. Вони відрізняються від звичайних аморфних тіл тим, що утворюються з відповідних рідин (мономерів) не в результаті зниження температури, а шляхом хімічного сполучення молекул. Друга відмінність полягає в тому, що під час переходу їх з аморфного стану в кристалічний кристалізація відбувається лише в деяких об'ємах речовини, тому що досягненню високого ступеня упорядкованості заважають великі розміри молекул – великим і взаємно переплетеним молекулам важко симетрично розташуватися в просторі.

Чим симетричніші самі частинки, чим симетричніше вони розташовані й чим менше зв'язок між ними в рідкому стані, тим більше підстав думати, що охолодження рідини приводить до кристалізації:

метали	→	силікати	→	вуглеводи
↓		↓		↓
кристаліч. стан		склоподібн. стан		не кристалізуються

1.4.3. Загальні принципи систематизації агрегатних станів [2]

Незважаючи на різноманітність будівельних матеріалів, їм властиві загальні тенденції розвитку з вихідних дисперсних систем, зумовлені закономірностями руху мікрочастинок речовини, що їх утворює, під час формування макроструктури і властивостей фізичних тіл. Тому всі штучні матеріали, які розглядаються в будівельному матеріалознавстві, найбільш доцільно класифікувати за основними технологічними принципами виробництва з урахуванням визначального фактора – умов формування структурних зв'язків і контактів.

Практично всі будівельні матеріали – це тверді тіла, що перебувають в одному з чотирьох агрегатних станів речовини, який відрізняється від інших агрегатних станів стабільністю форми, а також характером теплового руху атомів, що роблять малі коливання щодо положень рівноваги.

Матеріали мінерального походження (бетон, кераміка, скло й ін.) споконвічно являють собою нестабільні чи метастабільні конденсовані системи, що перебувають в аморфному чи субмікрокристалічному стані. Вони мимовільно прагнуть до стабільного стану з упорядкованою структурою і фіксованими розмірами, тобто до стану твердого кристалічного тіла. Процес переходу в цей стан супроводжується виділенням теплоти, зменшенням об'єму, збільшенням густини й інших явищ, що приводять до упорядкування структури речовини, збільшення міцності фізичного тіла (штучного каменю, металу і т. д.), а потім до її стабілізації.

Швидкість процесу упорядкування структури визначається насамперед її речовинним складом і умовами технологічної обробки чи експлуатації:

– у металах і штучному камені на основі мінеральних в'яжучих речовин, у яких переважають іонні зв'язки, процес відбувається найбільш інтенсивно; у бетонах з використанням в'яжучих речовин з переважними ковалентними зв'язками його також легко фіксувати; у кераміці та склі процес менш виражений, тому що розтягнути у часі й фіксувати його досить складно;

– у системах, багатих лужноземельними й лужними оксидами чи модифікованих деякими хімічними домішками, процес прискорюється, а амфотерні оксиди сповільнюють його;

– за підвищених і від'ємних температур, у вологих умовах і у воді процес прискорюється, а в стандартних умовах (температура 20 ± 5 °С, атмосферний тиск) відбувається повільно.

Рушійною силою процесу упорядкування структури макрочастинок речовини є кінетична (вільна) енергія, запасена системою: при переході речовини з нестабільного стану в стабільний (упорядкований) вона прямує до мінімуму.

Які ж сили домінують у цьому процесі стабілізації, упорядкування (самоорганізації) речовини? Що служить причиною такого необоротного руху матеріальних частинок? Відповіді на ці запитання можна одержати, розглянувши процеси упорядкування структури речовини з погляду динамічної теорії твердого тіла. Відповідно до цієї теорії у стані твердого тіла приховані всі відомі агрегатні стани речовини: рідина, газ і плазма.

В атомах твердого тіла відбувається квантовий рух, що ніколи не припиняється. Навіть при абсолютному нулі в них рухаються електрони, хоча самі атоми роблять нульовий рух. Ці електрони в металах, наприклад, утворять електронну рідину, що за своїми властивостями може бути віднесена до квантових рідин. Електронна рідина подібна до всіх інших рідин – вона робить метал пластичним, створює щось подібне мастилу, по якому можуть переміщатися дефекти кристалів.

У напівпровідниках, у яких вільних електронів набагато менше, ніж у металах і відстані між ними порівняно великі, електрони рухаються незалежно один від одного й утворюють електронний газ. У деяких напівпровідниках у рівних кількостях містяться електрони і так звані «дірки» (порожні місця в електронних оболонках атомів), що ведуть себе як позитивні заряди. Електрони і «дірки» разом утворюють плазму.

Відповідно до сучасної динамічної теорії будь-яке тверде тіло можна вважати своєрідною посудиною, яка містить особливий, типовий квантовий газ квазічастинок, серед яких переважають фонони – кванти, порції коливань, які поширюються усередині твердого тіла.

Будь-який рух, що відбувається у твердому тілі, супроводжується (викликається) рухом цих квазічастинок, які характеризують колективні, узагальнені рухи в речовині. Тому можна вважати, що властивості макрочастинок визначаються внутрішніми мікроскопічними рухами.

Крім того, перебуваючи в аморфному чи субмікрокристалічному стані, тверде тіло є джерелом фотонів – квантів електромагнітного випромінювання у вигляді теплового потоку в зовнішнє середовище під час його

переходу в стан кристалічного твердого тіла. Динамічна теорія твердого тіла дозволяє висловити припущення, що перехід із твердого аморфного стану, у якому перебуває штучний камінь у момент конденсації з дисперсних частинок, у стан кристалічного твердого тіла також викликається рухом мікрочастинок, різними видами рухів квазічастинок усередині аморфного твердого тіла і супроводжується поширенням пружних хвиль, виділенням теплоти і т. ін. При цьому, імовірно, змінюються характери електронного газу, електронної рідини і стан речовини, що вище названа плазмою. Ці зміни повинні бути досить істотними і піддаватися обліку за допомогою сучасних методів досліджень.

Багато технічних систем, що досягли в процесі конденсації атомно-молекулярного рівня, можуть перебувати в стабільному чи метастабільному стані. З цих позицій розглянемо найбільш поширені речовини, представлені кремній- і вуглецевмісними системами.

Кремнійвмісні мінеральні речовини – водні й безводні утворення, що можуть перебувати в 12 умовно виділених станах (рис. 1.5). Стадійні переходи зі стану 1 у стан 5 характерні для процесів формування структурних зв'язків матеріалів на основі в'яжучих речовин гідратаційного твердіння; переходи 3–5 і 6–8 – для матеріалів на основі в'яжучих речовин контактного твердіння; переходи 5–8 – для керамічних матеріалів на основі глин; переходи 11–9 – для матеріалів на основі скла і ситалів; переходи 5–11 чи 8–11 – для одержання розплаву. При цьому в разі одержання розплаву з кристалічної безводної фази (перехід 8–11) стан 9 характеризується як подібний метаміктному[1], а у випадку формування структурних зв'язків у матеріалі, що утвориться на основі такого розплаву (перехід 11–9), цей же стан характеризується як субмікрокристалічний. Зумовлено це тим, що в першому випадку відбувається процес, пов'язаний з порушенням зв'язків у кристалічних ґратах під дією теплової енергії, а в другому – процес, пов'язаний з виділенням енергії за рахунок утворення субмікрокристалів.

---

1 В. С. Бреггер установив, що деякі мінерали, що зовні зберігають кристалічний вигляд, структурно перебувають в аморфному стані. Він писав: «Для цього третього класу аморфних речовин запропоноване найменування метаміктна (від грец. metamiqnumi – зміна шляхом змішування, тобто шляхом перегрупування молекул з утворенням структури, відмінної від первинної кристалічної структури) аморфна речовина» [2, с. 154].

Досить простим прикладом стадійного переходу речовини з 1-го стану в 12-й можуть служити перетворення в цементному тісті жаротривкого бетону пічного агрегату, що відбуваються з моменту замішування бетонної суміші водою. Так, у перший момент замішування портландцементу водою частина речовини, розчиняючись, утворить молекулярний чи справжній розчин (стан 1), поступово формується система золів (стан 2), представлених міцелами – частинками, що вільно беруть участь у броунівському русі. Ці золі, коагулюючи, конденсуються в драглисті тіла, механічні властивості яких більшою чи меншою мірою подібні механічним властивостям твердих тіл (стан 3). Це нестабільні системи, що, кристалізуючись, спочатку формують субмікрокристалічну, теж нестабільну фазу (стан 4), а потім і стабільну кристалічну гідратну систему (стан 5).

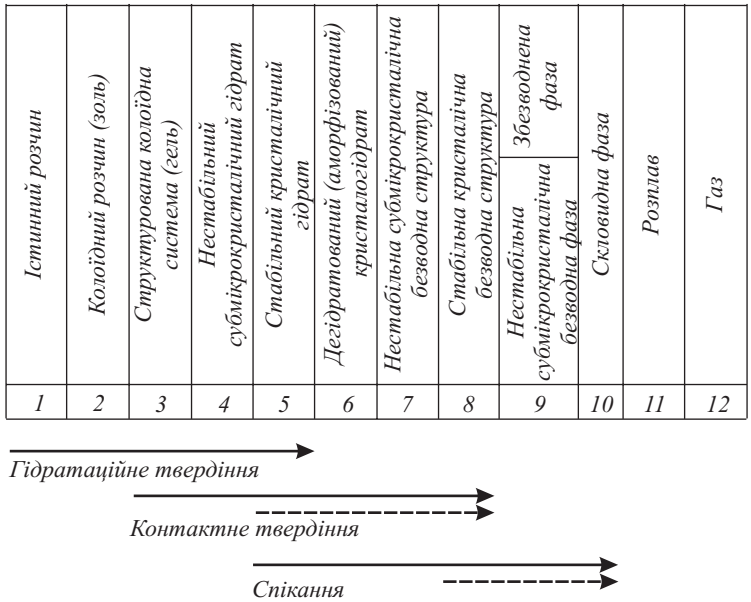


Рис. 1.5. Фізичні стани речовини, яка бере участь у формуванні матеріалів різних груп

Під час нагрівання печі гідратні системи, що сформувалися в процесі твердіння бетону, дегідратують й аморфізуються, у результаті чого речовина цементного каменю переводиться в метастабільний стан (стан 6); подальше нагрівання приводить до формування субмікрокристалічної

метастабільної (стан 7), а потім і стабільної кристалічної безводної фази (стан 8).

В окремих локальних ділянках футерування можуть створитися умови, які приведуть до значного перегріву жаротривкого бетону. У результаті цього речовина чи частина її, поглинаючи теплову енергію, зі стабільного кристалічного стану 8 може перейти в метаміктний стан 9, проміжний між структурою кристала та відповідного скла. Цей стан зберігається до моменту майже повного руйнування вихідної кристалічної фази і переходу її в склоподібну, тобто в стан 10, потім речовина може цілком розплавитися (стан 11) і навіть сублімувати (стан 12).

У станах 5 і 8 силікатна речовина являє собою кристалічне тверде тіло, тобто максимально конденсовані стабільні кристалічні системи, у яких частинки (молекули) розташовані на мінімальних відстанях, у строгому порядку і зв'язані одна з одною максимальними для частинок даної речовини зв'язками чи силами взаємного притягання. Внутрішня енергія такого твердого тіла складається з енергії теплового руху молекул у вузлах кристалічних ґрат, якою у стандартних умовах (температура 25 °С і тиск 0,1 МПа) можна знехтувати, тому що її недостатньо, щоб змінити його агрегатний стан, і потенціальної енергії зв'язку між ними. Тому в цих станах тіло може перебувати як завгодно довго.

У станах 1–12 силікатна речовина в результаті подолання сил молекулярних зв'язків максимально диспергується до розміру молекул і знаходиться в стані, який умовно можна аналогізувати з газоподібним агрегатним станом, тому що уявляє собою дисперсну систему, у якій дисперсійним середовищем служить вода чи повітря. У цих станах частинки силікатної речовини мають максимальну кінетичну енергію (енергію руху) і мінімальну (близько 0) потенціальну енергію зв'язку між молекулами. Густина силікатної речовини в цих станах мінімальна. Система дуже динамічна. Речовині можна надавати будь-якої форми.

Під час переходу речовини в стани 2 і 11 у зовнішнє середовище випромінюється тепловий потік, енергія руху частинок зменшується. Тому між ними виникають зв'язки, які здатні утримати їх разом, але ще не можуть перешкоджати руху й ковзанню молекул одна відносно одної. Такий стан відповідає рідкому агрегатному стану. При цьому кінетична енергія молекул перевищує потенціальну енергію їх зв'язку ($E_{\text{К}} > E_{\text{П}}$), густина речовини зростає, але система в загальному залишається динамічною й оборотною. Речовині також можна надавати будь-якої форми.

Під час переходу в стани 3 і 10 також у зовнішнє середовище випромінюється теплова енергія, частина кінетичної енергії витрачається на утворення зв'язків, які перешкоджають руху і ковзанню молекул речовини

одна відносно одної. У результаті потенціальна енергія зв'язку між молекулами починає перевищувати їх кінетичну енергію ($E_К < E_П$). Унаслідок цього речовина переходить в аморфний твердий умовно оборотний стан, у якому виявляє здатність до контактної конденсації. При цьому густина речовини продовжує зростати.

Перехід у стани 4 і 9 також супроводжується випромінюванням теплоти і подальшим зменшенням кінетичної енергії речовин у результаті упорядкування її кристалічної структури, що виражається в підвищенні густини системи у зв'язку з початком її кристалізації. З подальшим зменшенням кінетичної енергії продовжує зростати потенціальна енергія зв'язку між частинками. Речовина переходить у субмікрокристалічний умовно оборотний стан, у якому також зберігає здатність до контактної конденсації. У цих станах ступінь упорядкування структури речовини, у порівнянні зі станами 3 і 10, збільшується.

Далі речовина, витрачаючи кінетичну й виділяючи теплову енергію в навколишнє середовище, переходить у необоротні стабільні кристалічні стани 5 і 8, що описані вище.

Зі стану 5 силікатну речовину можна перевести в стан 8, підвівши до системи теплову енергію, достатню для руйнування (аморфізації) кристалогідрату й переведення його в метастабільний стан 6 шляхом дегідратації. При цьому густина речовини зменшується. Далі речовина мимовільно чи в результаті нагрівання, витрачаючи акумульовану в процесі дегідратації кінетичну енергію і виділяючи теплову, зі стану 6 переходить у стан 7, а потім і в стан 8.

Силікатні речовини, які використовуються для облицювальних і теплоізоляційних матеріалів, перебувають в одному чи декількох з перерахованих 12 станів. Від того, у якому з цих станів знаходяться самі матеріали чи знаходилися сировинні компоненти, залежить їхня ефективність.

Вуглецевмісні органічні полімерні речовини представлені термореактивними і термопластичними системами, складові яких також можуть перебувати в різних станах. Стадійні переходи між ними складні й дотепер цілком не вивчені, однак процеси конденсації полімерних речовин повинні бути в принципі подібні описаним вище для силікатних.

1.5. Структура і міцність

Міцність визначається як опір матеріалу руйнуванню в процесі його деформування, який розвивається під дією навантаження. Міцність характеризується границею міцності, вимірюваною у паскалях (1 Па = 1 Н/м^2) (у технічній документації дотепер вживається і позасистемна одиниця міцності кілограмсила на квадратний сантиметр (кгс/см^2).

Якщо руйнування розглядати як одночасний розрив усіх зв'язків між атомами, що знаходяться по обидва боки деякої поверхні площею ω, розташованої перпендикулярно розтягальній силі F, то величина напруги відриву $\sigma = F/\omega$ однієї частини тіла від іншої може бути оцінена теоретично й виявляється дуже значною. Так, для кристалів NaCl теоретичне значення міцності на розрив $\sim 2 \cdot 10^3$ МПа, а для металів $\sim 10^4 \ldots 10^5$ МПа. Однак експериментально визначені величини міцності NaCl не перевищують 5 МПа, а металів – $10^2 \ldots 10^3$ МПа, тобто завжди значно нижче, ніж теоретичні.

Така розбіжність теорії з дослідними даними зумовлена наявністю в реальному твердому тілі різних дефектів структури, насамперед мікротріщин. Дійсно, розрахунки показують, що досить мати в тілі тріщину довжиною 1 мкм, щоб його міцність зменшилася приблизно в 100 разів у порівнянні з теоретичною. Такі тріщинки можуть виникати у твердому тілі у процесі як його утворення (виготовлення), так і, що особливо важливо, його пластичного деформування під дією навантаження.

На відміну від багатьох галузей сучасної техніки, для створення матеріалів, виробів і конструкцій, застосовуваних у будівництві, використовуються не чисті однорідні матеріали, а ті, які характеризуються неоднорідною структурою і складаються з цілого ряду хімічних елементів.

Неоднорідність структури найбільш яскраво виявляється в таких дуже поширених матеріалів, як сталь і бетон, причому до складу останнього входить близько двох десятків хімічних елементів, тобто майже 20 % усієї таблиці Менделєєва. Це не може не відбитися на поведінці такого матеріалу під навантаженням і вносить специфічні особливості в механізм руйнування.

Тому перш ніж перейти до безпосереднього аналізу закономірностей формування і прояву міцності, необхідно ознайомитися із особливостями взаємодії однорідних і різнорідних за своїм складом і поверхневими властивостями частинок і агрегатів, що утворюють структуру фізичного тіла.

1.5.1. Взаємодія частинок. Адгезія і когезія

Ще І. Ньютон писав у своїй «Оптиці», що в природі існують речовини, здатні з'єднувати (склеювати) дві поверхні, і завдання полягає в тому, щоб ці речовини вивчити.

З'єднання чи склеювання елементів структури зумовлено дією хімічних чи міжмолекулярних сил, що виявляються тільки в тому випадку, коли взаємодіючі поверхні мають надлишкову вільну енергію. За таких умов частинки чи їх агрегати утворять стійкі просторові конфігурації, які характеризуються несучою здатністю.

Якщо в системі відбувається молекулярний зв'язок між поверхнями різнорідних твердих чи рідких тіл (фаз), то така взаємодія називається *адгезією* (прилипанням), що вимірюється роботою розриву чи опором розриву на одиницю площі контакту при даному виді деформації (відрив, сколювання, зсув і т.д.). Коли дотичні поверхні однакові, то адгезія у разі повного їх стикання переходить у *когезію* (зчеплення), яка характеризує міцність цих тіл – силу зчеплення молекул, іонів, атомів речовини в даному тілі. Порівняння величин когезії й адгезії дає наочне уявлення про співвідношення сил притягання між молекулами однієї речовини (рідкого чи твердого тіла) і молекулами двох різнорідних рідких чи твердих тіл (рис. 1.6).

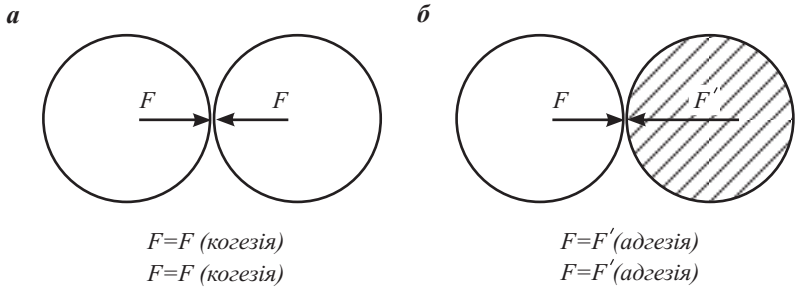


Рис. 1.6. Схема когезійної (*а*) і адгезійної(*б*) взаємодії між частинками

Адгезія твердих тіл звичайно мала внаслідок того, що справжня площа контакту через нерівність поверхонь складає дуже малу частку від справжньої площі зіткнення. Тільки на границі поділу двох рідин чи твердого тіла й рідини в результаті повного контакту по всій площі поверхонь адгезія досягає гранично високих значень, які спостерігаються у процесі

гарячого зварювання, паяння, склеювання, нанесення лакофарбових покрить тощо.

Якщо адгезія досить висока, то в разі зростання зовнішніх сил розрив відбувається не по адгезійному шву, а когезійно – усередині найбільш слабкого зі сполучених тіл чи усередині контактного прошарку. Часто спостерігається так званий «мозаїчний» відрив: по окремих ділянках площі – суто адгезійний, по інших – когезійний.

Термодинамічною характеристикою адгезії є надлишок вільної енергії на одиницю поверхні адгезійного з'єднання в ізотермічному оборотному процесі. Робота адгезії (робота оборотного адгезійного відриву) дорівнює

$$W_{\text{A}} = \sigma_{10} + \sigma_{20} - \sigma_{12}, \tag{1.8}$$

де σ_{12} – поверхневий натяг на границі між фазами 1 і 2, між якими відбувається адгезія;

σ_{10}, σ_{20} – те ж, на границі кожної з цих фаз з навколишнім середовищем (повітрям).

Робота когезії в першій фазі становить

$$W_{\text{K}_1} = 2\sigma_{10}, \tag{1.9}$$

а в другій

$$W_{\text{K}_2} = 2\sigma_{20}. \tag{1.10}$$

З (1.9) випливає, що адгезія зростає зі зменшенням σ_{12} – розходження в полярності взаємодіючих фаз, і тому адгезійна взаємодія може бути посилена адсорбцією домішок поверхнево-активних речовин на границі поділу фаз 1 і 2.

Поширюючи основні положення теорії адгезії стосовно твердіння мінеральних в'яжучих речовин, необхідно відзначити, що в цих випадках тверда дисперсна фаза звичайно представлена частинками, що мають іонні ґрати. Такі частинки добре змочуються полярними рідинами (насамперед, водою).

Колоїдний клей, що утвориться в результаті гідратації мінерального порошку, містить полярні адгезійно активні функціональні групи, які поліпшують з'єднання поверхонь склеювання матеріалів (у тому числі піску й щебеню) і клейового шару. Водневі зв'язки – першопричина великої сили зчеплення води з гідрофільними (що змочуються) поверхнями (високий поверхневий натяг); саме Н-зв'язки визначають здатність води

прилипати до різних речовин. Змочування зумовлене утворенням водневих зв'язків між молекулами води й атомами кисню твердого тіла (зв'язок Н-О-). Тому для неорганічних клеїв як замішувачі чи розчинники найчастіше застосовують воду й водяні розчини.

Поляризовність атомів і одноатомних іонів, що утворюють поверхневі шари твердого тіла, зростає зі збільшенням числа електронів на зовнішній електронній оболонці. Одночасно змінюється рівновага положення частинок у поверхневому шарі. Частина катіонів трохи зміщується усередину матеріалу, і поверхня отримує заряд. Таким чином, кристалохімічні властивості матеріалу, що склеюється (як і частинок зв'язуючого, наповнювача і продуктів хімічних реакцій), і електронна будова катіонів впливають на змочування і адгезію. Слід враховувати, що «початкова» адгезія (змочування – прилипання за допомогою рідини) у неорганічних клеях замінюється наступними міцними адгезійними контактами.

Відстань, на яку поширюється вплив твердих поверхонь, переданий через граничні шари, збільшується за наявності води, що відіграє значну роль у структуруванні граничних шарів. Виділення продуктів реакцій гідратації і гідролізу мінерального в'яжучого перешкоджає броунівському розупорядкуванню молекул поляризованої системи. У процесі загуснення клею підсилюються орієнтована взаємна дія молекулярних ланцюжків і поляризація, що охоплює весь прошарок клею. Продукти конденсації, що утворяться, сприяють перетворенню рідкого прошарку в суцільну нерухому міцну плівку – клейовий шов.

Розрахунки показують, що у разі порівняно невеликої орієнтації молекул у клейовому прошарку поляризація досягає значень, які порівнянні з електричною складовою сил адгезії. Навіть невелика орієнтація одиничних диполів створює помітний ефект поляризації, яка забезпечує високу когезійну міцність клею, так що порядок величин електричних складових сил адгезії і когезії однаковий. Для води характерний радіус орієнтованої взаємодії молекул відповідає 10 міжмолекулярним відстаням.

Поляризація води в клейовому прошарку зменшується за експонентою усередину від склеюваної поверхні. Якщо припустити, що орієнтовані молекули з'єднані між собою водневими зв'язками, то довжини окремих молекулярних ланцюжків виявляються рівними 10^{-5} …10^{-6} м.

Оскільки практично всі фізико-механічні властивості дисперсних будівельних матеріалів визначаються контактними взаємодіями між різними структурними елементами, то структурну міцність відповідних структур неможливо розглядати у відриві від аналізу типу й енергетичного рівня контактів.

1.5.2. Міцність під час структуроутворення

Структуроутворення в дисперсних системах є результатом мимовільних (термодинамічно вигідних) процесів зчеплення частинок, що приводять до зменшення вільної енергії системи, наприклад процесів коагуляції дисперсної фази чи конденсації речовини в місцях контактів частинок. Розвиток просторових сіток контактів різних типів (рис. 1.7) – дисперсних структур – лежить в основі здатності дисперсної системи виявляти себе в новій порівняно з вихідним (незв'язним) станом якості – ставати матеріалом з визначеною несучою здатністю (міцністю).

Для широкого кола дисперсних структур глобулярного типу (а такі структури мають основні будівельні матеріали: бетони, кераміка й ін.) величина міцності R (Н/м^2) зумовлюється сукупністю сил зчеплення частинок у місцях їх контакту одна з одною, тобто міцністю R_0 індивідуальних контактів між частинками і їх числом на одиницю поверхні руйнування. У цьому випадку

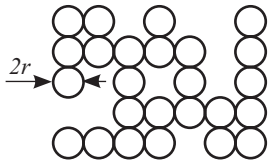


Рис. 1.7. Модель монодисперсної пористої структури з Z 1,5

$$R = R_0 n. \tag{1.11}$$

Число контактів n визначається геометрією системи і насамперед розміром частинок r і щільністю їх упакування, яка характеризується пористістю структури П – відношенням об'єму пор $V_{\text{п}}$ до загального об'єму пористої структури V:

$$\text{П} = V_{\text{п}} / V. \tag{1.12}$$

Залежність $n = f(r, \text{П})$ може бути розрахована на основі даних про дисперсність частинок і пористість зразків з використанням певних моделей дисперсних структур. У найпростішому випадку сипкої монодисперсної структури зі сферичними частинками, що утворюють пересічні ланцюжки, які мають у середньому $\overline{m}$ частинок від вузла до вузла (див. рис. 1.7), можна описати цю залежність (для пористості $\text{П} \geq 0{,}48$) співвідношеннями

$$n = \frac{1}{(2r)^2 \overline{m}^2}; \tag{1.13}$$

$$\text{П} = -\frac{n}{6\overline{m}^3}(3\overline{m} - 2). \tag{1.14}$$

У першому наближенні для «не дуже сипких структур» можна вважати, що

$$n = 1/(2r)^2. \qquad (1.15)$$

Це дозволяє оцінити можливі значення величин n у реальних системах: для частинок діаметром $2r \approx 100$ мкм $n \approx 10^3 \ldots 10^4$ контактів на 1 см^2, при $2r \approx 1$ мкм – може скласти $10^7 \ldots 10^8$, а при $2r \approx 100$ Å – досягати значень $n = 10^{11} \ldots 10^{12}$ контактів на 1 см^2 (полідисперсність і анізометрія частинок вносить, звичайно, відповідні зміни в ці значення).

Природно, що конкретна «геометрія» системи визначається її «історією», тобто розвитком усіх сукупностей хімічних і фізико-хімічних процесів формування частинок (і агрегатів) дисперсної фази під час диспергування чи конденсації. Однак у ще більшій мірі й більшій різноманітності хімічні та фізико-хімічні аспекти проблеми виявляються в характеристиці міцності R_0 індивідуальних контактів – сили зчеплення між окремими елементами структури. Залежно від природи і характеру сил, які зумовлюють зчеплення частинок, контакти можна умовно розділити на дві основні групи: контакти коагуляційні й фазові.

1.5.3. Контакти в дисперсних системах

Відповідно до принципів класифікації дисперсних структур, розроблених академіком П. А. Ребіндером, за визначальними ознаками – здатністю відновлюватися після руйнування й протистояти дії вологи – структурні зв'язки й контакти поділяються (рис. 1.8):

1) на коагуляційні з плівковими неводостійкими контактами;

2) псевдоконденсаційні з точковими неводостійкими контактами, не здатними протистояти диспергуючій дії води;

3) конденсаційно-кристалізаційні й конденсаційні з фазовими водостійкими контактами.

Руйнування структур з контактами першого типу має оборотний характер, а структури з контактами другого і третього типу руйнуються необоротно. Нестабільний стан речовини дисперсних частинок, крім того, визначає можливість реалізації механізму контактного твердіння.

У коагуляційних контактах взаємодія частинок обмежується або їх безпосереднім (рис. 1.8, *б*) «зіткненням», або зіткненням через рівноважні прошарки дисперсійного середовища (рис. 1.8, *а*). Для структур з такими

контактами характерні невисока міцність і механічна оборотність – здатність до мимовільного відновлення після механічного руйнування – *тиксотропія*. Типовими прикладами тиксотропних структур є бетонні й керамічні суміші на ранніх стадіях твердіння.

У відомому розумінні утворення фазових контактів можна розглядати як результат часткової коалесценції твердих частинок через збільшення площі безпосереднього контакту між ними з переходом від «точкового» зіткнення до когезійної взаємодії на значній (у порівнянні з атомними розмірами) площі. Такий перехід у деяких випадках може здійснюватися поступово, наприклад внаслідок дифузійного переносу речовини в контактну зону під час спікання. Однак, як показують безпосередні експериментальні спостереження, частіше він відбувається стрибкоподібно.

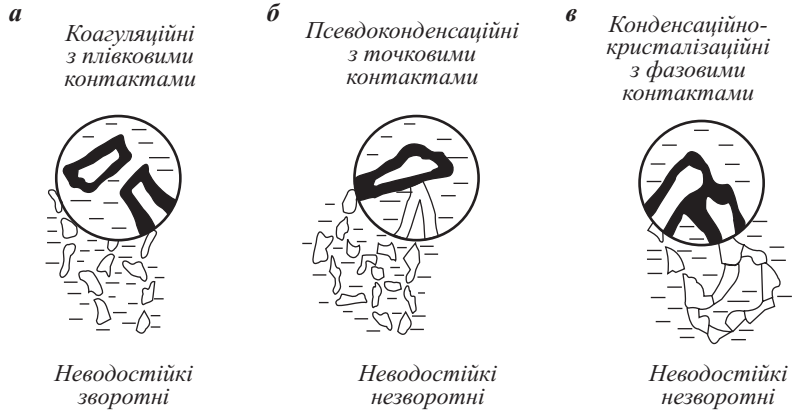


Рис. 1.8. Основні типи контактів між частинками в концентрованих дисперсних системах (за П. А. Ребіндером)

Оскільки контакти між частинками – основні носії міцності дисперсних структур, дослідження закономірностей і механізму формування контактів у різних фізико-хімічних умовах є науковою основою розробки ефективних методів керування механічними властивостями дисперсних структур і матеріалів на їх основі.

Залежно від типу контакту, що переважав між частинками, дисперсні структури умовно можна розділити на дві основні групи: коагуляційні і структури з фазовими контактами.

1.5.4. Основні різновиди структур будівельних матеріалів

Коагуляційні структури. *Коагуляція* – це процес зменшення ступеня дисперсності й числа частинок дисперсної системи шляхом злипання первинних частинок. У результаті коагуляції звичайно відбувається випадання (седиментація) дисперсної фази чи хоча б зміна властивостей первинної колоїдної системи.

Коагуляційні структури утворюються в результаті втрат дисперсною системою агрегативної стійкості; у разі достатнього вмісту дисперсної фази забезпечується армування всього об'єму дисперсної системи. Відповідний вміст колоїдно-дисперсної фази, здатний «отвердити» рідке дисперсійне середовище, може бути дуже малим (особливо для різко анізометричних частинок), наприклад усього лише кілька відсотків за масою для лусочок бентонітових глин і ще значно менше для ниткоподібних частинок.

Як уже зазначалося вище, характерною властивістю коагуляційних структур поряд з відносно невисокою міцністю є тиксотропія.

Коагуляційні дисперсні структури утворюються пігментами й наповнювачами лаків, фарб, полімерів. Типовий приклад тиксотропних структур – це просторові сітки, що виникають у дисперсіях глин під час їх коагуляції під дією електролітів; завдяки здатності до структуроутворення у водних середовищах високодисперсні (бентонітові, монтморилонітові) глини широко використовуються як основний компонент промивних бурових розчинів.

Теорія коагуляції (М. Смолуховський) базується на таких уявленнях: частинки (міцели) дисперсної фази здійснюють незалежні один від одного броунівські рухи доти, поки під час зближення двох частинок відстань їх центрів не стає рівною так званому радіусу сфери впливу Ω. На цій відстані виникають (відразу, стрибкоподібно) сили взаємодії між частинками, у результаті чого створюється можливість їх агрегування.

Механізм взаємодії дисперсних частинок у разі утворення коагуляційних структур може бути розкритий на основі аналізу зміни енергії E і сили F взаємодії між двома частинками залежно від відстані H між ними (рис. 1.9):

– відстань $H > H_2$ – дисперсна система агрегативно стійка, $F = 0$. Цей стан у принципі легкодосяжний у малоконцентрованих системах;

– $H = H_2$ – частинки зафіксовані в структурній сітці в положенні далекої коагуляції. Дисперсна система слабоструктурована, тиксотропна, $F = 10^{-9} \ldots 10^{-11}$ Н;

– $H = H_1$ – відповідає сильним гідрофобним взаємодіям, $F = 10^{-8} \ldots 10^{-9}$ Н з фіксацією частинок у положенні ближньої потенціальної ями в результаті подолання енергетичного бар'єра між ними, що характерно для висококонцентрованих дисперсних систем;

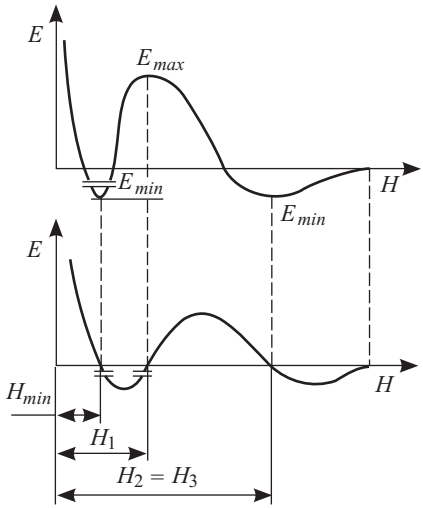


Рис. 1.9. Умови взаємодії між частинками дисперсних фаз залежно від відстані H між ними: E – енергія, накопичена в шарі між частинками у разі їх зближення

– $0 < H < H_1$ – зближення частинок на відстань декількох (2…5) адсорбованих на поверхні частинок моношарів дисперсійного середовища, тобто в зону зростаючого розклинювального тиску. Це положення характерне для висококонцентрованих систем за гранично великої об'ємної концентрації дисперсної фази в дисперсійному середовищі;

– $H = (3 \ldots 4)10^{-10}$ м – безпосередній атомний контакт, що виникає в гранично наповнених системах під час пробою адсорбційних шарів у результаті подолання розклинювального тиску, який діє в цих шарах.

Конденсаційно-кристалізаційні структури. Дисперсні структури з *фазовими контактами* утворюються в найрізноманітніших фізико-хімічних умовах, у тому числі під час спікання й пресування порошків. Дисперсні структури з фазовими контактами, що виникають у процесі виділення (конденсації) нової фази з метастабільних розчинів чи розплавів, прийнято називати *конденсаційними*. Якщо при цьому частинки, що утворюють структуру, мають яскраво виражений кристалічний характер, то такі структури називають *конденсаційно-кристалізаційними*, чи просто *кристалізаційними* (протиставляючи їх конденсаційним структурам з аморфних новоутворень). Виникнення кристалізаційних структур лежить в основі одержання полікристалічних металів під час лиття й утворення багатьох гірських порід. Структури такого типу утворюються і в разі «злежування» сипучих, особливо сильно гігроскопічних матеріалів, тобто у разі перекристалізації, яка супроводжується розростанням контактів між частинками, в умовах змінної вологості. Це ускладнює багато важливих технологічних процесів, наприклад засипання посудин з бункерів,

транспортування і внесення мінеральних добрив; кристалізація парафінів нафти утрудняє її транспортування, особливо при знижених температурах, і т. д.

Таким чином, якщо в одних випадках (для одержання матеріалів) потрібно забезпечити оптимальний розвиток кристалізаційної структури, то в інших, навпаки, необхідно створити фізико-хімічні умови, які граничнo утрудняють цей процес.

Відносно простим і водночас класичним прикладом утворення кристалізаційної дисперсної структури є твердіння напівводного гіпсу в ході його взаємодії з водою відповідно до реакції

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O.$$

У широкому інтервалі температур двоводний гіпс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ є термодинамічно більш стабільною сполукою, ніж напівводний. За 20 °С розчинність дигідрату у воді складає ≈ 2 г/л, а напівгідрату – 6…8 г/л (залежно від модифікації). Тому рідка фаза досить концентрованої водної суспензії напівводного гіпсу, будучи насиченим розчином стосовно напівгідрату, є сильно пересиченим розчином стосовно дигідрату. У цих умовах відбувається виділення нової колоїдно-дисперсної фази, що складається з кристаликів двоводного гіпсу, які разом з частинками вихідної в'яжучої речовини (напівводного гіпсу) спочатку утворюють коагуляційну структуру.

Зниження пересичення внаслідок виділення нової фази компенсується розчиненням нових порцій напівгідрату, так що кристалики двоводного гіпсу утворюються і ростуть в умовах підтримування пересиченого розчину. Величина пересичення і його тривалість залежать від співвідношення швидкості надходження речовини в розчин за рахунок розчинення напівводного гіпсу (очевидно, цьому сприяє висока дисперсність вихідної в'яжучої речовини) і швидкості відведення речовини з розчину внаслідок кристалізації двоводного гіпсу. Наявність у розчині досить високого пересичення зумовлює виникнення зародків кристалізаційних контактів між кристаликами двоводного гіпсу в місцях їх зіткнення.

Швидке збільшення числа і подальший ріст зародків контактів – кристалізаційних містків, що з'єднують частинки, приводить до якісної зміни структури: спочатку пластична, тиксотропно-оборотна коагуляційна структура перетворюється в міцну, пружньо-ламку (і яка необоротно руйнується) кристалізаційну структуру. Утворення нових фазових контактів і збільшення їх площі приводять до подальшого зміцнення структури. У ході процесу гідратації напівводного гіпсу пересичення в системі спадає: відповідно знижується імовірність утворення фазових контактів.

Тому на більш пізніх стадіях гідратація не супроводжується виникненням нових контактів, а приводить тільки до росту кристаликів і збільшення міцності раніше утворених контактів.

Якщо аж до цієї стадії руйнувати структуру, що формується, то кристалики не будуть зростати й утворять не камінь, а оборотну коагуляційну структуру з малою міцністю.

Характерною рисою кристалізаційних дисперсних структур є розвиток у процесі їх формування *внутрішніх напружень*. Вони є результатом тиску, який виникає під час спрямованого росту кристаликів, зв'язаних один з одним у тверду просторову сітку. Величина цих напружень може складати 10^7 Н/м^2 і більше. Якщо напруження, що розвиваються в ході формування структури, досягають її міцності, то кристалізація в процесі гідратації вихідної в'яжучої речовини призводить до руйнування структури по окремих найбільш слабких ділянках. Така руйнівна дія внутрішніх напружень може виявлятися в зниженні міцності структури в ході гідратації. Якщо внутрішні напруження нижче міцності структури, то явного руйнування, що супроводжується релаксацією напружень, не відбувається; напруження зберігаються в матеріалі у вигляді пружної деформації кристаликів і зв'язаної з нею надлишкової енергії.

У ході подальшої експлуатації такого матеріалу, особливо за наявності адсорбційно-активних середовищ, дія цих залишкових напружень приводить до зниження його міцності й довговічності. Тому зниження внутрішніх напружень, що розвиваються в структурах у процесі їх формування, є одним з важливих шляхів підвищення експлуатаційних характеристик дисперсних матеріалів. Це звичайно досягається запобіганням зрощенню частинок на дуже ранніх стадіях гідратації за рахунок використання оптимального сполучення вібраційних впливів і домішок ПАР. Виникнення внутрішніх залишкових напружень можливе також під час пресування порошків і в ряді інших процесів формування структури.

Аналогічно виникають кристалізаційні дисперсні структури у водних суспензіях інших мономінеральних в'яжучих речовин. Наприклад, у ході гідратаційного твердіння MgO виникає високодисперсна структура $Mg(OH)_2$; цей процес може використовуватися для одержання міцних гранул каталізаторів. У принципі ті ж самі фізико-хімічні явища лежать в основі одного з найважливіших хіміко-технологічних процесів – гідратаційного твердіння кальційалюмосилікатних та інших цементів у виробництві будівельних матеріалів.

Прикладом некристалічних конденсаційних дисперсних структур є силікати й алюмосилікати (силікагелі й алюмосилікагелі, водні й збезводнені). Силікагелі утворюються у ході виділення нової аморфної фази при взаємодії силікату натрію з кислотою

$$Na_2SiO_3 + 2HCl + H_2O \rightarrow 2NaCl + Si(OH)_4,$$

$$(HO_3) \equiv Si - OH + HO - Si \equiv (OH)_3 + \ldots$$

$$\ldots \rightarrow (HO_3) \equiv Si - \left[OSi(OH)_2 -\right]_n O - Si \equiv (OH)_3 + (n-1)H_2O.$$

У реакцію можуть бути включені також солі алюмінію.

Виникаючий спочатку золь кремнекислоти (чи алюмосиліказоль) коагулює й утворює гель (вихідну коагуляційну структуру). За наявності насиченого дисперсійного середовища відбувається зрощення частинок гелю – утворення між ними фазових контактів, тобто розвиток конденсаційної структури.

Наведені приклади дисперсних структур і матеріалів на їх основі дають можливість уявити ту універсальну роль, що відіграють структуровані дисперсні системи у різних галузях народного господарства. Відповідно одне з центральних завдань сучасної колоїдної хімії, що має велике практичне значення, полягає в науковому обґрунтуванні й розробці методів керування властивостями, і в першу чергу механічними властивостями дисперсних структур. При цьому, залежно від конкретних практичних вимог, може бути необхідним як підвищення, так і зниження міцності (опору формозміні) таких структур. Розглянута в підрозд. 1.5.2 залежність міцності структури $R \sim n_0$ від числа n і міцності контактів R_0 указує на такі принципово можливі шляхи керування механічними властивостями: 1) зміна числа контактів шляхом варіювання розміру частинок (дисперсності) і щільності їх упакування; 2) зміна міцності індивідуальних контактів шляхом варіювання фізико-хімічних умов їх виникнення й розвитку. Це дозволяє реалізувати значення міцності в дуже широкому інтервалі: від $\approx 10^4$ Н/м^2 для грубодисперсних структур з коагуляційними контактами до $10^7 \ldots 10^8$ Н/м^2 – для високодисперсних структур з фазовими контактами.

Висока міцність матеріалу, отже, досягається насамперед високою дисперсністю. Це стосується і пористих, і суцільних матеріалів; в останньому випадку високодисперсність означає відсутність великих неоднорідностей – дефектів. Диспергаційні методи дозволяють звичайно мати частинки не дрібніше декількох мікрометрів (чи десятків мікрометрів);

здрібнювання істотно полегшується в поверхнево-активних середовищах. Найбільш високодисперсні системи з розміром частинок $10^{-6}…10^{-8}$ м утворюють конденсаційними методами з виділенням частинок нової фази в метастабільних умовах.

Для забезпечення високої міцності матеріалу необхідно також, щоб ці частинки були гранично щільно покладені й між ними розвинулося максимальне число міцних фазових контактів. Однак саме у високодисперсних системах процес формування сильно ускладнюється: навіть відносно «слабкі» коагуляційні контакти створюють у сумі значний опір. Це часто виявляється, наприклад, у процесі формування порошків і концентрованих паст. Підвищення ж використовуваних тисків у багатьох випадках, наприклад під час пресування порошків твердих матеріалів, вносить нові ускладнення: у структурі виникають значні внутрішні напруження, які перешкоджають оптимальному формуванню фазових контактів і ослабляють матеріал під час його подальшої експлуатації. Отже, на стадіях готування й формування високий в'язкопластичний опір дисперсної системи повинний переборюватися «розрідженням» системи – зниженням ефективної в'язкості $\eta_{еф}$ і граничної напруги зсуву τ_0. Однак найпростіший шлях – використання надлишку дисперсійного середовища – у більшості випадків невигідний чи принципово непридатний. Так, надлишок води у цементному тісті робить бетон неморозостійким – вода, яка не зв'язана в кристалогідрат і зберігається в порах, у разі замерзання розмиває матеріал. Задача граничного полегшення формування дисперсної системи, у тім, не обов'язково пов'язана з майбутньою долею цієї системи як матеріалу: аналогічна задача часто виникає в різноманітних хімікотехнологічних процесах з використанням концентрованих, особливо високодисперсних, суспензій і паст, і під час транспортування таких систем.

Розрідження (пластифікування) системи повинне здійснюватися, як це вже було зазначено вище, оптимальним сполученням механічних і фізико-хімічних факторів.

Для досягнення найбільш щільного упакування частинок, тобто реалізації максимального числа контактів у структурі, і водночас для запобігання виникненню високих внутрішніх напружень широко застосовуються вібраційні впливи. Для ослаблення зчеплення частинок (наприклад, у процесі формування сухих і вологих каталізаторних і керамічних мас) використовуються домішки різних ПАР, які, адсорбуючись на поверхні частинок, знижують міцність контактів у коагуляційних структурах і перешкоджають на певних етапах розвитку фазових контактів. Для регулювання процесів структуроутворення під час твердіння мінеральних в'яжу-

чих речовин у систему разом з ПАР вводять домішки відповідних електролітів, що дозволяє спрямовано змінювати величину пересичення, умови кристалізації і зрощення гідратних новоутворень і тим самим здійснювати процес твердіння в оптимальних умовах.

1.5.5. Механізм руйнування. Тріщиноутворення

Якщо на ділянці поверхні ω малих розмірів (але які значно перевищують переріз одного атома) локальна напруга виявиться більше $\sigma_т$ ($\sigma_т \approx 0{,}1E$ – теоретична міцність на розрив, де E – модуль Юнга), уздовж цієї ділянки відбудеться розрив. Краї розриву розійдуться на відстань, більше $\delta_з$, на якій міжатомні сили вже малі, й утвориться тріщина (рис. 1.10). Локальні напруги особливо великі біля краю утвореної тріщини. Тут відбувається концентрація напруження, причому напруження тим більше, чим більше розмір тріщини.

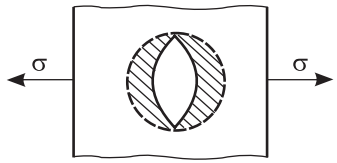


Рис. 1.10. Тріщина Грифіта (стрілки вказують напрямок напруги; заштриховано область, у якій зняті напруження)

Якщо розмір $\delta_з$ більше деякого критичного $\delta_{кр}$, на атоми біля краю тріщини діє напруга, яка перевищує за величиною $\sigma_т$, і тріщина росте далі по всьому перерізу тіла з великою швидкістю – настає руйнування.

Критичний розмір $\delta_{кр}$ визначається з умови, що пружна енергія матеріалу, що вивільняється від зростання тріщини, покриває витрати енергії на утворення нової поверхні тріщини:

$$r_к = \frac{Ef}{\sigma^2}, \qquad (1.16)$$

де f – питома поверхнева енергія матеріалу.

Перш ніж зростаюче зовнішнє зусилля досягне необхідної для руйнування величини, окремі групи атомів, особливо ті, що входять до складу дефектів кристалів, звичайно перегруповуються, перебудовуються, у результаті чого локальні напруги зменшуються («релаксують»). Як наслідок відбувається необоротна зміна форми тіла – *пластична деформація*, розвиток якої стимулюють також термічні флуктуації. Руйнуванню завжди передує велика чи менша пластична деформація, тому під час оцінки $r_к$ в енергію f повинна бути включена робота пластичної деформації f', яка

звичайно на декілька порядків більша істинної поверхневої енергії. Якщо пластична деформація велика не тільки поблизу поверхні руйнування, але й в об'ємі тіла, то руйнування *в'язке*; руйнування без помітних слідів пластичних деформацій називається *крихким*.

Оскільки руйнування – процес зародження й росту тріщин і пор, воно характеризується швидкістю чи часом τ від моменту прикладення навантаження до моменту розриву, тобто довговічністю матеріалу. Дослідження великої кількості кристалічних і аморфних тіл показали, що в широкому інтервалі температур T и напруг σ, прикладених до зразка, довговічність під час розтягання визначається співвідношенням

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{u_0 - \sigma V_a}{\kappa T}, \qquad (1.17)$$

де τ_0 – час, приблизно рівний періоду теплових коливань атомів у твердому тілі, $\tau_0 = 10^{-12}$ с;

u_0 – енергія, близька за значеннями енергії сублімації матеріалу;

V_a – активаційний об'єм, приблизно рівний декільком тисячам атомних об'ємів;

κ – стала Больцмана, $\kappa = 1{,}38 \cdot 10^{-16}$ ерг/град.

За низьких температур довговічність дуже різко спадає зі зростанням напруження, так що при будь-яких важливих для практики значеннях τ існує майже постійне граничне значення напруги σ_0, вище якого зразок руйнується практично миттєво, а нижче – існує необмежено довго. Це значення σ_0 можна вважати *межею міцності* матеріалу.

Коли до зразка прикладається напруга σ, він деформується спочатку пружно, потім пластично, причому у районі структурних неоднорідностей матеріалу, що існували у вихідному стані чи виникли під час пластичної деформації, розвиваються значні за величиною локальні напруги (наприклад, у кристалах – у результаті скупчення дислокацій). У цих місцях зароджуються мікротріщини. Їх концентрація може бути дуже великою (у деяких орієнтованих полімерах до 10^{15} тріщин у 1 см^3), однак їх розміри, зумовлені масштабом структурних неоднорідностей, значно менші $r_к$. Під постійною напругою розміри й концентрація тріщин збільшуються повільно і тіло не руйнується, поки випадково, наприклад завдяки послідовному злиттю близько розташованих сусідніх тріщин, одна з них не дорасте до критичного розміру. Тому при створенні міцних матеріалів варто піклуватися не стільки про те, щоб тріщини не зароджувалися, скільки про те, щоб вони не росли.

Випадковий розподіл структурних неоднорідностей по об'єму зразка за розмірами і за ступенем міцності, а також випадковий характер термічних флуктуацій приводять до розкиду значень довговічності τ і межі міцності σ_0 під час випробувань однакових зразків при заданих значеннях σ і T. Імовірність зустріти в зразку «слабке» місце тим більша, чим більший його об'єм. Тому міцність зразків бетону розмірами $10 \times 10 \times 10$ см вища, ніж в аналогічних зразках-кубах із гранню 20 см (так званий масштабний фактор).

Ділянки з підвищеним напруженням, де легше зароджуються мікротріщини, зустрічаються частіше на поверхні (виступи, подряпини і т. ін.). Тому полірування поверхні й нанесення захисних покриттів підвищують міцність виробів і матеріалів, а агресивні впливи середовища знижують її.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що включає поняття «структура» фізичного об'єкта?
2. Як пояснюють поняття «структура» різні галузі науки?
3. Які елементи структури вивчаються на мікро- і макрорівні?
4. Як отримати елементи макроструктури?
5. Які загальні закономірності формування структур дисперсних матеріалів?
6. Назвіть основні поняття взаємодії між елементами структури.
7. Дайте характеристику агрегатним станам речовин.
8. Які закономірності формування структури кристалічних тіл?
9. Які будівельні матеріали характеризуються аморфними перетвореннями?
10. Які загальні принципи систематизації агрегатних станів речовин?
11. Як залежить міцність матеріалів від їх структури?
12. Чим пояснюється взаємодія частинок у матеріалі? Як утворюється адгезійний і когезійний зв'язок?
13. Що входить у поняття «структуроутворення» матеріалів? Як відбувається процес структуроутворення в дисперсних системах?
14. Назвіть основні різновиди структур будівельних матеріалів.
15. У чому полягає механізм руйнування? Якими ознаками характеризується цей процес?
16. Які заходи вживаються для запобігання процесу руйнування будівельних матеріалів?

Список рекомендованої літератури

1. Глуховский В. Д. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, Л. А. Шейнич, А. Г. Гелевера. – К.: Вища шк., 1987. – 327 с.
2. Карапетьянц М. Х. Строение вещества / М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1970. – 310 с.
3. Кикоин А. К. Молекулярная физика / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. – М.: Наука, 1976. – 480 с.
4. Пашенко А. А. Физическая химия силикатов / А. А. Пащенко, А. А. Мясников, Е. А. Мясникова и др. – М.: Высш. шк., 1986. – 368 с.
5. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи: Пер. с нем. – М.: Мир, 1976. – 438 с.
6. Яминский В. В. Коагуляционные контакты в дисперсных системах / В. В. Яминский, В. А. Пчелин, Е. А. Амелина, Е. Д. Щукин. – М.: Химия, 1982. – 185 с.
7. Современные композиционные материалы / Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М.: Мир, 1970. – 672 с.
8. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. Д. М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985. – 592 с.
9. Вознесенский В. А. Компьютерное материаловедение / В. А. Вознесенский, И. П. Иванов, И. И. Николов. – К.: Будівельник,1989. – 240 с.
10. Горшков В. С. Химическая технология полиминеральных композиционных материалов / В. С. Горшков, А. П. Осокин, М. А. Калитина. – М., 1998. – 250 с.

РОЗДІЛ 2

Основні властивості будівельних матеріалів

2.1. Загальні відомості

Властивості будівельних матеріалів визначають галузі їх застосування. Тільки правильно оцінюючи якості матеріалів, тобто їх найважливіші властивості, можна отримати міцні й довговічні будівельні конструкції будинків і споруд з високою техніко-економічною ефективністю. В остаточному підсумку знання властивостей матеріалів необхідно для найбільш ефективного їх використання в конкретних умовах експлуатації.

Усі властивості будівельних матеріалів за сукупністю ознак підрозділяють на фізичні, хімічні, механічні й технологічні. До *фізичних* належать вагові характеристики матеріалу, його густина, проникність для рідин, газів, тепла, радіоактивних випромінювань, а також здатність чинити опір агресивній дії зовнішнього експлуатаційного середовища. Остання характеризує стійкість матеріалу, що зумовлює, в остаточному підсумку, збереження будівельних конструкцій.

Хімічні властивості, власне кажучи, також оцінюються показниками стійкості матеріалу під час дії кислот, лугів, розчинів солей, що викликають обмінні реакції в матеріалі й призводять до його руйнування.

Механічні властивості характеризуються здатністю матеріалу чинити опір стиску, розтягу, удару, вдавлюванню в нього стороннього тіла й іншим видам впливів, здійснюваним з прикладанням сили.

Технологічні властивості – здатність матеріалу піддаватися обробці у процесі виготовлення з нього виробів. Названі властивості розглядаються у відповідних розділах підручника стосовно конкретного матеріалу.

2.2. Властивості, будова і склад будівельних матеріалів

Властивості будівельного матеріалу визначаються його структурою. Для отримання матеріалу із заданими властивостями варто створити його внутрішню структуру, що забезпечить необхідні технічні характеристики.

Структуру будівельного матеріалу вивчають на трьох рівнях: макроструктура – будова матеріалу, яку можна спостерігати неозброєним оком; мікроструктура – будова, яку можна спостерігати через мікроскоп; внутрішня структура речовини, досліджувана на молекулярно-іонному рівні за допомогою фізико-хімічних методів дослідження (електронна мікроскопія, термографія, рентгено-структурний аналіз та ін.).

Макроструктуру твердих будівельних матеріалів (крім гірських порід, що мають свою геологічну класифікацію) поділяють на такі групи: конгломератна, комірчаста, дрібнопориста, волокниста, шарувата і зерниста (порошкоподібна). Штучні конгломерати являють собою велику групу; це різного виду бетони, керамічні й інші матеріали. Комірчаста структура матеріалу відрізняється наявністю макропор; вона властива газо- і пінобетонам, газосилікатам та ін. Дрібнопориста структура характерна, наприклад, для керамічних матеріалів, одержуваних у результаті вигоряння уведених органічних речовин. Волокнисту структуру мають деревина, вироби з мінеральної вати й ін. Шарувата структура спостерігається у листових, плитних і рулонних матеріалів. Зернисті матеріали – це заповнювачі для бетонів, розчинів, різного виду засипки для теплозвукоізоляції та ін.

Мікроструктура будівельних матеріалів може бути кристалічна й аморфна. Ці форми нерідко є лише різними станами однієї речовини, наприклад кварц і різні форми кремнезему. Кристалічна форма завжди більш стійка. Щоб викликати хімічну взаємодію між кварцовим піском і вапном під час виробництва силікатної цегли, застосовують автоклавну обробку сирцю насиченою водяною парою з температурою 175 °С і тиском 0,8 МПа, у той же час трепел (аморфна форма двоокису кремнезему) з вапном при замішуванні з водою утворює гідросилікат кальцію за нормальної температури 15…25 °С. Аморфна форма речовини може перейти в більш стійку кристалічну.

Для кам'яних матеріалів практичне значення має явище поліморфізму, коли одна й та ж речовина здатна існувати в різних кристалічних формах, названих модифікаціями. Поліморфні перетворення кварцу супроводжуються зміною об'єму. Для кристалічної речовини характерна певна температура плавлення й геометрична форма кристалів кожної модифікації.

Властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Теплопровідність, міцність, електропровідність, швидкість розчинення і явища анізотропії є наслідком особливостей внутрішньої будови кристалів.

У будівництві застосовують полікристалічні кам'яні матеріали, у яких різні кристали орієнтовані хаотично. Ці матеріали за своїми властивостями належать до ізотропних, винятками є шаруваті кам'яні матеріали (гнейси, сланці й ін.).

Внутрішня структура матеріалу визначає його механічну міцність, твердість, теплопровідність та інші важливі властивості.

Кристалічні речовини, які входять до складу будівельного матеріалу, розрізняють за характером зв'язку між частинками, що утворюють кристалічні ґрати. Вони можуть бути утворені: нейтральними атомами (одного елемента, як в алмазі, чи різних елементів, як у SiO_2); іонами (різнойменно зарядженими, як у кальциті $CaCO_3$, чи однойменними, як у металах); цілими молекулами (кристали льоду).

Ковалентний зв'язок, звичайно здійснюваний електронною парою, утворюється в кристалах простих речовин (алмаз, графіт) чи в кристалах, що складаються з двох елементів (кварц, карборунд). Такі матеріали відрізняються високою міцністю і твердістю, вони дуже тугоплавкі.

Іонні зв'язки утворюються в кристалах матеріалів, де зв'язок має в основному іонний характер, наприклад гіпс, ангідрид. Вони мають невисоку міцність і не водостійкі.

У відносно складних кристалах (кальцит, польові шпати) наявні й ковалентний, і іонний зв'язки. Наприклад, у кальциті усередині складного іона CO_3^{-2} зв'язок ковалентний, але з іонами Ca^{+2} – іонний. Кальцит $CaCO_3$ має високу міцність, але малу твердість, польові шпати мають високу міцність і твердість.

Молекулярні зв'язки утворюються в кристалах тих речовин, у молекулах яких зв'язки є ковалентними. Кристал цих речовин побудований з цілих молекул, що утримуються одна біля одної відносно слабкими ван-дер-ваальсовими силами міжмолекулярного притягання (кристали льоду, що мають низьку температуру плавлення).

Будівельний матеріал характеризується хімічним, мінеральним і фазовим складом. *Хімічний* склад будівельних матеріалів дозволяє судити про ряд їх механічних властивостей, вогнестійкість, біостійкість, а також інші технічні характеристики. Хімічний склад неорганічних в'яжучих речовин (вапно, цемент та ін.) і природних кам'яних матеріалів зручно виражати вмістом у них оксидів (у відсотках). Основні й кислотні оксиди хімічно зв'язані й утворюють мінерали, що характеризують більшість властивостей матеріалу.

Мінеральний склад показує, які мінерали і у якій кількості містяться в даному матеріалі, наприклад у портландцементі вміст трикальцієвого силікату ($3CaO \cdot SiO_2$) складає 45…60 %, причому при більшому вмісті цього мінералу прискорюється процес твердіння і підвищується міцність.

Фазовий склад і фазові переходи води, що міститься в порах матеріалу, дуже впливають на його властивості. У матеріалі виділяють тверді речовини, що утворюють стінки пор, тобто каркас, і пори, наповнені повітрям чи водою. Зміна вмісту води і її станів змінює властивості матеріалу.

2.3. Фізичні властивості та структурні характеристики будівельних матеріалів

Під **істинною густиною** (г/см^3) розуміють масу одиниці об'єму абсолютно щільного матеріалу (без пор і пустот)

$$\rho = m/V_a, \qquad (2.1)$$

де m – маса абсолютно щільного матеріалу, г;

V_a – об'єм матеріалу, см^3.

Значення істинної густини деяких будівельних матеріалів становлять, г/см^3:

Сталь	7,800…7,900
Портландцемент	2,900…3,100
Граніт	2,700…2,800
Пісок кварцовий	2,600…2,700
Цегла глиняна	2,500…2,800
Скло	2,500…3,000
Вапняк	2,400…2,600
Деревина	1,500…1,600

Під **середньою густиною** ρ_0 (кг/м^3) розуміють масу одиниці об'єму матеріалу (виробу) у природному стані (з пустотами і порами)

$$\rho_0 = m/V_п, \qquad (2.2)$$

де m – маса матеріалу, кг;

$V_п$ – об'єм матеріалу у природному стані, м^3.

Значення середньої густини будівельних матеріалів знаходяться в широких межах і становить, кг/м^3:

Сталь	7 800…7 850
Граніт	2 600…2 800
Бетон важкий	1 800…2 500
Цегла глиняна	1 600…1 800
Пісок	1 450…1 650
Вода	1 000
Бетон легкий	500…1 800
Керамзит	300…900
Сосна	500…600
Мінеральна вата	200…400
Пороплести	20…100

Середня густина матеріалів може бути різною залежно від пористості й пустотності. Від середньої густини матеріалу значною мірою залежать його технічні властивості, наприклад міцність, теплопровідність. Цими даними користуються для визначення товщини огороджувальних конструкцій опалюваних будинків, розміру будівельних конструкцій, у розрахунках транспортних засобів, підйомно-транспортного обладнання й ін.

Насипною густиною характеризуються сипучі матеріали (пісок, щебінь, цемент та ін.). Це відношення маси зернистих і порошкоподібних матеріалів до всього займаного ними об'єму, включаючи і простір між частинками. Показник густини певною мірою враховується і під час оцінки економічності конструкцій і виробів. Насипна густина залежить від вологості матеріалу: зі збільшенням вологості густина матеріалу також збільшується.

Властивості будівельного матеріалу визначаються його складом, структурою і насамперед значенням і характером пористості.

Пористістю *П* (%) матеріалу називають ступінь заповнення його об'єму порами

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{1000\rho}\right)100\,\%, \qquad (2.3)$$

де ρ_0 – середня густина матеріалу, кг/м^3;

ρ – істинна густина матеріалу, г/см^3.

Пори – це дрібні комірки в матеріалі, заповнені повітрям чи водою. Пори бувають відриті й закриті, дрібні й великі. Дрібні пори, заповнені повітрям, надають будівельним матеріалам теплоізоляційних властивостей. Відкриті пори сполучаються з навколишнім середовищем і можуть

сполучатися між собою, вони заповнюються водою під час занурення у воду. У матеріалі звичайно є відкриті й закриті пори. За величиною пористості можна приблизно судити про інші важливі властивості матеріалу: густину, міцність, водопоглинання, довговічність та ін. Для конструкцій, від яких потрібна висока міцність чи водонепроникність, застосовують щільні матеріали з мінімальною пористістю, а для стін будинків – матеріали зі значною пористістю, що мають хороші теплоізоляційні властивості. У звукопоглинальних матеріалах спеціально створюються відкрита пористість і перфорація для більшого поглинання звукової енергії.

Відкрита пористість $П_в$ (%) дорівнює відношенню сумарного об'єму всіх пор, що насичуються водою, до загального об'єму матеріалу:

$$П_в = \frac{m_н - m_с}{V_п} \frac{1}{\rho_в} 100, \qquad (2.4)$$

де $m_н$, $m_с$ – маса матеріалу в насиченому водою і сухому стані відповідно, г;

$V_п$ – об'єм матеріалу в природному стані, см^3;

$\rho_в$ – густина води, г/см^3.

Закрита пористість $П_з$ – відносний об'єм пор матеріалу в природному стані

$$П_з = П - П_в.$$

Розподіл пор характеризується:

а) інтегральною кривою розподілу об'єму пор за їх радіусами в одиниці об'єму (рис. 2.1);

б) диференціальною кривою розподілу об'єму пор за їх радіусами (рис. 2.2) .

Пористість, отримана за допомогою ртутного пороміра, дозволяє визначити розмір і об'єм кожної пори й оцінити їх форму. Ртуть не змочує пори більшості будівельних матеріалів і проникає в них за підвищеного тиску, що випливає з рівняння:

$$Pd = -4\sigma \cos \Theta, \qquad (2.5)$$

де P – прикладений тиск;

d – діаметр пор;

σ – поверхневий натяг ртуті;

Θ – крайовий кут змочування ртуті й випробуваного матеріалу.

З рівняння видно, що за нульового тиску незмочувальна рідина не буде проникати в пори. На рис. 2.3 наведене співвідношення між тиском і діаметром пор.

На рис. 2.1 показані інтегральні криві розподілу пор за їх розмірами для чотирьох різних матеріалів. Крива *1* характерна для матеріалів з великим об'ємом пор – розміром більше 10 мкм. Крива *2* отримана для порошку з великим об'ємом пор (4…6 мкм) між зернами. Крива *3* характерна для матеріалу з дрібною пористістю, а крива *4* – для матеріалу з однорідною структурою і порами 0,02…0,04 мкм.

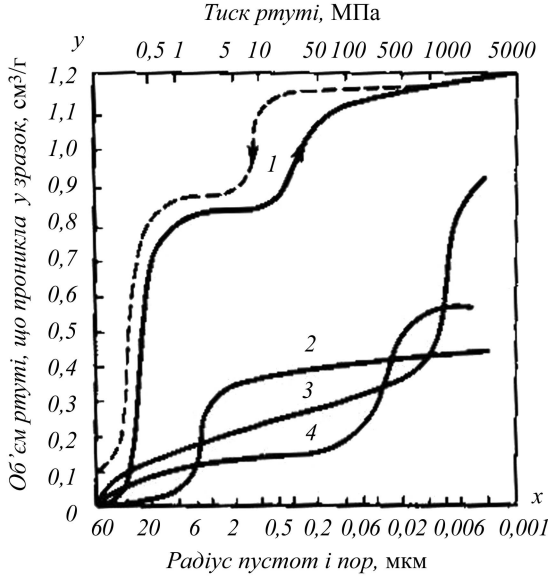


Рис. 2.1. Інтегральні криві розподілу пор за радіусами (пунктиром показана крива гістерезису)

Диференціальна крива розподілу об'єму пор K за їх розмірами (див. рис. 2.2) має вигляд

$$dV/dr = fV(r), \tag{2.6}$$

де dV/dr – тангенс кута нахилу дотичної до інтегральної кривої.

Площа під диференціальною кривою (заштрихована на рис. 2.2) дорівнює сумарному об'єму пор в одиниці об'єму матеріалу.

Питому поверхню порового простору визначають, використовуючи середній умовний радіус пор, чи за допомогою адсорбційних методів (за адсорбцією водяної пари, азоту чи іншого інертного газу). Питома поверхня (см^2/г) пропорційна масі адсорбованої водяної пари (газу), необхідної для покриття мономолекулярним шаром усієї внутрішньої поверхні пор (у 1 г на 1 г сухого матеріалу):

$$a = \frac{a_1 N m_1}{m_2}, \tag{2.7}$$

де a_1 – поверхня, що покривається однією адсорбованою молекулою, для молекули води $a_1 = 10{,}6 \cdot 10^{-16}$ см^2;

N – число Авогадро, $N = 6{,}06 \cdot 10^{23}$;

m_1 – маса адсорбованої водяної пари;

m_2 – молекулярна маса адсорбованої водяної пари (газу).

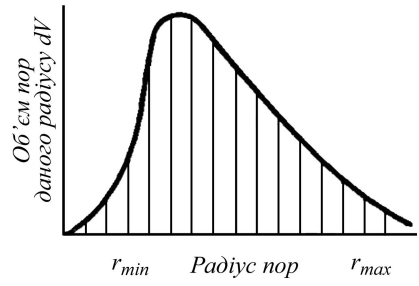


Рис. 2.2. Диференціальна крива розподілу пор за радіусами

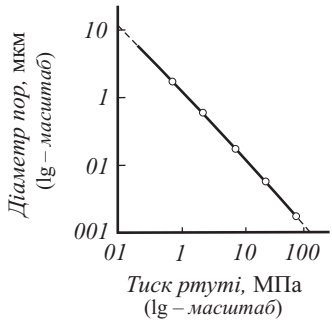


Рис. 2.3. Графік залежності між тиском ртуті (у поромірі) й розміром пор

Пористість є важливою характеристикою, оскільки з нею пов'язані такі технічні властивості матеріалу, як міцність, водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність тощо. Легкі пористі матеріали мають зазвичай невелику міцність і велике водопоглинання, щільні ($П = 0\ldots0{,}8$ %) – значну міцність і незначне водопоглинання.

Будівельні матеріали навіть із значною пористістю, але з невеликими або переважно закритими порами мають невелике водопоглинання і значну морозостійкість, тоді як матеріали з таким самим числовим показником пористості, але з відкритими порами не можуть застосовуватися у місцях з високою вологістю.

Таким чином, вибираючи матеріал для різних за призначенням споруд та умов експлуатації, необхідно орієнтуватися не лише на числове значення пористості, а й на будову пор.

Щільність – це ступінь заповнення об'єму матеріалу твердою речовиною. Якщо матеріал у природному стані займає об'єм V, а в абсолютно щільному – V_a, то відношення $V_a / V = Щ$ виражатиме щільність матеріалу в частках або у відсотках.

Пустотність характеризується наявністю порожнин (пустот) у будівельних виробах (у порожнистій цеглі, панелях із залізобетону) чи між зернами насипу матеріалу (піску, щебеню і т. ін.). Пустотність піску і щебеню складає 35…45 %, порожнистої цегли – 15…50 %.

Пустотність виробів сприяє зниженню маси будівельних конструкцій і поліпшенню теплозахисних властивостей. Пустотність обчислюється за тими самими формулами, що й пористість, проте для піску замість ρ_c потрібно брати насипну густину, а для щебеню та гравію замість ρ і ρ_c – середню густину зерна та насипну густину заповнювача, а для виробів – середню густину виробу.

Показники пустотності для порожнистої цегли – 15…50 %, для щебеню і піску – 36…45 % відповідно.

2.3.1. Гідрофізичні свойства

Властивості матеріалу стосовно дії води характеризуються його здатністю поглинати воду в умовах зволоження й віддавати її під час висушування. До цього виду властивостей умовно відносять водопроникність матеріалу. Насичення матеріалу водою може відбуватися внаслідок дії на нього води в рідкому стані чи у вигляді пари. У зв'язку з цим відповідно розрізняють дві властивості матеріалу – гігроскопічність та водопоглинання.

Гігроскопічність – властивість матеріалу поглинати водяну пару з повітря й утримувати її внаслідок капілярної конденсації. Вона залежить від температури повітря, його відносної вологості; виду, кількості й розміру пор, а також від природи речовини. Матеріали з однаковою пористістю,

але з дрібними порами і капілярами, виявляються більш гігроскопічними, ніж крупнопористі матеріали.

Водопоглинання – властивість матеріалу вбирати й утримувати в собі воду. Водопоглинання за масою характеризується кількістю води, що поглинається сухим матеріалом, зануреним повністю у воду, і виражається у відсотках від маси

$$W_m = \frac{m_н - m_с}{m_с} 100\ \%. \qquad (2.8)$$

Водопоглинання за об'ємом W_V характеризується ступенем заповненості пор матеріалу водою при насиченні, виражається відношенням об'єму поглинутої води $V_в$ до загального об.єму матеріалу в природному стані

$$W_V = \frac{V_в}{V_п} = \frac{m_н - m_с}{V_п} \frac{1}{\rho_в} 100\ \%, \qquad (2.9)$$

де $m_н$ – маса матеріалу в насиченому водою стані, г;
$m_с$ – маса матеріалу в сухому стані, г;
$V_п$ – об'єм матеріалу в природному стані, см^3
$\rho_в$ – густина води, г/см^3.

Водопоглинання завжди менше істинної густини, тому що частина пор виявляються закритими – не сполучені з навколишнім середовищем і недоступні для води. Об'ємне водопоглинання завжди менше 100 %, а водопоглинання за масою у дуже пористих матеріалів може бути більше 100 %.

Водопоглинання будівельних матеріалів залежить головним чином від об'єму пор, їх виду й розмірів. Впливають на величину водопоглинання і природа речовини, ступінь її гідрофільності.

У результаті насичення водою властивості матеріалів значно змінюються: збільшуються густина й теплопровідність, а в деяких матеріалах (деревина, глина) і об'єм (вони розбухають), знижується міцність внаслідок порушення зв'язків між частинками матеріалу проникаючими молекулами води.

Відношення границі міцності під час стиску матеріалу, насиченого водою, $R_{нас}$ до границі міцності при стиску матеріалу в сухому стані $R_{сух}$ називається *коефіцієнтом розм'якшення*

$$k_{розм} = R_{нас} / R_{сух}. \qquad (2.10)$$

Цей коефіцієнт характеризує **водостійкість** матеріалу. Для матеріалів, що легко розмочуються (глина), $k_{розм} = 0$, для матеріалів (метал, скло), що цілком зберігають свою міцність у разі дії води, $k_{розм} = 1$. Матеріали з $k_{розм} \geq 0{,}8$ відносять до водостійких, а матеріали з $k_{розм} < 0{,}8$ у місцях, що зазнають систематичного зволоження, застосовувати не дозволяється.

Вологовіддача (швидкість висихання) – це здатність матеріалу віддавати воду у разі зміни температури та вологості навколишнього середовища. Матеріали, перебуваючи на повітрі, зберігають свою вологість тільки за умови визначеної, так званої рівноважної відносної вологості повітря. Якщо ж остання виявляється нижче цієї рівноважної вологості, то матеріал починає віддавати вологу в навколишнє середовище (висушуватися). Швидкість вологовіддачі залежить, по-перше, від різниці між вологістю матеріалу й відносною вологістю повітря – чим вона більша, тим інтенсивніше відбувається висушування; по-друге, на вологовіддачу впливають властивості самого матеріалу, характер його пористості, природа речовини. Матеріали з великими порами і гідрофобні легше віддають воду, ніж дрібнопористі й гідрофільні.

У природних умовах вологовіддача будівельного матеріалу характеризується інтенсивністю втрати вологи за відносної вологості повітря 60 % за температури 20 °С.

Стан матеріалу при цьому є повітряно-сухим. Деревина в кімнатних умовах, де відносна вологість повітря зазвичай не перевищує 60 %, має вологість 8…12 %, зовнішні стіни будинків – 4…6 %. Зі зміною відносної вологості повітря змінюється і вологість матеріалів (якщо останні гідрофільні).

Повітростійкість. Зміна вологості спричиняє в багатьох матеріалах зміну їх об'єму – вони розбухають в умовах зволоження, дають усадку з подальшим висиханням, іноді виникає і короблення матеріалу. Систематичне зволоження й висушування викликають знакозмінні напруження в матеріалі будівельних конструкцій, які згодом призводять до втрати ними несучої здатності (до руйнування). У зв'язку з цим уводять поняття повітростійкості матеріалу.

Повітростійкість – здатність матеріалу довгостроково витримувати багаторазове систематичне зволоження й висушування без значної деформації і втрати ним механічної міцності. Матеріали по-різному поводяться стосовно мінливої дії вологості. Наприклад, бетон у таких умовах схильний до руйнування, тому що при висиханні цементний камінь стискується, а заповнювач практично не реагує; у результаті в цементному камені виникають розтягувальні напруги, він стискується і відривається від заповнювача. Деревина у разі зміни вологості піддається знакозмінним

деформаціям. Підвищити повітростійкість матеріалів можна шляхом уведення гідрофобних домішок, що надають матеріалу водовідштовхувальних властивостей.

Водопроникність – здатність матеріалу пропускати воду під тиском. Водопроникність характеризується кількістю води, що пройшла протягом 1 год через 1 м^2 площі випробуваного матеріалу при тиску 1 МПа. Щільні матеріали (сталь, скло, бітум, більшість пластмас) водонепроникні.

Водопроникність деяких будівельних матеріалів характеризується *коефіцієнтом фільтрації* $K_ф$ (м/с), який знаходять за формулою

$$K_ф = \frac{V\delta}{(P_1 - P_2)Ft}, \qquad (2.11)$$

де V – об'єм води, що пройшла крізь товщу матеріалу, м^3;
δ – товщина зразка матеріалу, м;
$(P_1 - P_2)$ – різниця тисків водяного стовпа на протилежних сторонах зразка;
F – площа зразка, крізь яку просочувалася вода, м^2;
t – час випробування, с.

Отже, коефіцієнт фільтрації – це швидкість водопроникнення матеріалу крізь площу зразка 1 м^2 завдовшки 1 м за 1 с за різниці тисків на протилежних сторонах зразка, яка створюється 1 м водяного стовпа.

Показник коефіцієнта фільтрації особливо важливий для матеріалів, які застосовуються в гідротехнічному і транспортному будівництві (для водопроводів, тунелів, опор мостів та ін.).

Ступінь водопроникності залежить від густини та будови матеріалу, форми та розмірів пор. Чим більше відкритих пор і пустот має матеріал, тим більша його водопроникність.

Водопроникність – негативна властивість будівельних матеріалів. Наприклад, вода, яка фільтрується крізь товщу бетону, може вимити деякі продукти його тверднення, вносити шкідливі речовини, що знижують міцність бетону й можуть повністю його зруйнувати.

Для деяких матеріалів визначають протилежну властивість – *водонепроникність*. Це здатність матеріалу не пропускати воду в умовах заданого тиску за встановлений час. Наприклад, на поверхні склоруберойду при гідростатичному тиску 0,08 МПа протягом 10 хв не повинно бути ознак проникнення води.

Для інших матеріалів (наприклад, гідротехнічного бетону, напірних труб) водонепроникність характеризують найбільшим тиском води (МПа), за якого не спостерігається її просочування крізь матеріал. Залеж-

но від цього матеріали поділяють на марки, наприклад, W2, W4, W6, W8, W10, W12.

До водонепроникних належать абсолютно щільні матеріали (наприклад, скло), а також практично водонепроникні матеріали з дуже малими закритими порами (пінополістирол, газоскло).

Паропроникність – це здатність матеріалу пропускати водяну пару за наявності різниці тиску біля поверхонь огороджень.

Паропроникність характеризується *коефіцієнтом паропроникності* $K_{\text{п}}$ кг/(м·с·Па). $K_{\text{п}}$ становить, наприклад, для туфу $-2{,}4\cdot10^{-8}$, для важкого бетону $-1{,}2\cdot10^{-8}$, для сосни впоперек волокон $-1{,}6\cdot10^{-8}$.

Гідрофільність – це здатність матеріалу змочуватися водою. Ступінь змочуваності твердого тіла характеризується крайовим кутом, який утворюється поверхнею краплі рідини з поверхнею твердого тіла (рис. 2.4). Крайовий кут може змінюватися від 0° до 180°. Якщо $\theta = 0°$, то рідина повністю змочує тіло, значення $\theta = 180°$ свідчить про повну незмочуваність. Для гідрофільних матеріалів крайовий кут гострий ($\theta < 90°$), для гідрофобних – тупий ($\theta > 90°$).

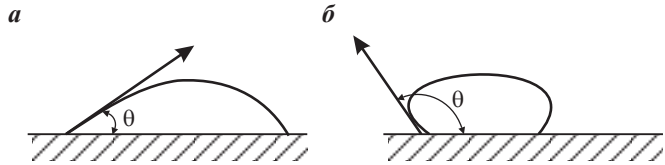


Рис. 2.4. Положення краплі рідини на поверхні:
а – гідрофільній; *б* – гідрофобній

Гідрофобність – це здатність матеріалу не змочуватися водою (відштовхувати воду). Проникнення води крізь пори, що мають гідрофобну внутрішню поверхню значно ускладнене,хоча вони легко пропускають повітря та водяну пару. Гідрофобність матеріалів визначається насамперед хімічною природою їх поверхні та рідини, що змочує її, тобто фаз, які взаємодіють. До гідрофобних матеріалів належать парафін, жирові мастила, бітум і т. ін.

Гідрофобізація – це процес надання матеріалам здатності відштовхувати воду шляхом обробки їх поверхні гідрофобізаторами (спеціальними поверхнево-активними речовинами). Гідрофобізація сприяє підвищенню водопроникності, водо- та морозостійкості, збереженню кольору та фактури будівельних матеріалів.

Деформації усадки обо набухання – це здатність матеріалу змінювати свій об'єм зі зміною вологості, що може бути причиною структурних напружень у матеріалі.

Набухання – властивість матеріалу збільшувати об'єм внаслідок вбирання води, розраховується у частках одиниці або процентах від початкового об'єму матеріалу.

Морозостійкість – здатність насиченого водою матеріалу витримувати багаторазове навперемінне заморожування й відтавання без суттєвого руйнування і значного зниження міцності й маси.

Систематичні спостереження показали, що багато матеріалів, які знаходяться в умовах навперемінного насичення водою і заморожування її, поступово руйнуються. Руйнування відбувається у зв'язку з тим, що вода, яка знаходиться в порах матеріалу, при замерзанні збільшується в об'ємі приблизно до 9 %. Найбільше розширення води під час переходу в лід спостерігається за температури – 4 °С; подальше зниження температури не викликає збільшення об'єму льоду. При заповненні пор водою і її замерзанні стінки пор починають зазнавати значних напруг і можуть руйнуватися. Визначають ступінь морозостійкості матеріалу шляхом заморожування насичених водою зразків за температури від –15 до –17 °С й подальшого їх відтавання. Таку низьку температуру досліду приймають через те, що вода в тонких капілярах замерзає тільки при –10 °С і нижче.

Морозостійкість матеріалу залежить від щільності й ступеня насичення водою його пор. Щільні матеріали морозостійкі. З пористих матеріалів морозостійкими є тільки такі, у яких в основному наявні закриті пори чи вода займає менше 90 % об'єму пор. Матеріал вважають морозостійким, якщо після встановленого числа циклів заморожування і відтавання в насиченому водою стані міцність його знизилася не більше ніж на 15…25 %, а втрата в масі в результаті викришування не перевищує 5 %. Якщо зразки після заморожування не мають слідів руйнування, то ступінь морозостійкості встановлюють за коефіцієнтом морозостійкості

$$k_F = R_F / R_B, \qquad (2.12)$$

де R_F – границя міцності під час стиску матеріалу після випробування на морозостійкість, МПа;

R_B – границя міцності під час стиску водонасиченого матеріалу, МПа.

Для морозостійких матеріалів величина k не повинна бути менша 0,75. За числом витримуваних циклів навперемінного заморожування й відтавання (ступенем морозостійкості) матеріали підрозділяють на марки F 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 і більше.

У лабораторних умовах зразки заморожують у холодильних камерах. Один-два цикли заморожування в камері дають ефект, близький до 3…5-річної дії атмосфери. Існує також прискорений метод випробування, за яким зразки занурюють у насичений розчин сірчанокислого натрію і потім висушують за температури 100…110 °С. Кристали десятиводного сульфату натрію (зі значним збільшенням об'єму), що утворюються при цьому в порах каменя, давлять на стінки пор ще сильніше, ніж вода при замерзанні. Таке випробування є особливо жорстким. Один цикл випробування в розчині сірчанокислого натрію прирівнюється 5…10 і навіть 20 циклам прямих випробувань заморожуванням.

2.3.2. Теплофізичні властивості

Теплопровідність – здатність матеріалу пропускати тепло через свою товщину. Теплопровідність матеріалу оцінюють кількістю тепла, що проходить через зразок матеріалу товщиною 1 м, площею 1 $м^2$ за 1 год за різниці температур на протилежних плоскопаралельних поверхнях зразка 1 °С або К. Теплопроводність характеризується коефіцієнтом теплопровідності.

Теплопровідність матеріалу залежить від багатьох факторів: природи матеріалу, його структури, ступеня пористості, характеру пор, вологості й середньої температури, за якої відбувається передача тепла. Матеріали із закритими порами менш теплопровідні, ніж матеріали зі сполученими порами. Дрібнопористі матеріали характеризуються меншою теплопровідністю, ніж крупнопористі. Пояснюється це тим, що у крупних і сполучених порах виникає рух повітря, який супроводжується перенесенням теплоти (конвекція). Теплопровідність однорідного матеріалу залежить від середньої густини (рис. 2.5). Так, зі зменшенням середньої густини матеріалу теплопровідність зменшується, і навпаки. Загальної залежності між густиною матеріалу й теплопровідністю не встановлено, однак для деяких матеріалів, що мають вологість 1…7 % за об'ємом, така залежність спостерігається.

На теплопровідність впливає також вологість. Вологі матеріали більш теплопровідні, ніж сухі. Пояснюється це тим, що теплопровідність води в 25 разів вище теплопровідності повітря. Теплопровідність деяких будівельних матеріалів λ, Вт/(м·К), становить:

Сталь	58
Граніт	2,9…3,3
Важкий бетон	1,0…1,6

Цегла керамічна звичайна . . . . . 0,8…0,9
Вода 0,59
Бетон легкий . . . . . 0,35…0,80
Бетон теплоізоляційний . . . . . 0,08…0,30
Газоскло . . . . . 0,06…0,08

Теплопровідність характеризує теплозахисні властивості матеріалів, за якими визначають їх належність до групи теплоізоляційних (А – до 0,06; В – 0,06…0,115 і т. д.) або конструктивно-теплоізоляційних і конструкційних (більше 0,175).

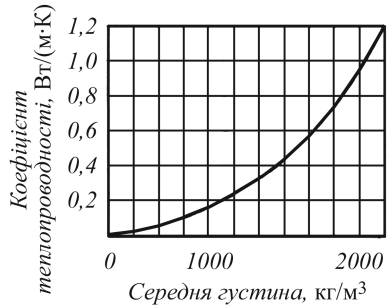


Рис. 2.5. Залежність теплопровідності неорганічних матеріалів від середньої густини сухих неорганічних матеріалів

Теплопровідність матеріалу можна також характеризувати термічним опором ($R_\delta = \delta/\lambda$) – величиною, оберненої до теплопровідності, де δ – товщина стінового матеріалу, м; λ – теплопровідність стінового матеріалу, Вт/(м·К).

Теплопровідність має дуже важливе значення для матеріалів, які використовуються для влаштування стін і перекриттів опалюваних будинків, для ізоляції холодильників і різних теплових агрегатів (котлів, тепломереж і т. ін.). Від величини теплопровідності безпосередньо залежать витрати на опалення будинків, що особливо важливо для оцінки економічної ефективності огороджувальних конструкцій житлових будинків та ін.

Теплоємність – здатність матеріалу поглинати під час нагрівання теплоту. Характеризується питомою теплоємністю, тобто кількістю теплоти, необхідної для нагрівання 1 кг матеріалу на один градус [Дж/(кг·К)]:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}, \qquad (2.13)$$

де Q – кількість теплоти, витраченої на нагрівання матеріалу від температури t_1 до t_2, Дж;
m – маса матеріалу, кг;
t_2, t_1 – відповідно кінцева та початкова температури нагрівання, К.

Питома теплоємність складає, кДж/(кг·К):

сталі	0,460…0,480
кам'яних матеріалів	0,755…0,925
важкого бетону	0,8…0,9
деревини	2,38…2,72

Теплоємність матеріалу має важливе значення в тих випадках, коли необхідно враховувати акумуляцію тепла, наприклад у розрахунку теплостійкості стін і плит перекриття опалюваних будинків, з метою збереження температури в приміщенні без різких коливань у разі зміни теплового режиму, у розрахунку підігріву матеріалу для зимових бетонних робіт, у розрахунку печей і т. д.

Вогнестійкість – здатність матеріалу витримувати дію високої температури або вогню і води, не руйнуючись. Ця властивість важлива при пожежах, а оскільки в процесі гасіння пожеж застосовують воду, то під час оцінки ступеня вогнестійкості матеріалу дія високої температури поєднується з дією води.

Будівельні матеріали за ступенем вогнестійкості поділяють на негорючі, важкогорючі й горючі.

Негорючі (неспалимі) – це матеріали, які під впливом високої температури чи вогню не тліють і не обвуглюються. До них належать природні й штучні неорганічні матеріали, метали. Однак одні з цих матеріалів під впливом високої температури не розтріскуються і не деформуються, наприклад керамічна цегла, а інші, зокрема сталь, піддаються значним деформаціям. Тому сталеві конструкції не можуть бути віднесені до вогнестійких.

Важкогорючі (важкоспалимі) – це матеріали, які під дією вогню чи високих температур злегка займаються, тліють або обвуглюються, а коли віддаляється джерело вогню, ці процеси припиняються. До них належать, наприклад, деревина, просочена спеціальними захисними речовинами, гідроізол, фіброліт, асфальтобетон тощо.

Горючі (спалимі) – матеріали, які горять і тліють під дією вогню чи високих температур і продовжують горіти після усунення вогню. Спалимими є всі органічні матеріали, непросочені спеціальними захисними сполуками (деревина, бітум, полімерні матеріали).

Вогнетривкість – властивість матеріалу протистояти тривалому впливу високих температур, не деформуючись і не розплавляючись. Матеріали за ступенем вогнетривкості підрозділяють на вогнетривкі, тугоплавкі й легкоплавкі. До *вогнетривких* відносять матеріали, що витримують тривалий вплив температури від 1580 °С й вище. *Тугоплавкі* витримують температуру 1350…1580 °С, а *легкоплавкі* – з вогнетривкістю менше 1350 °С.

Термічна стійкість матеріалу характеризує його здатність витримувати визначену кількість циклів різких теплових змін без руйнування. Термічна стійкість залежить від ступеня однорідності матеріалу, величини температурного коефіцієнта розширення його складових. Чим менше коефіцієнт температурного розширення, тим вища термічна стійкість матеріалу. Термічно нестійкими матеріалами є скло, граніт, а термічно стійкими – шамот, базальт, клінкер.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) характеризує відносне видовження матеріалу під час нагрівання на один градус, вимірюється в $К^{-1}$,

$$L_{\text{р}} = \frac{l_1 - l}{l(t_2 - t_1)}, \tag{2.14}$$

де l та l_1 – довжини зразка до і після нагрівання, м;

t_2, t_1 – кінцева та початкова температури нагрівання, К.

ТКЛР має особливе значення для тих матеріалів, які під час експлуатації зазнають нагрівання й охолодження.

2.3.3. Експлуатаційні властивості

Проникність випромінювання ядерного розпаду. Серед різноманітності фізичних властивостей матеріалів в атомній промисловості особливої значущості набуває здатність затримувати γ-промені й потоки нейтронів, небезпечних для живих організмів. Тому деякі споруди підприємств атомної промисловості, науково-дослідних інститутів повинні виконувати функції біологічного захисту. Потік радіоактивного випромінювання може поглинатися конструкціями з даного матеріалу різною мірою залежно від товщини огородження, виду випромінювання й природи речовини захисту.

Для захисту від нейтронного потоку застосовують матеріали, що містять у великій кількості зв'язану воду; від γ-випромінювань – матеріали з великою густиною (свинець, особливо важкий бетон). Зв'язану воду містять гідратні бетони, лимонітова руда (водяний окис заліза) та ін. Зменшити інтенсивність проникання нейтронного випромінювання через бетон можна шляхом уведення в нього спеціальних домішок (бору, кадмію, літію).

Хімічна стійкість – це здатність матеріалу чинити опір впливу кислот, лугів, розчинів солей і газів. Найбільш часто піддаються дії агресивних

рідин і газів санітарно-технічні споруди, каналізаційні труби, тваринницькі приміщення, гідротехнічні споруди (що знаходяться в морській воді, для якої характерний великий вміст розчинених солей). Не здатні протистояти дії навіть слабких кислот карбонатні природні кам'яні матеріали – вапняк, мармур і доломіт; не стійкий до дії концентрованих розчинів лугів бітум. Найбільш стійкими стосовно дії кислот і лугів є керамічні матеріали й вироби, а також багато виробів на основі пластмас.

Довговічність – це здатність матеріалу чинити опір комплексній дії атмосферних та інших факторів в умовах експлуатації. Такими факторами можуть бути: зміна температури й вологості, дія різних газів, що знаходяться в повітрі, чи розчинів солей, що знаходяться у воді, спільна дія води й морозу, сонячних променів. Втрата матеріалом механічних властивостей при цьому може відбуватися в результаті порушення цілісності структури (утворення тріщин), обмінних реакцій з речовинами зовнішнього середовища, а також у результаті зміни станів речовини (зміна кристалічних ґрат, перекристалізація, перехід з аморфного в кристалічний стан). Процес поступової зміни (погіршення) властивостей матеріалів в експлуатаційних умовах іноді називають *старінням*.

Довговічність і хімічна стійкість матеріалів безпосередньо пов'язані з величиною витрат на експлуатацію будинків і споруд. Тому підвищення цих властивостей є найбільш актуальною технічною та економічною задачею.

2.4. Механічні властивості

Механічні властивості характеризуються здатністю матеріалу чинити опір усім видам зовнішніх впливів з прикладанням сили. За сукупністю ознак розрізняють міцність матеріалу при стиску, згині, ударі, крутінні тощо, твердість, пластичність, пружність, стиранність.

Міцність – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією різних зовнішніх навантажень. Вивченням цієї властивості матеріалів займається спеціальна наука – опір матеріалів. Нижче викладені загальні поняття про міцність матеріалів, необхідні для вивчення основних властивостей будівельних матеріалів.

Матеріали, знаходячись у спорудах, можуть зазнавати впливу різних навантажень. Найбільш характерними для будівельних конструкцій

є стиск, розтяг, згин і удар. Кам'яні матеріали (граніт, бетон) добре чинять опір стиску і набагато гірше (у 5…50 разів) – розтягу, згину, удару, тому їх використовують головним чином у конструкціях, що працюють при стиску. Такі матеріали, як метал і деревина, добре працюють на стиск, згин і розтяг, тому їх застосовують у конструкціях, що зазнають цих навантажень.

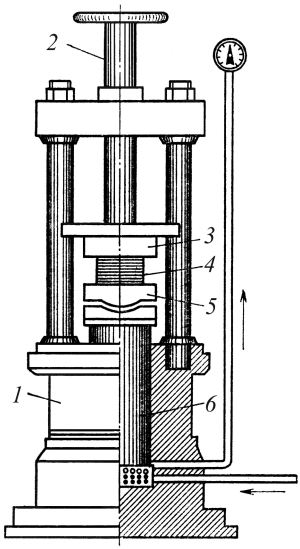


Рис. 2.6. Схема гідравлічного преса для випробування на стиск:
1 – станина; *2* – гвинтове пристосування для затиску зразка; *3* – верхня опорна плита; *4* – випробуваний зразок; *5* – нижня опорна плита з кульовою поверхнею; *6* – поршень

Міцність будівельних матеріалів характеризується границею міцності. Границя міцності (Па) чисельно дорівнює напруженню в матеріалі, яке відповідає навантаженню, що призвело до руйнування зразка:

$$R = F / A, \qquad (2.15)$$

де F – руйнівне навантаження, Н;

A – площа поперечного перерізу зразка до випробування, м^2.

Границя міцності під час стиску різних матеріалів коливається від 0,5 до 1000 МПа і більше.

Дослідним шляхом міцність під час стиску визначають випробуванням зразків на механічних чи гідравлічних пресах (рис. 2.6). Для цього застосовують спеціально виготовлені зразки, зазвичай у формі куба зі стороною 2…30 см. З більш однорідних матеріалів зразки роблять менших розмірів, а з менш однорідних – більших. Іноді на стиск випробують зразки, що мають форму циліндрів чи призм. Коли випробують на розтяг метали, застосовують зразки у вигляді круглих стержнів чи смуг; під час випробування на розтягання в'яжучих речовин використовують зразки у вигляді вісімок.

Для визначення границі міцності зразки виготовляють відповідно до вказівок Держстандарту. Розміри й форму зразків строго витримують, тому що вони істотно впливають на результат випробувань. Так, призми й циліндри значно менше чинять опір стиску, ніж куби того ж поперечного перерізу; навпаки, низькі призми (висота менше сторони) більше чинять опір стиску, ніж куби. Це пояснюється тим,

що під час стиску зразка плити преса щільно притискаються до його опорних площин і виникаючі сили тертя утримують від розширення прилеглі поверхні зразка, а бічні центральні частини зразка зазнають поперечного розширення, яке утримується тільки силами зчеплення між частинками. Тому чим далі знаходиться переріз зразка від плит преса, тим легше відбувається руйнування в цьому перерізі й зразка в цілому. З цієї ж причини під час випробування крихких матеріалів (камінь, бетон, цегла і т. ін.) утворюється характерна форма руйнування – зразок перетворюється у дві усічені піраміди, складені вершинами (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Зразок куба після випробування на стиск крихких матеріалів на гідравлічному пресі

На міцність матеріалу впливають не тільки форма й розмір зразка, але також і характер його поверхні й швидкість прикладення навантаження. Тому для одержання порівнянних результатів потрібно дотримуватися стандартних методів випробуваня, установлених для даного матеріалу. У табл. 2.1 наведені характерні зразки, застосовувані для визначення границі міцності будівельних матеріалів. Міцність залежить також від структури матеріалу, його густини (пористості), вологості, напрямку прикладення навантаження. На згин випробують зразки у вигляді призм, розташованих на двох опорах і навантажених одним чи двома зосередженими навантаженнями, що збільшуються доти, поки зразки не зруйнуються.

Границю міцності на розтяг при згині (Па) визначають за формулами:

– при одному зосередженому навантаженні, яке прикладене в центрі балки,

$$R_{зг} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \tag{2.16}$$

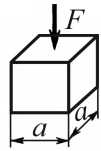
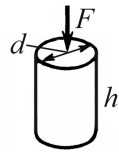
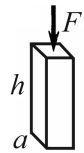
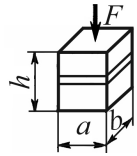
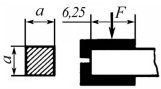
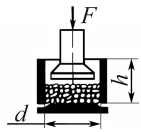
– якщо два навантаження прикладені симетрично осі балки, то

$$R_{зг} = \frac{3F(l-a)}{2bh^2}, \tag{2.17}$$

де F – руйнівне навантаження, Н, МН;
l – відстань між опорами, м;
b, h – відповідно ширина й висота поперечного перерізу балки, м;
a – відстань між точками прикладання двох навантажень, м.

Таблиця 2.1

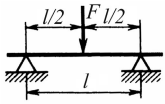
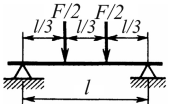
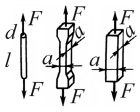
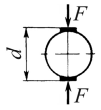
Схема стандартних методів визначення границі міцності при стиску

Зразок	Ескіз	Розрахункова формула	Матеріал	Розмір стандартного зразка, см
Куб		$R = \frac{F}{a^2}$	Бетон Будівельний розчин Природний камінь	15× 15× 15 7,07× 7,07× 7,07 5× 5× 5 10× 10× 10 15× 15× 15 20× 20× 20
Циліндр		$R = \frac{4F}{\pi d^2}$	Бетон Природний камінь	$d = 15$; $h = 30$ $d = h = 5$; 7; 10; 15
Призма		$R_{\text{пр}} = \frac{F}{a^2}$	Бетон Деревина	$a = 10$; 15; 20; $h = 40$; 60; 80; $a = 2$; $h = 3$
Складений зразок		$R = \frac{F}{ab}$	Цегла	$a = 12$; $b = 12{,}5$; $h = 14$
Половина зразка-призми, виготовленої з цементно-піщаного розчину		$R = \frac{F}{A}$	Цемент	$A = 25\ \text{см}^2$
Проба щебеню (гравію) у циліндрі		$Д_{\text{р}} = \frac{m - m_1}{m_1} 100$	Крупний заповнювач для бетону	$d = 15$; $h = 15$

У табл. 2.2 наведені схеми випробувань і розрахункові формули для визначення границі міцності на розтяг і згин.

Таблиця 2.2

Схема стандартних методів визначення міцності на розтяг і згин

Зразок	Схема випробування	Розрахункова формула	Матеріал	Розміри стандартного зразка, см
Випробування на розтягнення при згині				
Призма, цегла в натуральному вигляді		$R_{зг} = \frac{3Fl}{2bh^2}$	Цемент Цегла	$4 \times 4 \times 16$ $12 \times 6{,}5 \times 25$
Призма		$R_{зг} = \frac{Fl}{bh^2}$	Бетон Деревина	$15 \times 15 \times 60$ $2 \times 2 \times 30$
Випробування на розтягання				
Стержень, «вісімка», призма		$R_р = \frac{4F}{\pi d^2}$ $R_р = \frac{F}{a^2}$	Бетон Сталь	$5 \times 5 \times 50$ $10 \times 10 \times 80$ $d_0 = 1$; $l_0 = 5$; $l \geq 10a$
Циліндр		$R_{р.р} = \frac{2F}{\pi dl}$	Бетон	$d = 15$

У матеріалах конструкцій допускаються напруження, що складають тільки частину границі міцності, таким чином створюється запас міцності. Встановлюючи величину запасу міцності, враховують неоднорідність матеріалу – чим менш однорідний матеріал, тим вище повинен бути запас міцності.

Для встановлення коефіцієнта запасу міцності важливим є агресивність експлуатаційного середовища й характер прикладання навантаження. У разі дії агресивного середовища й знакозмінних навантажень, що викликають втому матеріалу, необхідний більш високий коефіцієнт запасу міцності матеріалів. Величину запасу міцності, що забезпечує

збережність і довговічність конструкцій будинків і споруд, встановлюють за нормами проектування і визначаються видом і якістю матеріалу, умовами роботи й класом будинку за довговічністю, а також спеціальними техніко-економічними розрахунками.

За останні роки в практику будівництва впроваджуються нові методи контролю міцності, що дозволяють випробувати без руйнування зразки чи окремі елементи конструкцій як у процесі виготовлення на заводах і будівельних об'єктах, так і після монтажу їх у будинках і спорудах. Відомі в основному акустичні методи, з яких найбільшого поширення набули імпульсний і резонансний. Вказаним методам властиве загальне основне положення: фізичні властивості матеріалу чи виробу оцінюються за непрямими показниками – швидкістю поширення ультразвуку чи часом поширення хвилі удару, а також частотою власних коливань матеріалу й характеристикою їх загасання.

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла. Твердість не завжди відповідає міцності матеріалу. Для визначення твердості існує кілька методів.

Твердість кам'яних матеріалів оцінюють за шкалою Мооса, що складається з десяти мінералів, розташованих за ступенем зростання їх твердості: тальк чи крейда – 1; гіпс чи кам'яна сіль – 2; кальцит чи ангідрит – 3; плавиковий шпат – 4; апатит (сталь) – 5; польовий шпат – 6; кварц – 7; топаз – 8; корунд – 9; алмаз – 10. Показник твердості випробуваного матеріалу знаходиться між показниками твердості двох сусідніх мінералів, з яких один креслить, а інший сам креслиться цим матеріалом.

Твердість металів і пластмас визначають вдавлюванням сталевої кульки. Від твердості матеріалів залежить їх стираність. Ця властивість матеріалу важлива для обробки матеріалу, а також в умовах використання його для підлог, дорожніх покриттів.

Стираність матеріалу характеризується величиною втрати початкової маси, віднесеної до 1 $м^2$ площі стирання. Опір стиранню визначають для матеріалів, призначених для підлог, дорожніх покриттів, східців та ін.

Зносом називають руйнування матеріалу під час спільної дії стирання й удару. Міцність під час зносу оцінюється втратою в масі, вираженою у відсотках. Зносу піддають матеріали для дорожніх покриттів і баласту залізниць.

Опір удару має велике значення для матеріалів, застосованих у підлогах і дорожніх покриттях. Границя міцності матеріалу під час удару (Дж/$м^3$) характеризується кількістю роботи, витраченої на руйнування зразка, віднесеною до одиниці об'єму матеріалу. Випробування матеріалів під час удару проводять на спеціальному приладі – копрі.

Матеріали, які знаходяться під навантаженням, деформуються, тобто змінюють свої розміри й форму. Величина й характер цих деформацій можуть бути різними. Якщо після зняття навантаження зразок матеріалу відновлює свої розміри й форму, то деформацію називають пружною, якщо ж він частково чи цілком змінює форму, то таку деформацію називають пластичною.

Пружність – властивість матеріалу відновлювати після зняття навантаження свою первинну форму й розміри. Границею пружності вважають напруження, за якого залишкові деформації вперше досягають деякої дуже малої величини (встановленої технічними умовами на даний матеріал).

Пластичність – властивість матеріалу змінювати свою форму під навантаженням без появи тріщин (без порушення цільності) й зберігати цю форму після зняття навантаження. Усі матеріали поділяються на пластичні й крихкі. До пластичних матеріалів відносять сталь, мідь, глиняне тісто, нагрітий бітум і т. ін. Крихкі матеріали руйнуються раптово без значної деформації. До них належать кам'яні матеріали. Крихкі матеріали добре чинять опір тільки стисканню й погано – розтяганню, згину, удару.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які властивості визначають якість будівельних матеріалів?
2. Класифікація властивостей будівельних матеріалів.
3. Наведіть визначення понять «властивість», «структура» та «будова». Який взаємозв'язок між цими поняттями?
4. Дайте визначення істинної та середньої густини. У чому різниця між істинною і середньою густиною матеріалу?
5. Що таке насипна густина матеріалу? Де використовується ця фізична величина?
6. Що називається пористістю і які види пористості ви знаєте?
7. Що називається пустотністю будівельних матеріалів? Чи для всіх матеріалів визначається пустотність?
8. Які властивості належать до гідрофізичних? Що називається вологістю і водопоглинанням?
9. Як змінюються властивості матеріалів залежно від вологості? Який взаємозв'язок між пористістю матеріалу та його водопоглинанням?
10. Як визначається водостійкість будівельних матеріалів? Які матеріали вважаються водостійкими, назвіть галузь їх застосування.
11. Яка залежність між структурними та фізичними властивостями матеріалів та їх застосуванням у різних галузях будівництва?

12. Що таке морозостійкість і які методи її визначення?
13. Що називається теплопровідністю і які матеріали належать до теплопровідних і звукоізоляційних?
14. Що називається міцністю матеріалу? Які існують методи визначення міцності і як міцність залежить від структури матеріалів?
15. Наведіть приклади пружних, пластичних та крихких будівельних матеріалів.
16. До яких матеріалів ставляться підвищені вимоги щодо хімічної стійкості?
17. Що називається твердістю і які методи застосовують для визначення твердості будівельних матеріалів різної структури?
18. Що називається довговічністю будівельних матеріалів?

Список рекомендованої літератури

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Глинка Н. А. Общая химия. – 25-е изд. – Л.: Химия. – 854 с.
3. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, С. В. Савельев. – М.: Высш. шк., 1981. – 334 с.
4. Грушко И. М. Дорожностроительные материалы / И. М. Грушко, И. Б. Королев, И. М. Борщ и др. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.
5. Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 303 с.
6. Попов К. Н. Оценка качества строительных материалов / К. Н. Попов, М. Б. Каддо, О. В. Кульков; Под ред. К. Н. Попова. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 278 с.
7. Попов Л. Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1984. – 168 с.
8. Портной К. И Структура и свойства композиционных материалов / К. И. Портной, С. Е. Салибеков и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
9. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: Учеб. пособие для строит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – 701 с.
10. Соломатов В. И. Композиционные строительные материалы пониженной материалоемкости / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой и др. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
11. Смирнов А. Ф. Сопротивление материалов. – М: Высш. шк., 1975.

РОЗДІЛ 3

Природні кам'яні матеріали

3.1. Загальні відомості

Повсюдне поширення в природі й різноманітність фізико-механічних властивостей природних кам'яних матеріалів визначає їх широке застосування з будівельною метою. Вони використовуються без обробки (гравій, пісок) чи піддаються механічній обробці (дробленню, розпилюванню, обтісуванню, шліфуванню) для одержання щебеню, плит, штучних каменів, різних архітектурно-декоративних деталей.

Гірською породою називають природні мінеральні утворення, які сформувалися внаслідок геологічних процесів у земній корі, відрізняються ступенем щільності, складаються з одного (мономінеральна) чи декількох (полімінеральна) мінералів породи, характеризуються відносно сталим мінералогічним складом, певними будовою та властивостями і мають досить великі площі залягання. Прикладом мономінеральних гірських порід є кварцові піски, хімічно чисті гіпс, магнезит, а полімінеральних – граніт, базальт, порфіри. Гірські породи є основною сировиною для одержання мінеральних в'яжучих речовин – гіпсу, вапна, цементу, а також у виробництві штучних кам'яних матеріалів – цегли, скла, виробів з бетонів і розчинів.

Мінерали – це новоутворення, що відрізняються постійним хімічним складом, структурою й властивостями та беруть участь у формуванні гірських порід. Мінерал є продуктом фізико-хімічних процесів, що відбувалися в земній корі.

Вивчення властивостей природних кам'яних матеріалів ґрунтується на класифікації гірських порід. В основу цієї класифікації покладене їх походження (генезис). Походження й умови утворення гірських порід визначають їх хіміко-мінералогічний склад, кристалічну будову та структуру. Ці показники характеризують міцність, довговічність, декоративні якості гірських порід і є вихідними під час вибору й техніко-економічної оцінки гірських порід для використання в будівництві.

3.2. Породотвірні мінерали

Відмітними показниками мінералів є їх хімічний склад і фізичні властивості – густина, твердість. Серед великої різноманітності природних мінералів тільки невелика їх частина бере участь в утворенні гірських порід. Тому ці мінерали названі *породотвірними*. До них належать кварц, польові шпати, слюди, залізисто-магнезіальні мінерали, карбонати та сульфати.

Група кварцу. Кварц за хімічним складом являє собою діоксид кремнію SiO_2. Це найпоширеніший мінерал земної кори, що знаходиться в природі у вигляді самостійної гірської породи (кварцових піску і скла, гірського кришталю) чи входить до складу полімінеральних гірських порід. Кварц входить до складу гранітів, пісковиків, кварцитів, діоритів. Істинна густина кварцу 2,65 г/см^3, твердість 7, границя міцності під час стиску близько 2 000 МПа. Кварц стійкий до дії кислот, за винятком плавикової, і має високу атмосферостійкість. Кварц буває безбарвним, білим, сірим, димчастим, рожевим, залежно від домішок

За температури 18…20 °С кварц не реагує з вапном $Ca(OH)_2$, але в середовищі насиченої водяної пари і за температури 150…200 °С вступає з ним у реакцію, утворюючи гідросилікати. Цією властивістю кварцу користуються для одержання штучних кам'яних матеріалів із суміші кварцового піску і вапна, їх називають силікатними. З підвищенням температури кварц зазнає фізичних змін. Так, за температури 575 °С кварц із α-модифікації переходить у β-модифікацію, стрибкоподібно збільшуючись в об'ємі приблизно на 1,5 %. За температури 870 °С кварц переходить у тридиміт, значно збільшуючись в об'ємі. За температури 1 710 °С кварц плавиться, утворюючи після швидкого остигання кварцове скло.

Група алюмосилікатів. *Польові шпати* за хімічним складом являють собою лужні алюмосилікати – сполуки кремнезему з оксидом алюмінію й оксидами лужних металів K_2O, Na_2O, CaO. Польові шпати мають площинні спайності, легко розколюються по цих площинах і відрізняються різними кольорами. Твердість їх дорівнює 6. За характером прояву спайності польові шпати поділяються на ортоклази й плагіоклази. Ортоклази $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ – пряморозколювані мінерали; плагіоклази – косорозколювані. До останніх належать альбіт, натрієвий польовий шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, анортит і кальцієвий польовий шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Польові шпати мають границю міцності під час стиску 120…170 МПа, істинну густину – від 2,5 (ортоклаз) до 2,76 г/см^3 (анортит). У порівнянні, наприклад, із кварцом вони легко вивітрюються, тобто руйнуються під дією атмосферних агентів – вологи, вуглекислого газу

$$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + nH_2O + CO_2 =$$

$$= Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 4SiO_2 \cdot (n-2)H_2O + K_2CO_3.$$

Продуктами вивітрювання є алюмосилікати, зокрема каолініт ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), що входить до складу глин, а іноді й кальцит ($CaCO_3$).

Глинисті мінерали **(**$Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot H_2O$) – найпоширеніші мінерали осадових порід, характеризуються високою дисперсністю. Це каолініт $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (істинна густина 2,6 г/см^3, твердість 1…2 за шкалою Мооса, колір білий або буруватий), ініт та монтмарилоніт – складні алюмосилікати (істинна густина 2,0…2,6 г/см^3, твердість 1…2, колір зеленуватий або світло-коричневий).

Слюди – водні алюмосилікати, складні й різноманітні за складом. Їх поділяють на два види – біотит і мусковіт. У біотиті містяться домішки у вигляді оксиду магнію і заліза, внаслідок чого слюда біотит непрозора й має темний, а іноді й чорний колір; мусковіт прозорий, тому що не має цих домішок. Слюди легко розщеплюються на тонкі, пружні пластинки, що характеризує їх досконалу спайність. Густина мусковіту 2,76…3,1, а біотиту – 2,8…3,2 г/см^3, твердість – 2…3. Біотит входить до складу багатьох вивержених гірських порід. Вивітрюється він швидше, ніж мусковіт. Останній зустрічається у виверженій і осадовій гірських породах.

Група залізисто-магнезіальних силікатів. До залізисто-магнезіальних мінералів належать піроксени (найбільш поширений представник – авгіт), амфіболи (рогова обманка) і олівін. Залізисто-магнезіальні мінерали мають складний хімічний склад; в основному це силікати магнію

і заліза. Вони мають темний колір (зелений, бурий, а іноді й чорний). Твердість 5,5…7,5, густина 3,0…3,6 г/см^3. Для мінералів цієї групи (за винятком олівіну) характерні висока ударна в'язкість і стійкість проти вивітрювання. Продуктом вивітрювання олівіну є серпантин, один з різновидів якого – хризоліт-азбест – має волокнисту будову (складається з дуже тонких і міцних волокон).

Перераховані мінерали входять переважно до складу виверженых гірських порід. Найважливішими породотвірними мінералами осадових гірських порід є кальцит, магнезит, доломіт, гіпс і ангідрит.

Група карбонатів. *Кальцит* $CaCO_3$ – вапняковий шпат, є одним з найпоширеніших мінералів земної кори. Кальцит утворює крупно-, середньо- і дрібнозернисті породи; густина його 2,7 г/см^3, твердість 3. Кальцит розчинний у воді (0,03 г у 1 л), бурхливо реагує з кислотами. Вода, що містить CO_2, діє на кальцит руйнівно, тому що при цьому утворюється кислий вуглекислий кальцій $Ca(HCO_3)_2$, розчинність якого у воді майже у 100 разів більша в порівнянні із $CaCO_3$. Кальцит безбарвний або має молочнобілий колір з різними відтінками.

Магнезит $MgCO_3$ на відміну від кальциту зустрічається в природі значно рідше, він має дещо більшу твердість (4…4,5) і меншу розчинність, ніж кальцит. Істинна густина 2,9…3,1 г/см^3, колір – сірувато-білий з відтінками, блиск – скляний, спайність – досконала.

Доломіт $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ – мінерал, який за хімічним складом являє собою подвійну вуглекислу сіль магнію і кальцію. Доломіт за фізичними властивостями аналогічний магнезиту.

Група сульфатів. *Гіпс* $CaCO_4 \cdot 2H_2O$ являє собою мінерал пластинчастої, волокнистої чи зернистої будови, м'який (твердість 2), густина 2,3 г/см^3. Гіпс має білий колір, іноді зафарбований домішками в різні кольори: сірий, червонуватий, жовтуватий і чорний. Цей мінерал легко розчиняється у воді (розчинність в 75 разів більша, ніж у кальциту).

Ангідрит $CaSO_4$ – безводний різновид гіпсу. Густина ангідриту 2,8…3,0 г/см^3, твердість 3…3,5; колір від червонувато-білого до сірого. У разі тривалого впливу води ангідрит здатний перейти в гіпс із незначним збільшенням об'єму до 30 %.

Каолінiт являє собою водний силікат алюмінію. Окремі пластинки й лусочки його безбарвні, а суцільні маси можуть мати білий, жовтуватий, буруватий і блакитно-зеленуватий колір. Твердість його 2,5.

Пірит, сірчаний колчедан FeS_2, *апатит* та інші мінерали зустрічаються в гірських породах як другорядні складники.

3.3. Класифікація гірських порід

Відповідно до генетичної класифікації, гірські породи підрозділяються на три великі групи: вивержені, осадові й метаморфічні (табл. 3.1).

Вивержені гірські породи утворилися з розплавленої магми, що затверділа під час охолодження. Різні умови охолодження магми привели до утворення вивержених порід з різною будовою і властивостями. В одних випадках магма не вийшла на поверхню землі, а закам'яніла під її верхніми шарами – так утворилися глибинні гірські пород. В інших магма вилилася й закам'яніла на поверхні землі – так сформувалися вилиті гірські породи.

Глибинні породи, утворення яких відбувалося під значним тиском верхніх шарів, охолоджувалися повільно й порівняно рівномірно. Такі умови були сприятливі для кристалізації мінералів, що формують гірську породу. У зв'язку з цим глибинні породи масивні, щільні й складаються звичайно з тісно зрослих кристалів; вони мають підвищену середню густину, високу механічну міцність й морозостійкість, незначне водопоглинання і високу теплопровідність. Глибинні породи мають зернисту кристалічну будову, яка називається ще гранітною – від назви найбільш поширеного представника цих порід – граніту.

Вилиті породи утворилися на поверхні землі за відсутності тиску і в умовах швидкого охолодження магми. Деяка частина магми, що вилилася на поверхню, вже містила кристали окремих мінералів. Тому в більшості випадків вилиті породи складаються з окремих добре сформованих кристалів, вкраплених в основну прихованокристалічну масу; таку будову називають порфіровою за аналогією з дуже поширеними серед цієї групи порід порфірами. У тих випадках, коли вилиті породи застигали могутнім шаром, їх будова була подібна до глибинних порід. Якщо ж шар був порівняно невеликим, то охолодження відбувалося швидко й маса їх виявлялася склоподібною, а верхні шари ставали пористими внаслідок енергійного виділення газів з магми під час зменшення тиску.

Уламкові породи утворилися у разі швидкого охолодження роздробленої виверженої лави. До цих порід належать пемза, вулканічний попіл. Частина уламкових порід (вулканічного попелу) піддалася цементуванню, утворюючи вулканічні туфи.

Осадові гірські породи утворилися в процесі осадження речовини з якого-небудь середовища, головним чином водного. Осадження відбувалося періодами у вигляді окремих шарів. За характером утворення і складом осадові гірські породи поділяють на три групи: хімічні, органогенні та механічні.

Таблиця 3.1

Генетична класифікація гірських порід

Група порід	Характер утворення	Властивості	Представники порід
Виверженні (магматичні, первинні) породи	Глибинні	Масивні	Граніт, сієніт, діорит, габро
	Вилиті	Те ж	Кварцовий порфір, діабаз, трахіт, базальт, порфірит, андезит
	Уламкові (вулканічні)	Зцементовані	Вулканічний туф, вулканічне скло, вулканічна лава
		Сипкі	Вулканічний попіл, вулканічна пемза, вулканічний пісок
Осадові (вторинні) породи	Хімічні осади	Те ж	Гіпс, ангідрит, магнезит, барит, доломіт, вапняковий туф, мергель, деякі види вапняків
	Органогенні породи	» »	Вапняки, крейда, черепашник, опока, діатоміт і трепел
	Механічні відклади (уламкові породи)	» »	Глини, піски, гравій
		Зцементовані	Пісковик, конгломерат, брекчія
Метаморфічні (видозмінені) породи	Продукти видозміни осадових порід		Мармур, кварцити
	Продукти видозміни виверженних порід		Гнейси

Хімічні осади являють собою гірські породи, що утворилися під час осадження мінеральних речовин з водних розчинів з подальшим їх

ущільненням і цементацією. Хімічними осадами є гіпс, ангідрит, вапнякові туфи.

Органогенні породи утворилися в результаті відкладення залишків деяких водоростей і тваринних організмів з подальшим їх ущільненням і цементацією. До органогенних порід відносять більшість вапняків, крейду, діатоміти.

Механічні відклади (уламкові породи) утворилися в результаті осадження чи нагромадження сипких продуктів у процесі фізичного і хімічного розпаду гірських порід. Частина з них піддавалася надалі цементуванню глинистою речовиною, залізистими сполуками, карбонатами чи іншими природними цементами, утворюючи зцементовані осадові породи – конгломерати чи брекчії.

Метаморфічні (видозмінені) гірські породи утворилися в результаті більш-менш глибокого перетворення вивержених чи осадових гірських порід під впливом високої температури, тиску й хімічних процесів. У цих умовах відбувалася перекристалізація мінералів без їх плавлення й одержували гірські породи звичайно більш щільні, ніж вихідні осадові. У процесі метаморфізму змінювалася структура гірських порід.

Будівельні властивості гірських порід (міцність, твердість, хімічна стійкість) значною мірою залежать від їх мінералогічного складу.

3.3.1. Вивержені гірські породи

Серед вивержених гірських порід розрізняють масивні й уламкові, що утворилися в результаті руйнування масивних порід.

Масивні глибинні гірські породи (граніти, сієніти, діорити і габро). Повільне охолодження магми на великій глибині під значним тиском створило сприятливі умови для її повної кристалізації. У результаті всі глибинні породи характеризуються високою густиною і яскраво вираженою кристалічною (крупнокристалічною) структурою (рис. 3.1).

Граніт – найпоширеніша глибинна гірська порода, що складається в основному з кварцу, польового шпату й слюди. Іноді слюда замінена темнозабарвленими (залізисто-магнезіальними) мінералами. Колір граніту залежить від головної складової – польового шпату й наявності темних мінералів. Він буває сірий, червоний й ін. Зерна мінералів мають настільки міцну спайність, що злам частіше відбувається не по площині спайності, а по зернах мінералів. Середня густина граніту в середньому

2 600…2 800 кг/м^3, границя міцності під час стиску 100…300 МПа, а при розтягу – 1/40…1/60 границі міцності під час стиску.



Рис. 3.1. Структура граніту (вигляд під мікроскопом):
К – кварц; *О* – ортоклаз;
С – слюда

Висока механічна міцність, стійкість проти вивітрювання й морозостійкість зумовлюють хороші будівельні властивості граніту й виготовлених з нього будівельних матеріалів і виробів. Його застосовують для виготовлення облицювальних плит, сходців, підлог, бортових каменів, щебеню для бетону й ін. Цей матеріал також використовують під час будівництва гідротехнічних споруд і пам'ятників.

Сієніти складаються в основному з польового шпату (ортоклазу) і будь-якого темнозабарвленого мінералу. Будова сієніту подібна з гранітом. Середня густина 2 600…2 800 г/см^3, границя міцності під час стиску 150…200 МПа. Сієніти м'якше гранітів, краще піддаються поліруванню, мають більшу в'язкість. Використовують сієніти нарівні з гранітами. Між гранітами і сієнітами існують перехідні різниці – граносієніти.

Діорити за мінералогічним складом представлені плагіоклазом, роговою обманкою, рідше – біотитом і авгітом. Колір діориту – від темно-зеленого до чорно-зеленого. Густина 2 700…2 900 кг/м^3, границя міцності під час стиску 180…200 МПа. Діорити важко обробляються, мають великий опір стиранню, добре поліруються, стійкі проти вивітрювання. Застосовують діорити у дорожньому будівництві і як будівельний матеріал.

Габро – кристалічна гірська порода, що складається в основному з плагіоклазу й темнозабарвлених мінералів (піроксени у вигляді авгіту). Рідше до складу габро входять біотит і рогова обманка. Колір габро може бути від сірого і зеленого до чорного. До групи габро належить також лабрадорит – гірська порода, що складається в основному з мінералів лабрадору (різновид польового шпату) сірого, зеленувато-сірого чи темних кольорів із синім відблиском на площинах спайності. Середня густина габро дуже висока і дорівнює 2 900…3160 кг/м^3 (що свідчить про дуже низьку пористість); границя міцності під час стиску 200…400 МПа, а іноді й до 450 МПа. Габро стійкий проти вивітрювання, важко обробляється, але дає гарне довговічне полірування. Застосовують його для гідротехнічних та інших видів споруд у вигляді різноманітних будівельних матеріалів – ще-

беню, облицювальних плит і т. д. Лабрадорит, який має гарний колір, використовують як облицювальний матеріал.

Масивні вилиті породи утворилися в результаті охолодження магми, що вилилася на поверхню земної кори. Структура вилитих порід може бути напівкристалічною, зернистою і склуватою. Гірські породи, що вилилися, мають хімічний і мінералогічний склади такі ж, як і глибинні, приблизно ті ж фізико-механічні властивості, але відрізняються дрібнокристалічною (до склуватої) структурою.

Кварцовий порфір (аналог граніту) має склувату структуру з вкрапленням великих зерен кристалів кварцу. Під час вивітрювання ці зерна можуть випадати з основної маси гірської породи. Середня густина 2 400…2 600 кг/м^3, границя міцності під час стиску складає 120…130 МПа. Використовують його у вигляді щебеню чи штучного каменю. Поряд із кварцовим порфіром існує безкварцовий порфір (аналог сієнітів), у якому кварц відсутній.

Трахіт – гірська порода, за хіміко-мінералогічним складом подібна з порфіром, але утворена в більш пізні геологічні періоди. Трахіт відрізняється високою пористістю й відносно низькою границею міцності під час стиску – 60…90 МПа. Середня густина 2 200 кг/м^3, забарвлення світле, сіре, жовтувате. Застосовують як стінові матеріали, щебінь для бетону.

Діабаз – аналог габро – складається з плагіоклазу й авгіту і має у своєму складі домішки кварцу й рогової обманки. Середня густина діабазу – 2 800…3 000 кг/м^3, границя міцності під час стиску – 200…400 МПа, колір – темно-сірий. Діабаз добре полірується. Застосовують його у вигляді щебеню, штучних каменів, плит, брущатки, як облицювальний матеріал. З розплавленого діабазу за температури 1 200…1 350 °С відливають різні вироби. Плавлений діабаз стійкий до кислот і лугів, має високі діелектричні властивості. Міцність плавленого діабазу становить близько 500 МПа.

Базальт за хімічним і мінералогічним складом є аналогом габро. Має темний колір, прихованокристалічну структуру з деякою кількістю вулканічного скла і складається з плагіоклазу й авгіту. Середня густина – 2 700…3 000 кг/м^3, границя міцності під час стиску – 100…150 МПа. Висока твердість і міцність базальтів дозволяє використовувати їх як матеріали для дорожніх покриттів. Застосовують базальт також як сировину для виготовлення кам'яного литва.

Порфірит і андезит – аналоги діориту. Порфірит більш давня, а андезит більш молода гірська порода; колір їх сірий, сірувато- й жовтувато-зелений. Середня густина – 2 200…2 800 кг/м^3, границя міцності під час стиску – 60…240 МПа. Порфірити застосовують як облицювальний матеріал,

щебінь і дорожню брущатку, а андезит (як кислототривкий матеріал) – як заповнювач у кислототривких бетонах, а також для спеціальних облицювань.

Вивержені уламкові вулканічні породи поділяють на сипкі (пемза, вулканічний попіл й ін.) та зцементовані (вулканічний туф).

Пемза утворилася у результаті швидкого охолодження магми й інтенсивного виділення з неї газів, що спучують масу. Подальше швидке остигання спучених шматків магми приводить до утворення склоподібної пористої породи. Колір пемзи сірий, чорний, а іноді й білий. Пемза складається з кремнезему SiO_2 (до 70 %) і глинозему Al_2O_3 (до 15 %). Залягає пемза у вигляді уламків розміром 5…50 мм у діаметрі, викинутих під час виверження вулканів. Середня густина пемзи в шматку – 400…1 400 кг/м^3, пористість – до 80 %, границя міцності під час стиску – 0,4…2,0 МПа, твердість – 6. Використовують пемзу як щебінь для легких бетонів, як теплоізоляційний матеріал, а також у змеленому вигляді як активну мінеральну домішку до вапна й цементів.

Вулканічний попіл зустрічається у вигляді порошку від сірого до чорного кольору. Застосовують його для одержання легких розчинів і бетонів, а також як активну мінеральну домішку до в'яжучих речовин.

Вулканічні туфи. При вулканічних виверженнях до рідкої лави домішувалися попіл і піски, утворюючи туфову лаву. Зцементована туфова лава є вулканічним туфом. У результаті швидкого охолодження туфи мають склоподібну будову. Середня густина туфу в шматку – 1250…1350 кг/м^3, пористість – 40…70 %, границя міцності під час стиску – 5…15 МПа і вище, теплопровідність – 0,4…0,53 Вт/(м·°К). Колір рожево-фіолетовий. Застосовують туф як пісок чи щебінь для легких бетонів і розчинів, великих стінових блоків, а також як активну домішку до повітряного вапна чи цементу. Високі декоративні якості й морозостійкість дозволяють широко використовувати туф як облицювальний матеріал для фасадів і внутрішнього оздоблення будинків.

3.3.2. Осадові гірські породи

Осадові гірські породи утворилися на дні колишніх водоймищ – хімічні осади, як скупчення залишків рослинного і тваринного світу – органогенні, а також у результаті руйнування масивних гірських порід магматичного чи осадового походження – механічні відклади (уламкові).

До **хімічних осадів** належать гіпс, ангідрит, магнезит, доломіт і вапнякові туфи.

Гіпс ($CaCO_4 \cdot 2H_2O$) – гірська порода, що складається з мінералу такої ж назви. Гіпс застосовують для виробництва повітряної в'яжучої речовини – будівельного гіпсу, а також як облицювальний матеріал внутрішніх частин будинків у вигляді штучного мармуру. Середня густина 2 000…2 300 кг/м^3, міцність під час стиску – до 30 МПа, колір буває білий, сірий, жовтуватий.

Ангідрит складається з однойменного мінералу – ангідриту $CaSO_4$. Застосовують його як облицювальний матеріал, а також як сировину для виробництва ангідритового цементу. Середня густина становить 2 500…2 900 кг/м^3, міцність під час стиску – 50…80 МПа.

Магнезит складається з мінералу такої ж назви – магнезиту $MgCO_3$. Іноді він містить домішки вуглекислих кальцію і заліза. Твердість магнезиту – 3,5…4,0; колір білий або від жовтуватого до бурого. Застосовують магнезит як сировину для виробництва повітряного в'яжучого – каустичного магнезиту й вогнетривких матеріалів.

Доломіт складається в основному з мінералу доломіту $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ з домішками глинистої, залізистої, кременистої та інших речовин. Колір сірий або від жовтуватого до бурого. Структура зерниста. За властивостями доломіти близькі до щільних вапняків, іноді вони мають і більш високі, ніж вапняки, механічні властивості. Застосовують доломіт для виробництва щебеню, виготовлення облицювальних плит, вогнетривів і в'яжучих матеріалів.

Вапнякові туфи утворилися в результаті виділення $CaCO_3$ з кислого вуглекислого кальцію, розчиненого у воді. Дуже пористі вапнякові туфи використовують як сировину для одержання вапна, а щільні з дрібними рівномірно розташованими порами туфи застосовують у вигляді штучних каменів для кладки стін і як щебінь для легких бетонів.

Вапняк утворився у водних басейнах із залишків тваринного й рослинного світу (чи як продукт хімічних осадів). Сипкі скупчення раковин і їх уламків скріплювалися вуглекислим кальцієм. Вапняк складається в основному з мінералу кальциту $CaCO_3$ і домішок глини, доломіту, кварцу й ін. Середня густина вапняку 1 700…2 600 кг/м^3, міцність під час стиску 10…100 МПа. Колір білий або від жовтуватого до бурого. Вапняк використовують для виробництва щебеню, облицювальних плит і архітектурних деталей, а також для виробництва вапна й портландцементу.

До **органогенних порід** належать різні карбонатні й кремнисті породи. У будівництві використовують вапняки-черепашники, крейду, діатоміти і трепели.

Діатоміти – слабко зцементована, дуже пориста кремнеземиста порода, що складається з панцирів діатомових водоростей і частково з кістяків тваринних організмів. Густина 400…1 000 кг/м^3, пористість 60…70 %.

Зоогенні породи утворились внаслідок відкладання черепашок найпростіших тварин.

Вапняк-черепашник – пориста гірська порода, що складається з раковин і їх уламків, зцементованих вапняною речовиною. Середня густина 900…2 000 кг/м^3, границя міцності під час стиску 0,4…15,0 МПа і більше. Застосовують для виготовлення стінових каменів і блоків, а також як заповнювачі для легких бетонів.

Крейда – землиста гірська порода, що складається майже з чистого карбонату кальцію. Як домішки зустрічаються глинисті речовини й зерна кварцу. Крейда має високу дисперсність. Має білий колір. Застосовують як білий пігмент, для приготування замазки, а також у виробництві вапна, портландцементу й скла.

Трепели – дуже легка глиноподібна порода, що містить аморфний кремнезем у вигляді дрібних кульок опалу. Середня густина 500…1200 кг/м^3, пористість 60…70 %, коефіцієнт теплопровідності 0,17…0,23 Вт/(м·°К).

Застосовують діатоміти й трепели для виготовлення теплоізоляційних матеріалів, легкої цегли, а також у виробництві гідравлічних в'яжучих як активну мінеральну домішку.

Механічні відклади. У результаті фізичного вивітрювання під впливом води й температури гірські породи розпадалися на глиби, шматки й дрібні частинки. Продукти руйнування переносилися вітром і особливо водяними потоками на різні відстані й осідали. Так утворилися глини, пісок, щебінь і гравій з масивних гірських порід.

Хімічне вивітрювання виявлялося в результаті взаємодії складових частин гірських порід з різними речовинами, що знаходяться в атмосфері. Так, польовий шпат (ортоклаз) під дією води й вуглекислоти (що знаходиться в повітрі) руйнувався, утворюючи мінерал каолініт.

До фізичного й хімічного вивітрювання (руйнування) гірських порід часто приєднується ще біохімічне вивітрювання, що є результатом життєдіяльності тваринних і рослинних організмів. У результаті вивітрювання гірських порід утворюються дисперсні частинки, зерна і великі уламки; деякі з них цементуються глиною, кальцитом чи кремнеземом, утворюючи зцементовані гірські породи. Залежно від крупності зерен і їх цементації розрізняють такі види механічних відкладів осадових гірських порід.

Пісок – сипка суміш зерен різних порід крупністю 0,16…5,0 мм. Залежно від умов утворення піски бувають гірські, річкові, морські, дюнні, бар-

ханні й ін. Застосовують як дрібний заповнювач для приготування бетонів і розчинів.

Гравій – зерна обкатаної форми крупністю 5,0…150 мм. Застосовують як крупний заповнювач для важких бетонів.

Пісковики – гірська порода, що складається із зерен кварцу, зцементованих глинистою, кремнеземистою чи вапняковою речовиною. Міцність пісковику залежить від виду цементуючої речовини, крупності й форми зцементованих зерен. Найбільш міцні кремнеземисті пісковики мають границю міцності під час стиску 200 МПа і більше. Використовують пісковики як щебінь для бетону, облицювання опор мостів і будинків, для дорожніх покриттів, тому що вони мають високі показники морозостійкості і стійкості проти стирання.

Гірська порода, що складається зі зцементованих зерен щебеню, називається *брекчією*, а зі зцементованих зерен гравію – *конгломератом*. Конгломерати й брекчії використовують як щебінь для бетонів, штучного каменю й облицювальних плит.

3.3.3. Метаморфічні (видозмінені) гірські породи

З метаморфічних порід у будівництві застосовують гнейси, глинисті сланці, мармури, кварцити.

Гнейси за мінералогічним складом є аналогами граніту й мають сланцеву будову. Використовують гнейси переважно як облицювальні плити, у вигляді бутового каменю для кладки фундаментів і стін неопалюваних будинків, для тротуарів.

Глинисті сланці складаються з ущільнених сланцевих глин. Колір темно-сірий, іноді чорний. Глинисті сланці легко розколюються на тонкі плитки, мають високу атмосферостійкість і довговічність, що дозволяє використовувати їх як покрівельний матеріал.

Мармур – кристалічна порода, що утворилася з вапняків чи доломітів. Кристали з'єднані без цементуючої речовини. Міцність мармуру – до 300 МПа. Твердість невелика – 3,0…3,5. Він порівняно легко розпилюється на плити й добре полірується. Застосовують мармур для облицювання внутрішніх частин будинків, тому що зовні будинків полірування швидко втрачається. Це пояснюється слабкою хімічною стійкістю мармуру проти впливу на нього чинників навколишнього середовища.

Кварцити – метаморфічний різновид кременистих пісковиків з перекристалізованими й невіддільними зернами кварцу, так що цементуюча речовина нерозрізнена. Кварцити стійкі проти вивітрювання, міцність під час стиску досягає 400 МПа. Використовують кварцити для облицювання будинків, опор мостів, а також як сировину для виробництва динасових вогнетривких виробів.

3.4. Розробка й обробка природних кам'яних матеріалів

Гірські породи, придатні для виготовлення кам'яних матеріалів, називають *корисними копалинами*. Породи, що супроводжують корисні копалини й не використовуються для зазначеної мети, відносять до *пустої породи*. Роботи, пов'язані з видобуванням корисних копалин, називають *гірськими роботами*. Вироблені простори, що утворюються в процесі видобування корисних копалин, одержали назву *виробок*, розроблювані родовища – *кар'єрів*.

Видобування природних кам'яних матеріалів здійснюють головним чином відкритим способом. Розробку гірських порід у кар'єрах ведуть гідромеханічним, вибуховим способами, за допомогою екскаваторів, каменерізних машин і т. д. Сучасні способи видобування базуються на механізації усіх виробничих операцій.

Вибір способу видобування природних кам'яних матеріалів залежить від виду гірської породи, глибини й умов її залягання, твердості й ін. Сипкі гірські породи (пісок, гравій, глина) добувають відкритим способом за допомогою різних машин, з яких найбільш поширеними є одно- і багатоківшеві екскаватори, а також з використанням гідромеханізації. Сутність гідромеханізації полягає в тому, що вода підводиться до місця видобування ґрунту під тиском, створюваним насосами, проходить через гідромонітор і, вилітаючи з великою швидкістю з його насадки, робить розмив породи. Потім із суміші ґрунту з водою (пульпи) виділяється товарна продукція (пісок чи гравій).

Пісок і гравій у кар'єрах класифікують за крупністю зерен на дві та більше фракцій. Щебінь одержують подрібненням гірських порід, що добуваються вибуховим чи іншим способом. Дроблення, сортування і збагачення щебеню здійснюють на дробильно-сортувальних установках (рис. 3.2), розташовуваних поблизу кар'єрів.

Гірську породу, що надійшла на завод, завантажують у бункер, з якого вібраційним живильником подають у щокову дробарку, а звідти – на проміжний відкритий склад. Зі складу маса конвеєром подається в грохот; більш дрібні фракції щебеню надходять потім у конусну дробарку, а крупніші знову проходять дроблення в щокових дробарках. З конусної дробарки щебінь подають на сортування в грохот для поділу на фракції.

Масивні вивержені гірські породи розробляють, як правило, вибухом. Для відділення глиб шаруватих, тріщинуватих, стовпчастих порід застосовують механічні засоби (клини, механічні лопати й ін.). М'які породи (вапнякові туфи й ін.) видобувають шляхом розпилювання масиву каменерізною машиною на блоки певних розмірів і правильної геометричної форми. Під час розробки родовищ деяких різновидів гранітів, туфів, мармурів (у відкритих виробках) на штучний камінь, плити, блоки й ін. застосовують також спосіб розпилювання породи механічними пилками.

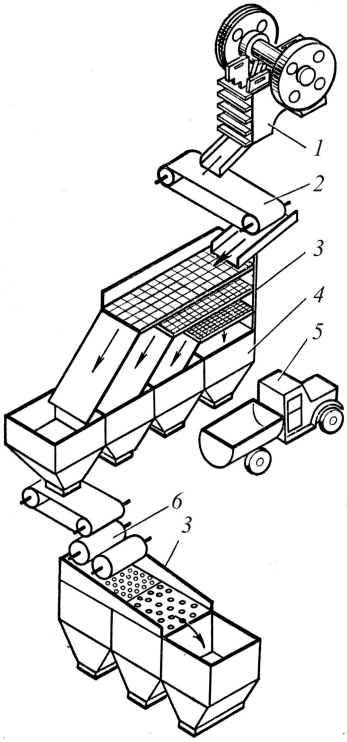


Рис. 3.2. Схема поетапного подрібнення:
1 – щокова дробарка; *2* – транспортер; *3* – грохот; *4* – бункер; *5* – автосамоскид; *6* – вальцьова дробарка

На рис. 3.3 показані сучасні машини, які застосовують в процесі розробки мармуру, мармуроподібних вапняків, вапняків-черепашників та інших гірських порід міцністю 3…180 МПа. Конструкція машини СМ-428 дозволяє підрізати ділянки вивітреної зони горизонтальною фрезою, підрізати блоки перерізом 1 000 × 1 000 мм довільної довжини горизонтальною та вертикальною фрезами.

Каменерізну машину СМ-177А застосовують для вирізки блоків мармуру й інших гірських порід каменю міцністю 5…180 МПа безпосередньо з гірського масиву. Конструкція цієї машини дозволяє виконувати операції з проходки подовжніх і поперечних траншів, прорізки поперечних

рядів на глибину блока, підрізування блока знизу й остаточної відрізки від масиву. Можна одержати максимальний розмір блока 1000×1000 мм з довільною довжиною.

Каменерізна машина КМАЗ-188 призначена для вирізки штучного каменю в підземних умовах, у вибоях невеликого перерізу (ширина 2 880 мм і висота 2 330 мм), а також у шахтах великого перерізу і відкритих розробках. Керування машиною кнопкове з пульта керування електромагнітної станції, установленої на машині. КМАЗ-188 застосовують для вирізки каменю – черепашнику міцністю до 3 МПа, розмірами $19 \times 24 \times 49$ і $19 \times 19 \times 39$ см.

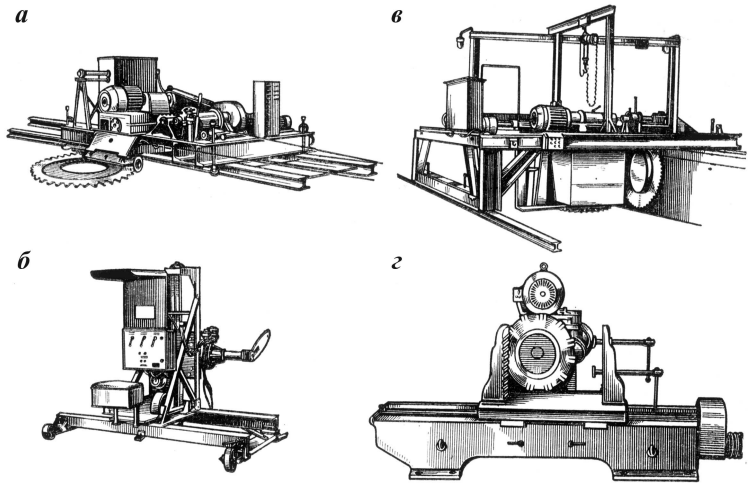


Рис. 3.3. Машини для розробки та обробки гірських порід:
а – каменерізна машина СМ-428; *б* – каменерізна машина СМ-177А; *в* – каменерізна машина КМАЗ-188; *г* – фрезерний верстат ЛТ-2

Робочі процеси, у результаті яких каменю надають заданих форм і розмірів, а лицьовій поверхні – необхідної фактури, називають *обробкою каменю*. Обробку каменю роблять механізованим способом на спеціалізованих заводах. Для обробки каменю з порід міцністю до 40 МПа використовують верстат ЛТ-2, на якому можна обробляти камені довжиною до 480 мм і висотою до 400 мм.

Залежно від способу виготовлення виробів, матеріали з природного каменю поділяють на такі види: пиляні – одержані з масиву каменерізними

чи каменерозколювальними машинами (блоки-напівфабрикати, крупні камені) або із блоків-напівфабрикатів з подальшою обробкою (облицювальні плити, цільні східці, підвіконні дошки і т. ін.); колоті – одержані розколюванням блоків з подальшою обробкою (плити й камені тесані, бортовий камінь, брущатка й т. ін.); грубоколоті – спрямованим розколюванням блоків без подальшої обробки (постілистий камінь); дроблені – отримані дробленням гірської породи з подальшим поділом на фракції (щебінь, пісок штучний); мелені – помелом гірської породи (мелений мінеральний порошок, кам'яне борошно).

За характером обробки поверхні каменю, одержуваного розколюванням, розрізняють такі фактури: «скеля», рифлена, борозниста й точкова, які розглянуті в підрозд. 3.5.

У разі обробки каменю абразивами одержують такі фактури: шліфовану, що має рівномірно-шорстку поверхню, лощену гладку, бархатисто-матову поверхню з виявленим малюнком каменю, дзеркальну з гладкою поверхнею і дзеркальним блиском.

3.5. Матеріали й вироби з природного каменю

Природні кам'яні матеріали, яким властиві висока атмосферостійкість, міцність і гарне забарвлення, широко застосовують у будівництві у вигляді блоків для мурування стін і фундаментів будинків і споруд, облицювальних плит і каменів для зовнішніх і внутрішніх стін будинків і споруд, для будівництва доріг, тротуарів, набережних, підпірних стінок та інших споруд. Особливі вимоги ставляться щодо міцності, довговічності та декоративності цих матеріалів. Відповідно до СНіПу кам'яні матеріали класифікують за такими ознаками:

– середньою густиною – звичайні (важкі) з середньою густиною 1800 кг/м^3 і більше, легкі – середня густина менше 1800 кг/м^3;

– границею міцності під час стиску – для звичайних встановлені М100…1000, а для легких – М4…200;

– ступенем морозостійкості – звичайні (важкі) мають марки F15…500; легкі – F10…25;

– ступенем водостійкості (коефіцієнтом розм'якшення) – 0,6…1,0.

Вибір гірських порід для виробництва будівельних матеріалів і виробів виконують на основі результатів випробування зразків з них,

техніко-економічного аналізу, доцільності використання даної породи в конкретних умовах.

Матеріали та вироби для фундаментів і стін. Для мурування фундаментів і стін підземних частин будинків застосовують бутовий, колотий і пиляний камінь із щільних вивержених, осадових і метаморфічних гірських порід. Коефіцієнт розм'якшення каменю, використовуваного з цією метою, повинен бути не менше 0,7, морозостійкість – не нижче F15. Залежно від форми бутовий камінь буває рваний, постілистий і кахельний (рис. 3.4). Бутовий камінь має розміри 150…500 мм.

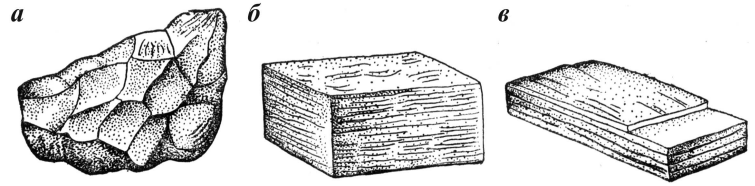


Рис. 3.4. Бутовий камінь:
а – рваний; *б* – постілистий; *в* – кахельний

Вироби й матеріали, застосовувані для мурування фундаментів і підземних стін, виготовляють з однорідного каменю, що не має слідів вивітрювання, прошарків глини, а також розшарувань і тріщин. Для мурування наземних стін (основ мостів, укріплень укосів насипів і берегів рік, підпірних стінок) і для дроблення на щебінь застосовують пиляні й колоті штучні камені, одержані з вапняків, доломітів, пісковиків, вулканічних туфів.

Лицьова поверхня стінових каменів і великих стінових блоків повинна відповідати вимогам декоративності.

Вапняки й туфи, застосовувані для виготовлення стінових каменів, повинні мати середню густину 900…2 200 кг/м^3, границя міцності під час стиску 0,4…50 МПа, морозостійкість – не нижче F 15, коефіцієнт розм'якшення – 0,6…0,7. Розміри стінових каменів $390 \times 190 \times 188$ і $490 \times 240 \times 188$ мм.

Великі стінові блоки (рис. 3.5) виготовляють з гірських порід із середньою густиною до 2 200 кг/м^3 і границею міцності під час стиску 2,5 МПа і вище. Блоки, призначені для механізованого укладання, мають розміри від $300 \times 800 \times 900$ до $3\,000 \times 1\,000 \times 500$ мм.

Облицювальні й архітектурні вироби. Облицювальні плити й камені, елементи східців і площадок, парапетів і огороджень виготовляють із

блоків природного каменю шляхом їх розпилювання чи розколювання з подальшою механічною обробкою.

Залежно від фізико-механічних властивостей і будови вихідної гірської породи блоки поділяють на чотири групи: I – блоки з граніту, сієніту, діориту, лабрадориту, габро, кварциту, базальту, діабазу; II – блоки з мармуру, брекчії і конгломератів, карбонатних порід і гіпсового каменю; III – блоки з вапняку і пісковика; IV – блоки з вулканічного туфу.

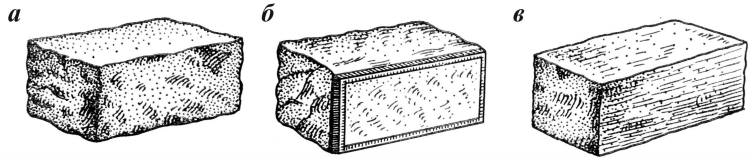


Рис. 3.5. Великі стінові блоки:
а – колоті; *б* – тесані; *в* – пиляні

Гірські породи, застосовувані для виготовлення блоків (див. рис. 3.5), повинні мати границю міцності під час стиску не менше 5 МПа, морозостійкість – не менше F 15, коефіцієнт розм'якшення – 0,7…0,9. Розміри й об'єм блоків залежать від гірської породи, з якої вони виготовлені. Найменший об'єм блоків з туфу – 0,2…0,4 м^3, найбільший – 0,7…1,0 м^3, а з граніту – 0,5…3 м^3.

Блоки, призначені для розпилювання, не повинні мати наскрізних тріщин. Тонкі звивисті тріщини, що виходять на дві суміжні грані, допускаються тільки в блоках з кольорового мармуру.

Облицювальні плити й камені виготовляють шляхом розколювання чи розпилювання блоків-напівфабрикатів. Облицювальним плитам надають найрізноманітнішої фактури лицьової поверхні: *дзеркальної* (полірованої) на плитах, одержаних з щільних гірських порід (граніту, лабрадориту, мармуру, мармуроподібного вапняку, брекчії, конгломерату), обробкою полірувальним порошком з накатуванням глянцю; *лощеної* – обробкою шліфувальним порошком без накатування глянцю на плитах, виготовлених із щільних гірських порід, крім гіпсового каменю; *шліфованої* – шліфуванням абразивними інструментами лицьової поверхні плит, виготовлених із граніту, сієніту, лабрадориту, вапняку, вулканічного туфу й інших гірських порід; *пиляної* – розпилюванням на канатних пилках чи розпилювальних верстатах із прямолінійним рухом рами; *точкову* – обробкою хрестовою бучардою; *борознистої* – із застосуванням пластинчастої бучарди; *рифленої* – обробкою фрезою; фактури «*скеля*» –

розколюванням каменю з додатковим обколюванням лицьової грані по периметру.

Плити, застосовувані для настилання підлог і облицювання стін, мають прямокутну форму, їх розміри залежать від породи й фактури поверхні каменю. Для фактури «скеля» вироби повинні мати товщину не менше 150 мм; для точкової, борознистої і рифленої фактур – не менше 60 мм, а дзеркальної поверхні – не менше 12 мм. Плити виготовляють шириною 200…400 мм і довжиною 300…1000 мм. З більш міцних порід плити виготовляють великих, а з менш міцних – менших розмірів.

До профільних елементів облицювання стін належать цокольні плити й камені для обрамлення порталів, пояси карнизів, кутові й підвіконні плити. Їх виготовляють з тих же матеріалів, що й облицювальні плити, надаючи лицьовій поверхні найрізноманітнішої фактури.

Елементи східців і площадок, парапети й огородження виготовляють із мармуру, вапняку, туфу, граніту, сієніту й інших гірських порід. Так само, як і облицювальним плитам, лицьовій поверхні елементів східців і площадок, парапетів і огороджень надають найрізноманітнішої фактури залежно від виду гірської породи.

Виробні камені. Для виготовлення різних художніх предметів народного вжитку, виконання мозаїчних робіт і високодекоративних обробок монументальних будівель широко застосовують виробний камінь: яшму, родоніт (орлець), лазурит, нефрит, малахіт, янтар та ін. Надзвичайно велика палітра фарб, що включає практично всі кольори спектра й різноманітну кількість відтінків, дозволяє створювати з виробного каменю високохудожні твори мистецтва. Багато його різновидів мають природний малюнок, який виявляється в розрізі після полірування, і чарує своєю фантастичністю, неповторністю сюжету й незвичайним поєднанням кольорів.

Великий інтерес становлять кольорові й пістряві *яшми* зеленого й червоного кольорів, які характеризуються високою твердістю і міцністю. Зустрічається яшма на Уралі, у Караганді, Криму, Закарпатті й інших місцях.

Родоніт (орлець) являє собою дрібнозернисту породу, що має широкий діапазон кольорів деревоподібного малюнка від блідо-рожевого до інтенсивно червоного. Орлець є напівпрозорим матеріалом.

Нефрит – природний камінь зеленого кольору. Маючи високу твердість та в'язкість, він важко піддається обробці, однак ці його властивості забезпечують можливість досягти винятків ефектів у результаті одержання найтонших візерунків.

Лазурит зустрічається різних кольорів – від блідо-голубого до яскраво-синього з вкрапленнями золотавого кольору й має порівняно невелику твердість.

Янтар – жовтий прозорий камінь, що має велику твердість. Відомі випадки застосування янтарю для оздоблення внутрішніх приміщень палаців.

Дуже поширеним виробним каменем є *природний гіпс*, що відрізняється великою розмаїтністю кольорів – від білого до блакитного. Низька твердість гіпсового каменю дозволяє легко виготовляти з нього складні скульптурні вироби для інтер'єрів будинків, а також застосовувати його як облицювальний матеріал, більш економічний, ніж мармур.

Виробні камені застосовують для оздоблення інтер'єрів цивільних споруд, а також й у різних галузях техніки.

Матеріали та вироби для дорожнього будівництва – бортові камені, брущатку, колоте і брускове каміння, щебінь, пісок і мінеральний порошок – одержують з вивержених і осадових гірських порід.

Вивержені гірські породи повинні мати такі властивості: границя міцності під час стиску глибинних порід – не менше 100 МПа, вилитих – не менше 60 МПа; коефіцієнт розм'якшення – не менше 0,9; водопоглинання – не більше 1,0 %; морозостійкість – не менше F25; опір удару – не менше 150 Н·см/см^3 і середня густина – 2 300 кг/м^3 і більше. Осадові гірські породи повинні мати середню густину 2100 кг/м^3, коефіцієнт розм'якшення – не менше 0,75, водопоглинання – не більше 4 %, морозостійкість – не менше F25 і опір удару – 150 Н·см/см^3. Гірські породи не повинні бути порушені вивітрюванням.

Бортові камені застосовують для відділення проїжджої частини вулиць від тротуарів, а також автомобільних доріг від тротуарів на унікальних мостах і в тунелях. За формою бортовий камінь являє собою брус (рис. 3.6, *а*) довжиною 70…200 см з похилою чи вертикальною лицьовою гранню в поперечному перерізі. Верхня частина бортового каменю, що виступає над дорожнім покриттям, обтесана чисто, а нижня частина – грубо. За розмірами бортовий камінь буває низький – 30 см і високий – 40 см із шириною по верху 10, 15 і 20 см.

Брущатка – колоті чи тесані бруски (рис. 3.6, *б*) висотою 10…16 см, шириною 12…15 см і довжиною 15…25 см, за формою близькі до паралелепіпеда, лицьова поверхня має форму прямокутника. Границя міцності під час стиску вихідної породи – не нижче 100 МПа, водопоглинання – не більше 0,6 %. Застосовують для влаштування бруківок (особливо часто на крутих підйомах і спусках), трамвайного полотна, посадкових площадок трамваю й ін.

Колоте і брускове каміння використовують для зміцнення схилів земляних покрить і основ доріг. *Колотий камінь* за формою близький до багатогранної призми чи усіченої піраміди з площею лицьової поверхні 100, 200 і 400 см^2 при відповідній висоті 16, 20 і 30 см, лицьова поверхня і постіль повинні бути рівнобіжні, на бічних гранях не повинно бути виступів, що перешкоджають щільному примиканню до іншого каменю. *Брусковий камінь* має овальну форму, його лицьова сторона повинна бути більша поверхні постелі. Розміри брускового каменю такі ж, як і колотого каменю.

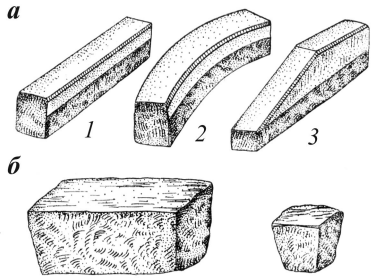


Рис. 3.6. Вироби для дорожнього будівництва: *а* – бортовий камінь; *б* – брущатка; *1* – прямий; *2* – лекальний; *3* – для з'їздів

Щебінь (ДСТУ Б В.2.7-75-98) одержують подрібненням різних гірських порід до розміру 5…70 мм. Міцність щебеню характеризують показником подрібненості вихідної гірської породи в насиченому водою стані. За цим показником щебінь підрозділяється на марки:

З вивержених порід . . . . . 1200,1000 і 800.
З осадових порід. . . . . 1200,1000, 800, 600, 300 і 200.
З метаморфічних порід . . . . . 1200,1000, 800 і 600.

Залежно від призначення якість щебеню визначають за такими показниками: гранулометричним складом, наявністю сторонніх і шкідливих домішок, міцністю під час стиску, подрібненням і морозостійкістю.

Гравій – це обкочені зерна мінералів і сипких порід розміром 5…70 мм, обкочених різкою мірою. Гравій розміром від 40 до 80 мм звичайно називають галькою.У більшості випадків до гравію домішані пил, глина й великі шматки породи. Залежно від технічного призначення гравій, добутий у кар'єрах (кар'єрний гравій), розсортовується за крупністю (сортований гравій).

Щебінь має гострогранну, необкочену форму. Для одержання необхідних фракцій великі шматки щільних (осадових або вивержених) порід подрібнюють за допомогою спеціальних машин-каменедробарок. Цей матеріал називається штучним щебенем.

Гравій і щебінь застосовують як крупний заповнювач при виготовленні бетонів і як залізничний баластовий матеріал. Баластовий матеріал повинен складатися із часток певного розміру, мати високу міцність і зносостійкість, а також атмосферостійкість. Вміст пилоподібних і глинистих

домішок обмежується технічними умовами. Матеріалами для баласту крім щебіню служать гравій, пісок, шлаки, черепашка й т. ін.

Як баластовий матеріал застосовують гравій кар'єрний і сортований. Кар'єрний гравій складається із суміші гравію (50…80 %) і піску (50…20 %). Розмір зерен гравію 5…60 мм, а піску – до 5 мм. Сортований гравій є штучною сумішшю гравію із зернами розміром від 5 або 7 до 40 мм і щебеню такого ж розміру. Кількість щебеню, що додається, коливається від 20 до 100 % маси гравію й залежить від вмісту в гравії зерен розміром від 20 до 40 мм.

Штучний щебінь для баластового шару повинен мати розміри від 25 до 70 мм. Вміст крупних і дрібних частинок обмежується технічними умовами. За морозостійкістю щебінь повинен витримувати 15…25-кратне заморожування без слідів руйнування.

У табл. 3.2 наведені нормальні розміри щебеню й припустимі відхилення від них за ГОСТ 7392-85.

Дрібний щебінь застосовують для баластування станційних і малодіяльних головних колій (з вантажонапруженістю до 10 млн т·км брутто на 1 км розгорнутої головної колії за рік). У щебені дрібної фракції дроблених частинок повинно бути не менше 35 % від загальної маси.

У щебені нормальних фракцій з валунів і гальки дроблених частинок повинно бути не менше 70 % від загальної маси щебеню (у крайньому випадку за наявності спеціального техніко-економічного обґрунтування допускається 50 %); це потрібно, щоб забезпечити достатнє внутрішнє тертя між щебінками, враховуючи, що недроблені поверхні мають менший коефіцієнт тертя, ніж рівні поверхні.

У більшості країн з розвинутою залізничною мережею застосовують щебеневий баласт нормальних фракцій (табл. 3.2). Для укладання залізобетонних шпал в Англії, Франції й Чехії використовуть щебінь фракцій 20…40 мм, тобто дрібніший, ніж у разі дерев'яних шпал, хоча в цьому випадку стійкість баластової призми менша.

У баласті необхідний досить рівномірний розподіл щебінок усіх розмірів, що входять у фракцію. Неприпустима наявність окремих великих щебінок, тому що шпала може спиратися тільки на них, а це призведе до її хиткого положення; у залізобетонних шпалах через це можуть виникати тріщини. Щебінки повинні бути багатогранними із рваними поверхнями, некілкими й некрихкими. Форма щебінок повинна наближатися до форми куба. Кількість пластинчастих і довгастих частинок, у яких товщина або ширина менша довжини в 3 рази й більше, повинна бути зведена до мінімуму.

Таблиця 3.2

Зерновий склад колійного щебеню

Фракції щебеню	Розмір зерен, мм	Допускається наявність зерен				
		більше верхньої межі крупності		менше нижньої межі крупності		
		за розміром, мм, не більше	за масою, % від маси щебеню, не більше	за розміром, мм, не більше	за масою, % від маси щебеню, не більше	
					усього	у тому числі розміром менше 0,16 мм
Нормальна	25…60	70	5	25	5	1,5
	25…50	60	10			
Дрібна	5…25	40	10	5	5	2

У баластових матеріалах із природних галечно-гравійно-піщаних відкладів галька має розміри частинок 10…200 мм, гравій – 3…10 мм і пісок – не більше 3 мм. Розрізняють баласти гравійний і гравійно-піщаний (табл. 3.3) (ГОСТ 7394-85). Вміст піску в гравійному баласті збільшує його стійкість.

Черепашковий баласт одержують із черепашкових відкладів колишніх морів; його застосовують на дорогах півдня. За своїми якостями він трохи перевершує пісок. Однак із часом окремі черепашки стираються, утворюючи пил, і цементуються одна з одною за допомогою цього пилу, перешкоджаючи вільному пропусканню води. У черепашковому баласті частинок розмірами 0,5 мм і більше має бути не менше 50 %, частинок розміром менше 0,1 мм допускається не більше 6 % за масою, у тому числі глинистих не більше 1,5 %. Коефіцієнт фільтрації черепашкового баласту повинен бути не менше 30 м/добу.

Пісок (ДСТУ Б В.2.7-32-95) – розсипчаста маса, що складається із зерен мінералів і порід розміром 0,16…5 мм. Залежно від мінералогічного складу розрізняють кварцові, польовошпатні, карбонатні піски. Кварцові найбільш міцні. Застосовують їх як дрібний заповнювач для приготування розчинів і бетонів, для влаштування основ дорожніх покриттів, дренажних споруд.

Таблиця 3.3

Фракційний склад гравійного та гравійно-піщаного баласту

Розмір зерен, мм	Вміст зерен, % за масою в баласті	
	гравійному	гравійно-піщаному
Від 60 до 100	До 10	До 10
Від 60 до 3	Від 41 до 80	До 80
Від 3 до 0,63	До 49	До 100
Від 0,63 до 0,16	До 27	До 57
Менше 0,16	До 10	До 16
У тому числі мулистих, глинистих і пилуватих частинок	До 2	До 3

Примітка. На діючих кар'єрах з дозволу Міністерства транспорту України допускається вміст у баласті зерен розміром від 60 до 100 мм до 15 %.

Піски залежно від умов утворення поділяються на річкові, морські, озерні, гірські, ярові й дюнні. Річкові, озерні й морські відрізняються округлою формою й гладкою поверхнею. Гірські й ярові складаються із частинок кутастої форми із шорсткуватою поверхнею. Дюнні характеризуються надзвичайно малим розміром частинок.

На залізничному транспорті крупні й середні піски застосовуються як баластовий матеріал. Вміст пилуватих і глинистих частинок у баластових пісках строго обмежується. У порівнянні із щебенем пісок менше придатний для баласту: більш рухливий; при його застосуванні потрібні більші витрати праці для утримання колії; забруднюючись, проростає травою; при сильних зливах вимивається. Під час руху поїзда пісок дає пил, а в зимовий час змерзається. У разі малої вантажонапруженості (менше 5 млн т·км на 1 км розгорнутої довжини головної колії за рік) допускається застосування піщаного баласту при спеціальному обґрунтуванні. Під час проходу поїздів з більшими швидкостями піщаний баласт видувається, забивається у вигляді пилу й дрібних піщин у різні частини рухомого складу, між колійними скріпленнями, між підкладкою й шпалою; він усюди викликає посилене зношування, створює шкідливі умови для роботи елементів верхньої будови колії й для ходових частин рухомого складу.

На залізницях застосовують також спеціальний локомотивний пісок для збільшення сили зчеплення локомотивних коліс із рейками. Локомотивний пісок буває двох сортів – нормальної й підвищеної якості, зумовлених мінералогічним і хімічним складом, а також величиною частинок (зерен). За мінералогічним складом пісок повинен відповідати вимогам, наведеним у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Мінералогічний склад піску для локомотивів

Якість піску	Вміст мінеральних речовин, %		
	кварцу, не менше	глинистих домішок, не більше	польового шпату й інших мінералів
Нормальна	70	3	27
Підвищена	90	1	9

Пісок підвищеної якості застосовується для локомотивів, що працюють на дорогах з посиленим утворенням інею на рейках у зимовий час (залізниці Далекого Сходу, Уралу й Сибіру).

Пісок, що засипають в пісочниці локомотивів, повинен бути попередньо висушений і містити не більше 0,5 % вологи.

Перевезення і зберігання матеріалів і виробів із природного каменю. Облицювальні плити, камені й інші вироби після їх виготовлення маркують. Для цього на тильній стороні облицювальної плити чи на торцевій частині каменів незмивною фарбою вказують тип каменю, плити чи блока, основні розміри (довжина, ширина). На блоці, призначеному для розпилювання, також вказують його об'єм і найменування (шифр) кар'єру-виготівника.

Вироби під час перевезення слід охороняти від забруднення й пошкоджень. Бутовий камінь, щебінь, брущатку і колотий камінь необхідно перевозити навалом у контейнерах. Бутовий камінь зберігають у штабелях навалом за марками й породами, а брущатку – у штабелях за сортами і класами.

Блоки для розпилювання, великі стінові блоки, бортові камені дозволяється перевозити на відкритих платформах без тари з укладанням правильними рядами на підкладках і прокладках, забезпечуючи запобігання пошкодженням. Зберігати їх дозволяється на відкритих спланованих площадках, що забезпечують відвід зливових вод. Облицювальні плити пе-

ревозять у міцній тарі у вертикальному положенні попарно, лицьовими поверхнями одна до одної, із прокладкою паперу між ними і закріпленими клинами. Плити вивержених порід дозволяється перевозити без тари, установленими на ребро і розділеними дерев'яними прокладками; зберігати їх можна на відкритих складах. Плити з мармуру, вапняків і туфу зберігають у закритих складах.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається гірською породою?
2. Що називається мінералами? Назвіть основні породотвірні мінерали.
3. Наведіть класифікацію гірських порід за умовами їх утворення. Наведіть приклади для кожної групи.
4. Які гірські породи використовують як заповнювачів для важких і легких бетонів?
5. Які гірські породи використовують як сировину для виробництва в'яжучих речовин?
6. Які природні кам'яні матеріали використовують для облицювання внутрішніх і зовнішніх частин будівель та споруд?
7. Які гірські породи використовують для дорожнього будівництва?
8. Які існують методи видобування природних кам'яних матеріалів?
9. Яке устаткування та механізми використовуються для видобування природних кам'яних матеріалів?
10. Які існують шляхи використання відходів від механічної обробки природних каменів?
11. Назвіть основні види природних кам'яних матеріалів і виробів, які використовуються у транспортному будівництві.

Список рекомендованої літератури

1. Берлин Ю. Я. Материаловедение для камнеобработчиков / Ю. Я. Берлин, Ю. И. Сычев, Л. Г. Кипнис. – Л.: Стройиздат, 1990. – 272 с.
2. Кравцов А. И. Геология / А. И. Кравцов, А. П. Бакалдина. – М.: Недра, 1979. – 342 с.
3. Лебединский В. И. В удивительном мире камня. – М.: Недра, 1978. – 160 с.
4. Лысенко М. П. Состав и физико-механические свойства грунтов. – М.: Недра, 1980. – 272 с.
5. Неезжалый Н. В. и др. Камнедобывающая и камнеобрабатывающая промышленность УССР. – К.: Реклама, 1984. – 348 с.
6. Перельман А. И. Геохимия. – М.: Высш. шк., 1979. – 423 с.
7. Семенченко Ю. В. Цветные камни Украины / Ю. В. Семченко. – К.: Будівельник, 1974. – 188 с.
8. Чехов А. П. Коррозионная стойкость материалов: Справочник. – Д.: Промінь, 1980. – 190 с.
9. Юбельт Р. Определитель горных пород / Р. Юбельт, П. Шрайтер. – М.: Мир, 1977. – 236 с.
10. Юбельт Р. Определитель минералов. – М.: Мир, 1978. – 236 с.

РОЗДІЛ 4

Метали і металознавство

4.1. Загальні відомості

Металознавство – це наука, що вивчає закономірності формування структури і властивостей металів і сплавів. *Металографія* – це наука про структуру металів і сплавів (є складовою металознавства). Як наука металографія почала складатися з 1832 року, коли російський інженер П. П. Аносов застосував мікроскоп для вивчення структури сталі. До кінця XIX століття, після відкриття Д. К. Черновим у 1868 році поліморфізму заліза, металографія сформувалася як точна наука.

За ступенем поширеності в природі елементи розподілені таким чином: O, Si, Al, Fe, Mg, Ti, Cu, Ni, St, Zn, Pb, Ag, Au, Pt і т. д.

Метали і сплави поділяють на:

– чорні (Fe, Co, Ni, Mn та їх сплави);

– кольорові (всі інші);

– за густиною: на легкі (Li, Be, Al, Mg, K та ін.) і важкі (Zn, Cu та ін.);

– за температурою плавлення: важкоплавкі (W, Mo, Zr та ін.) і легкоплавкі (Pb, Bi, Hg, Sn, Zn, Cd та ін.);

– за будовою атомів: на перехідні метали – в атомах електронні рівні заповнені не послідовно (Fe, Co, Ni, та ін.) і прості.

Крім того, бувають метали (рідкоземельні – La, Ce й ін.) РЗМ, (лужноземельні – Li, Na, K та ін.) ЛЗМ, благородні (Ag, Au, Pt, Rh, Os). Метали відрізняються від неметалів тим, що в конденсованому стані (рідкому

й твердому) мають переважно *металевий зв'язок* між атомами. У газоподібному стані метали не відрізняються від інших елементів.

Металевий зв'язок формується внаслідок відходу валентних електронів під час зближення атомів і являє собою зв'язок між позитивно зарядженими іонами й електронним газом (колективізованими електронами, що пішли із зовнішніх електронних оболонок). У металів може бути також частка *ковалентного міжатомного зв'язку*, а у сплавів – ще і частка *іонного міжатомного зв'язку*.

Типовими властивостями металів є:

1) висока електропровідність (колективізовані електрони легко прискорюються під дією поля);

2) висока теплопровідність (зумовлена тепловим рухом електронів та іонів);

3) пластичність (пов'язана з високою компактністю розташування атомів і неспрямованістю металевого зв'язку);

4) блиск (зумовлений взаємодією електронів зі світловими хвилями).

4.2. Будова металів

Метали можуть перебувати у газоподібному, рідкому й твердому станах (див. діаграмами стану на рис. 4.1, *а*).

Багато металів у кристалічному стані залежно від тиску й температури мають різні кристалічні ґрати. Такі метали називаються *поліморфними*, а явище – *поліморфізмом* (алотропія). Поліморфні модифікації позначаються літерами грецької абетки α, β, γ і т. д. (рис. 4.1, *б*).

З 14 відомих кристалічних ґрат Браве для металів найбільш характерні три, пов'язані з металевим типом зв'язку і високою щільністю упакування атомів:

ОЦК – *об'ємоцентрична кубічна ґратка* (рис. 4.2, *а*); координаційне число (к. ч.) = 8 (Cr, V, Mo, W, α-Fe та ін.);

ГЦК – *гранецентрична кубічна ґратка* (рис. 4.2, *б*); к. ч. = 12 (Al, Cu, Ni, Аи, γ-Fe та ін.);

ГЩ – *гексагональна щільноукладена ґратка* (рис. 4.2, *в*); к. ч. = 12 (Zn, Mg, Cd та ін.).

ГЦК- і ГЩ-ґратки мають до 100 % металевих зв'язків, тому такі метали характеризуються високою пластичністю (A1, Au, Mn) і електропровідністю (Cu, Ag). У металах з ОЦК-ґратками є частка ковалентного

зв'язку, тому їм властива висока твердість і температура плавлення $t_{пл}$ (W, Cr).

Метали можуть перебувати у вигляді *монокристалів*. Реальні метали складаються з безлічі кристалів чи зерен і є *полікристалічними*.

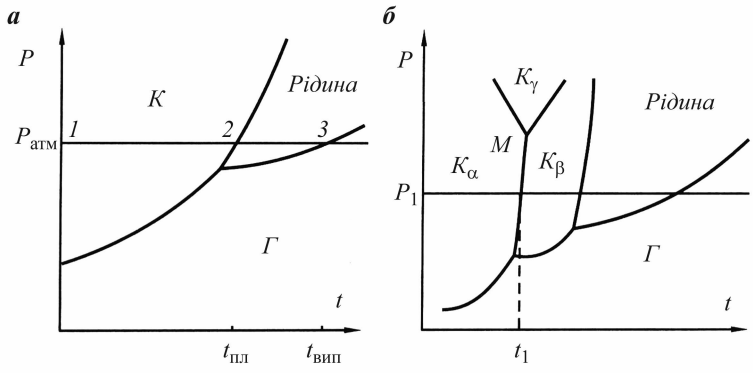


Рис. 4.1. Діаграми стану мономорфного (*а*) та поліморфного (*б*) металу

У разі швидкого охолодження рідини можна одержати не кристалічний, а аморфний (твердий) стан металу, для якого характерний тільки близький порядок у розташуванні атомів і відсутність кристалічних ґрат. Тут структурним елементом (аналог елементарної комірки) є поліедри (октаедр і т. д., рис. 4.2, *г*), на відміну від кристалів вони не мають просторової симетрії третього порядку.

4.3. Структура металів

У металографії розрізняють кілька видів структури:

1. **Електронна**: в ізольованих атомах електрони рухаються навколо своїх ядер на визначених енергетичних рівнях, причому на зовнішніх електронних оболонках перебуває невелика кількість електронів, слабко зв'язаних з ядром. Порядок заповнення електронних рівнів: ls, 2s, 3s, 2p, 3p, 3d, 4s, 4p, 4d, 5s, 5p, 5d, 4f, 6s, 6p, 7s, 6d, 5f. Метали з незаповненими d- чи f-рівнями є перехідними, із заповненими – простими. У разі зближення двох нейтральних атомів їх електрони будуть зазнавати сили притягання

від ядер сусідніх атомів. Рухаючись по орбітах обох атомів, електрони стають спільними для них, при цьому енергетичні рівні вільних атомів розщеплюються на два рівні з різною енергією. Якщо ж атомів безліч, то розщеплені рівні утворять *енергетичні смуги*. Валентні електрони колективізуються й утворюється так званий електронний газ.

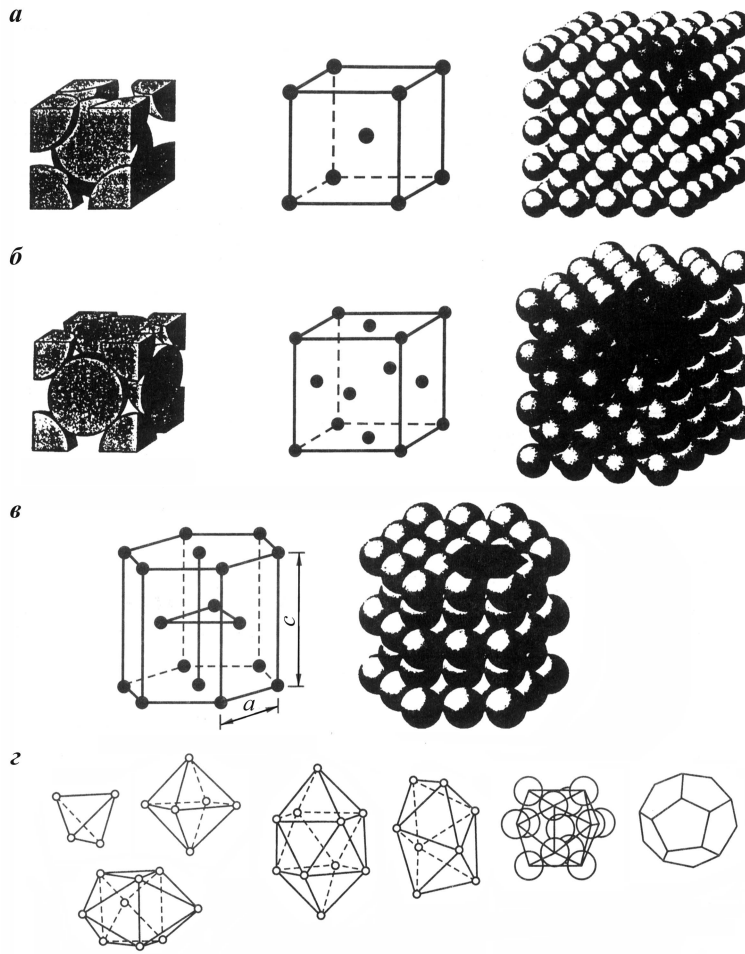


Рис. 4.2. Атомна будова металів у кристалічному стані:
а – ОЦК; *б* – ГЦК; *в* – ГЩ; *г* – аморфний стан

2. **Атомна**: визначається типом металу і його агрегатним станом (рис. 4.3).

Газоподібний метал має таку ж структуру, як і газ інших елементів, для яких характерна відсутність близького й далекого порядку в розташуванні атомів: атоми нейтральні, міжатомні зв'язки типу ван-дер-ваальсових.

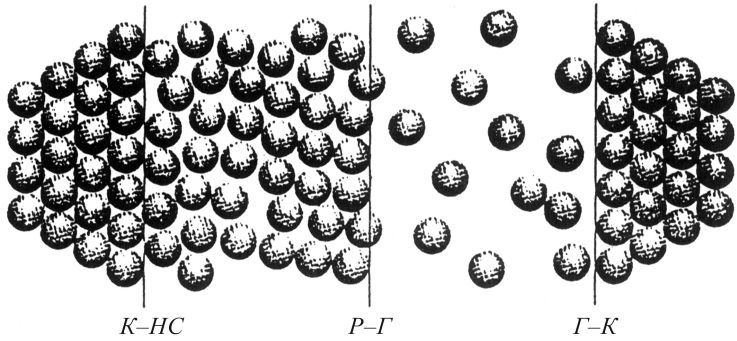


Рис. 4.3. Атомна структура металу в різних агрегатних станах

У рідкому стані для металів характерна відсутність далекого і наявність близького порядку в розташуванні атомів, ступінь якого характеризується координаційним числом (к. ч.) – це число найближчих сусідів у будь-якого атома. За невеликого перевищення $t_{пл}$ структура рідини складається з *кластерів* (мікроугруповання атомів із щільним упакуванням, що нагадує твердий стан) і *розупорядкованої зони*. Розміри кластерів порядку 20…50 А° і об'єм розупорядкованої зони близько 3…6 %. За значного перевищення $t_{пл}$ структура менш упорядкована, але є угруповання з більш щільним упакуванням атомів – *фазові флуктуації* (рис. 4.4).

У твердому кристалічному стані атомна структура характеризується і далеким, і близьким порядком у розташуванні атомів, що пов'язано з наявністю кристалічних ґрат – це тривимірне періодичне розташування атомів, одержуване шляхом трансляції атома уздовж трьох координатних осей. Вузли ґрат визначають рівноважне положення атомів. Кристалічні ґрати мають ряд характеристик.

Параметр чи період ґрат – це довжина ребра елементарної комірки, що уздовж осей x, y, z позначають відповідно буквами a, b, c (для кубічних ґрат усі параметри однакові й позначаються a).

Атомний радіус вимірюється половиною відстані між сусідніми атомами через розмитість електронної хмари. Для ОЦК-ґраток він дорівнює $a\sqrt{3}/4$, для ГЦК – $a\sqrt{2}/2$.

Ретикулярна щільність – це кількість атомів, що припадає на одиницю площі різних кристалографічних частинок. Для різних кристалографічних площин вона різна через різну відстань між атомами.

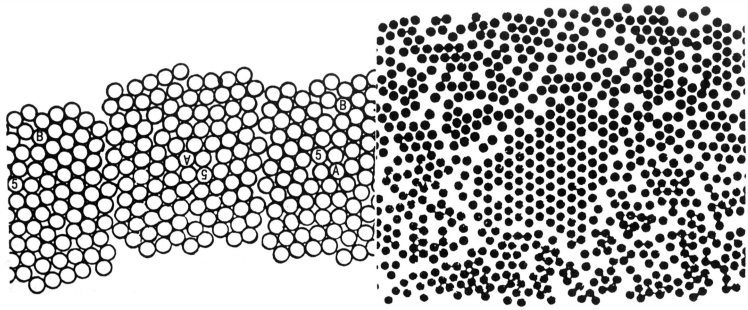


Рис. 4.4. Моделі рідкого стану металу

Відносна щільність упакування визначається відношенням $V_{ат}/V_{кр}$, де ($V_{ат}$ – об'єм, зайнятий атомами, $V_{кр}$ – об'єм, зайнятий атомами і пустотами). Для ОЦК-ґраток ця величина дорівнює 0,62, для ГЦК – 0,74.

3. **Тонка структура**: виявляється в межах групи атомів і локальних областей кристалу за допомогою оптичного мікроскопа при збільшеннях у 500…2 000 раз або електронного мікроскопа при збільшеннях у 5 000…60 000 разів. Для цього виготовляють тонку фольгу (товщиною близько 0,01…0,1 мм), яку вивчають на просвіт при проходженні через неї потоку електронів. Цей метод дослідження називається трансмісійна електронна мікроскопія. Тонка структура дозволяє виявити дефекти кристалічної будови, різного роду границі, субграниці в кристалі.

4. **Мікроструктура**: виявляється за допомогою оптичного мікроскопа при збільшеннях у 10…500 раз. Дослідження проводять на спеціальних мікрошліфах, зображення формується за допомогою світлових променів, відбитих від поверхні шліфа (рис. 4.5). Досліджується структура, групи зерен, границі зерен, фази в сплавах.

5. **Макроструктура**: це структура, яка виявляється за невеликих збільшень у кілька разів або видима неозброєним оком.

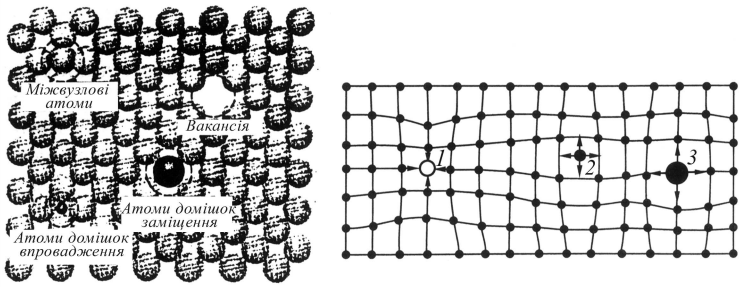


Рис. 4.5. Точкові дефекти в кристалі:
1– вакансія; *2* – міжвузловий атом, атом домішки впровадження;
3 – атом домішки заміщення

4.4. Дефекти кристалічної будови металів

Реальні метали містять різні дефекти, які класифікують за геометричною ознакою: точкові, лінійні, поверхневі й об'ємні.

Точкові дефекти. *Вакансія* – це вільний вузол кристалічних ґрат. Вона може утворитися декількома способами:

1) атом з поверхні залишає кристал внаслідок теплових коливань, на місце цієї вакансії може перейти атом із глибини кристала і вакансія відповідно переміщається в кристал (спосіб утворення за Шоткі);

2) атоми з вузлів ґрат можуть поглинатися границями зерен (також спосіб за Шоткі);

3) атом з вузла ґрат може перейти в міжвузловий простір (пари Френкеля).

Для кожної температури існує рівноважна кількість вакансій $n_в$, яку можна визначити за формулою Больцмана:

$$n_в = n_o e^{-E_в/kt}, \qquad (4.1)$$

де n_o – кількість вакансій в одиниці об'єму,
$E_в$ – енергія утворення вакансії,
k – константа Больцмана.

Чим більша температура, тим більше в металі вакансій, і за температури, близької до температури плавлення, їх кількість становить 2 % і більше від загальної кількості атомів. Вакансії відіграють важливу роль у дифузії і фазових перетвореннях.

Міжвузловий атом – це атом основного металу, що опинився у міжвузловому просторі. Таких дефектів практично у 10 разів менше, ніж вакансій.

Атоми домішок. Атоми заміщення – вони займають вузли кристалічних ґрат і мають розміри порядку розміру атома металу чи більші. Атоми впровадження – розташовуються в міжвузлових ґратах і мають дуже малі розміри.

У випадку атомів домішок заміщення, якщо іон металу заміняється домішкою з тим же зарядом і схожою електронною структурою, то така домішка називається ізоелектронною (наприклад, для заліза – це нікель, кобальт). Атоми домішок можуть істотно впливати на властивості металів, наприклад підвищувати їх міцність чи, навпаки, спричиняти крихкість. Поблизу точкових дефектів кристалічні ґрати деформуються (див. рис. 4.5).

Лінійні дефекти. Вони мають довжину в одному напрямку і бувають двох типів: дислокації і дисклинації.

Дислокація – це лінійний дефект, що утворює всередині кристалу зону зсуву, тобто це лінійний дефект зсувного чи трансляційного типу. Виділяють крайові, гвинтові, змішані дислокації.

Якщо надрізати кристал уздовж *ABCD* і зсунути краї надрізу перпендикулярно краю *CD*, то лінія *AB*, що обмежує зону зсуву, буде *крайовою дислокацією* (рис. 4.6, *а*). Крайова дислокація являє собою ніби зайву півплощину, названу екстраплощиною. Якщо екстраплощина знаходиться у верхній частині кристалу, дислокація буде позитивною $\perp$, якщо в нижній – негативною.

Гвинтова дислокація являє собою спіральну чи гвинтову поверхню. Якщо надрізати кристал уздовж *ABCD* і зсунути краї надрізу перпендикулярно краю *CD*, одержимо гвинтову дислокацію *AB* (рис. 4.6, *б*).

Існують також *змішані дислокації* з крайовими і гвинтовими компонентами (рис. 4.6, *в)*, у яких вектор Бюргерса спрямований під кутом до лінії дислокації.

Важливою характеристикою дислокації є вектор Бюргерса $\bar{b}$, який визначають за контуром Бюргерса (рис. 4.7, *а*). Вектор $\bar{b}$ визначає величину

й напрямок зсуву в кристалі. У крайовій дислокації він перпендикулярний лінії дислокації *AB*, у гвинтовій – рівнобіжний.

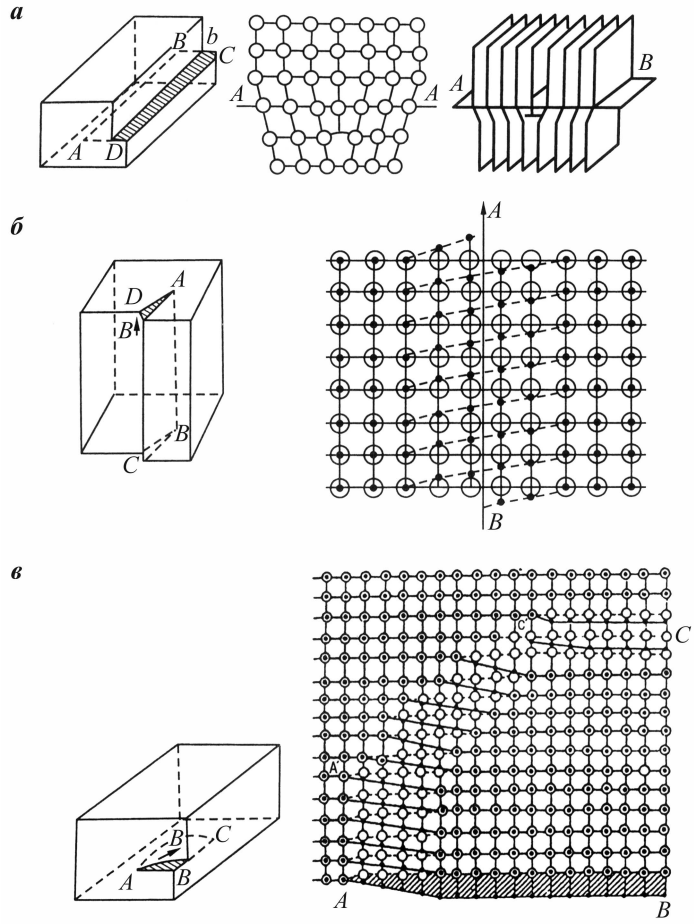


Рис. 4.6. Дислокації в кристалі крайова (*а*), гвинтова (*б*) і змішана (*в*)

Дислокації переміщаються в кристалі й існує три види їх руху:

1) *ковзання* – рух дислокації в площині ковзання. Крайова дислокація переміщається шляхом естафетної передачі ролі екстраплощині (рис. 4.8, *а*); гвинтова – при переміщенні атомів на невеликі відстані

в границях ядра дислокації (рис. 4.8, *б*); змішана – шляхом розширення дислокаційної петлі (рис. 4.8, *в*);

2) *дифузійний рух (переповзання)*. Він характерний для крайових дислокацій і пов'язаний з приєднанням чи віддачею атомів чи вакансій краєм екстраплощини, що сприяє відповідно скороченню чи подовженню екстраплощини (рис. 4.8, *г*);

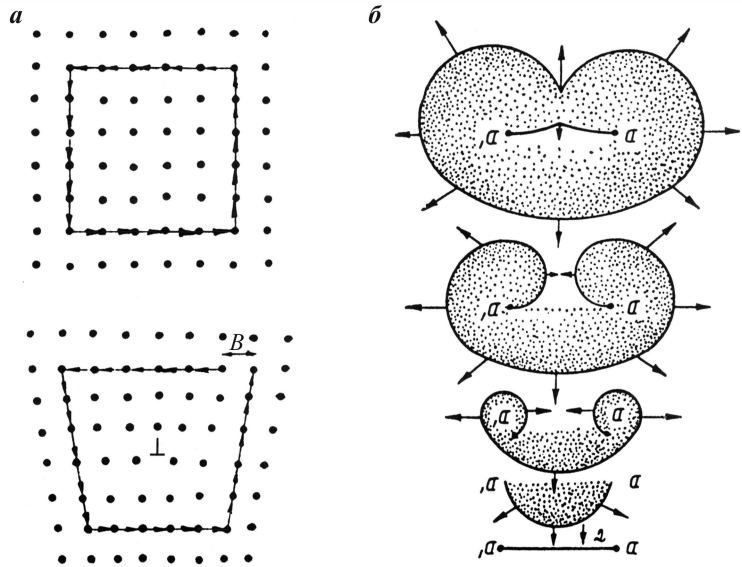


Рис. 4.7. Контур Бюргерса (*а*) та джерела дислокацій Франка–Ріда (*б*)

3) *поперечне ковзання*. Воно характерне для гвинтових і змішаних дислокацій і полягає в їх переході з однієї площини ковзання в іншу в разі зустрічі перешкоди (рис. 4.8, *д*).

Дислокації утворюються в металі в разі кристалізації під час зрощення окремих блоків, з яких складаються зерна, продовження гвинтових дислокацій з підкладки в зростаючий кристал, закривання вакансійних дисків. Вони також виникають на границі підкладка-метал (дислокації невідповідності). У разі пластичної деформації вони утворюються за схемою, запропонованою Франком і Рідом, – джерела Франка–Ріда (див. рис. 4.7, *б*): вихідна закріплена дислокація під дією напруження τ вигинається спочатку в півколо, потім біля точок закріплення закручується в спіралі. Ці

частинки дислокації підходять одна до одної, стикаються й у точці дотику взаємодіють ділянки дислокації протилежного знака, взаємно знищуючись. У результаті одна дислокація розділяється на дві – замкнуту петлю і внутрішній відрізок, що повертається у вихідне положення, і процес може багаторазово повторюватися. Зовнішня дислокаційна петля сковзає в зерно.

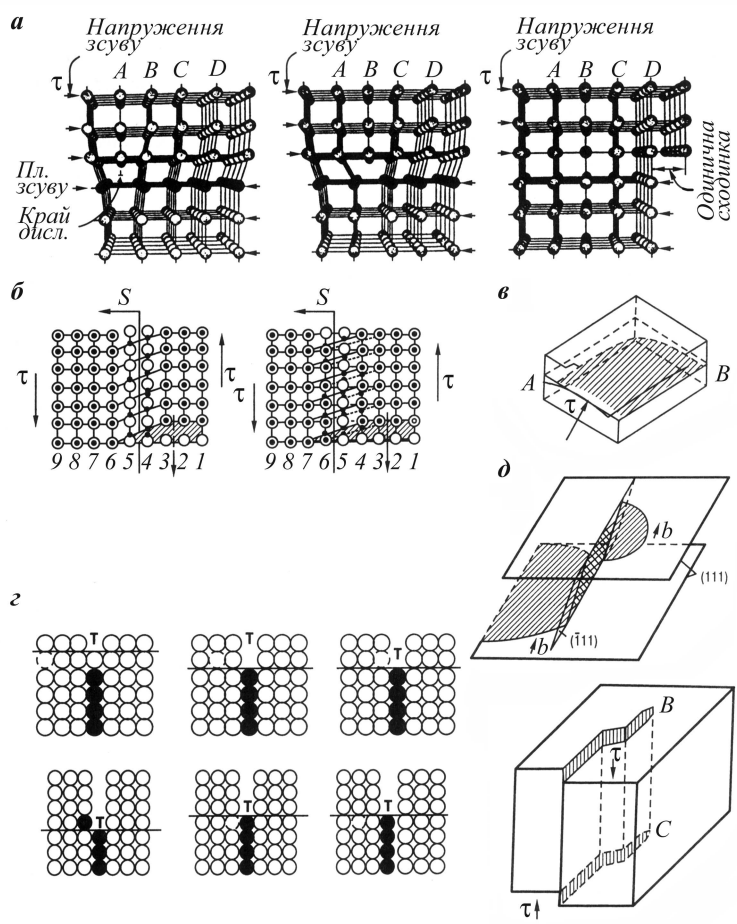


Рис. 4.8. Схеми ковзання (*а*, *б*, *в*), дифузійного руху (*г*) та поперечного ковзання (*д*) дислокацій

Кількість дислокацій вимірюється їх загальною довжиною в одиницях об'єму – це *щільність дислокацій* $\rho_\perp$. При вимірі довжини лінії дислокації в сантиметрах розмірність цього параметра визначається: см/см^3=см$^{-2}$. Щільність дислокацій у деформованому металі $\rho_\perp$ становить $10^9 \ldots 10^{12}$см$^{-2}$, у відпаленому металі $10^5 \ldots 10^7$ см$^{-2}$, у спеціально вирощених монокристалах $10^2 \ldots 10^3$ см$^{-2}$.

На рис. 4.9 показаний вплив щільності дислокацій на міцність металів. Точка *а* відповідає теоретичній міцності бездефектних кристалів (зустрічається в ниткоподібних кристалах чи вусах, вирощених з газового стану). Вплив дислокацій на міцність пов'язаний з їх здатністю переміщатися в кристалі під дією напруги. На ділянці *1* дислокацій стає більше, вони рухаються, міцність металу зменшується, на ділянці *2* дислокацій настільки багато, що їх переміщення затруднюється і метал зміцнюється. Границя плинності металу залежить від щільності дислокацій:

$$\sigma_т = G\bar{b}\sqrt{\rho_\perp}, \qquad (4.2)$$

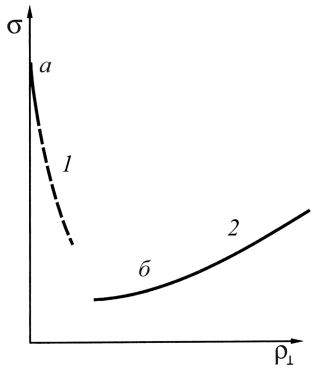


Рис. 4.9. Вплив щільності дислокацій на міцність металу

де G – модуль зсуву металу.

На дислокаціях скупчуються домішки, які прагнуть розташуватися в місцях перекручених ґрат, це приводить до зменшення напружень. Скупчення домішок на дислокації називається *атмосферою Котрела*. Якщо атоми домішок у районі дислокації розташовані упорядковано, виникає *атмосфера Снука*.

Дисклинація – лінійний дефект, пов'язаний з поворотом кристалічних ґрат. Це дефект ротаційного типу.

Якщо надрізати кристал, розгорнути краї розрізу й вставити чи вирізати клин речовини, то одержимо *клинову дисклинацію* (рис. 4.10, *а*, *в*, *г*). Залежно від величини повороту вони бувають 60- і 90-градусні. Дисклинація є *позитивною*, якщо утворена витягом клина з кристала, і *негативною* у разі встановлення клина в кристал.

Якщо надрізати кристал і повернути краї надрізу один відносно одного, одержимо *дисклинацію крутіння* (рис. 4.10, *б*, *д*).

Характеристикою дисклинації є *вектор повороту*, чи *вектор Франка*,

який показує величину й напрямок повороту в ґратах. Дисклинації також рухаються в кристалі й на них утворюються хмари домішок.

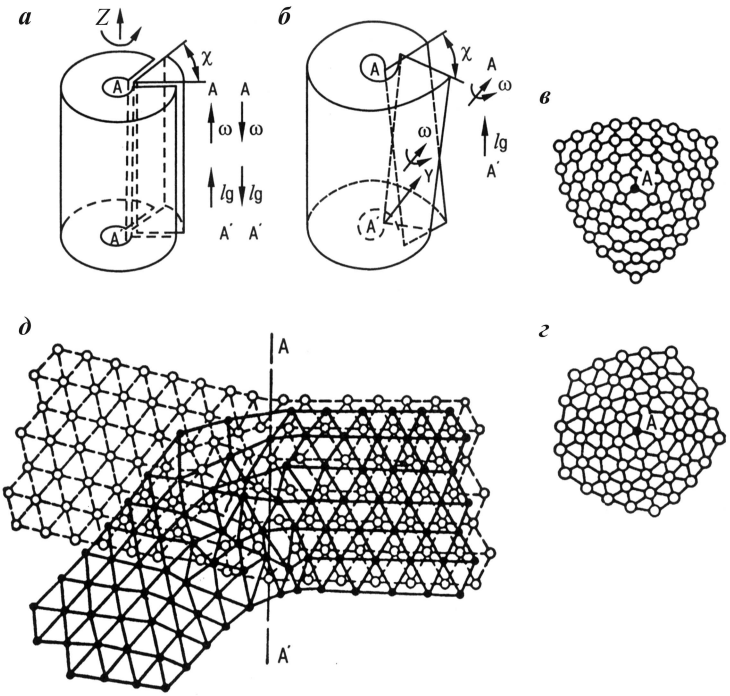


Рис. 4.10. Дисклинації в кристалі:
а, *в*, *г* – клинова; *б*, *д* – крутіння

Роль лінійних дефектів дуже велика у пластичній деформації металів, а також у структурних і фазових перетвореннях у металах і сплавах.

Поверхневі (двовимірні) дефекти. *Зовнішня поверхня* кристалу – це тонкий шар біля поверхні кристала, який містить підвищену кількість точкових і лінійних дефектів.

У разі зрощення ділянок кристала чи блоків між ними утворюються *субграниці*, характер яких визначається *кутом дезорієнтації* θ (рис. 4.11, *а*, *б*): якщо кут θ становить від декількох хвилин до декількох

градусів – це *малокутові границі,* якщо кут θ дорівнює 10…15° – *середньокутові границі*.

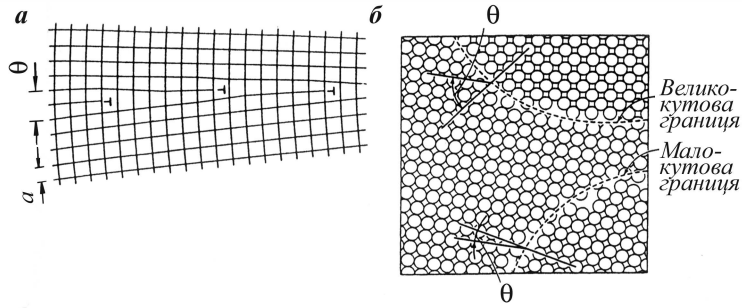


Рис. 4.11. Схеми границь з різними кутами розорієнтовності

Полікристалічні метали мають *границі зерен*, будова яких може бути різною, але усі вони є *великокутовими границями* (рис. 4.11, *б*), тому що кути дезорієнтації θ більші 15…20°. Існує декілька моделей границь:

1) *модель аморфного прошарку* (атоми на границі розташовані неупорядковано (рис. 4.12, *а*));

2) *модель перехідних ґрат* (атоми займають проміжні положення стосовно ґрат зерен (рис. 4.12, *б*));

3) *острівна модель* (є ділянки хорошого збігу ґрат і їх повної розбіжності (рис. 4.12, *в*));

4) *модель Кронберга–Вільсона*, відповідно до якої на границі можуть бути місця збігу вузлів ґрат сусідніх зерен (рис. 4.12, *г*), причому існує *певна щільність місць збігу*. Величина, обернена щільності місць збігу, позначається буквою Σ. Якщо $\Sigma = 3; 5; 7; 9; 11 \ldots 25$, тобто < 25, – це будуть *великокутові спеціальні границі*, вони відрізняються щільністю місць збігу. Якщо $\Sigma > 25$, маємо *великокутові границі загального типу*, у яких містяться лінійні й точкові дефекти.

На границях існують спеціальні зернограничні дислокації, які лежать у площині границі й можуть переміщатися в межах границі (рис. 4.12, *д*).

Субграниці й границі зерен можуть переміщатися (мігрувати), і їх рух завжди спрямований до центра кривизни. Великокутові границі мігрують внаслідок переходу атомів від одного зерна до іншого, який буде скомпенсований, якщо границя зерна плоска. Якщо границя зерна опукла (рис. 4.12, *є*), атоми на поверхні зерна *2* важче утримуються, тому більшою мірою вони переходять від зерна *2* до зерна *1*, а границя

рухається у зворотному напрямку. Мало- і середньокутові субграниці мігрують у результаті групових переміщень дислокацій, з яких вони складаються.

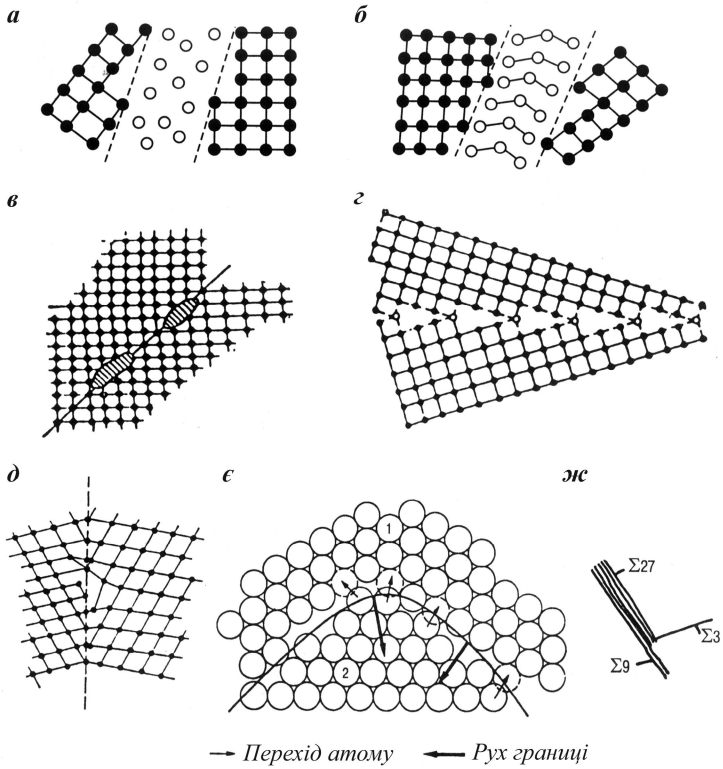


Рис. 4.12. Моделі границь зерен (*а–г*), зернограничная дислокація (*д*), міграція (*є*) та розщеплення границь (*д*)

Великокутові границі з великими значеннями Σ можуть розшаровуватися й розщеплюватися на спеціальні границі з малими значеннями Σ, що мають меншу енергію. Наприклад, Σ27 = Σ29 + Σ3. Це відбувається в результаті утворення в границі шарів, що відповідають структурі границь з меншою енергією, відштовхування цих шарів і їх міграції.

Питомою поверхневою енергією, чи *поверхневим натягом*, границі γ є сила, яка діє на одиницю довжини границі.

Двійники – це переорієнтовані області усередині кристала, обмежені рівнобіжними границями, причому ґрати двійників є дзеркальними стосовно ґрат зерна (рис. 4.13, *а*). Границі двійників мають велику щільність збіжних вузлів, ґрати на них добре сполучені, тому їх відносять до *когерентних* границь. Якщо ґратки на границі погано сполучаються (різні зерна, фази), границі називаються *некогерентними*.

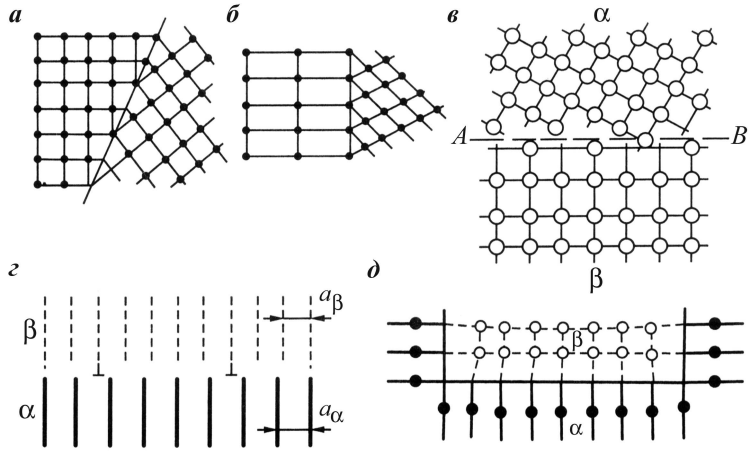


Рис. 4.13. Границі двійника (*а*) та міжфазова (*б*); схеми некогерентної (*в*), напівкогерентної (*г*) та когерентної (*д*) міжфазових границь

Границі дефектів упакування – це границі між областями кристала з різним упакуванням атомів.

Міжфазові границі – це границі між різними фазами. Моделі їх будови такі ж, як у границь зерен, вони можуть бути когерентними (рис. 4.13, *б*, *в*), напівкогерентними (рис. 4.13, *г*) і некогерентними (рис. 4.13, *д*) залежно від того, є чи ні загальний параметр у ґрат фаз, що сполучаються, або від характеру сполучення кристалічних ґрат фаз. На когерентній границі ґрат однієї фази плавно переходять у ґрати іншої фази й атомні площини практично не перериваються на такій границі, а лише згинаються, ніби продовжуючись в іншій фазі. Ця пружна деформація ґрат забезпечує їх спряженість на границі. Якщо на границі поділу фаз ґрати сполучені не за рахунок когерентної деформації, а за рахунок міжфазних дислокацій, така границя є напівкогерентною.

Поверхневі дефекти притягають атоми домішок, скупчення яких на границях називаються *сегрегаціями*. Вони затрудняють рух границь, пластичну деформацію, сприяють оплавленню.

Об'ємні дефекти. До них належать грубі скупчення вакансій (мікропустоти), мікротріщини, частинки сторонніх включень і дефекти упакування.

Дефект упакування – це область всередині кристала з іншими кристалічними ґратами (рис. 4.14, *а*). Звичайно в ґратах щільно упаковані атомні шари повторюються певним чином: у ГЦК АВСАВСАВСАВС… (рис. 4.14, *б*); у ГЩ АВАВАВ… Якщо в ГЦК-ґратах у результаті зсуву порушується чергування щільно упакованих шарів – це і буде дефект упакування з ГЩ-ґратами. Наприклад, АВСАВАВС.

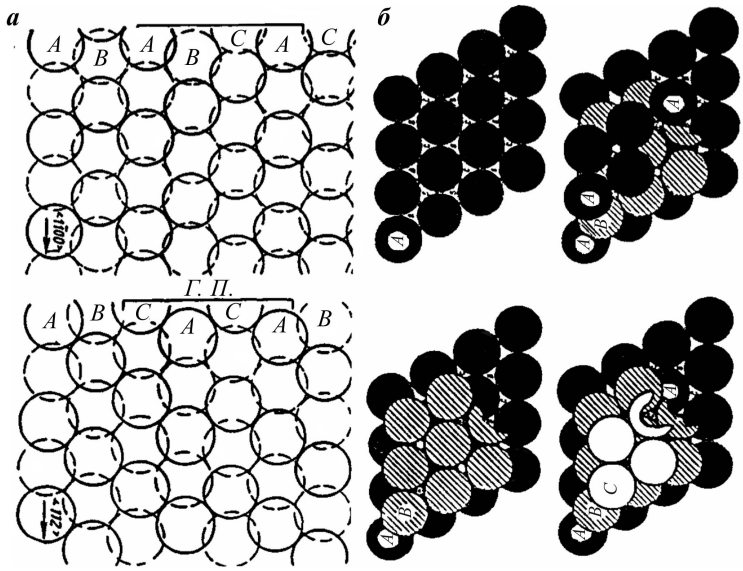


Рис. 4.14. Дефект упакування в ГЩ и ГЦК-ґратах (*а*) та щільна упаковка атомів у ГЦК-ґратах (*б*)

Скупчення домішок на дефектах упакування називається *атмосферою Сузукі*.

4.5. Кристалізація металів

Реакція кристалізації має такий виглял: $P \rightarrow K + Q_{кр}$. Рідкий метал переходить у кристалічний стан з виділенням теплоти кристалізації.

Розглянемо процес кристалізації металу (рис. 4.15, *а*). В інтервалі температур *1–2* стійка рідина, оскільки співвідношення хімічних потенціалів $\mu_р < \mu_{кр}$. У точці 2 кристалізація ще не починається, $\mu_р = \mu_{кр}$ і немає термодинамічного стимулу для початку кристалізації. Для цього необхідно *переохолодження* Δt, яке сприяє виділенню енергії (Δz, $\Delta\mu$ – *термодинамічний стимул кристалізації*). Величина Δt залежно від природи металу може становити від часток градуса до десятків градусів. Максимальні Δt (°С), визначені за методом дрібних крапель відносно $t_{пл}$, становлять Hg – 77; Bi – 80; Au – 23; Ni – 319; Co – 330; Fe – 295; Pt – 370. Таким чином, нижче $t_{пл}$ існує область температур, у якій рідкий метал метастабільний і досить стійкий. Після початку кристалізації (точці 3) за рахунок виділення теплоти кристалізації температура трохи підвищується, але не досягає $t_{пл}$ (рис. 4.15, *б*). Кристалізація металу відбувається за постійної температури.

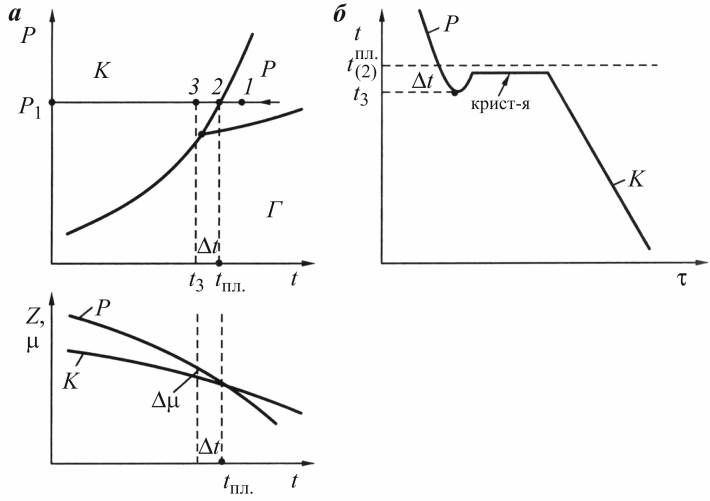


Рис. 4.15. Схема кристалізації металу

Процес кристалізації складається з двох етапів: 1) зародження кристалів, 2) ріст кристалів.

Зародження кристалів. Утворення зародків кристалів починається, коли кінетична енергія атомів у рідкому металі знижується настільки, що це дозволяє атомам зайняти місця у вузлах кристалічних ґрат. Розрізняють два основних механізми зародження кристалів: 1) гомогенний, 2) гетерогенний.

Гомогенним називається зародження на фазових флуктуаціях чи кластерах, що мають будову, наближену до структури кристалу. Це коротко існуючі скупчення атомів, що характеризуються трьома параметрами: час існування, кількість в одиниці об'єму; середній розмір. У міру зниження температури вказані параметри збільшуються, причому зародки виникають тільки на тих флуктуаціях, які досягли певного розміру $D_{кр}$.

У процесі зародження кристалів зменшується об'ємна енергія внаслідок виграшу Δz чи $\Delta\mu$, але збільшується поверхнева енергія завдяки появі міжфазних границь «кристал–рідина» (рис. 4.16, *а*). Величина A_o – це *робота гомогенного утворення* зародків. Зародки утворюються тільки на тих флуктуаціях, розміри яких більше $r_{кр}$. *Швидкість утворення зародків* $V_з$ – це кількість зародків, що утворюються в одиниці об'єму рідини за одиницю часу. Зі збільшенням переохолодження Δt, величина $V_з$ зростає (рис. 4.16, *б*). Чим чистіший метал від домішок, тим більша величина Δt, необхідна для початку кристалізації. Відмітною рисою гомогенного зародження є необхідність визначеного $\Delta t_{кр}$, величина якого залежить від природи металу та його чистоти.

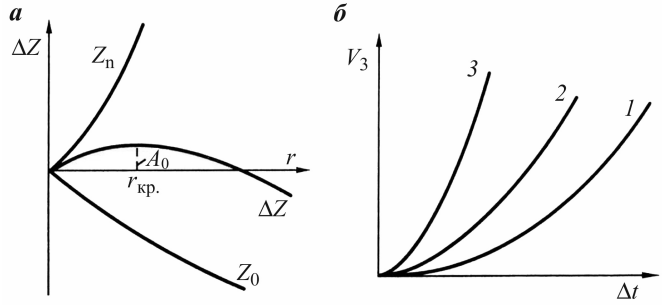


Рис. 4.16. Зміна вільної енергії Δz при кристалізації металу (*а*) та вплив ступеня переохолодження на швидкість утворення зародків (*б*)

Гетерогенне зародження кристалів відбувається на будь-яких поверхнях: стінках форми, частинках включень (підкладки). *Робота гетерогенного зародження* $A_n < A_o$. Якщо $A_n = A_o$, підкладка не полегшує зародження кристалу; якщо $A_n = 0$, зародження відбувається на грані власного кристала. Щоб частинка могла стати підкладкою, необхідне дотримання структурної і розмірної відповідності її і металу: подібність кристалічних ґрат і близькість міжатомних відстаней. Як правило, такими частками є тугоплавкі включення оксидів, нітридів та інше, які плавають у рідині. Гетерогенне зародження може виявлятися і при дуже великих переохолодженнях Δt, однак для його реалізації не потрібно $\Delta t_{\text{кр}}$. Величина $V_з$ значно більша, ніж у разі гомогенного механізму утворення зародків.

На практиці спостерігається гетерогенне утворення зародків. Часто його реалізують спеціально, щоб збільшити число *центрів кристалізації*. Для цього в рідкий метал вводять дрібні тугоплавкі частинки в кількості 0,1…0,2 % від загального об'єму. Такий процес називається *модифікуванням*. Гетерогенне зародження використовують також для вирощування монокристалів на підкладці.

Ріст кристалів. Найважливішими параметрами цього процесу є: швидкість росту, форми росту. *Швидкість росту* ($V_{\text{р}}$) – це збільшення лінійних розмірів кристалу в одиницю часу. Вона залежить від переохолодження Δt і завжди зі збільшенням Δt зростає.

Ріст кристалу відбувається в результаті переходу атомів від рідини до його поверхні. Якщо поверхня кристала гладка, то один чи два атоми, що приєдналися з рідини, слабко нею утримуються (атоми А, Б на рис. 4.17, *а*). Для утримання атомів необхідна наявність нерівностей або сходинок (атоми В, Г на рис. 4.17, *а*). Якщо навести схему атомно-шорсткої поверхні кристала (рис. 4.17, *б*), то для атомів 1, 2, 3 $\Delta Z_1 > \Delta Z_2 > \Delta Z_3$, тобто виграшними місцями приєднання атомів до кристала є сходинки, що називаються сходинками росту. Вони можуть утворюватися двома шляхами:

1) у разі виходу гвинтових дислокацій на поверхню. Виникають незникаючі сходинки (рис. 4.17, *а*, поз. *Д*), що обертаються в міру приєднання до них атомів – це *беззародковий чи спіральний ріст*. Швидкість росту кристала в цьому випадку

$$V_{\text{р}} = K_1 \Delta t^2, \tag{4.3}$$

де K_1 – константа.

2) у результаті утворення *двовимірних зародків*, які являють собою плоскі скупчення атомів на грані кристала (рис. 4.17, *а,* поз. *Е*). Швидкість росту кристала становить

$$V_{\text{р}} = K_2 e^{A\Delta t}, \tag{4.4}$$

де K_2 і A – константи.

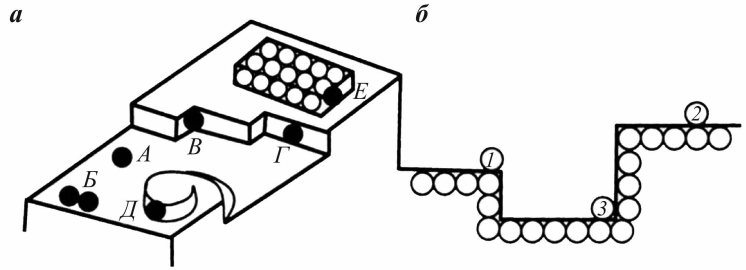


Рис. 4.17. Схеми приєднання атомів до кристала (*а*) та атомно-шорсткої поверхні кристала, що росте (*б*)

Атоми приєднуються до двовимірного зародка до повного заповнення граней кристала. Для продовження росту необхідне утворення нового двовимірного зародка в результаті одночасного осадження на поверхню групи атомів.

При дуже великих Δt, коли енергетичний стимул кристалізації дуже великий, атоми можуть приєднуватися до будь-якої точки на поверхні кристала – це *безвибірна кристалізація*.

Ріст граней кристала в результаті спірального механізму чи утворення двовимірних зародків називається *тангенціальним механізмом росту*. Ростуть переважно грані з максимальною щільністю упакування атомів (з високою ретикулярною щільністю), що мають мінімальну енергію. Чим вище ретикулярна щільність, тим вище швидкість росту. Для різних кристалічних грат показані системи площин у порядку збільшення ретикулярної щільності:

ОЦК {110} {100} {211} {310} {111},

ГЦК {111} {100} {110} {311} {331}.

У результаті спостерігається *анізотропія росту* кристалів. Можливі секторіальна будова, усічені форми росту, піраміди (рис. 4.18). Тангенціальний механізм росту характерний для металів з нечистим металевим зв'язком.

У металів з суто металевим зв'язком щільність активних позицій на поверхні кристала велика й приєднання атомів з рідини відбувається без будь-якого переміщення по поверхні. У результаті численних процесів прямого закріплення атомів на грані вона переміщається уздовж своєї нормалі – це *нормальний механізм росту*.

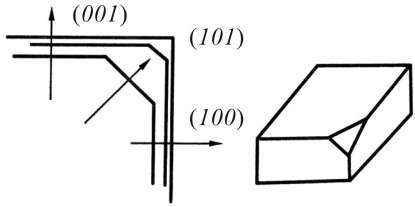


Рис. 4.18. Форми росту кристала

Форми росту кристалу залежать від величини Δt: при малих Δt кристали ростуть у вигляді правильних багатогранників (частіше октаедрів). У міру збільшення Δt відбувається посилений ріст вершин багатогранника, при подальшому збільшенні Δt зростає схильність кристалів до розгалуження й вони мають геометричну форму, що нагадує гілки дерев. Такі кристали називають *дендритами* (рис. 4.19). Гілки першого порядку в ОЦК і ГЦК металів ростуть у напрямках <100>, у ГЩ-металів – [1010]. Дендритна кристалізація кінетично більш вигідна, але більш стійкі кристали правильної форми. Трансформація кристала від правильної форми до дендритної пов'язана з проблемами відведення тепла від зростаючих кристалів (виділяється прихована теплота плавлення). Дендрити мають розгалужену поверхню, що забезпечує більш інтенсивне відведення тепла.



Рис. 4.19. Зміна форми кристала, що росте при збільшенні ступеня переохолодження Δt

Фронт кристалізації – це поверхня поділу між переохолодженою рідиною і зростаючими кристалами. Він утворюється поблизу стінок посудини, рухається усередину посудини й припиняє своє існування в момент повного завершення кристалізації. Фронт кристалізації може мати різну форму, що приводить до формування різних структур металів (рис. 4.20). Форма фронту кристалізації залежить від величини Δt, швидкості кристалізації і наявності домішок. При малих Δt фронт *гладкий*, зі збільшенням

Δt він стає *ніздрюватим* і *дендритним*. Вміст домішок впливає аналогічно переохолодженню Δt. Найчастіше реалізується дендритний фронт кристалізації. Метали з ніздрюватою структурою мають більш високу міцність, тому що розміри комірок менші, ніж зерна дендритної структури.

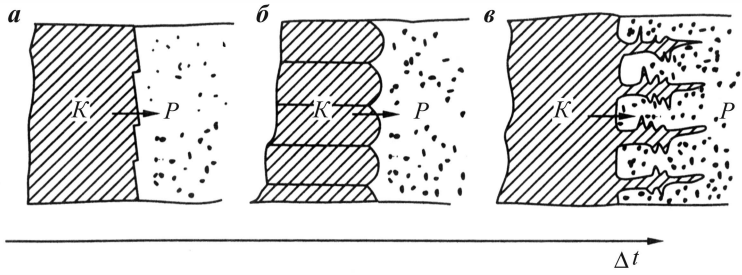


Рис. 4.20. Вплив ступеня переохолодження Δt на фронт кристалізації

У процесі руху фронту кристалізації перед ним у рідині накопичуються домішки, що відтискуються в центральну частину посудини, де кристалізується решта ділянок рідини. Це призводить до хімічної неоднорідності виливка чи *зональної ліквації*. Це негативне явище. Однак є випадки, коли його використовують для глибокого очищення металу від домішок шляхом так званої *зонної плавки*. Вона полягає в спрямованій кристалізації і плавленні об'ємів металу, які мають протяжну форму.

Структура злитка. Злиток формується під час кристалізації металів і сплавів. Його структура в загальному випадку складається з трьох зон (рис. 4.21). Перша зона утворюється в результаті появи на стінках форми великої кількості дрібних, хаотично орієнтованих кристалів. Не всі вони здатні надалі рости, тому перша зона називається *зоною заморожених кристалів*. Завдяки росту окремих кристалів, що сприятливо орієнтовані стосовно напрямку відведення тепла, утворюється друга *зона стовпчастих кристалів* чи

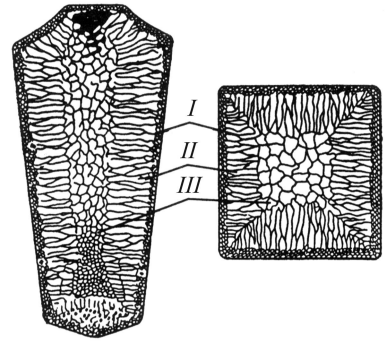


Рис. 4.21. Структурні зони злитку

зона транскристалізації. За час формування зон I і II центральна частина розплаву охолоджується нижче $t_{пл}$. Але оскільки відведення тепла тут утруднене, зароджуються кристали, які ростуть повільно, й утворюється III *зона об'ємної кристалізації*. Чим більша швидкість охолодження, тим більша ширина II зони. З практичних позицій сприятлива структура зони I, тому що зони II і III роблять злиток більш крихким. Для поліпшення властивостей злитка використовують модифікування.

4.6. Металеві сплави

Сплави – це матеріали на основі металів, що мають у складі інші метали й неметали. Найбільш поширеними сплавами є: латуні, бронзи, салуміни, дюралюміни, сталі, чавуни, бабіти й ін. За основним компонентом сплави називають залізними, мідними, нікелевими, титановими, молібденовими, вольфрамовими й ін. За числом компонентів сплави поділяють на дво-, три і багатокомпонентні.

У сплавах можуть виникати такі фази:

1. *Рідкі розчини* – утворюються при сплавці компонентів. Їх будова така ж, як і у чистих рідких металів, але виявляються ще й хімічні властивості компонентів, тобто крім фазових флуктуацій утворюються ще й мікроугруповання атомів, у яких концентрація другого й іншого компонентів відрізняється від середньої величини – це концентраційні флуктуації. Їх кількість залежить від температури.

Сплави одержують не тільки сплавкою компонентів, але й у результаті спікання порошків.

2. *Тверді розчини* – це тверді фази, у яких один з компонентів (базовий метал) зберігає свої кристалічні ґрати й у них розподіляються атоми другого й інших компонентів. Їх концентрація може плавно змінюватися від нуля до певної величини, що називається границею розчинності. Базовий метал називається розчинником. Залежно від характеру розташування атомів другого компонента розрізняють тверді розчини заміщення й проникнення.

У твердих розчинах заміщення атоми другого компонента знаходяться у вузлах кристалічних ґрат розчинника (рис. 4.22, *а*), для чого необхідне дотримання таких умов: різниця атомних радіусів $\Delta R_{ат} < 10…15$ %, кристалічні ґрати компонентів повинні бути однаковими, мають бути близькими їх фізико-хімічні властивості.

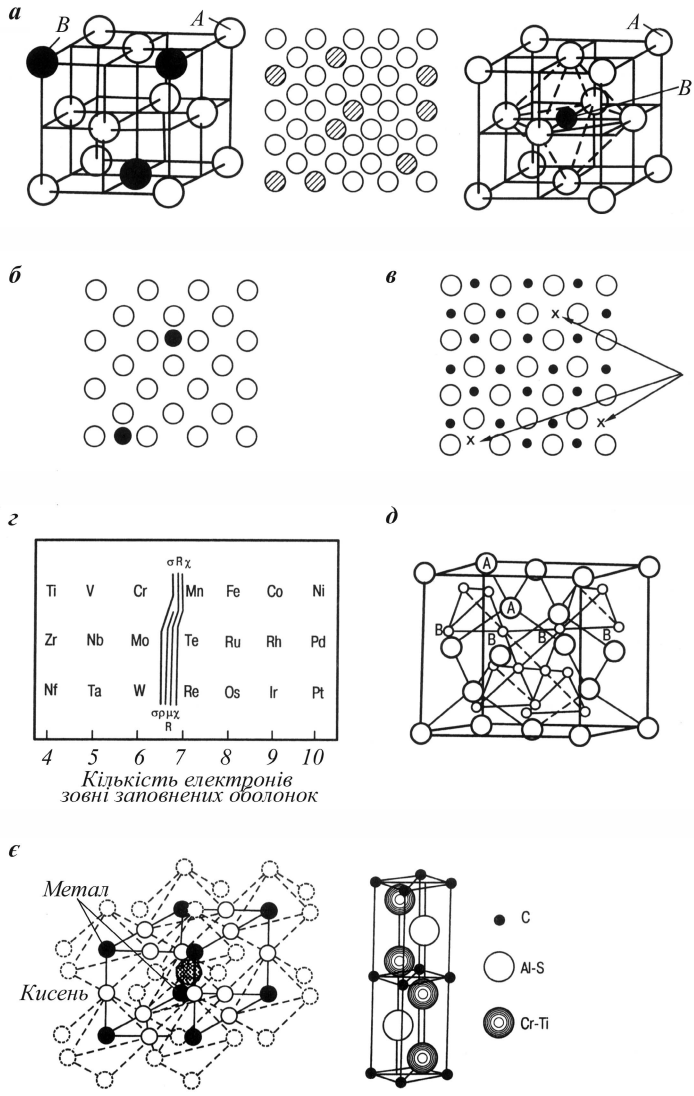


Рис. 4.22. Фази у сплавах:

а – тверді розчини заміщення; *б* – тверді розчини проникнення;
в – тверді розчини вилучення; *г* – інтерметалічні сполуки; *д* – фази Лавеса;
є – проміжні фази проникнення

У твердих розчинах проникнення атоми другого компонента знаходяться в міжвузлових ґратах основного металу (рис. 4.22, *б*), $\Delta R_{ат} > 59$ %, тобто це атоми малих розмірів (вуглець, азот, кисень, водень).

Існують також тверді розчини вилучення, що утворюються на базі хімічних сполук чи проміжних фаз, у ґратах яких бракує певної кількості атомів одного або декількох компонентів (рис. 4.22, *в*).

3. *Хімічні сполуки* – це фази, що складаються з двох і більше компонентів, які мають постійний стехіометричний склад $A_m B_n$ і ґрати, відмінні від ґрат компонентів.

4. *Інтерметалічні сполуки* утворюються двома і більше металами й мають змінний хімічний склад у вузьких межах. Під час їх утворення дотримується принцип щільного упакування атомів. Сили міжатомних зв'язків – металеві з часткою іонного зв'язку. Прикладом є σ-фаза FeCr. Це сполуки зі строго визначеними *електронними концентраціями*: σ-фаза, ρ-фаза, μ-фаза, *R*-фаза, χ-фаза. Щільність електронів, що припадають на один атом, близько (рис. 4.22, *г*). Ці фази мають різні кристалічні ґрати з великими координаційними числами (к. ч. = 12; 14; 15; 16). При значних $\Delta R_{ат} = 1{,}225$ і упорядкованому розташуванні атомів утворюються *фази Лавеса* (рис. 4.22, *д*).

5. *Проміжні фази* – це всі інші фази, ґрати яких відмінні від ґрат компонентів. Усі вони мають змінний склад у вузьких діапазонах концентрацій. Таких фаз існує декілька.

Електронні сполуки – це проміжні фази в сплавах металів перехідних груп і I групи періодичної системи (метали I класу) і метали II–V груп періодичної системи (метали II класу). До металів I класу відносять Fe, Co, Ni, Mn, Pt, La, Си, Ag, Au, Li, Na та ін. До металів II класу – Be, Mg, Zn, Cd, Hg, AI, Ga, In, Si, Ge, Pb, Sn та ін. Існує чотири типи електронних сполук – *фази Юм-Розері* (β-, γ-, ε-, β′-) – це сполуки змінного складу з різними ґратами. Закономірності їх утворення базуються на уявленнях про зони дозволених енергій електронів. У разі розчинення другого компонента змінюється концентрація електронного газу, і коли вона досягає критичної величини, основні ґрати стають нестабільними. Відбувається перебудова ґрат, що сприяє зменшенню середнього числа електронів, які припадають на елементарну комірку.

Фази проникнення виникають, якщо концентрація атомів другого компонента збільшується до 0,35…0,5 % і металеві ґрати (підґрати) зазнають поліморфного перетворення, названого *концентраційним*. Наприклад, у металі з ОЦК-ґратами з'являється фаза з ГЩ-ґратами. Якщо атоми другого компонента розташовуються упорядковано, формуються неметалічні підґрати. Умови утворення цих фаз: відношення атомних радіусів неме-

талів і металів $R_{нм} / R_{м} < 0{,}59$; зберігається металевий зв'язок, незважаючи на велику концентрацію атомів неметалу, але є частка ковалентного й іонного зв'язків. Існують ніби двоє підграт: у вузлах знаходяться позитивні іони металів і позитивні іони неметалів, а між ними – електронний газ, тому що атоми неметалів також віддають частину валентних електронів. Це з'єднання металів з вуглецем, азотом, киснем, воднем – карбіди, нітриди, оксиди, гідриди (рис. 4.22, *є*).

Будова сплаву визначає його властивості, тому потрібно знати, як вона буде змінюватися зі зміною температури та складу сплаву. Залежність між будовою сплаву, його складом і температурою визначається за допомогою діаграми стану (рис. 4.23).

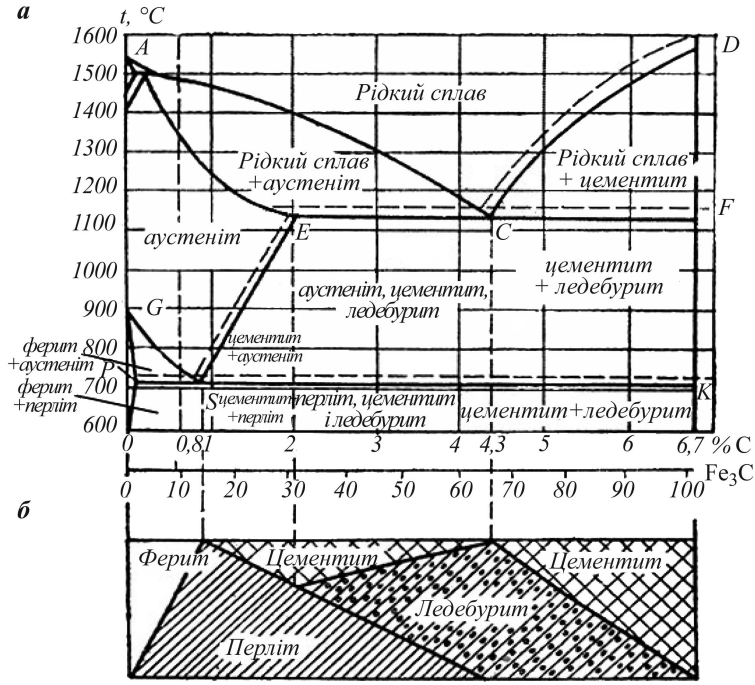


Рис. 4.23. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів (*а*) та орієнтовні відношення структурних складових у різних частинах діаграми (*б*)

Її будують експериментально за критичними точками, одержаними на кривих охолодження сплавів даної системи. За діаграмою стану конкрет-

ного сплаву можна визначити температури кристалізації й перетворень у твердому стані й структуру за заданої температури, що дає змогу приблизно оцінити механічні, фізичні й хімічні властивості сплаву і правильно призначити режими термічної обробки, обробки тиском, зварювання тощо.

Вид діаграми стану подвійної системи визначається взаємодією її компонентів у рідкому й твердому станах (утворенням рідких і твердих розчинів, хімічних сполук і проміжних фаз), а також наявністю поліморфних модифікацій компонентів.

Основними структурами, що утворюють залізовуглецеві сплави, є такі:

ферит – твердий розчин вуглецю в α-Fe (за температури 723 °С граничний вміст вуглецю 0,02 %; за відсутності домішок не кородує; характеризується низькою твердістю (80…100 НВ), пластичністю, ковкістю);

аустеніт – твердий розчин вуглецю в β-Fe (максимальна розчинність вуглецю за температури 1147 °С досягає 2,14 %; стійкий тільки за високої температури, а із застосуванням легувальних домішок Mn, Cr – за звичайних і навіть низьких температур; твердість аустеніту 170…220 НВ; як у фериті, так і в аустеніті названий металевий тип міжатомного зв'язку; ферит і аустеніт – фази м'які та пластичні, оскільки як тверді розчини зберігають основні властивості металу-розчинника – заліза);

цементит – карбід заліза Fe_3C – хімічна сполука, яка містить 6,67 % вуглецю, є складовою частиною евтектичної суміші, а також самостійною структурною складовою. Цементит здатний утворювати тверді розчини, нестійкий, розпадається у процесі термічної обробки, твердий (800 НВ) та крихкий; має електричну провідність та феромагнітні властивості (точка Кюрі – 210 °С); температура плавлення – 1600 °С;

перліт – евтектоїдна суміш фериту й цементиту, утворюється в результаті розпаду аустеніту за температури 723 °С і за вмісту вуглецю 0,83 % (домішки Si і Mn сприяють утворенню перліту й при меншому вмісті вуглецю; твердість перліту 160…260 НВ; відрізняється хорошим поєднанням міцності, пластичності, в'язкості);

ледебурит – евтектична суміш аустеніту й цементиту, утворюється за температури 1130 °С, містить 4,3 % вуглецю; досить твердий (700 НВ) та крихкий; його структура нестійка: під час охолодження аустеніт, що входить до складу ледебуриту, розпадається на вторинний цементит та перліт; ледебурит утворюється тільки в тих сплавах, що містять більше 2,14 % С; його можна розглядати як композит, оскільки евтектична кристалізація ледебуриту відбувається за рахунок проростання цементної матриці (основи) дендритами аустеніту;

графіт – м'яка і крихка складова чавуну, яка складається з різновидів вуглецю (є найменш міцною фазою у залізовуглецевих сплавах, температура плавлення майже 3 500 °С; зустрічається у сірих та ковких чавунах).

Усі лінії на діаграмі стану відповідають критичним точкам, тобто тим температурам, за яких відбуваються структурні зміни у сплавах.

Лінія *ACO* є границею кристалізації сплаву (лінія ліквідуса), лінія *AECP* – границею кінця кристалізації сплаву (лінія солідуса) (див. рис. 4.23). Тільки чисті метали та евтектика плавляться і тверднуть за постійної температури. Усі інші сплави тверднуть поступово, причому з рідкого сплаву спочатку виділяється надлишковий щодо складу евтектики компонент. Область *AESG* на діаграмі відповідає аустеніту. Лінія *GS* – початок виділення фериту, а лінія *SE* – вторинного цементиту. Лінія *PSK* відповідає остаточному розпаду аустеніту й виділенню перліту. В області нижче лінії *PSK* ніяких змін структури не відбувається. Чим більше вуглецю у сплавах, тим вища твердість, але нижчі їх пластичні властивості. Механічні властивості сплавів залежать також від форми та розміру частинок структурних складових. Твердість і міцність сталі тим вищі, чим менші частинки фериту й цементиту. Із збільшенням вмісту вуглецю в залізовуглецевих сплавах підвищуються їх електроопір, зменшується магнітна проникність.

З метою поліпшення структури та отримання заданих механічних властивостей готові металеві вироби піддають термічній обробці. Основними видами термічної обробки є відпалювання, загартування, відпускання та нормалізація (рис. 4.24).

Відпалювання здійснюють з метою усунення внутрішніх напружень в металі, подрібнення його зерен, зниження твердості та поліпшення здатності до обробки. Під час відпалювання після досягнення певної температури вироби витримують деякий час в печі та повільно охолоджують. Прискорене відпалювання називається *нормалізацією*.

Загартування полягає в нагріванні металевих виробів до певної температури, ізотермічному витримуванні та швидкому охолодженні.

Залежно від режиму загартування та виду охолоджуючого середовища утворюються різні структури та відповідно змінюються механічні властивості металів. Загартовані вироби з метою зняття внутрішніх напружень, стабілізації структури, зниження твердості та збільшення в'язкості піддають *відпусканню*. Ця операція полягає в нагріванні загартованої сталі до $T = 650$ °С, ізотермічному витримуванні та повільному охолодженні.

З метою поверхневого зміцнення сталі, підвищення зносо-, жаро- та корозійної стійкості здійснюють хіміко-термічну обробку, зокрема цементацію, азотування, ціанування, алітування.

Цементація – це процес насичення сталі карбоном у атомарному стані до концентрації 0,75…1,2 %. Метод використовують для збільшення міцності та зносостійкості поверхні виробів.

Азотування – процес насичення сталі нітрогеном, при цьому утворюються нітриди, що відрізняються твердістю. Цей метод сприяє підвищенню твердості та корозійної стійкості.

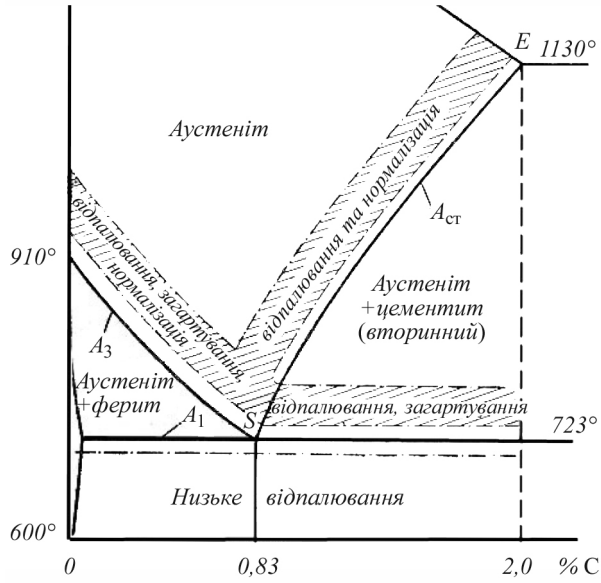


Рис. 4.24. Температура нагріву сталі
при різних видах термічної обробки

Ціанування передбачає одночасне насичення поверхневого шару сталі карбоном та нітрогеном, що зумовлює підвищення твердості та зносостійкості виробів.

Алітування – процес поверхневого збагачення алюмінієм, який використовується для підвищення жаростійкості виробів із сталі.

4.7. Класифікація та характеристика чавунів

Білі чавуни – це сплави, у яких практично увесь вуглець знаходиться у зв'язаному стані – у вигляді цементиту. Ці чавуни мають високу твердість та крихкість і практично не обробляються ні різанням, ні тиском. Проте значна кількість цементиту зумовлює високу зносостійкість білих чавунів, особливо в умовах абразивного зносу.

Цей чавун майже не застосовують у будівництві через велику твердість і крихкість, його переробляють на сталь та сірі чавуни.

Сірі чавуни характеризуються наявністю в структурі вуглецю у вільному стані – у вигляді графіту пластинчастої форми. Вміст вуглецю становить 2,4…3,8 %; чим більше вуглецю, тим більше в сірому чавуні утворюється графіту й тим нижчі його механічні властивості. Ось чому кількість карбону не повинна перевищувати 3,8 %, але для забезпечення високих ливарних якостей його повинно бути не менше 2,4 %.

Сірі чавуни поділяють на власне сірі, високоміцні, леговані й ковкі.

Незважаючи на низькі механічні властивості, сірі чавуни мають ряд позитивних якостей, що зумовлює їх широке використання, а саме: низька собівартість, високі ливарні якості, добрі антифрикційні властивості (за рахунок дії графіту як твердого мастила), висока корозійна стійкість, у тому числі жаростійкість.

Із сірих чавунів виготовляють елементи будівельних конструкцій, у тому числі й таких відповідальних, як опорні частини залізобетонних балок, ферм, тунелі метрополітену, башмаки під колони тощо.

Ковкий чавун отримують з білого тривалим відпалюванням за високих температур. При цьому в його структурі утворюються графітові включення у формі пластівців.

Маркують ковкі чавуни літерами КЧ, за якими вказують дві групи цифр. Першою позначають границю міцності, другою – відносне видовження у процентах. Наприклад, КЧ 350-10 – ковкий чавун міцністю 350 МПа, відносне видовження становить 10 %.

З ковких чавунів виготовляють крюки, скоби, картери редукторів, фланці, елементи карданних валів, ролики конвеєрів тощо.

Високоміцні чавуни отримують модифікуванням, тобто перед розливанням у рідкий чавун додають домішки магнію або цезію в невеликій кількості (до 1 %). Під дією магнію в процесі кристалізації графіту (в складі чавуну) змінюється його форма з пластинчастої до майже кулястої. Такі включення є значно менш активними концентраторами напружень, і тому чавун, що містить їх у своєму складі, називається

високоміцним і витримує більші зовнішні навантаження без руйнування, ніж звичайний чавун.

Високоміцні чавуни в багатьох виробах та конструкціях ефективно замінюють сталь. З них виготовляють колінчасті вали двигунів, поршневі кільця, зубчасті колеса, прокатні валки, які працюють у складних умовах – під дією змінних напружень та ударних навантажень.

За ДСТУ 3925-98 високоміцні чавуни маркують літерами ВЧ і двома групами цифр: перша – границя міцності під час розтягу; друга – відносне видовження, наприклад, ВЧ 800-2 – високоміцний чавун міцністю 800 МПа, відносне видовження становить 2 %.

Чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ) – це «наймолодший» з усіх видів чавуну (створений у 1970 р.). Він поєднує в собі високі ливарні, механічні та теплофізичні властивості, отже, придатний для виливання деталей складної конфігурації, у тому числі тонкостінних, що витримують значні силові та теплові навантаження.

Особливістю структури цього типу чавуну є те, що кожна частинка кулястого графіту росте з окремого центра кристалізації. При цьому вона також оточена аустенітом, але не суцільно: кінчики залишаються в контакті з розплавом, ростуть швидше за аустеніт і перетворюються на округлі черв'якоподібні відростки.

Завдяки особливій структурі чавуну він відрізняється міцністю, меншою схильністю до вибілювання й усадки, вищими тепло- та електропровідністю, більшою довговічністю (щодо термічної втоми), кращими ливарними властивостями, що дозволяє виготовляти вироби складної форми.

Відповідно до ДСТУ 3926-99 марки чавунів з вермикулярним графітом позначаються так: ЧВГ 400-4, що означає: чавун, вермикулярний графіт, має тимчасовий опір при розтягу 400 МПа, відносне видовження становить 4 %.

Залежно від призначення виплавляють ливарний і переробний чавуни. Ливарні чавуни використовують для виготовлення чавунних виливків (у вагранках), переробні – для виробництва сталі.

Звичайні ливарні чавуни містять 1,25…4,25 % силіцію, 3…3,5 % карбону, 0,5…1 % мангану, до 0,3 % фосфору.

Чавун, призначений для мартенівської сталі, може бути різного складу залежно від того, основним чи кислим процесом він перероблятиметься на сталь. Під час основного процесу в чавуні не повинно міститися силіцію понад 1,5 % і мангану більше 3,5 %. При кислому процесі чавун не повинен містити більше 2 % силіцію; 1,5 % мангану і 0,07 % фосфору.

4.8. Класифікація сталей

За способом виробництва сталь підрозділяється на мартенівську, основну, мартенівську кислу, бесемерівську, томасівську та електросталь.

За методом надання форми сталь буває литою, кованою, катаною. Лита сталь в порівнянні з кованою і катаною при тому ж хімічному складі має дещо знижені механічні властивості. Проте методом відливання можна одержати деталі такої складності, які не можна одержати куванням і прокатом.

Кована сталь після відпалу має механічні властивості, найбільш характерні для даної марки за державним стандартом. Катана сталь має стабільну якість, проте її механічні властивості за довжиною і шириною прокату різні.

За хімічним складом сталь розділяється на вуглецеву й леговану. Металургійна промисловість випускає вуглецеві сталі загального і спеціального призначення.

За застосуванням (призначенням) сталь розділяється на конструкційну, інструментальну і сталь з особливими властивостями. Конструкційну сталь застосовують для виготовлення деталей машин і елементів будівельних конструкцій. Конструкційна сталь, що містить вуглецю менше 0,25 %, належить до групи цементованих сталей, а що містить вуглецю 0,25…0,65 %, – до групи поліпшуваних сталей. Конструкційна сталь спеціального призначення ділиться на сталь рейкову, мостову, бандажну, осьову, ресорну, котельну, топкову, автоматну, шарикопідшипникову тощо.

Інструментальну сталь застосовують для виготовлення різального, ударноштампового й вимірювального інструменту.

До сталі з особливими властивостями належать нержавіюча, кислототривка, теплостійка, жаротривка, зносостійка і т. д.

Класифікація сталей за хімічним складом є основною, оскільки від хімічного складу залежать і якість, і режими обробки сталі.

4.8.1. Вуглецеві сталі

Вуглецеві сталі найбільш поширені, вони становлять близько 90 % виплавки всієї сталі.

Вуглецеві конструкційні та інструментальні сталі містять до 1,4 % вуглецю і певну кількість постійних домішок – кремнію, марганцю, фосфору

та сірки. Збільшення вмісту вуглецю від 1,4 до 2,0 % різко підвищує їх крихкість, тому практично стали з таким вмістом вуглецю не застосовуються.

Залежно від вмісту шкідливих домішок сірки та фосфору вуглецеві сталі поділяють:

– на сталі звичайної якості ($S \le 0{,}05$ %, $P \le 0{,}04$ %);

– якісні сталі ($S \le 0{,}04$ %, $P \le 0{,}35…0{,}04$ %);

– високоякісні сталі ($S \le 0{,}02$ %, $P \le 0{,}03$ %).

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

Сталі звичайної якості (*будівельні*) – найбільш дешеві, їх використовують у мостобудуванні у вигляді зварних, клепаних конструкцій (швелери, балки, труби, листи, апарати, каркаси парових котлів, конструкції підйомних кранів).

Маркування таких сталей починається з літер Ст (сталь), а далі йдуть цифри від 0 до 6. Ці цифри позначають умовний номер марки сталі залежно від хімічного складу та механічних властивостей. Чим більша цифра, тим більше в складі сталі вуглецю і тим вища міцність. Для позначення ступеня розкиснення сталі після цифри ставлять індекси: кп – кипляча; сп – спокійна; нс – напівспокійна. Наприклад, Ст3нс2 означає, що сталь марки Ст3, напівспокійна, другої категорії. Між індексом, який вказує на ступінь розкиснення, та номером марки може стояти літера Г, що означає підвищений вміст мангану, наприклад, ВСт3Гнс2. Якщо зростає марка сталі, то зростає її міцність і твердість, зменшується відносне видовження. Зварні конструкції виготовляють переважно зі спокійних чи напівспокійних низьковуглецевих сталей типів Ст1, Ст3, Ст. Підвищити міцність сталей можна за рахунок термічної обробки.

Якісні сталі, залежно від призначення, поділяють на конструкційні та інструментальні.

Конструкційні сталі використовують для виготовлення деталей, вузлів машин та механізмів. Маркуються вони цифрами 08, 10, 15, 20, …, 80, 85, які відповідають середньому вмісту вуглецю в сотих частках процента.

Для будівельних конструкцій застосовують переважно конструкційну вуглецеву сталь, що містить 0,65…0,70 % вуглецю.

До групи *вуглецевих конструкційних сталей загального призначення* належать сталь вуглецева звичайної та підвищеної якості (ГОСТ 380-94) і сталь вуглецева якісна машинобудівна (ГОСТ 1050-94).

Сталь вуглецева звичайної та підвищеної якості виплавляється мартенівським або бесемерівським способом. Застосовується вона для сортового і листового прокату, ковальських заготовок, труб, дроту, метизів та інших виробів загального призначення. Гарячекатана сталь звичайної та підвищеної якості є основним матеріалом для виготовлення багатьох машин і будівельних конструкцій, зокрема залізничних. Залежно від призначення та характеристик, що гарантуються, вуглецева гарячекатана сталь звичайної і підвищеної якості (ГОСТ 5781-82) підрозділяється на три групи: 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.

Сталь групи А поставляється за механічними властивостями. Характеристиками цієї сталі є межа плинності, тимчасовий опір розриву й відносне видовження.

При випробуванні на згин в холодному стані сталь не повинна мати ознак тріщин і розшарувань у деформованому місці.

Марки низьковуглецевих сталей цієї групи повинні мати процентний вміст вуглецю не вище: Ст1 – 0,12; Ст2 – 0,15; Ст3кп – 0,22; Ст3 – 0,22; Ст4 – 0,25 %.

Бесемерівська сталь марки Бст0 вміщує до 0,14 % С і не більше 0,09 % Р і 0,08 % S; мартенівська сталь марки Ст0 містить до 0,23 % С і не більше 0,07 % Р і 0,06 % S. Сталь цих марок застосовується для маловідповідальних конструкцій.

Марки сталі Ст1 і Ст2 характеризуються найбільш високою пластичністю і тому застосовуються для виготовлення заклепок, котельних зв'язків і анкерних бовтів, а також штампованих у холодному стані деталей.

Марки сталі Ст3кп, Ст3, Ст4, Ст4а, Ст5 є найбільш поширеними. У них відносно добре поєднуються норми міцності й показники пластичності. Ці марки широко застосовуються для виготовлення деталей загального, транспортного та сільськогосподарського машинобудування.

У локомотивобудуванні зі сталі марки Ст3 виготовляють рами листові, міжрамні кріплення, деталі гальмівної системи; зі сталі марки Ст4 – деталі системи, важелі гальма; зі сталі марки Ст5 – рами, бруски, дишла, качалки, паралелі й інші деталі.

Сталь марки Ст6 і Ст7 має високі показники міцності при зниженій пластичності. Сталь марки Ст6 застосовується для виготовлення шестерень, валів, осей та інших деталей, що працюють на знос. Сталь марки Ст7 використовують рідко, звичайно для деталей, що піддаються термообробці.

Сталь групи Б поставляється за хімічним складом.

У марках сталі групи Б середній вміст вуглецю позначається в сотих частках відсотка.

Сталь групи В (підвищеної якості) поставляється з гарантованими характеристиками хімічного складу та механічних властивостей. Сталь групи В повинна також мати задовільні результати під час випробування на згин у холодному стані і відповідати певним нормам ударної в'язкості. Виплавляється ця сталь мартенівським способом і розливається повністю розкисленою (спокійна сталь).

Норми вмісту кремнію та марганцю для сталі групи В такі ж, як і для відповідних марок сталі групи Б. Вміст фосфору та сірки знижений (0,40 % кожного елемента).

Сталь групи В виплавляється киплячою. Буква «а» відрізняє марку сталі групи В від відповідної марки сталі групи Б.

На вимогу замовника в сталі групи В можуть бути додатково гарантовані норми відносного звуження сталі, ударна в'язкість за температури –20° і після старіння, макроструктура на зламах або на протравлених темплетах. При цьому макроструктура не повинна мати усадкові раковини й крихкості, пузирів, розшарувань, тріщин і забруднень.

При постачанні сталі у замовленні, у сертифікаті й залізничній накладній на кожну відвантажену партію повинні бути вказані групи постачання (А, Б, В) і марка сталі.

Сталь для зварних конструкцій повинна мати понижений вміст кремнію: при вмісті вуглецю в сталі до 0,22 % – 0,12…0,22 % кремнію; понад 0,22 % – 0,15…0,95 % кремнію. Сталь для зварних конструкцій повинна також випробовуватися на зварюваність.

Сталь вуглецева якісна машинобудівна виплавляється в мартенівських або електропечах. З цієї сталі виготовляють ковальські заготовки, сортовий прокат, листи, стрічки, труби і дріт, що йде для машинобудування. У порівнянні зі сталлю вуглецевою звичайною і підвищеної якості, вона є однорідніщою, має менше шкідливих домішок і вищі механічні властивості.

Залежно від хімічного складу якісна машинобудівна сталь підрозділяється на дві групи: група І – з нормальним вмістом марганцю, ІІ – з підвищеним вмістом марганцю.

Залежно від вмісту вуглецю сталь вуглецева якісна машинобудівна розділяється на марки. У марці сталі двозначні цифри позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, буква Г – підвищений вміст марганцю, цифри після букви Г – приблизний вміст марганцю, коли він вище 1 %.

У групі I сталь марок 08, 10, 15 і 20 містить 0,35…0,65 % марганцю, а в сталі марок 25, 30, 35 і до марки 85 – 0,50…0,80 % марганцю.

У групі II сталь марок 15Г, 20Г, 30Г,40Г, 45Г, 50Г, 60Г містить 0,70…1,00 % марганцю, а сталь марок 65Г і 70Г – 0,90…1,20 % . У сталі марок 10Г2 і 15Г2 міститься більше марганцю – 1,20…1,60 %, а марки 20Г2, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2 і 50Г2 мають 1,40…1,80 % марганцю.

Вміст кремнію в сталі всіх марок – 0,17…0,37 %, фосфору і сірки – не більше 0,040 % кожного. Металургійна промисловість виплавляє також декілька марок киплячої сталі – 08кп, 10кп, 15кп, 20кп – з пониженим вмістом кремнію (не більше 0,07 %).

У сталі, призначеній для холодної висадки, вміст фосфору не повинен перевищувати 0,035 %.

Сталь вуглецева якісна машинобудівна відповідно до замовлення може поставлятися у відпаленому, але лізованому й високовідпущеному стані, а також з нормованою величиною зерна, контрольованою зварюваністю і нормованою чистотою за неметалевими включеннями.

Сталь якісну машинобудівну за вмістом вуглецю прийнято ділити на низковуглецеву (вміст вуглецю до 0,25 %), середньовуглецеву (вміст вуглецю 0,25…0,50 %) і з підвищеним вмістом вуглецю (0,50…0,85 %).

Сталь низьковуглецева має невисокі показники міцності, але значну пластичність і в’язкість. Застосовується для виготовлення виробів або деталей, які не піддаються термообробці. Сталь марок 08кп, 10кп і 10 як найбільш пластична застосовується для виготовлення деталей холодним штампуванням і волочінням.

Сталь середньовуглецева із підвищеним вмістом вуглецю має вищі показники міцності, але меншу пластичність і в’язкість. Вона звичайно піддається поліпшенню, тобто гартуванню з високим відпуском, для отримання дрібнозернистої структури й підвищення механічних властивостей.

Вуглецева якісна машинобудівна сталь застосовується для виготовлення відповідальних деталей машин – колінчастих валів, осей, шатунів, шестерень, ресор.

До *вуглецевих конструкційних сталей спеціального призначення* ставляться спеціальні вимоги, і виплавка їх проводиться за особливими технічними умовами зацікавлених споживачів. Для залізничного транспорту у великій кількості виплавляються такі групи вуглецевих конструкційних

сталей спеціального призначення: сталь для мостобудування, рейкова, бандажна і для суцільнокатаних коліс, осьова, топкова й котельна сталь, для котельних зв'язків і анкерних болтів, ресорна та ін. Металеві прогінні будови мостів бувають клепаними та зварними. Елементи прогінних будов зазнають значних перенапружень через жорсткість вузлів і заклепкових отворів. Навколо заклепкових отворів напруження в металі досягають і навіть перевищують межу пружності, що спричиняє крихке руйнування сталі. За низьких температур можливість крихкого зламу зростає. Враховуючи це, для прогінних будов мостів вибирають метал пластичний, з високою ударною в'язкістю і достатньо високою межею плинності, щоб можна було підвищувати допустимі напруги. Для клепаних мостових конструкцій найкраще ці умови задовольняє сталь марки Ст3 мостова.

Метал, вживаний для виготовлення зварних мостів, крім того, повинен мати хорошу зварюваність і не мати підвищеної крихкості металу в зоні зварки. Для зварних мостових конструкцій призначається сталь марки М16С.

Механічні властивості прокатної вуглецевої сталі для мостобудування наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Властивості прокатної вуглецевої сталі для мостобудування

Марка сталі	Механічні властивості (не менше)		
	Межа плинності, кг/мм^2	Тимчасовий опір, кг/мм^2	Відносне подовження, %
Ст3 мостова	24	38	24…28
М16С	23		
Ст3кп (для порівняння)	22		22…26

Сталі марок Ст3 мостова і М16С піддають випробуванням для визначення ударної в'язкості за нормальної температури, за температури –20 °С і після штучного старіння.

Виплавляється сталь марок Ст3 мостова і М16С у мартенівських печах. Бесемерівська і томасівська сталь, що має схильність до тріщиноутворення і підвищеної холодоламкості, для виготовлення металевих прогінних будов мостів не допускається.

Сталь марки М16С поставляється заспокоєною, тобто розкисненою марганцем, кремнієм і алюмінієм. Сталь марки Ст3 мостова з відома замовника може поставлятися киплячою. Хімічний склад сталі для мостобудування майже не відрізняється від складу сталі марок М16 і М18.

У порівнянні зі сталлю Ст3 мостова сталь марки М16С має дещо понижений вміст вуглецю, сірки й фосфору, а тому добре зварюється і не сприймає гартування.

Сталь для мостобудування поставляється у вигляді різних профілів прокату – балок, швелерів, кутиків, смуг, листів.

Заклепувальна сталь для мостобудування повинна забезпечувати задану міцність клепаних конструкцій і високу пластичність металу, з тим щоб утворилася головка без тріщин і надривів, причому пластичність повинна зберігатися навіть при різкому охолоджуванні заклепок, а це означає, що сталь не повинна сприймати гартування. Такі вимоги задовольняє м'яка мартенівська сталь марки Ст2 із змістом сірки не вище 0,05 %. Заклепувальна сталь випробовується на осідання в гарячому і холодному стані на утворення головки і розплющення в холодному стані до діаметра, рівного 2,5 діаметру прутка.

Для будівництва прогінних будов мостів також використовується низьколегована сталь, а також високоміцні сплави на основі алюмінію.

Сталь рейкова повинна бути високоміцною і зносостійкою. Вимоги до рейкової сталі розберемо на прикладі рейок широкої колії типу Р50 за ГОСТу 6944. Рейки Р50 виготовляються з мартенівської, цілком розкисленої, заспокоєної сталі.

Хімічний склад рейкової сталі марки М75 такий, %:

C	0,67…0,80
Mn	0,70…1,00
Si	0,13…0,28
P, не більше	0,040
S, не більше	0,050

У марці сталі буква М позначає мартенівську сталь, цифри указують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка.

Рейки із вмістом вуглецю більше 0,75 % належать до твердих, а із вмістом вуглецю 0,75 % і менше – до нормальних.

Прокатна рейкова смуга повинна бути обрізаною до повного видалення усадкової раковини і шкідливої ліквацийної зони. Технологічний процес виготовлення рейок повинен гарантувати відсутність у рейковій сталі внутрішніх дрібних тріщин – флокенів.

Для підвищення зносостійкості поверхня катання рейок піддається термообробці, щоб одержати структуру сорбіту. Ця операція має назву

сорбітизації. Поверхня головки рейок на їх кінцях з тією ж метою піддається гартуванню. Твердість загартованих кінців перевищує 300 НВ.

Тимчасовий опір металу рейок повинен бути не менше 80 кг/мм^2. Рейки з тимчасовим опором від 70 до 80 кг/мм^2 належать до другого сорту.

Зразки рейок кожної плавки випробовують на удар під копром. Для цього відрізок рейки завдовжки 1,3 м укладається головкою догори на опори з радіусом закруглення 125 мм і відстанню між опорами 1 м і піддається удару вантажем вагою 1000 кг з висоти 6,1 м. Після випробування відрізок рейки не повинен мати тріщин або інших ознак руйнування. Таке випробування є достовірнішим, ніж випробування ударної в'язкості на копрі Шарпі.

З мартенівської сталі виготовляють рейки й інших типів – Р65, Р43 і Р38.

Залізничні рейки широкої колії дозволяється виготовляти також з вуглецевої бессемерівської сталі із зупинкою продування при вмісті вуглецю більше 0,30 %. Така сталь повинна мати вуглецю 0,50…0,73 %, марганцю 0,60…1,0 %, кремнію 0,15…0,30 %, фосфору не більше 0,075 % і сірки не більше 0,06 %. Межа міцності при розтягу повинна бути не нижче 75 кг/мм^2.

Порівнюючи рейкову сталь з вуглецевою звичайної якості, можна сказати, що вона близька до сталі марки Ст7 поліпшеної.

Сталь бандажна застосовується для виготовлення бандажів локомотивів, тендерів і вагонів. Бандажі працюють в особливо важких умовах. Вони стираються під час взаємодії з рейками, зазнають ударів на стиках і значно нагріваються гальмівними колодками під час гальмування, тому сталь для бандажів повинна бути міцною, зносостійкою, а отже, твердою і достатньо в'язкою.

Бандажі для рухомого складу виготовляють чотирьох марок: I – бандажі пасажирських локомотивів; II – бандажі вагонні, тендерні, електровозні, тепловозні, підтримують зчіпні пристрої вантажних паровозів і мотор-вагонів; III – бандажі ведучі вантажних локомотивів.

Як бандажна сталь застосовується вуглецева якісна машинобудівна сталь, виплавлена в мартенівських печах і цілком розкислена. Для виготовлення бандажів пасажирських локомотивів використовують сталь марки 55, а для бандажів вантажних локомотивів, вагонів, тендерів і моторвагонів – марки 60.

Бандажі піддаються термічній обробці гартом з подальшим відпуском. Термічна обробка дозволяє забезпечити необхідні механічні властивості сталі (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Механічні властивості бандажної сталі

Марка бандажа	Механічні властивості (не менше)			
	Тимчасовий опір, кг/мм^2	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Твердість за Брінеллем
I	83	13	16	235
II	85	11	14	243
III	93	10	12	262

Примітка. Для тепловозів і тендерних бандажів, електровозів, тимчасовий опір повинен бути не менше 88 кг/мм^2.

Бандажі ведучих коліс вантажних локомотивів піддаються в роботі найбільшому напруженню і зносу, тому сталь для них повинна мати найвищі показники міцності та твердості.

Сталь для суцільнокатаних коліс за своїми характеристиками майже не відрізняється від бандажної сталі, оскільки колеса працюють у тих же умовах, що й бандажі. Вона виплавляється в мартенівських печах відповідно до встановлених марок коліс. Металургійна промисловість випускає суцільнокатані колеса з діаметром круга катання 950 і 1050 мм. За якістю сталі колеса випускаються двох марок.

Колеса марки I виготовляються з вуглецевої якісної машинобудівної сталі марки 55, а колеса марки II – із сталі марки 60.

Після механічної обробки колеса піддаються термічній обробці шляхом гартування й відпускання.

Механічні властивості термічно оброблених колес повинні відповідати нормам наведеним у табл. 4.3.

Окрім звичайної перевірки металу коліс для визначення хімічного складу і механічних властивостей, суцільнокатані колеса піддаються також копровим випробуванням.

Для осей усіх локомотивів, тендерів паровозів і вагонів застосовується середньовуглецева мартенівська сталь із вмістом вуглецю 0,35…0,45 % (осьова сталь). Осьовими заготовками є блюмси квадратного перерізу; з таких заготовок осі виготовляються ковкою або пресуванням. Локомотивні осі піддаються нормалізації з відпусканням.

Для того щоб забезпечити в осьовій сталі підвищену ударну в'язкість за звичайної і зниженої температур, сприятливе співвідношення міцності

та в'язкості, а також меншу здатність до тріщиноутворення, метал осьової сталі повинен мати якомога менше спадкове зерно. Норми ударної в'язкості для локомотивних осей повинні бути підвищеними для здатності продовжувати роботу після утворення первинної тріщини втомленості.

Таблиця 4.3

Механічні властивості термічнооброблених колес

Марка колеса	Механічні властивості (не менше)			
	Тимчасовий опір, кг/мм^2	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Твердість за Брінеллем
I	82	11	14	235
II	85	10	13	248

Сталь марки Ст3Т використовується для виготовлення частин паровозних топок, що піддаються безпосередній дії полум'я або горючих газів. Сталь марки Ст3К призначається для виготовлення решти частин паровозного котла.

Сталі марок Ст3Т і Ст3К відрізняються хімічним складом за вмістом фосфору та сірки. Поліпшення сталі марок Ст3Т і Ст3К в порівнянні зі сталлю вуглецевою звичайної якості марки Ст3 полягає в кращому розкисненні й видаленні азоту, а також у проведенні нормалізації після прокату.

Низький вміст вуглецю надає сталі марок Ст3Т і Ст3К здатності добре зварюватися й не гартуватися, що дуже важливо, оскільки в даний час набули поширення котли зварної конструкції.

Сталь для рам локомотивів має товщину більше 100 мм і поставляється обрізаною по контуру заготівки. Рами локомотивів зазнають великих напружень, тому сталь, що йде для їх виготовлення, повинна мати хороше поєднання пластичності та в'язкості. Це забезпечується хімічним складом, який наведений в табл. 4.4.

Ресори й пружини в рухомому складі сприймають динамічні навантаження, поштовхи й багатократні вібраційні коливання. Метал для цих деталей повинен мати високу межу пружності й межу витривалості (втоми) при достатній в'язкості.

Усі марки ресорно-пружинної сталі характеризуються вмістом вуглецю більше 0,5 %. Ряд марок має підвищений вміст кремнію та марганцю. З вуглецевих сталей для виготовлення ресор і пружин застосовується вуглецева якісна машинобудівна сталь марок 65, 70, 75, 85.

Таблиця 4.4

Хімічний склад сталі для локомотивних рам

Призначення	Хімічний склад, %				
	C	Mn	Si	P, не більше	S, не більше
Рами паровозні	0,25…0,33	0,60…0,90	0,17…0,34	0,04	
Рами тепловозні	0,15…0,22	0,35…0,70			

Для ресор і пружин, що працюють в особливо важких умовах, застосовують леговані стали з присадкою хрому, нікелю, ванадію.

Листові ресори й циліндрові пружини для рухомого складу залізниць виготовляються з легованої кремнієм сталі марок 55С2 і 60С2.

Вуглецеві інструментальні сталі є матеріалом для виготовлення різальних, вимірювальних і ударних інструментів. Вони повинні мати твердість, що перевищує твердість оброблюваного матеріалу. Звичайно після термічної обробки різальний інструмент має твердість 60…65 HRC (600…700 НВ).

Вуглецеві інструментальні сталі містять вуглецю від 0,6 до 1,4 %, оскільки саме він визначає твердість загартованої на мартенсит сталі. Твердість мартенситу, а отже, зносостійкість і різальна здатність сталі, зростає із збільшенням вмісту вуглецю, але знижується її пластичність та зварюваність.

Вуглецеві інструментальні сталі позначаються буквою У. Цифра, наступна за буквою, указує на середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Є шість марок інструментальних сталей – У7, У8, У9, У10, У12 і У13. Вміст марганцю в цій сталі не перевищує 0,40 %, а кремнію 0,35 %.

Розрізняють якісну та високоякісну інструментальну сталь. Високоякісна сталь містить менше сірки й фосфору, а тому менше схильна до утворення гартівних тріщин і менше викришується під час роботи.

Сірки й фосфору в якісній інструментальній сталі не більше 0,04 % (кожного елемента окремо), а у високоякісній 0,03 %.

Високоякісна сталь позначається буквою А, наприклад У7А, У3А і т. д. до У13А. Деякі марки вуглецевої інструментальної сталі мають підвищений вміст марганцю й позначаються так: У10Г, У10ГА і т. д.

Призначення марок вуглецевої інструментальної сталі таке:

У7 і У7А – для інструментів, що піддаються ударам і потребують великої в'язкості та помірної твердості (ковальські й слюсарні молотки, зубила, невеликі ковальські штампи й теслярський інструмент);

У8 і У8А – для інструментів, що піддаються ударам і потребують підвищеної твердості при достатній в'язкості (матриці, пуансони, ножиці по металу, пили, пневматичний інструмент);

У9 і У9А – для інструментів, що потребують ще більшої твердості та певної в'язкості (зубила по каменю та ін.);

У10 і У10А – для інструментів, що не піддаються різким і сильним ударам, але потребують певної в'язкості на вістрях лез (токарні різці, фрези, свердла, мітчики, розвертки, плашки, бритви, пили по металу, калібри);

У12 і У12А – для інструментів, що не піддаються ударам і потребують дуже великої твердості (різці, мітчики, свердла розвертки, фрези, бритви);

У13 і У13А – для інструментів, що не піддаються ударам і потребують виняткової твердості (різці по твердому металу, волочильний інструмент, зубила для насічки напилків, інструмент для обробки каменю).

4.8.2. Модифікування структури та властивостей сталі. Леговані сталі

Якість виплавлених у різних плавильних агрегатах сталей не завжди відповідає вимогам сучасної техніки. Суттєвим недоліком вуглецевої сталі є зменшення пластичності та в'язкості зі збільшенням кількості вуглецю. Для покращання властивостей вуглецевих сталей до їх складу вводять легувальні елементи, наприклад, домішки алюмінію, молібдену, мангану, купруму, кобальту, хрому. Залежно від вмісту цих домішок розрізняють сталі: низьколеговані (до 2,5 %), середньолеговані (2,5…10 %) та високолеговані (більше 10 %). Додавання легувальних елементів приводить до зміни механічних, фізичних та хімічних властивостей. Наприклад, додавання хрому сприяє підвищенню міцності та зносостійкості; мангану – твердості, міцності, покращується здатність до зварювання та прожарювання; силіцію – твердості, пружності, міцності, купруму – корозійної стійкості. Ці домішки по-різному взаємодіють із залізом та вуглецем. Вони можуть утворювати з γ- або α-залізом тверді розчини різної концентрації, наприклад, входити до складу аустеніту та фериту, зміцнюючи їх властивості. Більшість легованих сталей набувають потрібних фізико-механічних властивостей тільки після термічної обробки.

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

Марка легованої сталі означає її наближений хімічний склад: цифри перед літерами – середній вміст вуглецю, збільшений у 100 разів; цифри після літер – вміст легувальної домішки у процентах. Наприклад, марка 09Г2СД розшифровується так: карбону 0,09 %, мангану до 2 %, силіцію до 1 %, купруму до 1 %.

За призначенням леговані сталі поділяють на конструкційні, інструментальні та сталі з особливими фізико-механічними властивостями (нержавіючі, жаростійкі, з особливими магнітними та електричними характеристиками).

Вибираючи марки сталі, враховують ступінь відповідальності та умови експлуатації сталевих конструкцій. У найважчих умовах працюють зварні конструкції за низьких від'ємних температур, а також під дією динамічних вібраційних або рухомих навантажень.

4.9. Вироби зі сталі

Сталеві конструкції виготовляють з прокатних виробів, а також із гнутих та зварних профілів (ДСТУ EN 10079-2002) (рис. 4.25).

Металургійна промисловість випускає багато видів прокату. Їх можна розбити на такі основні групи:

1) напівфабрикати прокату;
2) сортовий прокат;
3) листовий прокат;
4) труби;
5) спеціальні види прокату;
6) періодичний прокат.

З прокатних профілів збирають найрізноманітніші ґратчасті та суцільні конструкції: колони, балки, бункери, щогли, башти, трубопроводи, резервуари тощо.

Напівфабрикати прокату. Великі злитки для отримання з них заготовок відповідних розмірів пропускаються між валками великих обтискових станів – блюмінгів і слябінгів.

Блюмінги являють собою дуостани з діаметром валків від 800 до 1 400 мм. Річна продуктивність блюмінга досягає 2,5 млн т. Продукцією блюмінгів є блюмси перерізом від 150×150 до 450×450 мм, що йдуть в подальшу перепрокатку. Слябінгами називаються дуостани, призначені

для отримання слябів, тобто плоских заготовок для подальшої перепрокатки в листи.

На спеціальних заготовчих станах з блюмсів одержують сортову й ковальську заготовки перерізом від 40 × 40 до 200 × 200 мм. На цих же станах прокатують плоску заготовку завширшки від 150 до 600 мм і товщиною від 6 до 75 мм. З сутунку потім прокатують дрібні листи та стрічку.

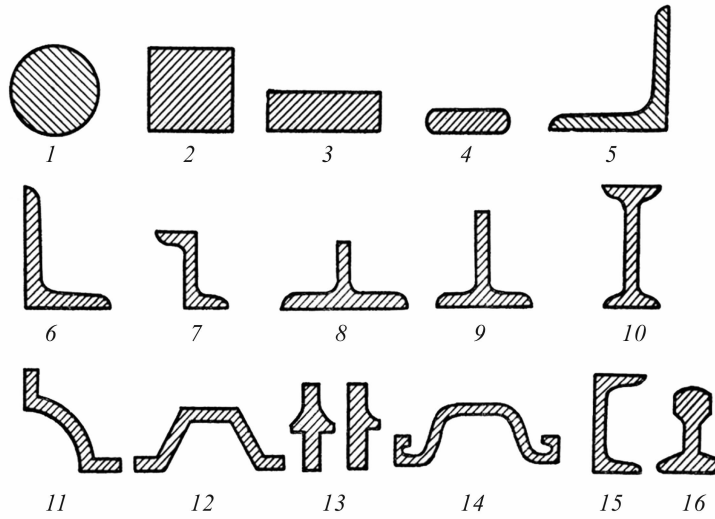


Рис. 4.25. Профілі прокату загального призначення та для залізничного транспорту

Сортова сталь (*прокат*) (ДСТУ 2254-93, ДСТУ 2255-93, ДСТУ 3436-96, ДСТУ 2252-93) включає профілі масового попиту (круглу, квадратну, кутову), швелери, двотаври та профілі спеціального призначення (рейки та ін.).

Із сортової сталі в будівництві найширше використовують кутові профілі, двотаври, швелери.

Для отримання сортового прокату різних профілів застосовуються спеціальні сортові стани. Це дуо, тріо- та багатовалкові стани, на валках яких роблять спеціальні вирізи, що поступово зменшуються – струмки. Профіль вирізу називається калібром.

Сортовий прокат за складністю профілю підрозділяється на дві групи: простої геометричної форми і фасонний. Фасонні профілі прокату бувають загального і спеціального призначення.

До профілів простої геометричної форми належать:

– квадратна сталь із сторонами квадрата від 6 до 20 мм; великі розміри цього прокату мають закруглені кути; застосовується для отримання поковок *2* (див. рис. 4. 25);

– круглого профілю сталь діаметром від 5 до 200 мм; застосовується для виготовлення деталей механічною обробкою і поковок. Різновидом сталі круглого профілю є гарячекатаний дріт діаметром 5…9 мм, так звана катанка *1* (див. рис. 4. 25);

– штабова сталь завширшки від 20 до 200 мм і товщиною від 4 до 60 мм. Різновидом штабової сталі є гарячекатана стрічка завширшки від 20 до 200 мм при товщині від 1,5 до 3,5 мм.

До профілів сталі простої геометричної форми належить також шестигранник, трикутник, ромб, овал, півколо, сегмент та ін.

Найголовніші фасонні профілі прокату показані на рис. 4.25; кутова сталь рівнобічна *5* з шириною полиць від 20 × 20 до 230 × 230 мм; кутова сталь нерівнобічна *6* з шириною полиці від 20 × 30 до 150 × 200 мм; швелери *15* висотою від 50 до 400 мм і шириною полиці від 37 до 104 мм; таврова сталь *8*, *9* з шириною підошви від 20 до 380 мм; двотаврова балка *10* висотою від 100 до 600 мм і шириною полиці від 68 до 180 мм; зетова сталь *7* висотою від 60 до 200 мм; колонна (квадрантна) сталь *11* радіусом від 50 до 150 мм.

Фасонні профілі прокату загального призначення широко застосовуються в будівництві, зокрема в залізничному. Останнім часом для економії металу будівельні організації почали застосовувати так звані економічні профілі прокату, які робляться полегшеними. Зниження ваги їх досягається правильним розподілом матеріалу між полицями й стінками. За рахунок зменшення товщини стінки й розширення полиць забезпечується зменшення ваги і одночасно підвищення на 10…35 % моменту опору балки, швелера та деяких інших профілів прокату.

Фасонні профілі прокату спеціального призначення відрізняються великою різноманітністю. Для залізничного транспорту найважливішими є рейки *16* і рейкові скріплення (накладки та підкладки).

Для отримання рейок застосовують рельсобалочні дуо- і тріостани, які складаються з обтискових заготовчих і обробних клітей. Річна продуктивність великого рейкового стану перевищує 1 млн т.

Рейки прокатуються із злитків великої ваги. Довжина прокатуваної смуги досягає 76 м, потім її розрізають на рейки завдовжки 12,5 і 25 м.

Для залізниць широкої колії прокатуються рейки вагою 65, 50, 43 і 38 кг/п. м. Крім того, виготовляють спеціальні рейки для стрілочних гостряків і залізниць вузької колії вагою 7, 8, 11, 15, 18 і 24 кг/п. м.

Двотаври та швелери вибирають за номерами, що відповідають їх висоті в сантиметрах. Номери двотаврів змінюються від 10 до 60, швелерів – від 5 до 40. Двотаври прокатують завдовжки до 19 м, а швелери – до 18 м. Їх застосовують в основному як балки, що працюють на згин та осьове навантаження. Форма швелерів спрощує кріплення до їх стінок інших елементів, тому їх широко використовують як прогони покрівель промислових споруд.

Окрім рейок і рейкових скріплень, спеціально Міністерству транспорту та зв'язку і для транспортного машинобудування поставляються сталі: зетова *7* для хребтової балки вагонів, коритна для поперечних зв'язків візків, для стійок вагонів *11*, ресорна гладка та жолобчаста *12* для локомотивів і вагонів, для дверних вагонних рейок *13*, для бандажних кілець *14* і багато інших видів прокату спеціального призначення.

Листовий прокат. Листовий прокат сталі буває товстолистовий товщиною від 4 до 60 мм і тонколистовий товщиною від 0,2 до 4 мм, виділяють універсальну широкополицеву (4…60 мм), рулонну та рифлену сталь. Листи завтовшки понад 60 мм виготовляються за особливим замовленням. Для виготовлення листів застосовують вуглецеву сталь звичайної якості та вуглецеву якісну машинобудівну сталь.

Листи для спеціальних цілей прокатуються також з легованої сталі та сплавів кольорових металів.

Прокатка листів здійснюється на листопрокатних станах з гладкими валками: товстих – із слябів, тонких – з сутунки і легких слябів. При прокаті товщина листів поступово зменшується, оскільки відстань між валками після кожного пропуску листів звужується. Прокат тонких листів закінчується за температури 600…7 000 °С. Для зняття наклепу листи піддають відпалюванню. Відпалений і протравлений для зняття окалини гарячекатаний лист називається декапірованим, а листова сталь – декапірованою.

Для отримання точних розмірів і чистої поверхні застосовують холодний прокат листів. Вихідним матеріалом в цьому випадку є гарячекатані смуги завтовшки 1,6…3,0 мм.

Товстолистова сталь широко застосовується для виготовлення колійних машин, рам локомотивів, котлів і топок паровозів, у будівництві мостів.

До тонколистової сталі, окрім декапірованої, належать оцинкована сталь, біла жерсть (тонколистова сталь, покрита оловом) і сталь дахова.

Тонколистова сталь (ДСТУ 3360-96, ДСТУ Б В.2.7-58-97) має вигляд листів шириною 8 500 мм та довжиною до 12 мм. Товщина листів дахової сталі коливається від 0,38 до 0,82 мм при ширині листа 710 мм і довжині 1 420 мм. Звичайно дахову сталь замовляють за масою листа. Маса листів дахової сталі буває: 3; 3,25; 3,5; 4,0; 4,5; 5; 5,5; 6 і 6,5 кг.

Найчастіше у транспортному будівництві використовують сталеві листи товщиною до 40 мм. Листи тонколистової сталі мають довжину до 4 м, ширину – 600…1 400 мм. Їх застосовують при виготовленні гнутих тонкостінних профілів та профільованого настилу. Виготовлення гнутих профілів дає змогу суттєво спростити технологію виробництва деталей та заощадити до 10 % металу. Профільний настил використовують для влаштування легкої та зручної при монтуванні покрівлі.

Покрівельні листи виготовляються з м'якої вуглецевої сталі гарячим прокатом і додатковою пробивкою пачок листів на молотах. Покрівельна сталь поставляється у відпаленому стані.

Різновидом тонколистової сталі є сталь хвиляста та сталева стрічка.

Для зведення башт, опор високочастотних ліній електропередач, інших гратчастих конструкцій застосовують *труби* зварні й суцільнотягнуті (безшовні) (табл. 4.5). Зварні виготовляються зі смуг м'якої, добре зварюваної листової сталі. Після проструговання кромок смуги нагрівають і загинають у труби. Одержану трубчасту заготовку нагрівають до температури 1200…1250 °С і прокатують, пропускаючи між валками з облямовуванням. Таким чином одержують труби із зовнішнім діаметром від 57 до 325 мм і завдовжки до 15 м.

Таблиця 4.5

Основні розміри сталевих труб

Труби	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Довжина, м
Безшовні гарячеформовані	25…820	2,5…75	4…12,5
Безшовні холодноформовані, особливо тонкостінні	2…250	0,3…9	
Безшовні тонкостінні	5…250	0,6…20	
Товстостінні та особливо товстостінні	6…250	1,6…24	
Прямошовні електрозварні	8…1 620	0,8…20	5…12,0
Електрозварні зі спіральним швом	159…1 420	3,5…14	10…18,0

Прокатка суцільнотягнутих труб складається з двох операцій. Спочатку в циліндровій заготовці одержують отвір, а потім заготовку нагрівають до 1100…1150 °С і перетворюють за допомогою облямовування і валків у тонкостінну трубу.

Безшовні труби характеризуються високою міцністю і витримують великий опір внутрішньому тиску, тому що при їх виготовленні волокна металу розташовуються по гвинтовій лінії.

Для залізничного транспорту за спеціальними стандартами виготовляють суцільнотягнуті (безшовні) жарові труби, а також труби для елементів перегрівачів паровозів.

Спеціальні види прокату. До спеціальних видів прокату належать бандажі локомотивів і вагонів, суцільнокатані дискові вагонні й тендерні колеса, шестерні та інші деталі складного профілю. Основним видом спеціального прокату для будівництва є арматурна сталь (ДСТУ 3760-98) у вигляді стержнів гладкого та періодичного профілю, дроту та канатів (рис. 4.26).

Розрізняють: стержневу арматуру – клас А; дріт – клас В; арматурні канати – клас К. Також може зазначатися спосіб виготовлення, особливі властивості або призначення арматури. Термічно оброблену стержневу арматурну сталь позначають Ат, сталь для конструкцій, які використовують в районах півночі – Ас, термічно оброблену зварну сталь – індексом С (наприклад, АтIVС), а таку саму сталь з підвищеною стійкістю проти корозійного розтріскування під напруженням – К (наприклад, АтIVК). Для сталі, зміцненої витягуванням, використовують індекс «в» (АIIIв).

4.9.1. Сталь гарячекатана для армування залізобетонних конструкцій

Розрізняють два типи сталі гарячекатаної для армування залізобетонних конструкцій: арматурна сталь періодичного і гладкого профілю.

Арматурна сталь періодичного профілю – стержні з рівномірно розташованими на їх поверхні під кутом до подовжньої осі стержня поперечними виступами (рифленням) для поліпшення зчеплення з бетоном.

Арматурна сталь гладка – круглі стержні з гладкою поверхнею, що не має рифлення для поліпшення зчеплення з бетоном.

Залежно від механічних властивостей арматурну сталь підрозділяють на класи: А-I (А240), А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000). Характеристика арматурної сталі приведена в табл. 4.6.

Арматурну сталь виготовляють у стержнях або мотках.

Арматурну сталь класу А-I (А240) виготовляють гладкою, класів А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000) – періодичного профілю.

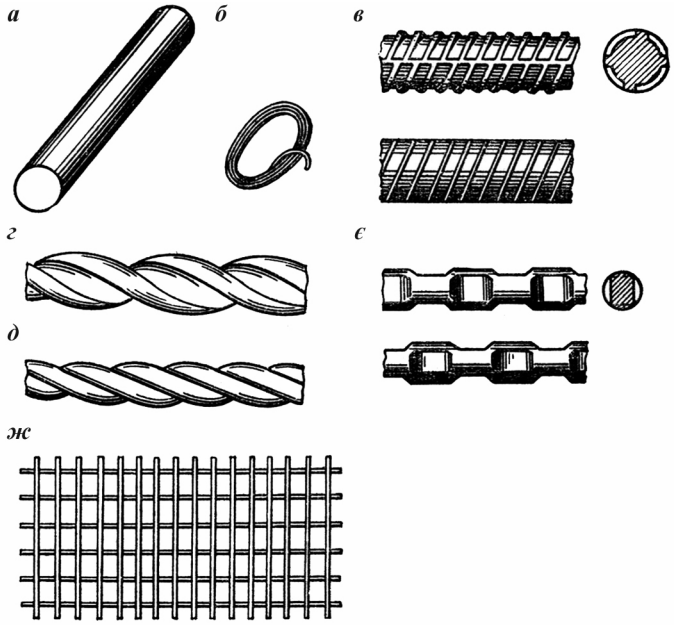


Рис. 4.26. Арматура:
а – гладка стержнева класу А-II (А200С); *б* – дріт гладкий; *в* – гарячекатана періодичного профілю класу А-III (А400С, А500С); *г*, *д* – пасма з дроту; *є* – дріт періодичного профілю (Вр); *ж* – зварна сітка

На вимогу споживача сталь класів А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600), А-V (А800) виготовляють гладкою.

Арматурна сталь класу А-II (А300), виготовлена в звичайному виконанні, і спеціального призначення Ас-II (Ас300), повинна мати виступи, що йдуть по гвинтових лініях з однаковим заходом по обох сторонах профілю.

Сталь класу А-III (А400) і класів А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000) повинна мати виступи по гвинтових лініях, що мають з одного боку профілю правий, а з іншою – лівий заходи.

Таблиця 4.6

Характеристика арматурної сталі

Клас арматурної сталі	Діаметр профілю, мм	Марка сталі
А-I (А240)	6…40	Ст3кп, Ст3нс, Ст3сп
А-II (А300)	10…40	Ст5сп, Ст5нс
	40…80	18Г2С
Ас-II (Ас300)	10…32	10ГТ
	(36…40)	
А-III (А400)	6…40	35ГС, 25Г2С
	6…22	32Г2Рнс
А-IV (А600)	10…18	80С, 20ХГ2Ц
	(6…8)	
	10…32	
	(36…40)	
А-V (А800)	6…8	23Х2Г2Т
	10…32	
	36…40	
А-VI (А1000)	10…22	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР

Примітки: 1. Допускається виготовлення арматурної сталі класу А-V (А800) зі сталі марок 22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р і 20Х2Г2СР.

2. Розміри, вказані в дужках, виготовляють за погодженням виробника зі споживачем.

Відносні зсуви гвинтових виступів по сторонах профілю, що розділяються подовжніми ребрами, не нормують.

Арматурну сталь класів А-I (А240) і А-II (А300) діаметром до 12 мм і класу А-III (А400) діаметром до 10 мм включно виготовляють в мотках або стержнях, великих діаметрів – у стержнях. Арматурну сталь класів А-IV (А600), А-V(А800) і А-VI (А1000) всіх розмірів виготовляють у стер-

жнях, діаметром 6 і 8 мм – за погодженням виробника із споживачем у мотках.

Арматурну сталь виготовляють з вуглецевої і низьколегованої сталі. Для стержнів класу А-IV (А600) марки сталі встановлюють за погодженням виробника зі споживачем.

4.9.2. Сталь арматурна термомеханічно зміцнена для ЗБК ГОСТ 10884

Арматурну сталь підрозділяють на класи залежно:

– від механічних властивостей – класу міцності (встановленого стандартом нормованого значення умовної або фізичної межі плинності в ньютонах на квадратний міліметр);

– від експлуатаційних характеристик – на зварювану (індекс «С»), стійку проти корозійного розтріскування (індекс «К»).

Арматурну сталь виготовляють класів: Ат400С, Ат500С, Ат600, Ат600С, Ат600К, Ат800, Ат800К, Ат1000, Ат1000К і Ат1200.

За погодженням виробника зі споживачем арматурну сталь класу міцності Ат800 і вище допускається виготовляти гладкою. При цьому використовують такі рекомендовані марки вуглецевої і низьколегованої сталі:

Ат400С Ст3сп, Ст3нс
Ат500С Ст5сп, Ст5нс
Ат600. . . . . 20ГС
Ат600С 25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС
Ат600К. 10ГС2, 08Г2С, 25С2Р
Ат800 . . 20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2, 28С, 25Г2С, 22С, 35ГС, 25С2Р, 20ГС2
Ат800К. 35ГС, 25С2Р
Ат1000. . . . . 20ГС, 20ГС2, 25С2Р
Ат1000К 20ХГС2
Ат1200 . . . . . 30ХС2

Маркування: за відсутності прокатного маркування кінці стержнів або зв'язки арматурної сталі відповідного класу повинні бути пофарбовані незмивною фарбою таких кольорів: Ат400С – білою; Ат500С – білою і синьою; Ат600 – жовтою; Ат600С – жовтою і білою; Ат600К – жовтою і червоною; Ат800 – зеленою; Ат800К – зеленою і червоною; Ат1000 – синьою; Ат1000К – синьою і червоною; Ат1200 – чорною.

4.9.3. Арматурний дріт

Арматурний дріт поділяється на два класи:

В-І – холоднотягнутий низьковуглецевий сталевий дріт, призначений для ненапружуваної арматури (звичайний арматурний дріт);

В-ІІ – хлоднотягнутий вуглецевий сталевий дріт, призначений для напружуваної арматури (високоміцний арматурний дріт).

Арматурні дротяні вироби підрозділяються на такі види:

– сталеві пасма класу «П», що нерозкручуються, тридротяні, семидротяні й дев'ятнадцатидротяні, призначені для напружуваної арматури (арматурні пасма);

– сталеві канати класу «К» двопасмові й багатопасмові, призначені для напружувальної арматури (арматурні канати);

– зварні сітки, призначені для ненапружуваної арматури (зварні арматурні сітки).

Сітки підрозділяються на зварні арматурні з поперечною робочою арматурою і робочою арматурою в обох напрямах, на рулонні та плоскі.

4.10. Кольорові метали та сплави й матеріали на їх основі

Кольорові метали, на відміну від чорних, мають вищу пластичність за нормальних температур, більшу стійкість проти корозії, більші тепло- і електропровідність, мають нижчу температуру плавлення. У будівництві кольорові метали використовують у вигляді сплавів.

Алюміній і його сплави. З усіх кольорових металів у транспортному будівництві найбільш поширеним є алюміній. Його масова частка у земній корі становить 8,8 %, густина – 2,7 г/см^3, температура плавлення – 660 °С. Алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, апатити й алуніти.

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 відливків. Найтиповіші 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.

Ливарні алюмінієві сплави містять підвищену кількість силіцію, міді, магнію, цинку. Серед ливарних алюмінієвих сплавів найпоширеніші силуміни – сплави алюмінію з кремнієм (у кількості 4…13 %). Ці сплави мають високі ливарні якості, малу усадку й пористість, вони тверді й міцні. Ливарні сплави АЛ8, АЛ13 застосовують для виготовлення виробів та деталей, які несуть високі та середні статичні й ударні навантаження та працюють в умовах контакту з корозійноактивними середовищами.

Для будівельних конструкцій використовують сплави з магнієм (магналії), які відрізняються здатністю до зварювання та високою корозійною стійкістю; сплави з магнієм та силіцієм (авіалії); сплави з міддю та магнієм (дюралюміни), що мають високу міцність, але меншу корозійну стійкість порівняно з магналіями.

Сплави алюмінію використовують для виготовлення зварних деталей, трубопроводів, бункерів та інших деталей і виробів.

Вироби та конструкції з алюмінієвих сплавів є антимагнітними, вогнета сейсмостійкими, під час удару не дають іскор. Вони економічні, мають добрий зовнішній вигляд, не потребують додаткової обробки лицьової поверхні, легко обробляються різанням.

Останнім часом алюміній набуває широкого використання в будівництві для виготовлення конструкцій, у тому числі панелей зовнішніх стін та покриттів безперервного типу, підвісних стель, збірно-розбірних та листових конструкцій.

У несучих конструкціях використання алюмінію є невигідним, за винятком багатопрогонних покриттів та експлуатації в умовах дії агресивного середовища.

Вироби з алюмінієвих сплавів у вигляді листового прокату, гнутих і пресованих профілів широко застосовують для виготовлення огороджувальних конструкцій, вікон і дверей. Пресування дає змогу отримати алюмінієві профілі не тільки схожі зі сталевими, а й ряд інших, у тому числі досить складної форми.

Висока стійкість алюмінієвих сплавів до корозії дає змогу використовувати елементи мінімальної товщини в агресивних середовищах, враховуючи тільки вимоги за міцністю (згідно з проектом), а не вимоги захисту проти корозії. Висока холодостійкість алюмінієвих сплавів дозволяє застосовувати їх для будівництва в північних районах.

Як недоліки алюмінієвих сплавів слід зазначити низький модуль пружності ($7{,}1 \cdot 10^4$ МПа), високий коефіцієнт лінійного розширення ($2{,}1 \cdot 10^{-6} \ldots 26 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$) та відносну складність з'єднання конструкцій.

Мідь і її сплави. *Мідь* – це метал густиною 8,94 г/м^3, температура плавлення становить 1083 °С, міцність у відпаленому стані $\sigma_в = 250$ МПа, твердість 45 НВ, пластичність – 45 %. Як конструктивний метал чисту мідь у машинобудуванні використовують рідко. Частіше її застосовують для утворення сплавів (латуні, бронзи, мельхіору, нікеліну тощо).

Латунями називають сплави міді з цинком. Цинк з міддю у кількості до 39 % утворює твердий розчин α-латунь. При більшому вмісті цинку в сплавах утворюється друга фаза – β-твердий розчин. Двофазні латуні називають $(\alpha + \beta)$-латунями. Наявність у структурі міцнішої і твердішої β-фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте знижує її пластичність. Однофазні латуні використовують для обробки тиском, а двофазні – різанням або для лиття.

Бронзи – це сплави міді з такими легуючими елементами, як олово, алюміній, берилій, силіцій. За технологічними властивостями бронзи поділяють на деформівні та ливарні. За хімічним складом бронзи поділяють на олов'яні та безолов'яні. Бронзи, як і латуні, бувають простими і складними.

Серед бронз особливе місце займають берилієві, які містять близько 2 % Be. Після гартування за температури 780 °С і старіння при 300 °С вони мають міцність $\sigma_в = 1300$ МПа, твердість 370 НВ, високу пружність і добру корозійну стійкість. Це дає змогу застосовувати їх для виготовлення таких виробів, як пружини, мембрани, слюсарний інструмент тощо.

Магній і його сплави. Магній – метал з мінімальною серед конструкційних металів густиною 1,74 г/см^3. У зв'язку з малою міцністю (у литому стані $\sigma_в = 30$ МПа) і малою корозійною стійкістю технічно чистий магній як конструкційний матеріал не використовують.

Магнієві сплави містять до 10 % A1, 2,5% Mn, 3% Zn. Іноді у сплави вводять домішки церію, кадмію, берилію, а останнім часом – цирконій, торій, неодим. Алюміній і цинк поліпшують механічні властивості, манган підвищує корозійну стійкість, інші домішки підвищують пластичність і теплостійкість сплаву.

Титан і його сплави. Титан належить до легких металів, його густина 4,5 г/см^3. Він має міцність $\sigma_в = 300…500$ МПа, відносне подовження до 30 %, твердість 115…165 НВ і високу корозійну стійкість. Механічні властивості титану поліпшують легуванням його елементами A1, Cr, Mo, Nb, V, Zr, Sn тощо. Шкідливими домішками в титані та його сплавах є гази (O_2, N_2, H_2) і вуглець.

Незважаючи на відносно високу температуру плавлення титану (1 168 °С), титанові сплави тривалий час можуть експлуатуватися лише за температури до 550 °С. Пояснюється це тим, що з підвищенням температури титан активно поглинає гази, у тому числі водень, починаючи з $T = 50…70$ °С; кисень з $T = 400…500$ °С та азот і вуглекислий газ з $T = 600…700$ °С.

У зв'язку з високою хімічною активністю сплави титану зварюють в інертному середовищі (в аргоні). Таке саме середовище (або вакуум) потрібне для плавлення та утворення виливків з титанових сплавів.

Нікель і його сплави. Нікель – це метал білого кольору густиною 8,9 г/см^3, температура плавлення становить 1 455 °С. Це однин із найважливіших промислових металів. Чистий нікель має високу міцність ($\sigma_в = 400…500$ МПа), пластичність (видовження становить 50 %), є хімічно стійким.

Сплави на основі нікелю мають підвищену міцність, жаро- та корозійну стійкість, особливі електричні та магнітні властивості.

Корозійностійкі сплави нікелю широко використовують у хімічному апаратобудуванні, різноманітних галузях техніки, а також у побуті.

Жаростійкі сплави нікелю призначені для експлуатації за температури до 900 °С. Другим основним компонентом у сплавах є хром, тому їх називають ніхромами, використовують для виготовлення камер згоряння, деталей газових турбін, газопроводів, хімічної апаратури.

Сплави вольфраму з Mo, Re, Hf, Ni використовують для виготовлення екранів печей, високотемпературних термопар, електричних контактів, електродів для зварювання металів у газових середовищах. Робоча температура сплавів вольфраму становить 2 200 °С, а короткочасне використання можливе за температури до 2 750 °С.

Спечені порошкові матеріали поділяють на конструкційні, інструментальні та електротехнічні.

Конструкційні порошкові матеріали – це насамперед антифрикційні та фрикційні матеріали, пористі матеріали для фільтрів.

Антифрикційні матеріали – композиції, які отримують пресуванням та спіканням порошків заліза або бронзи з 2…5 % графіту. Умови пресування та спікання вибирають такими, щоб пористість матеріалів становила близько 15…30 %. Після спікання матеріали просочують мінеральним маслом.

Своєрідна структура (графіт і заповнені маслом пори) забезпечує цим матеріалам малий коефіцієнт тертя, високу стійкість до спрацювання і здатність працювати в багатьох випадках без додаткового змащування.

Застосовують їх для виготовлення підшипників ковзання різного устаткування і приладів.

Фрикційні матеріали мають високий коефіцієнт тертя, тому їх застосовують для виробництва деталей гальмівних пристроїв, дисків зчеплення тощо. Виготовляють ці матеріали на залізній і мідній основах з домішками свинцю, графіту, азбесту, кремнезему та ін. Матеріали на залізній основі призначені для роботи в умовах сухого тертя, а на мідній – у масляному середовищі.

Інструментальні порошкові матеріали – це тверді сплави. Виготовляють їх із порошків карбідів WC, TiC і TaC з додаванням порошку кобальту. Ці матеріали відрізняються твердістю, стійкістю до спрацювання, міцністю, теплостійкістю, що досягає 900…1000 °С. За своїми різальними властивостями інструменти, оснащені твердими сплавами, значно перевершують інструменти навіть із легованих інструментальних сталей і допускають обробку зі швидкістю різання до 800 м/хв.

Тверді сплави поділяють на три групи: вольфрамові ВК, титановольфрамові – ТК і титанотанталовольфрамові – ТТК. Ці сплави складаються з відповідних типів карбідів, зцементованих кобальтом.

Із збільшенням вмісту кобальту в сплаві міцність і в'язкість його підвищується, а твердість і стійкість до спрацювання зменшується. Сплави з великим вмістом кобальту застосовують для виготовлення інструментів, які призначені для роботи при великих і нерівномірних навантаженнях і, навпаки, сплави з малим вмістом кобальту – для швидкорізальних інструментів, що працюють з невеликим навантаженням.

Серед інструментальних порошкових матеріалів окрему групу становлять *металокерамічні матеріали*. Їх виготовляють з оксиду алюмінію (99 %) з додаванням оксиду магнію – ЦМ-332, з оксиду алюмінію (до 80 %) і карбідів тугоплавких металів – ВОК-60, В-3, з нітриду силіцію з іншими домішками – силеніт-Р.

З цих матеріалів, як і з твердих сплавів, виготовляють пластинки певних розмірів і форми для оснащення різального інструменту.

Основною перевагою металокераміки є висока теплостійкість (до 1200 °С), це дає змогу обробляти різні матеріали зі значно більшими швидкостями, ніж інструментами з твердих сплавів. Проте слід враховувати, що металокераміка відзначається також великою крихкістю та малим опором згину. Тому її використовують переважно для інструментів чистової обробки різанням без ударів.

Електротехнічні порошкові матеріали призначені для виготовлення розривних контактів (на основі порошків тугоплавких металів (W, Mo)

і металів високої електропровідності (Cu, Ag) та ковзних контактів (на основі графіту і порошків міді або бронзи).

З магнітних матеріалів методом порошкової металургії виготовляють магнітодіелектрики, які є композиціями порошків заліза високої чистоти, пермалю або інших матеріалів з різними діелектриками, магнітотверді сплави типу алніко і магніко, а також ферити – матеріали, які одержують із оксиду заліза Fe_2O_3 і оксидів деяких інших металів – NiO, MnO, ZnO.

4.11. Проблеми довговічності та захист металевих виробів від корозії

Руйнування металів і сплавів внаслідок хімічного та електрохімічного впливу зовнішнього середовища називається *корозією*. Стійкими до корозії є деякі рідкісні метали, наприклад золото, платина.

Розрізняють хімічну та елетрохімічну корозію. При хімічній корозії процес руйнування металу не супроводжується виникненням електричного струму. Залізо та його сплави розчинюються в сульфатній, хлоридній (хлористоводневій) та нітратній кислотах. Міцна нітратна кислота та луги низьких концентрацій пасивують сплави заліза (тобто утворюють захисну плівку), а висококонцентровані розчини лугів, особливо з підвищенням температури, руйнують їх.

За характером середовища корозія може бути: газовою, атмосферною, рідкою, а за характером руйнування – рівномірною та нерівномірною. Електрохімічна корозія пов'язана з виникненням пари гальванічних елементів. Розрізняють макро- та мікрокорозію. Макрокорозія пов'язана з розчиненням металу у зв'язку з більшою пружністю розчинення (ніж у другого металу, що входить до складу утвореного гальванічного елемента). Мікрокорозія виникає внаслідок неоднорідності складу металу або напружень, спостерігаються місце при різних видах обробки металів. Наприклад, корозії зазнаватимуть метали однакового складу, якщо один з них наклепаний, причому він руйнується першим. Отже, внаслідок структурної неоднорідності металева деталь, занурена в розчин, являє собою гальванічну пару, у якій одна зі структурних складових піддається розчиненню. Щоб запобігти корозії, слід застосовувати метали однорідної структури, уникати нерівномірного надклепування та контактів з металевими сплавами, що мають різні пружності розчинення, ізолювати металеві деталі від впливу блукаючих струмів, що сприяють електрокорозії.

У результаті дії корозійних процесів може відбуватися рівномірне чи нерівномірне руйнування металу, а також міжкристалічна корозія, коли метал під впливом зовнішнього середовища руйнується по межах зерен, внаслідок чого набуває підвищеної крихкості.

Міжкристалітної корозії зазнають сплави алюмінію та нержавіючі сталі аустенітного класу, якщо вони містять підвищену кількість вуглецю, а також коли немає відповідної термічної обробки. Для захисту сталі від цього типу корозії використовують її легування, наприклад, титаном, у кількості не більше 0,8 %.

При одночасному впливі змінних навантажень і корозійного середовища знижується границя витривалості металу, наявна корозійна втома.

Як основні способи запобігання корозії металів слід розглядати: застосування стійких сплавів, захисних покриттів та електрохімічних методів, у тому числі катодного захисту.

Захисні покриття можуть бути металеві, лакові, фарбові, неорганічні (оксидні, фосфатні, сульфатні, цементні). Також використовують органічні й неорганічні накладки (гума, пластмаси, скло).

Захисні покриття наносять термомеханічними, термохімічними, хімічними, гальванічними, дифузійними способами, а також методом металізації.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть які визначальні властивості металів як матеріалів для будівельних конструкцій та обладнання.
2. Охарактеризуйте будову металів. Що називається поліморфізмом металів?
3. Назвіть основні види структур металів. Дайте короткий огляд видів структур.
4. Які дефекти будови характерні для металів і як вони впливають на їх фізико-механічні властивості?
5. Що називається дислокацією? Які існують види дислокацій?
6. Охарактеризуйте процес кристалізації металів і сплавів.
7. Що називається сплавом? Які різновиди сплавів існують.
8. Які основні фази розрізняють у структурі залізовуглецевих сплавів, умови їх існування та перетворення?
9. Що можна визначити за діаграмою залізовуглецевих сплавів?
10. Назвіть основні компоненти залізовуглецевих сплавів? Дайте їм характеристику.

11. Як змінюються властивості залізовуглецевих сплавів у міру збільшення в них вуглецю? Як впливає температура на склад та структуру залізовуглецевих сплавів?
12. Дайте характеристику кривій охолодження металів. Назвіть основні типи елементарних кристалічних ґрат?
13. Що називається сталлю і чавуном? Основні їх види та характеристики.
14. З якою метою проводять термічну обробку металів? Назвіть основні види термічної обробки металів і дайте їм характеристику.
15. Наведіть класифікацію сталей.
17. Вуглецеві сталі. Класифікація, маркування, призначення.
18. Сталь для мостобудування. Наведіть їх характеристику, особливості складу та структури.
19. Які ви знаєте постійні домішки в сталях? Яка їх природа і вплив на якість сталі?
20. Модифікування структури та властивостей сталі. Леговані сталі, легуючі елементи, їх види, вміст та вплив на якість сталі.
21. Які види прокату ви знаєте? Яке їх застосування у транспортному та цивільному будівництві?
22. Види арматурної сталі та дроту.
23. Назвіть найпоширеніші сплави в будівництві.
24. Основні механізми розвитку корозії сталі та шляхи захисту від руйнування.

Список рекомендованої літератури

1. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 534 с.
3. Артемьев И. Н. Алюминий в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1985.
4. Геллер Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1983. – 347 с.
5. Бабичев А. П. Физические величины. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 232 с.
6. Бялж О. М. Металознавство / О. М. Бялж, В. С. Черненко, В. М. Писаренко и др. – К.: Политтехника, 2001. – 374 с.

РОЗДІЛ 5

Керамічні вироби

5.1. Загальні відомості

Керамічні вироби виготовляють із природних глин, а також з їх сумішей з органічними й мінеральними домішками. Це виробництво одне з найдавніших. Технологічний процес складається з трьох етапів – формування, сушіння й випалу. В Україні керамічні вироби відрізнялися не тільки побутовим і будівельним призначенням, але виконували й високоестетичну роль.

Керамічні вироби поділяють на дві групи – пористі й щільні. Перші характеризуються водопоглинанням більше 5 %, другі – менше 5 %. До пористих виробів належать глина звичайна, пориста й порожниста цегла, порожнисті стінові камені, дахова черепиця, облицювальні плитки й труби; до щільних виробів – плитки для підлог і дорожня цегла. Санітарно-технічна кераміка включає як пористі (фаянс), так і щільні (санітарний фарфор) вироби.

Висока міцність, довговічність і великий асортимент виробів дають можливість широко використовувати їх у процесі будівництва всіх частин будівель – від фундаменту до даху. Однак керамічні вироби мають один істотний недолік – підвищену в порівнянні з іншими будівельними матеріалами крихкість.

Після випалу керамічні вироби відразу набувають необхідної поверхні як за кольором, так і за фактурою, яку можна зробити матовою (ангобовані вироби) чи блискучою склоподібною (глазуровані вироби). Кольорові керамічні вироби можна одержувати додаванням у біловипалювану глиняну масу оксидів різних металів, наприклад заліза, кобальту й ін. У процесі виготовлення полегшених керамічних виробів з підвищеною пористістю в сиру глину вводять пороутворювальні домішки (речовини, що виділяють під час випалу газ, – вуглекислоту), а також речовини, які вигоряють під час випалу.

5.2. Сировина для виготовлення керамічних виробів

Основною сировиною для керамічного виробництва є різні глини, а також шамот, кварцовий пісок, шлак і органічні домішки (деревна стружка, вугільний пил, соняшникова лузга), що вигорають під час випалу.

Глиною називаються землисті мінеральні маси чи землисті уламкові гірські породи, здатні при змішуванні з водою утворювати пластичне тісто, яке після висихання зберігає надану йому форму, а після випалу набуває необхідної твердості й міцності.

Глини утворилися в результаті вивітрювання вивержених польовошпатних гірських порід. Процес вивітрювання гірської породи складається з механічного руйнування та хімічного розкладання. Механічне руйнування відбувається в результаті перепадів температури, впливу води й вітру, хімічне розкладання – під впливом різних реагентів, наприклад води і вуглекислоти, на польовий шпат, що приводить до утворення мінералу каолініту $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Найбільш чисті глини, що складаються переважно з каолініту, називають *каолінами*. Звичайні глини відрізняються від каолінів хімічним і мінералогічним складом, тому що крім каолініту вони містять кварц, слюду, польові шпати, кальцит, магнезит та ін.

Класифікація глин. За умовами утворення глини поділяють на залишкові й перенесені. *Залишкові* глини первинних відкладів звичайно засмічені частинками гірської породи, з якої вони утворилися. *Перенесені*, чи осадові, глини більш дисперсні, вільні від великих фракцій материнських порід, але можуть містити пісок, вапняк, залізисті сполуки та ін.

Стосовно дії високих температур розрізняють глини трьох груп: вогнетривкі, тугоплавкі й легкоплавкі.

Вогнетривкі глини мають вогнетривкість не нижче 1580 °С. Це чисті каолінітові глини з малою кількістю механічних домішок, які тією чи іншою мірою знижують вогнетривкість. Вони мають велику дисперсність і дуже високу пластичність. Глини, що мають після випалу білий колір, називають фарфоровими, їх застосовують для виробництва фаянсу й фарфору.

Тугоплавкі глини мають вогнетривкість від 1350 до 1580 °С. Вони містять невелику кількість домішок кварцу, польового шпату, слюди, карбонатів кальцію і магнію; застосовують їх головним чином для виробництва облицювальної цегли, плиток для підлог, каналізаційних труб і т. д.

Легкоплавкі глини мають вогнетривкість нижче 1350 °С. Вони найбільш різноманітні за складом: мають домішки піску, вапняку, оксидів заліза, слюди, органічних речовин і т. д. Їх застосовують для виробництва цегли, блоків, черепиці й аналогічних виробів.

Хімічний склад глин. Глини складаються з різних оксидів, вільної і хімічно зв'язаної води й органічних домішок. Оксидами, що утворюють глини, є глинозем Al_2O_3, а також кремнезем SiO_2, оксиди заліза Fe_2O_3, кальцію CaO, натрію Na_2O, магнію MgO і калію K_2O. Глинозем впливає на властивості керамічних виробів і є основною складовою глини. Чим вище вміст глинозему, тим вище пластичність і вогнетривкість глини. Кремнезем є основним (за кількістю) оксидом, що утворює глини, кількість його досягає 60…78 %. Крім оксиду заліза до складу глин входять закис заліза FeO, пірит FeS_2 та інші сполуки заліза. Від їх кількості залежить колір керамічних виробів і температура спікання черепка. Найбільш щільний черепок одержують за наявності в глині закису заліза.

Вміст оксиду кальцію (у вигляді карбонатів і сульфатів кальцію) у деяких глинах досягає 25 %. Ці сполуки кальцію скорочують період спікання глин, що погіршує умови випалу керамічних виробів. Таким же чином на випал виробів впливають оксид магнію, що міститься в глинах у вигляді карбонату $MgCO_3$, і доломіти $MgCO_3 \cdot CaCO_3$. У незначній кількості як домішка в глинах зустрічається сірчистий ангідрит SO_3. Однак якщо він знаходиться в сполуках з магнієм чи натрієм, то може шкідливо впливати на міцність виробів. Корисними домішками можна вважати оксиди калію і натрію, що служать плавнями: вони знижують температуру випалу виробів і надають їм підвищеної міцності. Оксиди інших металів, наприклад марганцю, титану й інших, містяться в дуже невеликій кількості й мало впливають на властивості глин. Взагалі характеристики глин залежать не тільки від кількісного вмісту тих чи інших оксидів, але й від їх співвідношення.

Домішки дуже впливають на властивості глин. Так, при підвищеному вмісті вільного кремнезему, не зв'язаного з Al_2O_3, у глинистих мінералах, зменшується сполучна здатність глин, підвищується пористість випалених виробів і знижується їх міцність. З глин, що містять SiO_2 більше 80…85 % і Al_2O_3 менше 6…8 %, керамічні матеріали отримати неможливо. Сполуки заліза, які є сильними плавнями, знижують вогнетривкість глини. Вуглекислий кальцій $CaCO_3$ також знижує вогнетривкість, зменшує інтервал спікання й збільшує усадку під час випалу, підвищує пористість і цим знижує міцність і морозостійкість виробів.

Вода міститься в глинах як у вільному, так і хімічно зв'язаному вигляді (входить до складу глиноутворювальних мінералів). Наявність у глині тих чи інших мінералів дає можливість судити про кількість хімічно зв'язаної води і, отже, про відношення до сушіння й випалу. Від вмісту органічних речовин, які містяться в глині у вигляді залишків рослин і гумусових речовин, також залежать втрати маси глин під час випалу і, таким чином, усадка виробів. Крім того, підвищена кількість органіки знижує вогнетривкість глин. Знання хімічного складу глин дає можливість визначити ступінь придатності їх для тих чи інших керамічних виробів.

Основні властивості глин. Найважливішими властивостями глин є пластичність, повітряна усадка і вогнетривкість.

Пластичність – найважливіша технологічна властивість глин, що зумовлює можливість формування з них різних керамічних виробів. Ступінь пластичності залежить від мінералогічного й гранулометричного (зернового) складу, форми й характеру поверхні зерен (шорстка чи обкатана), а також від вмісту розчинних солей, органічних домішок і води.

До складу глини входять різні за крупністю частинки: 5…0,14 мм – піщані фракції, 0,14…0,005 мм – пилоподібні фракції і менше 0,005 мм – глинясті фракції. Чим більше вміст глинистих частинок (дрібніше 0,001 мм), тим вище пластичність. Вогнетривкі глини є високодисперсними, вміст в них фракцій менше 0,001 мм становить 60…80 %. У легкоплавких глинах переважають фракції 0,01…0,001 мм.

Існує багато методів визначення пластичності. Найбільшого поширення набув метод, що характеризує пластичність за значенням повітряної усадки глиняного тіста й кількістю води замішування, необхідної для одержання легкоформувальної маси. Для більш пластичних глин потрібна більша кількість води і вони дають більшу усадку, ніж малопластичні глини.

За ступенем пластичності глини поділяють на високопластичні, що мають водопотребу більше 28 % з повітряною усадкою 10…15 %, середньопластичні – водопотреба 20…28 %, повітряна усадка 7…10 % і малопластичні – водопотреба менше 20 %, повітряна усадка 5…7 %.

Пластичність глини можна підвищувати додаванням більш пластичної глини, а також шляхом відмулювання, тобто звільнення глини від домішок піску. Механічна обробка і вилежування також підвищують пластичність глин. Зниження пластичності досягається уведенням спіснювальних домішок.

Повітряною усадкою глини називають зменшення її об'єму, що відбувається під час сушіння відформованих виробів в умовах нормальної

(кімнатної) температури повітря, внаслідок видалення з неї води і зближення глинистих частинок. Значення усадки виражають у відсотках, і для цегельних глин воно коливається в межах 4…15 %.

Властивість глини, не розплавляючись, протистояти впливу високих температур називають *вогнетривкістю*. Визначають її за допомогою керамічних піроскопів (конусів Зегера), що мають форму тригранної піраміди висотою 30 мм зі стороною в основі 8 мм, а біля вершини 2 мм. Піроскопи встановлюють на підставку і вводять у піч. Характеризують вогнетривкість тією температурою, за якої конус розм'якшується й осідає, дотикаючись своєю вершиною підставки. Для визначення вогнетривкості глини з неї виготовляють зразок, подібний до конуса Зегера, встановлюють його разом з декількома конусами, що мають різні температури вогнетривкості, і нагрівають. Вогнетривкість глини відповідає вогнетривкості того конуса, який торкнувся своєю вершиною підставки одночасно з випробуваним зразком. Різниця між температурою початку спікання й вогнетривкістю глини називається інтервалом спікання, він знаходиться в межах 100…150 °С у чистих каолінових глин і 25…50 °С у глин, що використовуються для звичайної глиняної цегли.

Для надання різних властивостей як глинам, так і одержуваним з них керамічним виробам у глину вводять різні домішки. Коротко розглянемо найбільш застосовні з них.

Спіснювальні домішки. У високопластичні глини, для замішування яких потрібна велика кількість води (до 28 %) і які внаслідок цього дають велику лінійну усадку під час сушіння і випалу (до 15 %), необхідно вводити домішки, тобто непластичні речовини. При цьому значно зменшується кількість води, необхідної для замішування глиняного тіста, що зменшує усадку (2…6 %).

Як спіснювальні домішки найчастіше застосовують речовини неорганічного походження – кварцовий пісок, шамот (випалену й подрібнену глину), бій виробів, мелений шлак і золу. Вони не тільки зменшують усадку виробів, але й поліпшують формувальні властивості маси, полегшують технологічний процес виробництва й усувають брак. У ряді випадків покращуються фізичні властивості виробів, наприклад термостійкість і теплопровідність.

Поротвірні домішки. Для отримання виробів з меншою середньою густиною і підвищеною пористістю застосовують органічні поротвірні домішки. Найчастіше використовують деревну стружку, вугільний дрібняк і вугільний порошок, торф'яний пил та ін. Застосовують також речовини, які виділяють за високої температури випалу вуглекислоту, що приводить до утворення пор, – крейда, доломіт і глинистий мергель (у ме-

леному вигляді). Усі ці домішки мають такі ж властивості, як і спіснювальні.

Спеціальні домішки. Для надання керамічним виробам спеціальних властивостей вводять відповідні домішки. Наприклад, для виготовлення кислототривких виробів і облицювальних плиток до глин додають піщані суміші, замішані на рідкому склі чи лугах. За необхідності зниження температури випалу деяких виробів використовують флюси (плавні) – мелений польовий шпат, руди, що містять залізо, пісковик тощо. Домішками, що підвищують пластичність формувальної маси, є у невеликих дозах (0,1…0,3 %) поверхнево-активні речовини, наприклад сульфітно-дріжджова бражка. Для підвищення якості цегли вводять пірофосфати й поліфосфати натрію.

Як спеціальні домішки можна розглядати й оксиди деяких металів, що додаються в масу біловипалюваних глин для фарбування її у певний колір.

Глазурі й ангоби. Для підвищення санітарно-гігієнічних властивостей, зниження водопроникності й поліпшення зовнішнього вигляду деякі види керамічних виробів покривають декоративним шаром – глазур'ю чи ангобом. *Глазур* являє собою склоподібне покриття товщиною 0,1…0,2 мм, нанесене на виріб і закріплене випалом за високої температури. Глазурі дуже різноманітні за властивостями, зовнішнім виглядом і хімічним складом.

У недавньому минулому були поширені дуже міцні свинцеві глазурі. Останнім часом їх заміняють нешкідливими стронцієвими, цирконієвими й ін. Ці глазурі не поступаються свинцевим за якістю і цілком відповідають усім поставленим до них вимогам. Кольорові глазурі одержують шляхом уведення оксидів і солей різних металів чи спеціальних вогнетривких фарб. Глазурі можуть бути прозорими і непрозорими (глухими). До їх складу додають 6 % двоокису олова.

За способом приготування глазурі розділяють на сирі й фритовані. Перші одержують помелом і змішуванням усіх компонентів, другі – плавленням непластичних компонентів з подальшим помелом випаленої маси (фрити) із пластичними складовими.

Тугоплавкі, багаті кремнеземом польовошпатові глазурі застосовують для покриття виробів із твердим черепком, наприклад фарфору. Вони складаються з польового шпату, кварцу, крейди, мармуру, пегматиту, каоліну й глини з додаванням тонкомолотого фарфорового бою.

До глазурей усіх видів і призначень висувають основну вимогу – узгодженість температурних коефіцієнтів розширення глазурі й керамічного черепка виробу, що покривається.

Ангобом називають покриття з тонкого шару біловипалюваної чи кольорової глини. Ангоб випалюють до повного спікання з виробом. Для прискорення спікання додають плавні, наприклад, скляний бій. Зв'язок ангобу з виробом, що покривається, тим міцніший, чим тонший його помел і чим ближче склад маси виробу й ангобу. Основна вимога до ангобу – однакова усадка маси виробу і шару ангобу під час сушіння і випалу.

5.3. Технологічні основи виробництва керамічних виробів

Незважаючи на те що керамічні вироби відрізняються великою різноманітністю призначення, формою і фізико-механічними властивостями, виробництво їх складається з таких основних процесів: видобування глини в кар'єрах; підготовка маси, що полягає в дробленні глини й інших компонентів суміші, зволоженні водою й перемішуванні маси; формування виробів з приготовленої маси; сушіння відформованих виробів; випалювання попередньо висушених виробів. Для окремих виробів можуть відрізнятися лише технологічні схеми цих процесів, наприклад, різні способи пресування цегли – пластичний і напівсухий, різні способи сушіння – природне і штучне. Крім того, можуть бути уведені додаткові процеси, як, наприклад, покриття виробів глазур'ю. Докладніше технологічні процеси будуть викладені в ході опису основних видів керамічних виробів.

Заводи з виготовлення керамічних виробів часто будують поблизу родовища глин, і тоді глиняний кар'єр є складовою частиною заводу. Сировину розробляють у кар'єрах відкритим способом за допомогою екскаваторів. Серед кар'єрних робіт виділяють підготовчі – розкриття й підготовка родовищ, видобувні – видобування глини й транспортні – доставка глини до місця переробки, а порожньої породи у відвали. Глину перевозять автосамоскидами чи мотовозами з вагонетками. До кар'єрних робіт відносять також природну обробку глини, проведену в необхідних випадках, – вилежування й виморожування.

Якість керамічних виробів цілком залежить від складу й чистоти сировини, тому необхідний постійний контроль кар'єрних робіт і якості сировини, що видобувається. Заводські лабораторії повинні систематично аналізувати сировину, що надходить, і залежно від її якості підбирати склад шихти, найбільш сприятливий для даного виду виробів.

Підготовка маси складається зі збагачення, дроблення, тонкого помелу матеріалів і подальшого ретельного перемішування їх до одержання однорідної маси. При пластичному способі формування масу зволожують.

Для механічної обробки сировини застосовують різне обладнання. Для сухого дроблення глини використовують вальці дробарки різних конструкцій. Найбільшого поширення набули вальці. Їх поділяють на дві групи – вальці грубого помелу (рис. 5.1) і вальці тонкого помелу. Для мокрого помелу глини застосовують бігуни (рис. 5.2). Ця машина подрібнює глину і домішки, змішує й ущільнює масу з одночасним зволоженням.

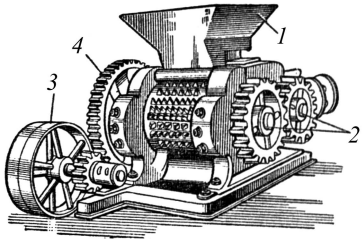


Рис. 5.1. Вальці грубого помелу глини:
1 – завантажувальна лійка; *2* – вальці; *3* – привід; *4* – приводна шестірня

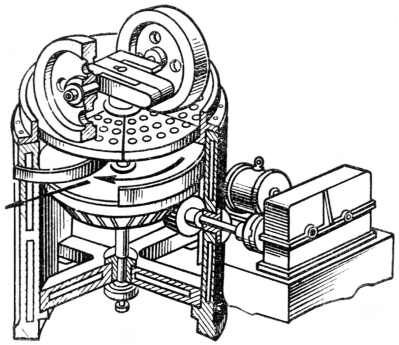


Рис. 5.2. Бігуни мокрого помелу

Для кращого перемішування глиняної маси після помелу й додаткового подрібнення компонентів використовують глином'ялки (рис. 5.3), на яких отримують однорідну пластичну масу, зволожену до потрібної межі.

Формують керамічні вироби в основному двома способами – пластичним і напівсухим. При пластичному способі масу зволожують до 20…25 % і формують вироби на гідравлічних чи механічних пресах; при напівсухому масу зволожують до 8…12 % і формують вироби пресуванням. Залежно від форми й розмірів виробів використовують різне як за принципом дії, так і за потужністю формувальне обладнання. Вироби, відформовані пластичним способом, потрібно сушити. При напівсухому способі формування вироби

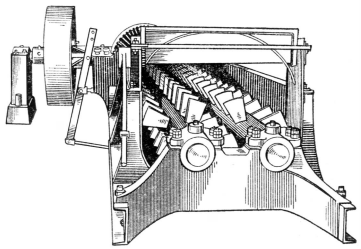


Рис. 5.3. Двовальцьова глином'ялка

мають незначну вологість і під час випалювання не розтріскуються, тому необхідність у сушінні відпадає.

Процес сушіння – це комплекс явищ, пов'язаних з випаровуванням вологи з поверхні виробу, переміщенням вологи з його внутрішньої частини до поверхні й теплообміном між матеріалом і навколишнім середовищем. Тривалість сушіння багато в чому залежить від швидкості переміщення вологи у виробах від внутрішніх до зовнішніх шарів, а останнє визначається розмірами капілярів і в'язкістю води. Одночасно з видаленням вологи частки матеріалу зближаються силами поверхневого натягу й відбувається зменшення об'єму глиняних виробів. Усадка кожної маси має певну границю, і подальше скорочення об'єму не відбувається, незважаючи на те що фізично зв'язана вода до цього моменту повністю ще не випаровується. Більш пластичні глини дають значну усадку.

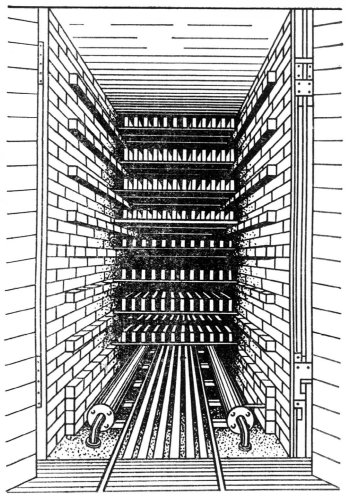


Рис. 5.4. Камерна сушарка

Природне сушіння сирцю залежить від погодних умов, тому воно не завжди може забезпечити безперебійну роботу заводу. На підприємствах з великою продуктивністю застосовують штучне сушіння в сушарках періодичної чи безперервної дії. Як джерело тепла використовують гази випалювальних печей чи гаряче повітря. Серед сушарок періодичної дії великого поширення набули камерні (рис. 5.4), а безперервної дії – тунельні (рис. 5.5).

Для природного сушіння виробів використовують сушильні сараї (навіси), у яких на рівній, добре ущільненій підлозі чи на стелажах встановлюють сирі вироби. Тривалість сушіння залежить від температури, вологості й рухливості зовнішнього повітря, кліматичних умов району і становить 6…15 діб. У зв'язку з тим що термін сушіння виробів у штучних сушарках не перевищує 70 год (а в більшості випадків він значно менший), природне сушіння виробів у даний час зберегли тільки на дрібних цегельних заводах із сезонним циклом виробництва. Додаткові витрати на штучне сушіння виробів цілком окупаються значним скороченням циклу виробництва.

Випалювання виробів – найважливіший і завершальний процес у виробництві керамічних виробів. Його можна розділити на три періоди: прогрівання сирих виробів, власне випалювання й регульоване охолодження виробів. У першому періоді з випалюваних виробів видаляється гігроскопічна і гідратна вода, частково розкладаються карбонати, вигоряють органічні домішки й рівномірно прогрівається вся маса виробу. На початку нагрівання за температури 100…120 °С видаляється фізично зв'язана вода, у температурному інтервалі 450…650 °С – хімічно зв'язана вода, при чому глинисті мінерали руйнуються і глина переходить в аморфний стан. Подальше підвищення температури випалювання приводить до розплавлення частини матеріалу, у результаті чого відбувається спікання маси й утворення керамічного черепка. Цьому відповідає температура 800…1000 °С для легкоплавких глин і 1150…1200 °С для тугоплавких. Температурний режим і тривалість випалювання залежать від складу застосованої шихти. У разі підвищення температури випалювання одержують вироби з більшою механічною міцністю, однак надмірне підвищення температури може викликати їх деформацію.

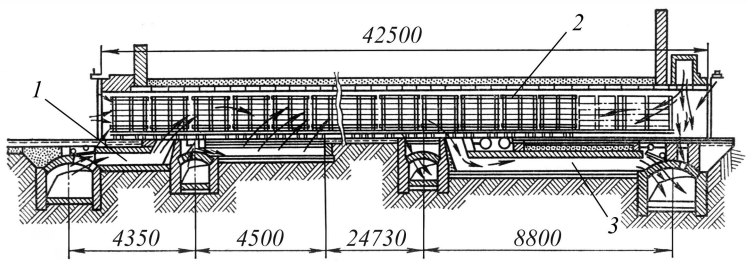


Рис. 5.5. Тунельна сушарка:
1 – канали, що подають нагріте повітря; *2* – сушильний тунель;
3 – канали, що відводять відпрацьований теплоносій

Після випалювання вироби охолоджують. Цей процес дуже відповідальний, при цьому не можна допускати різкої зміни температур і доступу холодного повітря, під дією яких утворюються тріщини. На початковій стадії температуру знижують повільно й лише після досягнення 650 °С процес охолодження можна прискорити.

5.4. Характеристика керамічних виробів і матеріалів

Великий асортимент керамічних виробів, що випускаються промисловістю для використання в будівництві, можна поділити на такі групи залежно від їх призначення: стінові, облицювальні, покрівельні, вироби для підлог, дорожні, теплоізоляційні, вогнетривкі, кислототривкі та санітарно-технічні.

Стінові матеріали. Основними в цій групі є глиняна звичайна цегла і так звана ефективна цегла – глиняна порожниста й пориста пластичного пресування, глиняна порожниста напівсухого пресування й будівельна легка. Камені керамічні порожнисті пластичного формування також застосовують як стіновий матеріал.

Залежно від середньої густини (кг/м^3) у висушеному до постійної маси стані стінові керамічні матеріали розділяють на чотири класи:

Клас А . . . . . 700…1000.
Клас Б. . . . . 1000…1300.
Клас В . . . . . 1300…1450.
Клас Г . . . . . більше1450.

Як стінові матеріали використовуються також великорозмірні віброцегляні панелі заводського виготовлення.

Облицювальні вироби. Керамічні вироби, які застосовують для облицювання будівель, поділяють на дві групи: для облицювання фасадів будівель і для внутрішнього облицювання приміщень.

Зараз основні види облицювальних керамічних матеріалів для фасадів будівель – лицьова цегла, камені, плити та плитки. Цегла й камені виготовляють суцільними й порожнистими. Плити залежно від конструкції, способів виготовлення та кріплення підрозділяють на закладні, які встановлюються одночасно з кладкою стін, і приставні, які встановлюють на розчині після зведення й осідання стін. Фасадні плити виготовляють різної форми: плоскі – для облицювання площини стін, кутові – для облицювання зовнішніх кутів, укосів і прорізів і перемичні – для облицювання перемичок над віконними й дверними отворами. Плитки фасадні малогабаритні випускають із зовнішньою гладкою і фактурною поверхнею, на тильній їх стороні роблять поглиблення для кращого зчеплення з цементним розчином. Для прискорення опоряджувальних робіт тонкі фасадні плитки наклеюють на паперову основу у вигляді килимів з різним малюнком. Такі плитки називаються килимова кераміка.

Керамічні матеріали для внутрішнього облицювання приміщень не зазнають дії від'ємних температур і різких змін погоди, тому вони не повинні відповідати усім вимогам, встановленим до матеріалів для зовнішнього облицювання будівель. Однак точність розмірів, правильність форми й однакове фарбування набувають особливо важливого значення. Внаслідок цього для матеріалів внутрішнього облицювання передбачені більш жорсткі вимоги щодо зовнішнього вигляду. Для внутрішнього облицювання приміщень застосовують в основному керамічні плитки різної форми й товщини.

Керамічними плитками для підлог настилають підлоги у вестибулях громадських будівель, лазнях, пральнях, приміщеннях лікарень, на підприємствах хімічної промисловості, у санітарних вузлах. Ці плитки практично водонепроникні, тобто надійно захищають несучі конструкції від зволоження, не вбирають рідину, добре протистоять дії кислот і лугів, мають високий опір стиранності, їх легко мити.

Санітарно-технічні вироби та каналізаційні труби. Розрізняють три групи санітарно-технічних виробів: із твердого фаянсу, що відрізняються пористим черепком, із санітарного фарфору, що характеризуються спеченим черепком, і з напівфарфору, що мають напівспечений черепок.

Санітарно-технічні вироби повинні мати високу механічну міцність і теплостійкість. Для них необхідна високоякісна сировина, строга відповідність маси встановленій рецептурі й точне дотримання технологічного режиму виготовлення.

До санітарно-технічних виробів відносять обладнання санітарних вузлів і кухонь житлових, громадських і промислових будівель. Асортимент їх дуже різноманітний – ванни, умивальники, унітази й ін. Вироби повинні бути правильної форми, не мати прогинів, скривлень і тріщин. На них наноситься рівномірний покрив блискучої глазурі (білої чи кольорової), стійкої проти утворення дрібних тріщин (цека). При простукуванні вироби мають видавати чистий (не деренчливий) звук, що вказує на випал їх до відповідної температури й на відсутність тріщин.

Каналізаційні труби діаметром 150…600 мм мають щільний спечений черепок. Їх покривають глазур'ю зсередини і зовні. Такі труби відрізняються великою стійкістю до дії агресивних вод і блукаючих електричних струмів. Виготовляють їх на основі місцевих матеріалів, тому вони мають невисоку вартість у порівнянні з трубами інших видів.

Інші керамічні вироби. Як покрівельний матеріал застосовують глиняну черепицю, що являє собою спечений виріб у вигляді прямокутної

плитки чи жолоба. Випускають черепицю шести видів: штампована пазова, пазова стрічкова, плоска стрічкова, хвиляста стрічкова, S-подібна стрічкова і гребенева.

Як теплоізоляційні матеріали відомі діатомові (трепельні), пінотрепельні вироби й керамзитовий гравій. Зі спеціальних керамічних виробів, що застосовуються в будівництві й обладнанні хімічних та інших заводів, слід назвати вогнетривкі й кислототривкі вироби, дорожню цеглу підвищеної міцності, одержувану випалюванням глини до повного спікання, але без склування поверхні. До спеціальних керамічних виробів ще відносяться такі різновиди цегли, як: фігурна, вогнетривка, футерувальна, кислототривка й ін.

5.4.1. Стінові вироби

До застосовуваних для мурування стін керамічних виробів висувають певні вимоги щодо міцності, теплопровідності, густини, водопоглинання й морозостійкості.

До найбільш поширених видів керамічних стінових виробів відносять цеглу глиняну звичайну, ефективні керамічні матеріали й віброцегляні панелі.

Цегла глиняна звичайна (ДСТУ Б В.2.7-61-97). Ця цегла являє собою штучний камінь у вигляді прямокутного паралелепіпеда з рівними поверхнями, який виготовляють шляхом формування, сушіння й випалювання з легкоплавкої глини з домішками чи без них.

Цеглу отримують двома способами – пластичним і напівсухим. Найбільш поширений перший. Глину подрібнюють спочатку у вальцях, а потім у глином'ялці, де її зволожують до 18…25 % і перемішують до отримання однорідної пластичної маси, яка добре піддається формуванню. Підготовлену масу подають на пресування в прийомну коробку *1* стрічкового пресу (рис. 5.6), циліндричний шнек з лопостями *2* проштовхує її в напрямку до вхідного отвору мундштука *3*. Площа перерізу вихідного отвору в кілька разів менша площі поперечного перерізу циліндра. Маса, що просувається через прес під тиском шнека, ущільнюється і виходить з мундштука у вигляді чотирикутного бруса *5*. Розмір перерізу мундштука, а отже, і бруса, відповідає стандартній довжині й ширині цегли з урахуванням повітряної і вогневої усадки. Для одержання цегли-сирцю заданої товщини брус, що рухається *6*, розрізають впоперек тонкими сталевими

дротами пристрою для різання. Продуктивність пресів досягає 10 тис. цеглин за 1 год.

Зараз у нашій промисловості використовують більш досконалі вітчизняні вакуум-преси, у яких глиняна маса не тільки ущільнюється, але й втрачає частину повітря, що підвищує її пластичність, густину й сприяє збільшенню міцності виробів.

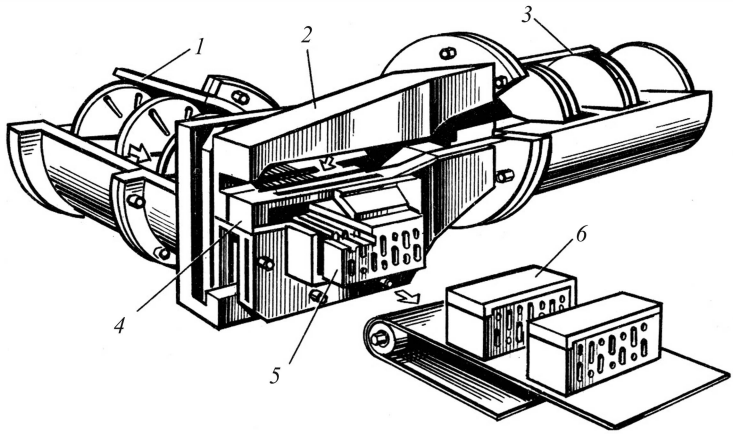


Рис. 5.6. Стрічковий прес

Цеглу-сирець сушать у штучних сушарках за температури до 90 °С.

Завершальною операцією процесу виробництва є випалювання. Печі для випалювання цегли бувають двох видів: періодичної дії, у яких операції із завантаження, випалювання, охолодження й розвантаження чергуються в зонах печі, і безперервної дії, де ці процеси відбуваються в різних зонах печі одночасно.

До безперервно діючих печей відносять кільцеві й тунельні. Якщо в кільцевій печі випарований матеріал стоїть нерухомо, а переміщається зона горіння палива і слідом за нею інші зони, то в тунельній печі випалювані вироби пересуваються на вагонетках через нерухомі зони теплової обробки. Кільцеві печі останнім часом не будують у зв'язку з трудомісткістю завантажувально-розвантажувальних робіт, але на діючих цегельних заводах їх ще експлуатують.

Тунельна піч (рис. 5.7) являє собою випалювальний канал, у якому по рейках рухаються вагонетки з цеглою-сирцем. Довжина тунелю залежно від виду випалюваних виробів становить 60…150 м, поперечний переріз

у світлі від 3,5…5,5 м^2. Тунельна піч має три зони: підігріву, випалювання й охолодження. Процес випалювання в ній відбувається швидше, ніж у кільцевий. Тунельна піч є найбільш економічною.

При напівсухому способі виробництва цегли підсушену й тонкоподрібнену глину ретельно перемішують і зволожують до 8…12 %. Пресують цеглу-сирець на пресах під тиском до 15 МПа. До якості цегли напівсухого пресування висувають ті ж вимоги, що і до цегли, виготовленої пластичним пресуванням. Перевагою напівсухого способу є можливість використання малопластичних глин, у результаті чого розширюється сировинна база виробництва. Крім того, вологість порошку значно менша, внаслідок чого сушіння стає непотрібним чи значно спрощується, а це зменшує витрату палива і скорочує термін виробництва. Недоліками напівсухого пресування є: більш складне пресове обладнання, більша середня густина одержуваної цегли й менша границя міцності під час згину.

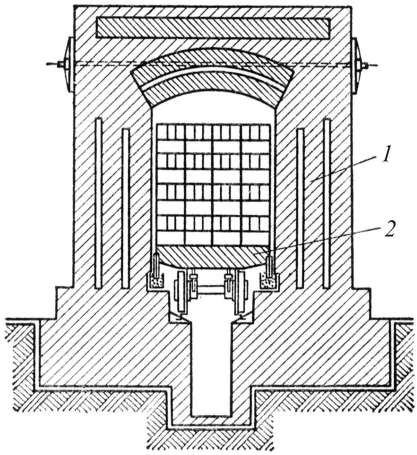


Рис. 5.7. Тунельна піч для випалювання цегли (поздовжній розріз):
1 – тунельна піч; *2* – вагонетки

ДСТУ Б В.2.7-61-97 передбачає випуск одинарної цегли розміром 250 × 120 × 65 мм і модульної розміром 250 × 120 × 88 мм масою не більше 4 кг з обов'язковими технологічними порожнинами. Внаслідок неминучої повітряної і вогневої усадки важко отримати цеглу точно стандартного розміру, тому допускають такі відхилення: по довжині ±4 мм для цегли пластичного пресування і ±3 мм для цегли напівсухого пресування, по ширині і товщині ±3 і ±2 мм. Скривлення поверхні й ребер має не перевищувати 3 мм по постелі й 4 мм по ложку. Залежно від границі міцності під час стиску (кгс/см^2) цеглу підрозділяють на сім марок: 300, 250, 200, 150, 125, 100 і 75 (табл. 5.1).

Водопоглинання цегли марок вище 150 повинне бути не менше 6 % і для інших марок не менше 8 %; при меншому водопоглинанні за рахунок більшої густини погіршуються теплозахисні властивості. Середня густина цегли коливається в межах 1 700…1900 кг/м^3. За морозостійкістю цеглу

підрозділяють на чотири марки: F 15, F 25, F 35, F 50, тобто цегла в насиченому водою стані повинна витримувати без будь-яких ознак явних пошкоджень (розшарування, розтріскування, викришування) 15, 25, 35 і 50 циклів навперемінного заморожування й відтавання відповідно.

Таблиця 5.1

Показники механічної міцності цегли

Марка цегли	Границя міцності, МПа, не менше					
	під час стиску (пластичне й напівсухе пресування)		під час згину			
			пластичне пресування		напівсухе пресування	
	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого 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	15,0	3,4	1,7	2,6	1,3
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

Звичайну глиняну цеглу застосовують для мурування зовнішніх і внутрішніх стін житлових, громадських і промислових будівель, внутрішніх стовпів, печей і склепінь, а також несучих конструкцій, у яких міцність цегли використовують повністю. У конструкціях, де міцність цегли цілком не використовують, застосовують глиняну порожнисту цеглу пластичного пресування й інші види ефективної цегли.

Глиняну звичайну цеглу застосовують для заводського виготовлення великих цегляних блоків і панелей. Зі звичайної цегли напівсухого пресування не можна мурувати цоколі й фундаменти нижче гідроізоляційного шару, а також зовнішні стіни приміщень з підвищеною вологістю.

Поки що цегла є в нас одним з основних стінових матеріалів, що пояснюється її гарними будівельними якостями. Але оскільки виробництво цегли трудомістке, а вартість його відносно висока, поводитися з нею слід дбайливо: під час зберігання й перевезення укладати в правильні ряди на піддони чи в контейнери. Навантаження цегли навалом і вивантаження її скиданням забороняється.

Звичайна глиняна цегла поряд з перевагами має і негативні властивості – високу теплопровідність – 0,81 Вт/(м·°С) і велику середню густину. Тому технологи створили нові види цегли з меншими значеннями теплопровідності й середньої густини, що набули широкого застосування в будівництві як стіновий матеріал. Цегла таких видів одержала загальну назву ефективних керамічних матеріалів. Основні види цих виробів розглянуті нижче.

На залізничному транспорті звичайна глиняна цегла застосовується в значній кількості для будівництва цивільних та службово-технічних споруд, а також споруд водопостачання, для мурування стін, стовпів, склепінь, печей та труб.

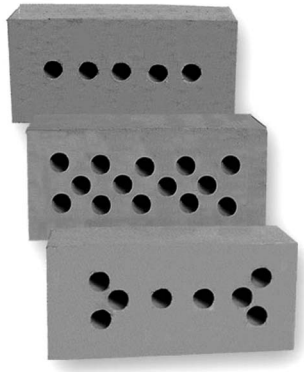


Рис. 5.8. Цегла порожниста пластичного пресування

Цегла глиняна порожниста пластичного пресування. Цеглу глиняну порожнисту й пористо-порожнисту (рис. 5.8) виготовляють способом пластичного пресування з глин з вигоряючими домішками чи без них. Масу для цієї цегли обробляють більш ретельно, ніж для звичайної. Вакуумні преси обладнані кернами – пристроями для одержання в цеглі отворів. Керни встановлюють на металевій гребінці усередині мундштука на виході глиняного бруса з преса. Наскрізні отвори, кількість яких може бути різна, розташовують у цеглі перпендикулярно постелі. Поверхня граней цегли може бути гладкою чи рифленою.

Розміри порожнистої цегли пластичного пресування, яка виготовляється вітчизняними підприємствами, повинні бути такі (мм): довжина 250 ± 6, ширина 120 ± 4 і товщина 88 чи 65 ± 3. Порожнисту цеглу відповідно до технічних умов (ДСТУ Б В.2.7-61-97) підрозділяють на чотири марки залежно від границі міцності під час стиску по перерізу брутто, тобто без урахування площі отворів: 150, 125, 100, 75 (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Міцність порожнистої цегли пластичного пресування

Марка цегли	Границя міцності, МПа, не менше			
	під час стиску		під час згину	
	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка
150	15,0	12,5	2,0	1,0
125	12,5	10,0	1,8	0,9
100	10,0	7,5	1,5	0,8
75	7,5	5,0	1,4	0,7

Цеглу порожнисту пластичного пресування, висушену до постійної маси, розділяють за середньою густиною брутто на два класи: клас А – із середньою густиною до 1 300 кг/м^3 включно і клас Б – із середньою густиною більше 1 300 (але не вище 1 450) кг/м^3. Водопоглинання цегли повинно бути не менше 6 % його маси в абсолютно сухому стані. Морозостійкість цього виду цегли має бути не менше 15 циклів (F 15).

Застосовують таку цеглу для мурування зовнішніх і внутрішніх стін, а також для заповнення стін каркасних будівель. Для приміщень з режимом підвищеної вологості (бані, пральні й ін.) використовувати її не можна.

Цегла глиняна порожниста напівсухого пресування. Цей стіновий матеріал випускають з наскрізними порожнинами, розташованими перпендикулярно постелі. Їх може бути чотири й більше, часто виготовляють цеглу з 8 і 18 порожнинами; у першому випадку діаметр порожнин дорівнює 35…45 мм, а в другому 17…18 мм (рис. 5.9, *а*, *б*). Розміри цієї цегли: довжина 250 ± 4, ширина 120 ± 3 і товщина 88 чи 65 ± 3 мм. Якість цегли, а також форма, кількість і розміри порожнин нормуються ДСТУ Б В.2.7-61-97.

Міцнісні показники цієї цегли такі ж, як і порожнистої цегли пластичного пресування. Середня густина цегли брутто у висушеному до постійної маси стані не повинна перевищувати 1 450 кг/м^3. Марки цієї цегли, що встановлюються за границею міцності під час стиску, аналогічні

маркам порожнистої цегли пластичного пресування. Водопоглинання повинно бути не менше 8 % маси цегли, висушеної до постійної маси. Показники морозостійкості збігаються з показниками звичайної цегли. Застосовують цеглу в будівництві нарівні з порожнистою цеглою пластичного пресування.

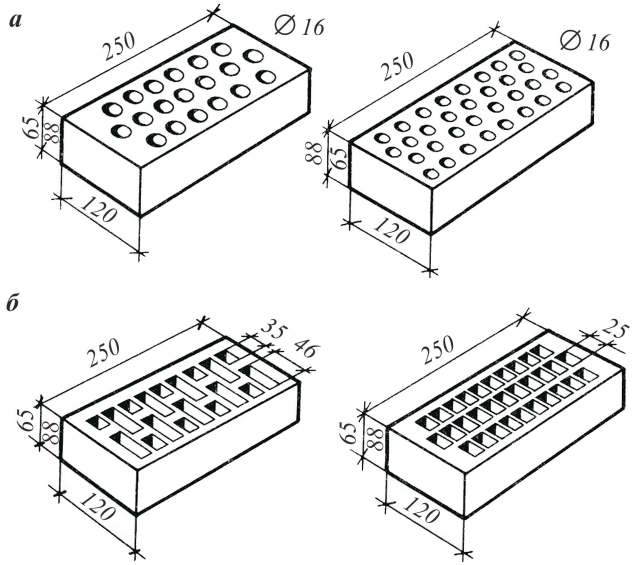


Рис. 5.9. Цегла порожниста напівсухого пресування

Цегла будівельна легка. Цю цеглу виготовляють зі звичайних глин із введенням в них вигоряючих домішок, а також з діатомітів (трепелів) чи із сумішей діатомітів і глин. Легка цегла має такі розміри (мм): довжина 250 ± 8, ширина 120 ± 6 і товщина 88 ± 4. Випускають також пористу цеглу великого розміру – 250 × 120 × 140 мм. Чим менше середня густина легкої цегли, тим менше її теплопровідність. Залежно від середньої густини легку будівельну цеглу розділяють на три класи – А, Б і В відповідно до прийнятої класифікації стінових матеріалів; залежно від границі міцності під час стиску – на марки 50, 75 і 100 (табл. 5.3). Морозостійкість легкої цегли (F 10) значно нижче, ніж у цегли інших видів, розглянутих вище.

Застосовувати великорозмірну цеглу значно вигідніше, ніж звичайну, тому що зменшується число швів у муруванні стін і, отже, скорочується витрата в'яжучого, а також підвищується продуктивність праці. У разі ви-

користання пористої цегли зменшується товщина зовнішніх стін і знижується їх собівартість приблизно на 10 %. Однак внаслідок зниженої міцності її не застосовують для зведення стін, що сприймають значні навантаження, а також для фундаментів і цоколів будівель, для стін приміщень з підвищеною вологістю внаслідок незначної морозостійкості, а також тому, що в цих випадках не використовуються її теплоізоляційні властивості.

Таблиця 5.3

Міцність легкої будівельної цегли

Марка цегли	Границя міцності, МПа, не менше			
	під час стиску		під час згину	
	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка
100	10,0	7,0	1,6	0,8
75	7,5	5,0	1,4	0,7
50	5,0	3,5	1,2	0,6

Камені керамічні пластичного формування. Такі камені за основним призначенням розділяють на два види: для мурування несучих стін одноповерхових і багатоповерхових будівель і для мурування внутрішніх несучих стін і перегородок. На рис. 5.10 показані камені з різними за кількістю, об'ємом і конфігурацією порожнинами.

Виготовляють камені з легкоплавких глин з домішками чи без них шляхом формування і подальшого випалу. Глину попередньо висушують і тонко розмелюють, масу ретельно переробляють і зволожують. Формують камені на вакуумних пресах під тиском 93,32 кПа. Технологія каменів в основному аналогічна технології порожнистої цегли. Камені мають форму прямокутного паралелепіпеда з рівними чи рифленими поверхнями (для підсилення зчеплення з мурувальним розчином і з декоративною метою); наскрізні порожнини розташовані перпендикулярно постелі.

Сучасна промисловість випускає камені таких розмірів (мм): довжина 250, 190 і 290 ± 6, ширина 120, 70, 90 і 190 ± 4, товщина 138, 188 і 288 ± 4. Середня густина каменів (брутто) знаходиться в межах 1 300…1 450 кг/м^3,

тобто відповідає класу В. За морозостійкістю камені задовольняють вимоги, встановлені до звичайної цегли, водопоглинання їх не менше 6 % маси каменів, висушених до постійної маси.

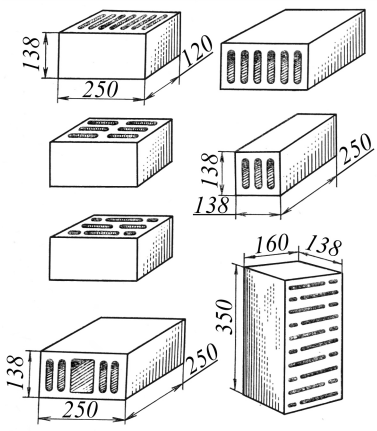


Рис. 5.10. Камені керамічні порожнисті

Порожнисті камені поставляють на будівельні об'єкти в комплекті з додатковими оздоблювальними каменями (для викладення карнизів, поясів і т. ін.). Порожнисті камені не можна застосовувати для мурування фундаментів і цоколів будівель, а також зовнішніх стін приміщень з підвищеною вологістю.

Віброцегляні панелі. Вони являють собою великорозмірні будівельні деталі, виготовлені з цегли на цементному розчині з утеплювачем. Як утеплювач при виготовленні панелей застосовують мінераловатні плити, піноскло, фіброліт та ін. Для підйому панелі закладають петлі.

Виготовляють панелі двома способами – горизонтальним і вертикальним муруванням. Найбільш ефективним є горизонтальне мурування. Технологічний процес складається з таких основних операцій: приготування матеріалу – цегли, розчину й металевого каркасу, формування (складання) панелей, ущільнення вібруванням, обробка панелей у пропарювальних камерах протягом 8…12 год за температури 80 °С (для прискорення процесу твердіння). Міцність конструкції панелі під час монтажу й транспортування забезпечують прокладанням у горизонтальних швах армувальних сіток із дроту, а з обох сторін прорізу встановлюють вертикальні арматурні каркаси.

Панелі випускають двошаровими й одношаровими. Двошарові панелі з цегли й утеплювача можуть бути облицьовані керамічними плитками (рис. 5.11), що надає їм гарного вигляду. Стіна, зібрана з таких панелей, не має потреби в додатковій обробці – облицюванні, оштукатурюванні й фарбуванні. Загальна товщина двошарової панелі 260 мм, у тому числі цегли – 120, утеплювача – 100, облицювальних керамічних плиток – чотирьох і трьох шарів розчину – 36 мм. Розмір панелей 2 670 × 3 180 × 260 мм.

Одношарові панелі виготовляють із великопорожнистих керамічних каменів. Розмір панелей 2 750 × 3 190 × 300 мм, товщина їх складається

з товщини керамічного каменю 250 мм, керамзитобетону 25 мм і розчину 25 мм. Одношарові панелі виготовляють також з щільного ефективного керамічного каменю, довжина якого відповідає товщині панелі.

Панелі для внутрішніх стін і перегородок виготовляють також з цегли (у половину цегли) і армують сталевими дротовими каркасами. Товщина таких панелей 140 мм (120 – шар цегли, 20 – два шари розчину: по 10 з кожної сторони панелі). Розмір панелі $2\,620 \times 2\,270 \times 140$ мм, маса близько 2 т.

Виробництво віброцегляних стінових панелей доцільне в тих районах будівництва, де не налагоджений масовий випуск залізобетонних панелей, але діють цегельні заводи. Перевага застосування таких панелей у порівнянні з муруванням стін зі штучної цегли полягає в більш високому рівні механізації при монтажі стін і значній економії стінових матеріалів. Недолік віброцегляних панелей – складність конструкції і, отже, виготовлення, а також витрата металу на армування.

Поряд з віброцегляними панелями виготовляють також цегляні блоки. Роблять їх на установках-напівавтоматах, які дають можливість отримувати блоки різних розмірів: товщиною 1,5; 2 і 2,5 цеглини, довжиною до 2,8 і висотою до 2,65 м.

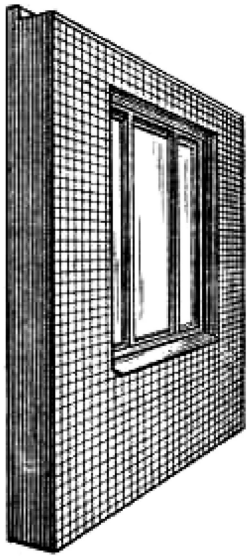


Рис. 5.11. Стінова віброцегляна панель

5.4.2. Облицювальні вироби

Широке й ефективне застосування в сучасному будівництві керамічних облицювальних матеріалів визначається їх якістю, яка повинна відповідати усім вимогам, запропонованим до облицювальних матеріалів.

Усі керамічні облицювальні вироби можна розбити на дві групи: для облицювання фасадів і зовнішніх стін будівель і для облицювання внутрішніх стін будівель. Оскільки умови експлуатації цих матеріалів різні, їх фізико-механічні показники також багато в чому можуть відрізнятися. Так вироби для зовнішнього облицювання повинні мати високу водонепроникність і морозостійкість, що не обов'язково для виробів внутрішнього облицювання.

Керамічні вироби для зовнішнього облицювання будівель. Зовнішні стіни будівель під впливом атмосферних опадів періодично зволожуються, внаслідок чого збільшується їх теплопровідність. Отже, облицювальні матеріали повинні мати підвищену водонепроникність і не допускати потрапляння води до основного матеріалу стін. Дуже небезпечна і руйнівна для зовнішнього облицювання спільна дія води і низьких температур. Тому облицювальні матеріали повинні бути морозостійкими і витримувати без явного руйнування багаторазове заморожування і відтавання в насиченому водою стані. Також вони повинні надійно протистояти механічним впливам – удару, стиску, зламу. Крім того, облицювання повинне мати правильну форму й гарний природний колір, що не змінюється протягом тривалого часу під впливом різних факторів (сонячне світло, перепад температур, атмосферні опади, гази, що знаходяться в повітрі, та ін.). Важливою якістю для облицювальних матеріалів є простота їх укладання в конструкцію стіни і надійність кріплення.

Цегла й камені лицьові зараз є основними облицювальними керамічними матеріалами. Їх виготовляють суцільними й порожнистими. Лицьова поверхня їх може бути гладкою, рифленою чи офактуреною. Рельєфне офактурювання поверхні досягається додатковою обробкою вологого сирцю спеціальними гребінками і рифленими валиками. Виготовляють ці матеріали з глин з домішками чи без них, формують і обпалюють приблизно в тих же умовах, що й інші керамічні вироби. Надійність кріплення цих матеріалів досягається тим, що їх кладуть одночасно зі стінами; таким чином, облицювальні камені й цегла служать і конструктивним несучим елементом поряд зі звичайним стіновим матеріалом.

Лицьову керамічну цеглу й камені підрозділяють на рядові й профільні залежно від їх форми та призначення. Найбільш застосовані матеріали мають такі розміри (мм): лицьова рядова і профільна цегла – $250 \times 120 \times 65$ (чи 90); лицьовий рядовий камінь – $250 \times 120 \times 140$; лицьовий камінь – $188 \times 120 \times 140$. Відхилення від розмірів, що допускаються технічними умовами, не повинні перевищувати ±4 мм по довжині; ±3 мм по ширині, а по товщині для цегли ±3…2 мм і для каменю ±3 мм.

Лицьову цеглу залежно від границі міцності під час стиску і згину, а лицьові камені залежно від границі міцності під час стиску (кгс/см^2) розділяють на сім марок: 300; 250; 200; 150; 125; 100 і 75.

За морозостійкістю цегла й камені підрозділяються на три марки: F 25, F 35 і F 50, тобто вони повинні витримувати в насиченому водою стані без будь-яких ознак явних пошкоджень – розшарування, лущення, розтріскування чи викришування – не менше 25, 35 і 50 циклів найперемінного заморожування і відтавання відповідно, причому втрата міцності зразків під

час стиску після випробування їх на морозостійкість не повинна перевищувати 20 %.

Водопоглинання цегли й каменів має бути не менше 6 % і не більше 12 % їх постійної маси для цегли з біловипалюваних глин і не більше 14 % для виробів з інших глин. Не допускаються в цеглі й камені тріщини, а також плями, вицвіти й забруднення на лицьовій поверхні, видимі на відстані 10 м.

Для облицювання басейнів, водойм і подібних споруд виготовляють спеціальну водотривку глазуровану цеглу з водопоглинанням не більше 5 %.

Профільні вироби для архітектурного оформлення будівель (карнизи, тяги, паски) виготовляють різних типів.

Плити фасадні призначені для облицювання фасадів будівель. Залежно від конструкції, способів виготовлення й методів кріплення плити розділяють на закладні й приставні. Закладні плити встановлюють одночасно з муруванням стін, а приставні кріплять на розчині після зведення й осідання стін. Випускають плити різних розмірів, починаючи від 250 × 215 мм із допусками ±5 мм по довжині і +3 мм по ширині. Структура черепка плит повинна бути однорідною, без розшарувань і порожнин. За морозостійкістю плити повинні витримувати не менше 25 повторних циклів заморожування і відтавання без будь-яких ознак видимих пошкоджень: розшарувань, викришування кутів і ребер і т. ін. Водопоглинання плит зі світловипалюваних глин повинно бути не більше 12 %, з інших глин – не більше 14 %. Значення границі міцності під час стиску і розтягу при згині по перерізу брутто наведені в табл. 5.4.

Колір лицьових поверхонь плит повинен відповідати затвердженому еталону, видима з відстані 10 м різнотонність лицьової поверхні не допускається.

Плитки фасадні малогабаритні виготовляють із гладкою чи фактурною зовнішньою поверхнею. На тильній стороні плитки роблять поглиблення для кращого зчеплення з цементним розчином. Лицьова сторона може бути різного кольору, глазурованою чи неглазурованою.

Випускають плитки прямі (рядові) й кутові. Усього передбачено по чотири розміри цих плиток (табл. 5.5). Відхилення за розмірами плиток не повинні перевищувати по довжині ±3, по товщині ±2 мм і по ширині (висоті) ±2 мм.

Таблиця 5.4

Механічні властивості фасадних плит

Вид плит	Границя міцності, МПа, не менше			
	під час стиску		під час згину	
	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка	Середнє значення для п'яти зразків	Найменше значення для окремого зразка
Закладні й приставні пластичного формування	15,0	12,5	2,8	1,4
Приставні напівсухого пресування	10,0	7,5	1,6	0,8
Те ж саме	7,5	5,0	1,2	0,6

Таблиця 5.5

Розміри малогабаритних фасадних плиток, мм

Вид плиток	Довжина		Висота	Товщина
	по фасаду	по торцю		
Прямі (рядові)	240	–	140	15…16
	190	–		15…17
	240	–	65	8…10
	120	–		6…8
Кутові	190	160	140	15…17
	90			
	115	115	65	8…10
	65			

Килимова кераміка – це керамічні прямокутні плитки, наклеєні на паперову основу. Плитки бувають різних кольорів, глазуровані й неглазуро-

вані. Килими набирають як з одноколірних плиток, так і з різнобарвних з певним малюнком. Лицьова поверхня плиток гладка, тріщини й розшарування не допускаються. Водопоглинання плиток не менше 6 і не більше 12 % маси плиток, висушених до постійної маси, морозостійкість – не менше 25 циклів навперемінного заморожування й відтавання, маса 1 $м^2$ 6…8 кг залежно від товщини плиток. Ширина шва між плитками залежно від їх розмірів становить, мм:

46 × 46 × 4	4
23 × 23 × 2	2
48 × 48 × 4	2
48 × 23 × 4	2
20 × 20 × 2	0

Відхилення від лінійних розмірів плиток не повинно перевищувати ±0,5 мм як по довжині грані, так і по товщині плитки. Відхилення по ширині шва в килимі допускаються ±1 мм.

Плитки наклеюють на цупкий крафт-папір. Клей повинен бути таким, щоб плитки щільно приклеювалися до паперу, а після укладання в стіну папір легко змивався з килима.

Килимову кераміку застосовують для облицювання великих блоків і панелей, стін вестибулів і сходових кліток житлових і громадських будівель. Застосування килимової кераміки знижує трудомісткість облицювальних робіт, одночасно поліпшуючи їх якість.

Підвіконні зливи також відносять до керамічних виробів, застосовуваних для облицювання й оформлення фасадів будівель. З них влаштовують зовнішні підвіконня будівель. Форма й розміри зливів бувають різними: довжина 300…500 мм, ширина залежно від конструкції стіни 150, 225 і 250 мм, товщина 25, 65 і 71 мм. Допустимі відхилення за цими розмірами не повинні перевищувати ±2 мм. Водопоглинання підвіконних зливів – не більше 8 % їх постійної маси, морозостійкість – не менше 35 циклів навперемінного заморожування й відтавання, тобто значно більша, ніж для інших видів керамічних виробів, застосовуваних для зовнішнього облицювання будівель. Підвищені вимоги зумовлені специфічними особливостями експлуатації підвіконних зливів.

Керамічні вироби для внутрішнього облицювання будівель. Ці вироби поділяють на дві групи – для облицювання стін і для покриття підлог. Вони різноманітні за асортиментом і якісними показниками.

Для облицювання стін застосовують *майолікові* та *фаянсові плитки*. Ці вироби в умовах експлуатації не піддаються дії від'ємних температур, тому вимоги щодо морозостійкості до них не ставляться. Однак точність

розмірів, правильність форми, однакове фарбування плиток набувають особливо важливого значення, тому що на внутрішньому облицюванні стін добре помітна кожна деталь. Плитки для облицювання стін повинні бути водонепроникні, вогнестійкі, досить міцні, а плитки для настилання підлог, крім того, мати підвищений опір ударним впливам і стиранню.

Плитки для облицювання стін ванних кімнат, убиралень, кухонь, лазень, пралень, лікарняних та інших приміщень являють собою пластинки, виготовлені з глиняного порошку з домішками чи без них і покриті глазур'ю. Тильна сторона плиток має рифлену поверхню, що забезпечує надійне зчеплення з цементним розчином. Плитки бувають квадратні, прямокутні й фасонні (кутові, карнизні й плінтусні). ГОСТ 6141-91 передбачає випуск 28 типів плиток для внутрішнього облицювання стін. При всій різноманітності розмірів плиток та інших фасонних виробів товщина їх повинна бути не більше 6 мм, а товщина плінтусних плиток не більше 10 мм.

Плитки повинні мати правильну геометричну форму, без опуклостей, скривлень, вибоїв і тріщин. Допустимі відхилення в розмірах по довжині грані плиток – не більше ±1,5 мм, відхилення сторони прямого кута – не більше 0,5 мм. Жорсткі вимоги, що ставляться до розмірів і форми плиток, пояснюються прагненням одержати облицювання з однаковою і по змозі мінімальною товщиною швів, тому що нерівномірні шви знижують якість облицювання, його довговічність і погіршують зовнішній вигляд поверхні. За показниками зовнішнього вигляду лицьової поверхні та якості плитки розділяють на три сорти.

Водопоглинання плиток не повинне перевищувати 16 %. При випробуванні плиток на термічну стійкість на їх глазурованій поверхні не повинні з'являтися тріщини й відколи глазурі, а також поверхневі волосні тріщини (цек). Вирішальним показником високої якості плиток є однорідна, щільна структура черепка, для чого масу сильно ущільнюють під час формування – пресують у сталевих пресформах при тиску 14…16 МПа, що забезпечує поряд із щільністю виробу точність його розмірів і правильну форму.

Майолікові плитки виготовляють з легкоплавких глин з додаванням 20 % вуглекислого кальцію (звичайно у вигляді крейди). Пористий черепок цих плиток з лицьової сторони покривають глазур'ю. Глиняну масу для виготовлення майолікових плиток ретельно обробляють. Обпалюють їх двічі: після сушіння сирцю й після нанесення глазурі. Шар глазурі забезпечує плиткам повну водонепроникність і високі декоративні якості.

Фаянсові плитки виготовляють з тугоплавких глин з додаванням кварцового піску. Для зниження температури плавлення вводять плавні – польовий шпат, вапняк чи крейду. Плитки мають слабозабарвлений чи чисто

білий пористий черепок. Лицьову сторону плиток покривають глазур'ю. Для виробництва плиток застосовують механічні прес-автомати, продуктивність яких досягає 2,5 тис. шт/год. Після пресування плитки надходять у безперервно діючу сушарку. Глазур наносять на сирі плитки автоматами. Обпалюють плитки в печах періодичної дії (горнах) чи в печах безперервної дії тунельного типу. Щоб плитки під час випалювання не піддавалися різкій дії високих температур, їх уводять у піч у керамічних капселях. Обпалені плитки сортують за розмірами, типом, сортом і кольором й упаковують у міцні дерев'яні ящики. Правила маркування, упакування, зберігання й транспортування цих плиток викладені в ГОСТ 6141-91.

Плитки для підлог (ДСТУ Б В.2.7-117-2002) підрозділяються на два види: плитки керамічні для звичайних підлог і плитки керамічні для мозаїчних підлог. Плитки виготовляють 15 типів, які розрізняються за формою і розмірами. Плитки бувають квадратні, прямокутні, трикутні, шести- і восьмигранні, а також половинки. Розміри керамічних плиток для підлог різної конфігурації наведені в табл. 5.6.

Керамічні плитки для мозаїчних підлог бувають квадратними і прямокутними; випускають їх шести типів, розміром 23 × 23, 48 × 48 і 48 × 23 мм при товщині 6…8 мм. Плитки товщиною 8 мм відносять до класу А, а товщиною 6 мм до класу Б. Відхилення в розмірах плиток не повинні перевищувати за усіми вимірами ±0,5 мм. Колір плиток для підлог може бути найрізноманітнішим. Найчастіше випускають плитки білі, жовті й червоні (різних відтінків). Тильна сторона плиток для підлог має рифлену поверхню для більш міцного зчеплення з розчином. Плитки, які застосовують для влаштування підлог у приміщеннях з підвищеною вологістю – лазнях, пральнях та ін., мають рифлену лицьову поверхню для зменшення ковзання. Водопоглинання плиток для підлог не повинне бути більше 4 %, мозаїчних класу А – 3 % і класу Б – 4 %. Опір стиранню характеризується втратою маси плиток після проходження по них колом стирання 150 м шляху; при цьому втрата маси не повинна перевищувати для керамічних плиток і мозаїчних класу А 0,1 г/см^2 і класу Б – 0,25 г/см^2.

Плитки для підлог пресують з порошкоподібної маси на гідравлічних чи механічних пресах при тиску 25…30 МПа, потім сушать до вологості 3 % і обпалюють при 1200…1300 °С. Після ретельного сортування за розмірами, кольором і тоном плитки упаковують пачками в папір.

Мозаїчні плитки повинні бути міцно наклеєні водорозчинним клеєм на прямокутні аркуші крафт-паперу (килими розміром 398 × 598 мм) по типових заводських малюнках. Шви між плитками роблять рівними і прямими шириною 2 мм; по ширині шва допускаються відхилення ±0,5 мм.

Таблиця 5.6

Розміри керамічних плиток різних типів

Вид плиток	Тип плиток	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм
Квадратні	1	50		10
	2	100		
	3	150		13
Прямокутні	4	100	50	10
	5	150	75	13
Трикутні	6	50	71	10
	7	100	141	
	8	150	212	13
Шестигранні	9	100	115	10
	10	150	173	13
Чотиригранні (половинки шестигранних)	11	50	115	10
	12	75	173	13
П'ятигранні (половинки восьмигранних)	13	57,5	100	10
	14	86,5	150	13
Восьмигранні	15	150	50	13

Керамічні плитки застосовують для настилання підлог у лазнях, пральнях, санітарних вузлах, у вестибулях громадських будівель, у лікарняних приміщеннях і на підприємствах хімічної промисловості, тобто там, де підлоги піддаються посиленому зносу, постійному зволоженню і впливу агресивних речовин. Ці плитки практично водонепроникні, надійно захищають несучі конструкції перекриттів від зволоження, чинять опір впливам стирання, не дають пилу, легко миються, не всмоктують рідин, мають стійкість стосовно дії кислот і лугів. До недоліків підлог з керамічних плиток варто віднести їх крихкість і високу теплопровідність, що не дозволяє застосовувати їх у житлових приміщеннях. Невеликі розміри плиток зу-

мовлюють підвищену трудомісткість при влаштуванні підлог і вимагають міцної, добре підготовленої основи. Однак ці недоліки не настільки істотні й не перешкоджають широкому застосуванню керамічних плиток у будівництві.

5.4.3. Інші керамічні вироби

Санітарно-технічні вироби. Виготовлення виробів санітарно-технічної кераміки має свої особливості: потребує специфічного обладнання; особливі вимоги до якості застосованих глин і рецептур формувальних мас. Як глинисті матеріали використовують біловипалювальну вогнетривку глину та каоліни, домішками служать кварц і польовий шпат. Від складу маси залежать тип одержуваного матеріалу – твердий фаянс, напівфарфор і фарфор, а також його якість. У табл. 5.7 наведені приблизні рецептури сумішей і основні фізико-механічні показники одержуваних матеріалів.

Таблиця 5.7

Склад, маси і фізико-механічні показники виробів

Матеріал виробів	Склад, %			Водопоглинання, %	Середня густина, кг/м^3	Границя міцності, МПа	
	Біловипалювані вогнетривкі глини і каолін	Кварц	Польовий шпат			під час стиску	під час згину
Твердий фаянс	50…55	40…50	5…10	10…12	1 920..1 960	100	15…30
Напівфарфор	48…50	40…45	7…12	3…5	2 000..2 200	150…200	38…43
Фарфор	45…50	30…35	18…22	0,2…0,5	2 250..2 300	500	70…80

Вироби з твердого фаянсу покривають глухою чи прозорою глазур'ю, тому що неглазурований пористий черепок пропускає воду. Зараз санітарну кераміку (унітази, умивальники та змивні бачки) виготовляють

переважно з твердого фаянсу. Напівфарфор має підвищені санітарно-гігієнічні та механічні властивості, займаючи проміжне місце між твердим фаянсом і фарфором. Фарфор, що має білий, добре спечений осклований черепок, непроникний для води і газів, характеризується високою термічною і хімічною стійкістю та найвищою для всіх матеріалів санітарної кераміки механічною міцністю.

Технологія керамічних виробів цієї групи трохи складніша, ніж виробів, описаних вище, тому що їх конфігурація різноманітна, а експлуатаційні вимоги досить високі.

Сировину для виготовлення санітарно-технічних виробів піддають більш ретельній переробці – помелу, відмулюванню, просіюванню й іншим операціям, що забезпечують її тонке подрібнення й однорідність. Потім матеріали змішують з водою й отримують однорідну сметаноподібну масу, яка називається шлікером. Санітарно-технічні вироби виготовляють переважно способом лиття в гіпсових формах. Після того як гіпс вбере надлишок води зі шлікера, відформовані вироби виймають з форм, підсушують у природних умовах, оправляють і подають у штучну сушарку, де сушать до вологості 1…2 %. Висушені вироби покривають шаром глазурі й обпалюють у періодичних чи безперервно діючих печах у капселях за температури 1250…1300 °С.

Ванни зазначеним вище способом виготовляють з високоміцного фаянсу і покривають глазур'ю різних відтінків. Ванни мають прямокутну форму й плоске дно, порожні стінки переходять по контуру нижче дна в порожнисті ребра, якими ванна спирається на підлогу. Ці ванни відрізняються від чавунних монументальною формою, красивою і міцною глазур'ю, високою гігієнічністю і малою теплопровідністю.

На транспорті в значній кількості застосовують спеціальні фаянсові вагонні унітази та умивальні раковини.

Труби. *Керамічні каналізаційні* труби мають вищу стійкість до агресивних середовищ, ніж металеві (чавунні) й залізобетонні, що забезпечує їх широке застосування для будівництва каналізаційних мереж, особливо призначених для відводу промислових стічних вод, що містять велику кількість агресивних речовин.

Виготовляють каналізаційні труби циліндричної форми довжиною 800…1200 мм із внутрішнім діаметром десяти розмірів: від 100 до 600 мм з інтервалами 50 мм. На одному кінці є розтруб для з'єднання окремих ланок трубопроводу. Великий інтерес становить випуск безрозтрубних труб зі сполучними муфтами з пластмас, що дозволить різко збільшити продуктивність заводів, що спеціалізуються на виробництві труб. Відповідно до

внутрішнього діаметра товщина стінки труби становить 19…41 мм із допуском ±(3…4) мм. Розтруби роблять глибиною 60…70±5 мм із внутрішнім діаметром 224…734±(8…14) мм. Приблизна маса 1 м довжини труби залежно від діаметра складає 26…200 кг, механічна міцність 20…30 кН/м^2. Водопоглинання черепка труб I сорту не повинне перевищувати 9 %, а II сорту – 11 %. Кислототривкість черепка не менше 90 %. Труби повинні витримувати гідравлічний тиск не менше 0,2 МПа.

Основною сировиною для виробництва каналізаційних труб служать пластичні спікливі тугоплавкі глини, що дають загальну усадку виробів не більше 7…8 %. Для зменшення усадки в масу додають 30…40 % шамоту. Великі розміри, складні форми й відносно тонкі стінки каналізаційних труб вимагають особливо ретельної підготовки й переробки вихідної сировини. Застосовують пластичний і напівсухий способи приготування формувальної маси. Більш ефективний напівсухий спосіб. Він забезпечує точне дозування й ретельне змішування компонентів, а також високу однорідність маси, що дозволяє краще механізувати технологічний процес виробництва. Глину спочатку дроблять на зубчастих вальцях. Після подрібнення її сушать у барабанах до вологості 9…11 %, а потім у магнітному сепараторі очищають від металевих включень. Підсушену й очищену глину тонко подрібнюють у дезінтеграторі й розділяють по фракціях на ситах різних конструкцій.

Шамот готують з вогнетривкої глини. Для більш зручного випалу її брикетують на прес-вальцях, а брикети змішують з коксом і випалюють у шахтних печах. Після випалу й охолодження брикети дроблять у щокових дробарках і розмелюють у кульовому млині. Просіяний шамот і підготовлена глина з бункерів надходять у змішувач, де їх перемішують у сухому стані, а потім зволожують до 18…20 % гарячою водою.

Для формування труб застосовують вертикальні шнекові вакуум-преси. Відформовані труби знімають вручну й відвозять на візках на спеціальну площадку для підсушування (підв'ялювання), де встановлюють у вертикальному положенні розтрубом догори. Після підв'ялювання протягом 16…48 год і обробки (знімання фаски, загладжування торців, накатка нарізок і маркування) труби сушать у сушарках різних конструкцій (камерні, тунельні та ін.) за температури 150 °С; вологість труб під час сушіння знижується до 2…3 %. Висушені труби покривають зовні й зсередини глазур'ю. Таке покриття збільшує хімічну стійкість труб, створює усередині труби гладку поверхню, а це зменшує гідравлічний опір при проходженні рідин по трубах. Випалюють каналізаційні труби в камерних чи тунельних печах за температури 1250…1300 °С протягом 48…60 год.

Керамічні дренажні труби виготовляють із пластичних глин з домішками чи без них. Труби формують на горизонтальних вакуум-пресах. Технологічний процес має багато спільного з процесом виготовлення каналізаційних труб.

Дренажні труби мають такі технічні характеристики: внутрішній діаметр 25, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 і 250 мм, довжина труб перших п'яти діаметрів 333, інших діаметрів 333…500 мм; товщина стінок труби 8…24 мм; морозостійкість 15 циклів навперемінного заморожування й відтавання; руйнівне навантаження на одну трубу майже пропорційне товщині стінок і знаходиться в діапазоні від 1 780 до 4 500 кН. Черепок труби повинен мати однорідну структуру з водопоглинанням не вище 18 %.

Дренажні труби виготовляють з розтрубом чи без нього. Для з'єднання безрозтрубних труб застосовують керамічні муфти. Вода надходить у труби через отвори, які можуть бути круглими діаметром близько 5 мм чи щілинними, а також через стики труб (у безрозтрубних трубах). Зовнішню сторону розтрубних труб покривають глазур'ю. Торцеві площини труб повинні бути перпендикулярні подовжній осі, для того щоб у перерізі труба мала форму правильного кола. Дренажні труби застосовують для дренажу будівельних майданчиків при невеликих глибинах закладення і за відсутності великих навантажень від транспортних засобів.

Черепиця глиняна (ДСТУ Б В. 2.7-28-95). Великого поширення набула черепиця шести типів: пазова штампована, пазова стрічкова, плоска стрічкова, хвиляста стрічкова, S-подібна стрічкова й гребенева (рис. 5.12, табл. 5.8). Черепицю застосовують для влаштування дахових похилів і гребенів. Цей вид покрівельного матеріалу може конкурувати з будь-яким іншим за довговічністю, архітектурними якостями і за вартістю.

За ДСТУ Б В. 2.7-28-95 до черепиці ставлять ряд обов'язкових вимог. Черепиця повинна бути правильної форми з гладкими поверхнями й рівними краями. Скривлення поверхні й ребер не повинні перевищувати 3 мм. Не повинно бути тріщин, відбитостей і зминання шипів. Забарвлення всієї партії черепиці повинно бути одноколірним, структура черепка в зламі – однорідною. Не повинно бути розшарувань і вапняних включень. Випал черепиці повинен бути повним і рівномірним; якість випалу легко визначити легким простукуванням металевим предметом – виріб повинен видавати чистий, недеренчливий звук. Водонепроникність черепиці повинна цілком відповідати умовам стандарту; морозостійкість – не менше F25.

Пазова штампована черепиця має на тильній стороні вушко з отвором для кріплення дротом до лат покрівлі. Стрічкова черепиця має отвір у се-

редній частині шипа діаметром 1,5 мм, а хвиляста стрічкова – отвір діаметром 5…6 мм.

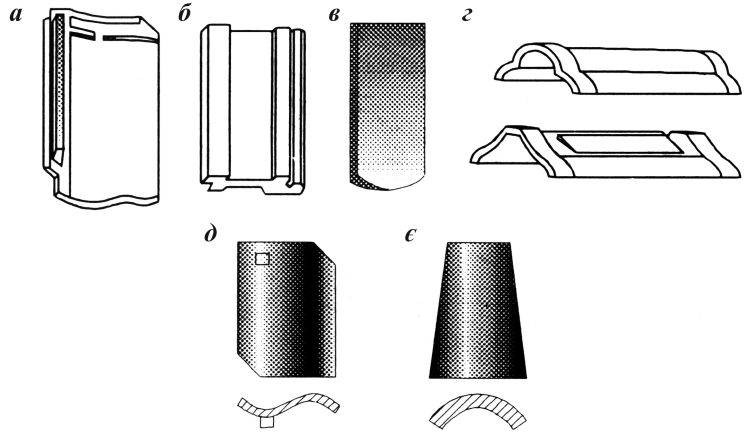


Рис. 5.12. Дахова черепиця:
а – пазова штампована; *б* – пазова стрічкова; *в* – плоска стрічкова; *г* – хвиляста стрічкова; *д* – *S*-подібна стрічкова; *є* – гребенева

Таблиця 5.8

Характеристика черепиці

Тип	Розміри* та допустимі відхилення, мм			
	покрівельні (корисні)		габаритні	
	довжина (а)	ширина (б)	довжина (в)	ширина (г)
Пазова штампована**	310 (+6, –4)	190 (+10, –6)	Не нормується	
	333 (+24, –8)		Те ж	
	347 (+24, –8)	208 (+10, –6)	» »	
Пазова стрічкова	333 ± 5	200 ± 3	400 ± 5	220 ± 3
		180 ± 3		200 ± 3
		140 ± 3		165 ± 3

Продовження табл. 5.8

Тип	Розміри* та допустимі відхилення, мм			
	покрівельні (корисні)		габаритні	
	довжина (а)	ширина (б)	довжина (в)	ширина (г)
Плоска стрічкова***	160 ± 5	155 ± 3	365 ± 5	155 ± 3
Хвиляста стрічкова	290 ± 5	200 ± 3	350 ± 5	240 ± 3
S-подібна стрічкова	333 ± 5	175 ± 3	390 ± 5	215 ± 3
	290 ± 5		340 ± 5	225 ± 3
Гребенева	333 ± 4	Не нормується	365 ± 4	200 ± 3

Продовження табл. 5.8

Тип	Маса 1 м^2 покриття із черепиці у насиченому водою стані, кг, не більше	Число черепиць на 1 м^2 покрівлі
Пазова штампована**	50	17
		16
		14
Пазова стрічкова		15,0
		17,0
		21,4
Плоска стрічкова***	65	40,3
Хвиляста стрічкова	50	17
S-подібна стрічкова		20
Гребенева	8	–

* *а–г* – див. рис. 5.12.

** Допускається виготовлення на діючому обладнанні (до зносу) пазової штампованої черепиці інших покрівельних розмірів, що відповідає за всіми іншими показниками вимогам стандарту.

*** Для забезпечення комплектності постачань черепиці за вимогою споживача виготовляють плоску стрічкову черепицю, за шириною рівну половині рядової черепиці – 77,5± 1,5 мм. Половинки повинні бути праві й ліві.

Глибина пазів (фальців) черепиці повинна бути не менше 5 мм, а висота шипів для підвіски – не менше 10 мм у штампованої і 20 мм у стрічкової черепиці.

Стрічкова S-подібна черепиця в повітряно-сухому стані повинна витримувати навантаження без ознак руйнування при випробуванні на злам не менше 1 кН; пазова штампована – не менше 0,8 кН та інші типи – не менше 0,7 кН.

Форма поверхні черепиці не стандартизована. Основна сировина для виробництва черепиці – легкоплавка глина, яку ретельно обробляють для руйнування природної структури, видалення твердих включень і підвищення пластичності. Глина повинна мати гарні формувальні й сушильні властивості. Після випалу має виходити добре спечений міцний черепок. Доцільно вводити в масу 10…15 % шамоту, що зменшує усадку й короблення виробів під час сушіння й випалу.

Для одержання високої якості черепиці необхідна природна підготовка глин – вилежування, виморожування. Глину, пропущену через бігуни й глином'ялку, укладають в сховище для вилежування на термін до 20 діб. Вилежування маси у вологому стані сприяє підвищенню її пластичних властивостей, однорідності складу й рівномірному розподілу в ній вологи. Після вилежування масу вдруге пропускають через бігуни та глином'ялку.

Схема виробництва стрічкової черепиці показана на рис. 5.13. Глину зі сховища *1* грейфером *2* подають у ящиковий живильник *3*, потім по конвеєру *4* на вальці для видалення каміння *5* і бігуни мокрого помелу *5*, куди одночасно надходять домішки. Після цього маса через вальці тонкого помелу *7* потрапляє в стрічковий вакуум-прес *8*. Автомат *9* розрізає стрічку на окремі черепиці, що на сушильних вагонетках *10* надходять у тунельну сушарку *11*. Після сушіння черепицю на пічній вагонетці *12* транспортують у тунельну піч *13* для випалу.

Сушать черепицю в сушарках різного типу. Широко застосовують тунельні сушарки, де теплоносієм служить гаряче повітря. У початковій стадії сушіння, поки сирець не набув достатньої міцності, дуже важливо забезпечити правильний тепло- і вологообмін і обтікання теплоносієм виробів. Термін сушіння 48…72 год. При виготовленні глазурованої черепиці глазур пістолетом-розпилювачем наносять на лицьову поверхню висушеного виробу. Черепицю випалюють за температури 950…1000 °С

у тунельних чи кільцевих печах. Готову черепицю сортують, упаковують у дерев'яну тару і зберігають у закритих приміщеннях.

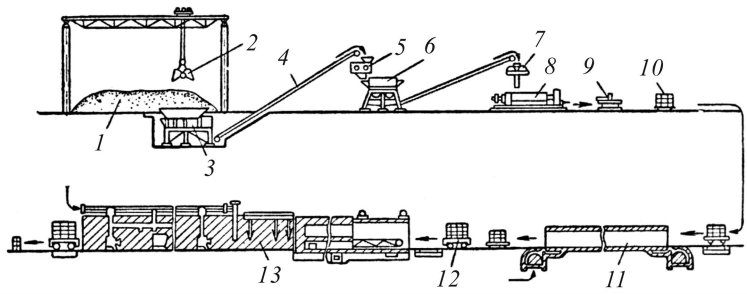


Рис. 5.13. Схема виробництва стрічкової черепиці

Штамповану черепицю формують у полозкових (рис. 5.14), револьверних (рис. 5.15) і ексцентрикових прес-автоматах.

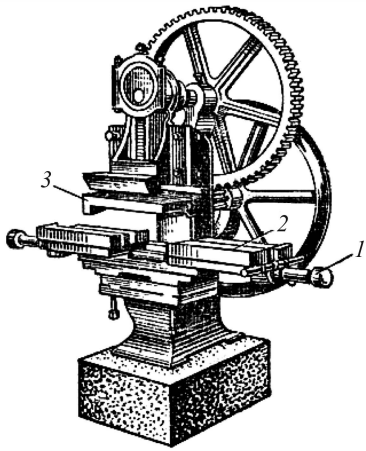


Рис. 5.14. Полозковий прес для штампування черепиці:
1 – штанга; *2* – форма; *3* – пуансон

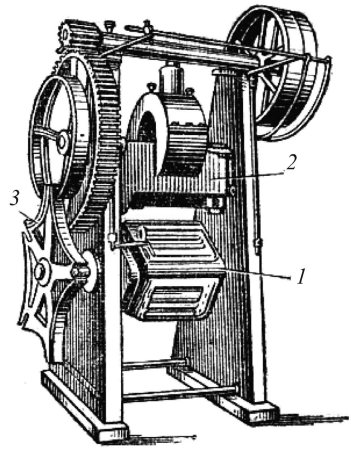


Рис. 5.15. Револьверний прес для штампування черепиці:
1 – барабан; *2* – штамп; *3* – зірочка

Керамічну дахову черепицю застосовують головним чином у сільському малоповерховому будівництві. Покрівля з черепиці відрізняється довговічністю, високою вогнестійкістю, стійкістю до атмосферних впливів і високими експлуатаційними якостями, вона не має потреби в періодичних фарбуваннях і не піддається корозії. Черепицю укладають на дерев'яні лати даху, на якому вона утримується шипами, розташованими на тильній стороні. Уклон черепичного даху повинен бути не менше 30°. До недоліків керамічної черепиці відносять необхідність великого уклону покрівлі й значну масу 1 м^2 покрівлі, що вимагає особливої міцності конструкцій крокв, а також підвищує трудомісткість покрівельних робіт.

Гравій керамзитовий. Це пористий гранульований матеріал ніздрюватої будови із закритими дрібними порами, одержуваний шляхом випалу, що супроводжується спучуванням легкоплавкої глинистої маси. Цей легкий, міцний, морозостійкий і низькотеплопровідний матеріал є одним із найкращих заповнювачів для легких бетонів середньої густини 800…1200 кг/м^3. Такі бетони характеризуються гарними теплоізоляційними властивостями.

За розміром зерен керамзитовий гравій поділяють на три фракції: 5…10, 10…20 і 20…40 мм. Повний залишок на ситі, % за об'ємом, залежно від розміру вічок контрольних сит становить:

$D_{\text{найм}}$ . . . . . не менше 95
$D_{\text{найб}}$ . . . . . не більше 5
$2D_{\text{найб}}$ . . . . . не допускається

Гранули керамзитового гравію повинні мати округлу форму й оплавлену поверхню. Основною характеристикою гравію є його насипна густина, залежно від якої гравій підрозділяють на дванадцять марок. За міцністю гравій поділяється на два класи: А і Б. Кожній марці й класу гравію відповідає границя міцності його під час стиску, встановлена ДСТУ Б В. 2.7-17-95 (табл. 5.9).

Міцність гравію визначають під час здавлювання в циліндрі. Середнє значення коефіцієнта форми зерна гравію (відношення найбільшого розміру до найменшого) повинно бути не більше 1,5. Допускається наявність зерен гравію з коефіцієнтом форми 2,5 у кількості не більше 20 %.

Вміст у гравії розколотих зерен не повинен перевищувати 15 % за масою. Водопоглинання гравію протягом 1 год повинно бути не більше (відсотки за масою): по марку 400 включно – 25; марок 450–600 – 20; марок 700 і 800 – 15. Втрата маси гравію під час кип'ятіння не повинна перевищувати 5 %. Вологість керамзитового гравію не більше 2 % за масою. При випробуванні на морозостійкість гравій має витримувати не менше

15 циклів заморожування і відтавання, втрата маси при цьому не повинна перевищувати 8 %.

Таблиця 5.9

Характеристика керамзитового гравію

Марка	Насипна густина, кг/м^3	Міцність гравію, МПа, класу	
		А	Б
150	До 150	0,4	0,3
200	150…200	0,5	0,4
250	200…250	0,8	0,6
300	250…300	1,0	0,8
350	300…350	1,3	1,0
400	350…400	1,6	1,2
450	400…450	2,0	1,8
500	450…500	2,5	1,8
550	500…550	3,0	2,1
600	550…600	3,5	2,8
700	600…700	4,5	3,0
800	700…800	5,5	4,0

Сировиною для виготовлення керамзитового гравію служать легкоплавкі глини (що містять 6…12 % оксидів заліза, 2…3 % лужних оксидів і до 3 % органічних домішок), трепели, глинисті сланці, а також золи теплових підприємств, здатні спучуватися в умовах термічної обробки. Вміст сірчистих сполук не повинен бути більшим 1 % у перерахуванні на SO_3. Коефіцієнт спучування застосовуваних глин – вище 4. Температура випалу глиняної маси повинна бути в межах 1050…1300 °С. Здатність глин спучуватися залежить не тільки від їх хімічного та мінерального складу, але також і від умов підготовки шихти й формування гранул (вологості, розміру, форми), від температури і тривалості нагрівання гранул на різних

стадіях термічної обробки. При нестачі в глині органічних домішок у неї вводять торф'яну кришку, вугільний пил та інші домішки, що сприяють утворенню пор. У процесі випалювання глини відбувається руйнування органічних домішок з виділенням газів і водяної пари, що і спучують частково розплавлену масу, утворюючи в ній пори. Спікання глини й утворення закритих пор закінчується в момент інтенсивного газовиділення.

Технологічний процес виробництва керамзитового гравію можна розділити на чотири фази: підготовка глиняної маси; формування гранул; теплова обробка; охолодження готового гравію.

Глиняну масу можна готувати сухим чи пластичним способом. Більшого поширення набув пластичний спосіб. Цим способом переробляють пухкі глини, що після обробки на зубчастих вальцях і в глинозмішувачах надходять на дірчасті вальці, де формують гранули. Сухий спосіб застосовують за наявності глин, які можна дробити в стані природної вологості (у кар'єрах). Глини дроблять у щокових дробарках чи зубчастих вальцях до одержання кришки визначеного розміру.

При випалі керамзитового гравію відбуваються такі процеси: випаровування фізично зв'язаної води; видалення хімічно зв'язаної води шляхом подальшого нагрівання глинистого матеріалу; спучування матеріалу під тиском газів, що утворюються в результаті розкладання і взаємодії компонентів маси.

Керамзитовий гравій випалюють в обертових печах барабанного типу за температури до 1300 °С протягом 30…60 хв. Більш ефективні печі, що мають два барабани із самостійним приводом: перший барабан (більш довгий) призначений для попередньої теплової обробки гранул, а другий більшого діаметра – для спучування. Довжина барабанів звичайно 20…50, діаметр 1,5…3,5 м, продуктивність печей до 15 $м^3$/г.

Спучений керамзит при виході з печі має температуру в межах 1000 °С. Міцність і водопоглинання керамзиту залежать від умов його охолодження в барабанних холодильниках. Процес охолодження дуже трудомісткий і тривалий, тому що коефіцієнт корисної дії холодильників невисокий; крім того, холодильники громіздкі й займають велику площу. Охолоджений до температури 50…70 °С гравій транспортують на склад готової продукції. На невеликих слабко механізованих підприємствах керамзитовий гравій охолоджують у ямах, розташованих поблизу випалювальних печей; таке охолодження вимагає тривалого часу.

Охолоджений керамзит на складі сортують за розміром гранул на фракції. Гранули більше 40 мм дроблять у молоткових чи валкових дробарках і сортують. Гравій, розсортований за марками, надходить у бункер,

звідки його завантажують на транспортні засоби. Зберігання гравію в штабелях на відкритих площадках не забезпечує умов для підтримки стабільної вологості нижче 2 %.

При виробництві керамзитового гравію варто систематично контролювати якість сировини, напівфабрикату, роботу обладнання, температурний режим і, нарешті, якість готових виробів.

Спеціальна цегла. *Цегла дорожня* (клінкерна) являє собою штучний камінь, одержаний шляхом випалу глиняної маси до повного спікання, але без склування поверхні. Розмір цегли 220 × 110 × 65 мм. Відповідно до границі міцності під час стиску її розділяють на три марки – 1000, 700 і 400. Цегла повинна бути міцною (табл. 5.10), морозостійкою, не крихкою.

Таблиця 5.10

Міцність дорожньої цегли

Марка	Границя міцності під час стиску, МПа, кубів 5 × 5 × 5 см, не менше		Опір	
	середнє значення для п'яти зразків	найменше значення для окремого зразка	удару, число ударів до руйнування	стиранню (коефіцієнт зносу), не менше
1 000	100	70	15	18
700	70	40	12	16
400	40	30	8	14

Водопоглинання дорожньої цегли зазначених марок відповідно становить не більше 2, 4 і 6 % (за масою), морозостійкість 100, 50 і 50 циклів навперемінного заморожування і відтавання, середня густина не менше 1900 кг/м^3.

Для виготовлення дорожньої цегли застосовують глини, що мають тонкозернисту будову і зв'язність у сухому стані. Вони повинні добре формуватися і спікатися без деформації за температури не вище 1300 °С. Інтервал плавлення глин повинен бути якомога більшим, тому що це забезпечує одержання під час випалу добре спеченого, щільного і міцного черепка.

Цеглу виготовляють способом пластичного чи напівсухого пресування. Останній спосіб має ряд переваг: практично не потрібне попереднє

сушіння сирцю, обробляти суху масу простіше й дешевше, усадка сирцю значно менша і не спричиняє деформацій і тріщин, випускати цеглу можна цілий рік, процес виробництва значно простіше механізувати.

Випалюють цеглу в тунельних печах системи Артемкіна. Весь цикл випалу клінкерної цегли триває 36…48 год. Після випалу й охолодження цеглу сортують на партії: добре випалена цегла правильної форми; цегла з незначними деформаціями і частково невипалена; невипалена, яку можна використати як будівельну цеглу; перепалена зі значними деформаціями, яку дроблять на щебінь.

Дорожню цеглу застосовують для покриття доріг і бруківок, обкладання каналізаційних колекторів і облицювання набережних, а також у хімічній промисловості як кислототривкий матеріал.

Цеглу кислототривку нормальну виготовляють за ГОСТ 474-90. Застосовується кислототривка цегла для захисту будівельних конструкцій і апаратів, що працюють в умовах агресивних середовищ.

За формою цегла буває пряма і клинова (торцева і реброва). За фізико-механічними властивостями її розділяють на два сорти: 1-й і 2-й.

Кислототривка цегла має такі розміри: пряма 230 × 113 × 65 мм; клин торцевий двосторонній – 230 × 113 × (65…55) мм; клин ребровий двосторонній – 230 × 113 × (65…55) мм. Останні розміри (55 мм) показують меншу товщину клина. Встановлені допуски граничних відхилень за розмірами кислототривкої цегли: за довжиною ±4 для 1-го і ±5 мм для 2-го сорту; за шириною ±2 і ±3 і по товщині ±2 і ±2 мм відповідно. Скривлення граней цегли 1-го сорту не повинні перевищувати 2 мм по ложку і 1 мм по постелі, 2-го сорту – 3 і 2 мм відповідно. Допускаються незначні відбитості ребер і кутів у кількості не більше двох-трьох на одній цеглі.

Кислототривка цегла, а також інші керамічні кислототривкі вироби здатні витримувати тривалий вплив різних кислот (крім фтористоводної), а також лугів. Вони повинні мати високу густину і міцність. Кислототривкість цегли 1-го сорту повинна бути не менше 97 %, 2-го сорту – 95 %. Водопоглинання відповідно має становити 7 і 9 %. Кислототривка цегла обох сортів повинна витримувати випробування на водонепроникність – через 24 год на зворотній стороні цегли не повинно бути крапель. Границя міцності під час стиску цегли 1-го сорту – не менше 40 МПа і 2-го сорту – 30 МПа. За термічною стійкістю цегла 1-го сорту повинна витримувати три теплозміни, 2-го сорти – дві. Колір цегли може бути неоднорідним, але будова в зламі повинна бути дрібнозернистою і однорідною.

Виготовляють кислототривку цеглу з тугоплавких і вогнетривких основних і напівкислих глин високої і середньої пластичності, вільних від шкідливих домішок вапняку, колчедану й ін. Температура спікання цих

глин повинна бути в межах 1100…1200 °С. Приблизний склад цих глин: кремнезем – 55…65 %, глинозем – 20…40 %, окис заліза – 3,5 % і окис кальцію – 1…2 %.

Крім кислототривкої цегли виготовлюють й інші види кислототривких керамічних виробів – кислототривкі й термокислототривкі плитки (застосовують для футерування різних апаратів і газоходів підприємств хімічної промисловості), кислототривкі труби (застосовують для транспортування кислот і газів при тиску 0,3 МПа) та ін. Ці вироби покривають глазур'ю для зниження їх проникності.

Цеглу глиняну лекальну застосовують для кладки димарів, а також футерування заводських труб у випадку, якщо температура нагрівання їх димовими газами не перевищує 700 °С. Залежно від границі міцності під час стиску по перерізу брутто цеглу підрозділяють на три марки – 150, 125 і 100 (табл. 5.11). Залежно від довжини лекальну цеглу поділяють на чотири типи: 1-й – 80 мм; 2-й – 100 мм; 3-й – 210 мм; 4-й – 225 мм.

Таблиця 5.11

Механічні показники лекальної цегли

Марка	Границя міцності, МПа, не менше			
	під час стиску		на розтяг при згині	
	середнє значення для п'яти зразків	найменше значення для окремого зразка	середнє значення для п'яти зразків	найменше значення для окремого зразка
150	15,0	12,5	2,8	2,2
125	12,5	10,0	2,5	2,0
100	10,0	8,5	2,2	1,8

Відхилення в розмірах не повинні перевищувати по довжині ±6, по товщині ±3 і по ширині ±4 мм. Водопоглинання лекальної цегли повинно бути не більше 8 % постійної маси, морозостійкість – не менше 15 циклів поперемінного заморожування й відтавання.

Технологічні процеси виготовлення лекальної цегли аналогічні процесам виготовлення цегли інших видів. Окремі деталі обладнання заміняють відповідно до особливостей конфігурації цегли.

Керамічні деталі перекриттів. Ці деталі виготовляють у порівняно невеликому асортименті. Можна назвати такі види виробів: камені для часторебристих перекриттів; камені для армокерамічних балок; камені для накатів (заповнювачі між балками). Усі ці вироби роблять порожнистими, що полегшує масу конструкції.

Технологічні труднощі, пов'язані з виготовленням великогабаритних монолітних керамічних виробів, змусили піти на випуск складених армованих конструкцій для перекриттів, що збираються з окремих керамічних деталей. Так, армокерамічні балки, що мають довжину до 6 м, складаються з п'яти-шести окремих елементів. Камені для цих балок виготовляють середньою густиною до 1300 кг/м^3 (марки 75…200); камені для накатів – середньою густиною до 1000 кг/м^3 (марки 35, 50 і 70); камені для часторебристих перекриттів – середньою густиною до 1000 кг/м^3 (марки 50…200). Марки каменів встановлюють відповідно до середньої границі міцності під час стиску (кгс/см^2). Камені мають такі розміри, мм:

– довжина 195, 245, 295
– ширина:
  часторебристих перекриттів 180, 195, 245, 295
  армокерамічних балок 195, 245, 295
  висота 120, 140, 180, 200, 240

Товщина стінок каменів усіх видів повинна бути не менше 10 мм.

Сировиною для виготовлення пустотілих виробів для перекриттів служить глина середньої пластичності, що легко подрібнюється, не має грудок і включень. Маса повинна бути ретельно перемішаною і пластичною, що забезпечує формування виробів складної конфігурації. Технологія керамічних виробів для перекриттів аналогічна технології звичайної глиняної цегли, виготовленої способом пластичного формування.

Застосування керамічних каменів для перекриттів дуже обмежене. Камені для армокерамічних балок застосовують в основному в сільському будівництві, камені для часторебристих перекриттів – у будівлях і спорудах міського типу. Обидва види каменів не застосовують у перекриттях, що піддаються вібраціям чи дії великих зосереджених навантажень. Камені для накатів використовують для заповнення між балками армокерамічних чи залізобетонних перекриттів.

5.5. Перспективи розвитку виробництва керамічних будівельних виробів

Необмежені запаси сировини (глини), простота технології, багатовіковий досвід виробництва, а також довговічність керамічних виробів сприяли різноманітному їх застосуванню в будівництві.

Деякі види керамічних матеріалів дотепер є незамінними й найбільш поширеними. Так, незважаючи на розширення випуску стінових матеріалів, особливо залізобетонних, глиняна цегла складає половину всіх стінових матеріалів, застосовуваних у даний час.

Цегляні стіни будівель у середній смузі зводять товщиною в 2,5 цегли (64 см). Це викликає непродуктивні витрати трудових і матеріальних ресурсів, збільшує терміни будівництва і його вартість в порівнянні з індустріальним будівництвом, що ведуть шляхом механізованого складання будівель з великих стінових залізобетонних панелей. Але для збільшення обсягів виробництва збірного залізобетону необхідні великі капітальні витрати й тривалі терміни для будівництва й освоєння нових підприємств.

Тож доцільним є різке збільшення виробництва пустотілої стінової кераміки (порожниста цегла, камені й блоки з них). Виробництво цих матеріалів можна легко організувати на діючих цегельних заводах при невеликих капітальних витратах в основному на перебудову й переобладнання масозаготівельних і формувальних ділянок виробництва. Вже за останні роки виробництво пустотілої кераміки склало близько 4 % загального обсягу випуску цегли і досягло 1 млрд шт. умовної цегли. У закордонних країнах порожниста кераміка в порівнянні зі звичайною цеглою зайняла провідне положення.

Застосування пустотілої кераміки, яка характеризується високими конструктивними властивостями і малою теплопровідністю, особливо за від'ємих температур, дає можливість зменшити товщину зовнішніх стін будівель на 30 і навіть на 40 %, маса стін при цьому знижується в середньому на 36 %, витрата цементного розчину – на 45 %. Застосування як стінового матеріалу укрупнених каменів дає ще більшу економію, дозволяючи зменшити товщину стін на 47 %, а їх масу на 60 %, витрату розчину на 55 % і витрату керамічних матеріалів на 50 %. В разі мурування стін з порожнистої кераміки відповідно зменшуються і витрати праці. Необхідно також зауважити, що при випуску порожнистої пористої кераміки витрата сировини зменшується на 30…40 %, продуктивність сушарок і печей цегельних заводів зростає на 20…25 %, що дає економію палива до 20 %.

Підрахунки показали, що реконструйований для випуску порожнистої стінової кераміки цегельний завод збільшує свою продуктивність на 70…80 % (в умовному численні).

Керамічні облицювальні плитки, незважаючи на розвиток виробництва облицювальних плиток на основі полімерів, також залишаються основним матеріалом для обробки санітарних вузлів і інших приміщень з режимом підвищеної вологості, хімічної агресивності та високих гігієнічних вимог. Для облицювання будівель керамічні матеріали також не втратили свого значення, хоча з'явилося багато інших видів облицювального матеріалу. Особливо зростає випуск таких керамічних матеріалів, як керамзит.

Розвиток машинобудівної промисловості в нашій країні дає можливість безперервно вдосконалювати механічне обладнання заводів будівельної кераміки. Широко застосовують зараз нові види дробильно-помольних, змішувальних і формувальних машин. Підприємства оснащують новітнім підйомно-транспортним обладнанням, особливо важливим для керамічного виробництва, що має потребу в заготівлі й переміщенні великих мас сировини і продукції. Використання на керамічних підприємствах як палива природного газу не тільки підвищує продуктивність праці й знижує собівартість виробів, але й підвищує якість продукції. Найближчим часом крім заходів загального технічного прогресу – механізації й автоматизації, удосконалювання технології і поліпшення організації праці – необхідно прагнути до зниження собівартості виробів і звернути особливу увагу на організацію випуску нових, високоефективних керамічних будівельних матеріалів і виробів.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається керамічними матеріалами? Сировина для виготовлення керамічних матеріалів.
2. Класифікація і основні властивості глин.
3. Домішки до глин і їх вплив на властивості керамічних матеріалів.
4. З яких операцій складається технологічний процес виготовлення керамічних виробів і матеріалів?
5. Чим зумовлено існування різних способів формування керамічних матеріалів? Назвіть їх, дайте коротку характеристику.
6. Що відбувається з глинами у процесі сушіння та випалювання?
7. Обробка поверхні керамічних матеріалів. Що називається глазурями та ангобами?
8. Наведіть класифікацію керамічних виробів і матеріалів.

9. Якими показниками характеризується якість керамічної цегли? Її застосування у будівництві.
10. Які керамічні матеріали застосовують для внутрішнього облицювання стін, підлог і які вимоги ставляться до цих матеріалів?
11. Перелічіть види санітарно-технічних виробів.
12. Заповнювачі для легкого бетону: керамзит, аглопорит. Дайте характеристику.
13. Вогнетривка кераміка і її застосування в будівництві. Особливості технології і властивості.

Список рекомендованої літератури

1. Будников П. П. и др. Технология керамических изделий. – М. – Л.., 1946.
2. Горшков В. С. и др. Физическая химия силикатов. – М., 1988.
3. Кешляк Л. Л., Калиновский В. В. Производство изделий строительной керамики. – М.: Высш. шк., 1985.
4. Неназишвили И. Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: Справочник. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Мороз И. И. Технология строительной керамики: Учеб. пособие для вузов. – К.: Вища шк., 1980. – 384 с.
6. Общая технология силикатов / Под общ. ред. А. А. Пащенко. – К.: Вища шк., Головне видав-во, 1983. – 408 с.
7. Стрелов К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Металургія, 1985. – 480 с.
8. Волкова Ф. Н. Общая технология керамических изделий. Учеб. пособие. – М.: Стройиздат, 1989. – 80 с.
9. Крупа А. А. Химическая технология керамических материалов: Учеб. пособие / А. А. Крупа, В. С. Городов. – К.: Вища шк., 1990. – 399 с.

РОЗДІЛ 6

Неорганічні в'яжучі речовини

6.1. Загальні відомості

Неорганічними в'яжучими речовинами називають матеріали, здатні при змішуванні з водою утворювати в'яжуче тісто, тобто в'язко-пластичну і легкоукладальну масу, що поступово твердне, перетворюючись на міцне каменеподібне тіло. Цей мимовільний процес твердіння іноді на практиці доводиться сповільнювати або прискорювати. Так, цементні вироби для прискорення твердіння піддають тепловій обробці.

В'яжучі речовини призначені головним чином для виготовлення різних видів бетонів (звичайних, легких, ніздрюватих), будівельних розчинів, а також виробів і конструкцій з них, у тому числі залізобетонних. Зазначені матеріали й вироби випускають у великих кількостях і в широкому асортименті.

У давні часи для зведення споруд широко використовували природні кам'яні матеріали. Але надання такому матеріалу заданої форми, тобто одержання будівельних елементів – процес дуже трудомісткий. Застосування ж в'яжучих речовин дозволяє одержувати вироби порівняно легким методом формування.

Розвиток науки й виробництва веде до заміни механічної обробки матеріалів хімічною. Цей спосіб більш продуктивний і вигідний.

Залежно від хімічного й мінералогічного складу в'яжучі речовини підрозділяють на такі основні групи: а) вапно; б) цемент; в) вапняно-шлакові, вапняно-пуцоланові й подібні речовини; г) гіпсові в'яжучі речовини; д) магнезіальні в'яжучі; е) рідинне скло.

Залежно від галузі застосування розрізняють повітряні, гідравлічні та кислототривкі в'яжучі речовини.

Повітряні в'яжучі речовини після замішування водою здатні тверднути, підвищувати свою міцність і тривало її зберігати тільки на повітрі (але не у воді). До цієї групи належать повітряне вапно, гіпсові й магнезіальні

в'яжучі речовини. Повітряні в'яжучі речовини застосовують лише в надземних спорудах, які не піддаються дії води.

Гідравлічні в'яжучі речовини після замішування водою здатні тверднути і тривало зберігати міцність на повітрі й у воді. Однак у початковий період твердіння необхідно, щоб у середовищі, де перебуває в'яжуча речовина, була наявна волога, тому що інакше не можуть відбуватися повноцінно хімічні реакції, які зумовлюють твердіння матеріалу. У наступні періоди твердіння міцність зростає також за умови достатньої вологості середовища. Якщо ж вологість недостатня, то міцність матеріалу, виготовленого на гідравлічній в'яжучій речовині, більше не збільшується, але тривало зберігається.

До групи гідравлічних в'яжучих належать гідравлічне вапно, романцемент, портландцемент, пуцоланові, шлакові цементи, глиноземистий цемент і деякі різновиди цих матеріалів. Гідравлічні в'яжучі речовини можна застосовувати в спорудах, що піддаються дії води, – у надземних, підземних і гідротехнічних будівлях.

Кислототривкі в'яжучі речовини здатні досягати певної міцності й зберігають її тільки в середовищі, у якому наявні деякі мінеральні кислоти, але не в чистій воді чи воді, що містить луги. До кислототривких в'яжучих належать різні види рідинного скла.

В'яжучі речовини крім застосування розрізняються також за швидкістю твердіння. Найбільшу швидкість твердіння має будівельний гіпс – він твердне за кілька годин. Дуже повільно твердне повітряне вапно. Через 1…2 місяці його міцність невелика й збільшується лише через декілька десятиліть. Тому міцність вапняно-піщаних будівельних розчинів у стародавніх будівлях іноді виявляється близькою до міцності цементно-піщаних розчинів.

Твердіння в'яжучих речовин, тобто перетворення пластичного в'яжучого тіста у тверде каменеподібне тіло, відбувається внаслідок хімічних і фізико-хімічних процесів, специфічних для кожного в'яжучого. В будівельному матеріалознавстві розрізняють два періоди в процесах твердіння більшості в'яжучих речовин – тужавлення і власне твердіння.

Момент, коли пластичне в'яжуче тісто починає тужавіти й втрачає пластичність, прийнято вважати початком тужавлення. Використовуючи певну в'яжучу речовину, потрібно враховувати показник строків тужавлення, тому що перемішувати, укладати й ущільнювати бетонні чи розчинні суміші можна лише в той період, коли суміш ще не втратила своєї пластичності.

Через певний час в'яжуче тісто повністю тужавіє й перетворюється у тверде тіло, яке ще не має значної міцності. Цей момент вважається

закінченням тужавлення. Визначення кінця тужавлення великого практичного значення не має. Взагалі показники термінів тужавлення характеризують у першому наближенні хід структуроутворення у в'яжучому тісті.

Якщо до початку тужавлення суміш в'яжучої речовини з водою називали в'яжучим тістом, а після введення заповнювачів – розчином або бетонною сумішшю, то після закінчення тужавлення можна застосувати відповідно назви штучний камінь (наприклад, цементний камінь) і бетон.

Тужавлення варто розглядати як початковий період загального процесу твердіння. Надалі в результаті хімічних і фізико-хімічних процесів матеріал продовжує твердіти й міцність його зростає.

Відповідно до теорії твердіння в'яжучих, розробленої О. О. Байковим (1923 р.), процес твердіння підрозділяється схематично на три періоди: підготовчий (насичення), колоїдації і кристалізації.

Частки в'яжучої речовини (цемент, гіпс), стикаючись з водою, починають розчинятися з поверхні, утворюючи насичений розчин. Одночасно починається гідратація тих сполук, що утворюють дану в'яжучу речовину. Це і є підготовчий період – стадія насичення.

Оскільки гідратні утворення менш розчинні, ніж безводні чи малогідратовані (наприклад, розчинність двоводного гіпсу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ майже в п'ять разів менша, ніж напівводного $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$), то розчин, насичений стосовно сполук, що є у вихідній в'яжучій речовині, є пересиченим стосовно новоутворень. Тому новоутворення виділяються з розчину у вигляді гелю. Утворення гелю в значній кількості викликає затужавлення маси. Відбувається тужавлення в'яжучого тіста, що відповідає періоду колоїдації. Це другий період твердіння.

Гель, що утворюється, є нестійким і поступово повільно перетворюється в кристалічні зростки. Це третій період твердіння – перетворення в'яжучого тіста у тверде каменеподібне тіло.

Зазначені періоди не спостерігаються у строгій послідовності один за одним, а накладаються один на інший.

Наведена коротка схема дає лише попереднє загальне уявлення про механізм твердіння в'яжучих речовин. Ці процеси мають дуже складний характер. Вивчення їх в цілому, а також їх окремих складових продовжує служити предметом дослідження численних праць вітчизняних і закордонних вчених.

6.2. Повітряні в'яжучі речовини

6.2.1. Повітряне вапно

Повітряне вапно (ДСТУ Б В.2.7-90-99) – одна з найдавніших в'яжучих речовин. Його використовували в суміші з піском ще за 3 000…2 500 років до нашої ери для скріплення каменів і цеглин у різних будівлях, а також для приготування штукатурних розчинів і фарбувальних сумішей. Таке ж застосування має вапно і в наш час. Зараз його використовують ще й у виробництві автоклавних силікатних матеріалів.

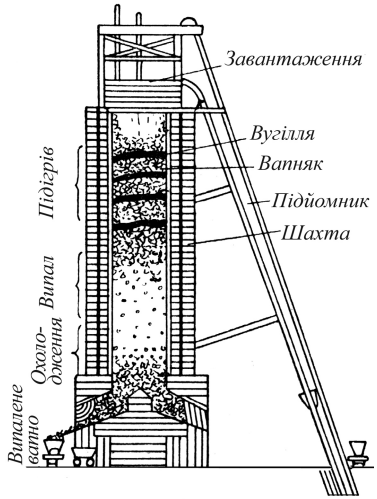


Рис. 6.1. Шахтна піч

Вапно одержують випалом кальцієвомагнієвих карбонатних гірських порід за температури 1 000…1 200 °С у шахтних печах (рис. 6.1), при цьому з карбонатів кальцію і магнію практично повністю видаляється двоокис вуглецю CO_2 (вуглекислий газ). Під час випалу вапна рідка фаза не повинна утворюватися і, отже, матеріал не повинен спікатися.

До кальцієвомагнієвих карбонатних порід належать вапняки, доломітизовані вапняки і мергелисті вапняки.

Вапняк являє собою порівняно чисту кальцієву карбонатну породу з невеликими домішками глини (не більше 6 %) і карбонату магнію (до 7 %). Основною складовою вапняку є мінерал кальцит ($CaCO_3$). У доломітизованих вапняках вміст вуглекислого магнію становить більше 7 %. Мергелисті вапняки відрізняються тим, що вони поряд з карбонатом кальцію і з карбонатом магнію (менше 7 %) містять від 6 до 20 % глинистих домішок.

Оскільки у вихідній сировині кількісно переважає карбонат кальцію, то найважливішою реакцією, яка відбувається під час випалу, є така: $CaCO_3 + 178\ кДж = CaO + CO_2$. Витрата палива становить 1 000…1 200 ккал на 1 кг вапна і втрата в масі відповідно реакції до 44 %.

Водночас продукт випалу звичайно містить деяку кількість оксиду магнію, який утворився при дисоціації карбонату магнію:

$MgCO_3 = MgO + CO_2$. Глинисті домішки також не залишаються інертними в процесі випалу, вони реагують у твердому стані за високої температури печі з оксидами кальцію і магнію. Ці реакції істотно впливають на якість одержуваного вапна.

В процесі термічної дисоціації карбонату кальцію тиск вуглекислого газу досягає 760 мм рт. ст, тобто атмосферного тиску, за температури близько 900 °С, для карбонату магнію ця температура становить близько 750 °С. Це і будуть теоретично нормальні температури випалу карбонатів. Але на практиці для задовільного ходу випалу температуру пічного простору доводять до 1000…1200 °С, а іноді навіть до 1200…1300 °С.

Якщо випалюється досить чистий вапняк з незначним вмістом карбонату магнію і глинистих домішок і якщо вуглекислий газ вилучений повністю, то з рівняння дисоціації карбонату кальцію випливає, що вага випалених шматків породи зменшується майже у два рази (молекулярна вага $CaCO_3 = 100$, а $CO_2 = 44$). Але при цьому об'єм шматків породи, як показують дослідження, практично мало змінюється – він зменшується усього лише на 10…12 %. Отже, продукт випалу (у даному випадку вапно, що складається в основному з оксиду кальцію) має дуже пористу структуру.

Оксиди кальцію і магнію, що є у випаленому вапні, при взаємодії з водою утворюють відповідні гідроксиди – речовини, здатні твердіти на повітрі, але не у воді. Отже, у випаленому вапні містяться різні сполуки, одні з яких зумовлюють властивості матеріалу як повітряного в'яжучого, а інші – як гідравлічного. Від кількісного співвідношення між цими складовими вапна залежить перевага в ньому властивостей повітряної чи гідравлічної в'яжучої речовини. Якщо кількість глинистих домішок у випалюваній породі не перевищує 6 %, отримане вапно називають повітряним, при більшому вмісті домішок вапно вважається гідравлічним. У повітряному вапні вміст вільних оксидів кальцію і магнію досягає 90…95 %, а силікатів і алюмінатів кальцію не перевищує 10 %. У гідравлічному ж вапні кількість силікатів і алюмінатів доходить до 70…80 %, тобто значно більше, ніж оксиду кальцію й оксиду магнію. Гідравлічне вапно з відносно невеликим вмістом силікатів і алюмінатів називають слабогідравлічним, а з великим – сильногідравлічним.

Гашення і помел вапна. Випалене вапно виходить з печі у вигляді пористих кам'янистих шматків або грудок (грудкове вапно). Це напівпродукт, який необхідно піддати гашенню чи помелу.

Повітряне вапно – це єдина в'яжуча речовина, яку можна перетворити в тонкодисперсний стан без помелу, хімічним диспергуванням. Але

в деяких випадках повітряне вапно перетворюють у порошок помелом. При цьому вода, що стикається зі шматками негашеного вапна, поглинається нею, всмоктуючись у пори, і одночасно хімічно взаємодіє з оксидом кальцію, утворюючи гідрат оксиду кальцію і виділяючи тепло за рівнянням

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 63{,}7 \text{ кДж}.$$

Тепловиділення при гашенні вапна дуже велике, при цьому частина води перетворюється в пару і здається, що вапно кипить. Тому негашене вапно часто називають вапном-кипілкою.

Під час гашення утворюються дрібні частинки, вапно ніби розпушується (звідси назва «пушонка»). Внаслідок розпушення речовини об'єм гідратованого вапна більший, ніж негашеного.

Оксид магнію, що міститься у вапні головним чином у вигляді мінералу периклазу, також гідратується:

$$MgO + H_2O = Mg(OH)_2.$$

Однак гідратація периклазу відбувається дуже повільно, тому може статися так, що, коли оксид кальцію у вапні прогідратується повністю, гідратація оксиду магнію буде тільки починатися, тобто утворення гідроксиду магнію значно запізнюється. Цей процес може завершитися вже в затверділому виробі (наприклад, у силікатних блоках автоклавного твердіння). Оскільки гідратація оксиду магнію, як і оксиду кальцію, відбувається зі збільшенням об'єму продукту гідратації, то у виробі виникають внутрішні напруження, що викликають утворення в ньому тріщин. Щоб запобігти утворенню великих кристалів периклазу, випал магнезіальних порід треба проводити за помірної температури.

Теоретично для гашення вапна потрібно 32,13 % води від маси CaO. Залежно від кількості води, що додається до грудкового вапна, отримують три різних продукти: якщо кількість води становить близько 70 % від маси CaO, отримують вапно-пушонку або гідратне вапно, яке збільшується в об'ємі в 2…3,5 рази; якщо кількість води при гашенні становить 200…250 % від маси CaO, то утворюється пластичне вапняне тісто, що містить приблизно 50 % води; при витраті води більше 250 % від маси CaO утворюється вапняне молоко. Для гашення вапна застосовують спеціальні апарати – гідратори різної конструкції.

Гідравлічне вапно звичайно перетворюють у робочий стан помелом, хоча деяка його частина, що являє собою оксид кальцію, здатна гідратуватися без попереднього механічного диспергування.

Твердіння повітряного вапна. При замішуванні з водою твердіння гашеного вапна пов'язане з двома процесами: кристалізацією гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$ при висиханні вапняних розчинів – гідратне твердіння

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

та наступною його карбонізацією – карбонатне твердіння

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + nH_2O = CaCO_3 + (n+1)H_2O.$$

Щоб прискорити твердіння, до вапна додають цемент і гіпс, а також збільшують вміст вуглекислого газу в повітрі, піддаючи вироби штучній карбонізації.

Двоокис вуглецю повільно дифундує усередину вапняно-піщаного розчину, хоча наявність піску в суміші полегшує доступ газу в товщу матеріалу. При цьому утворений карбонат кальцію $CaCO_3$ зростається з кристалами $Ca(OH)_2$, зміцнює вапняний розчин і підвищує його водостійкість.

Поряд з карбонізацією при деякій вологості середовища відбувається перекристалізація повітряного вапна; цей процес супроводжується зрощенням окремих кристалів і зміцненням системи.

В разі автоклавного твердіння (за умови додавання силікатного компонента до вапняних розчинів) можлива реалізація ще одного виду твердіння – *гідросилікатного*, яке спостерігається при отриманні силікатної цегли або силікатних бетонів.

Реакція між кварцовим заповнювачем та $Ca(OH)_2$ за нормальних умов практично не відбувається. Проте якщо замість кварцового піску використовувати активні мінеральні домішки (шлаки, золи, подрібнену випалену цеглу та ін.), то поряд з утворенням карбонатів буде наявний синтез деякої кількості гідросилікатів кальцію, які підвищують міцність розчинів. Взаємодія вапна з кварцовим піском може відбуватися і за умов додавання піску в тонкомеленому стані.

У сухому середовищі вапно практично не карбонізується, тому що ця реакція відбувається тільки в іонній формі. Тому, наприклад, вапняні фарби не можна наносити на суху основу в ті періоди, коли стоїть дуже жарка суха погода. У присутності великої кількості води вапно теж не карбонізується, тому що вода повинна видалятися зі сфери реакції, щоб її рівновага змістилася вправо.

За звичайної температури гідроксид кальцію взаємодіє з двооксидом кремнію (піску) вкрай повільно, волога також необхідна для цього

процесу. При цьому утворюються гідросилікати кальцію. Але для того щоб вони значно підвищили міцність вапняно-піщаних розчинів, потрібно багато десятиліть (за звичайної температури). Саме наявністю гідросилікатів кальцію пояснюється висока міцність, що виявляється при випробуванні вапняно-піщаних розчинів у стародавніх спорудах.

Процес утворення гідросилікатів кальцію в системі «вапно– кварцовий пісок» можна різко прискорити. Для цього ущільнену суміш вапна й піску піддають тепловій обробці у автоклавах.

Технічні характеристики будівельного вапна оцінюються визначенням активності, тонкості помелу, швидкості гашення, водопотреби, строків тужавлення, міцності під час стиску.

Істинна густина негашеного вапна – 3,1…3,3 г/см^3, а гашеного в кристалічному стані $Ca(OH)_2$ – 2,23 г/см^3. Насипна густина грудкового вапна – 1 600…2 600 кг/м^3, а меленого негашеного вапна – 900…1100 кг/м^3, гідратного (гашеного) вапна – 400…500 кг/м^3, вапняного тіста – 1 300…1 400 кг/м^3.

За вимогами стандарту сорт будівельного повітряного вапна визначається залежно від його активності, що оцінюється за вмістом активних оксидів (CaO+MgO), який становить не менше 70…90 %.

Повітряне будівельне вапно характеризується пластичністю, пов'язаною з його високою водоутримувальною здатністю, внаслідок чого вапняні розчини мають високу легкоукладальність, рівномірно розподіляються тонким шаром на поверхні цегли або бетону, добре зчеплюються з ними.

Водопотреба й водоутримувальна здатність повітряного будівельного вапна досить високі й залежать від виду вапна і дисперсності його частинок.

Строки тужавлення. Будівельні розчини на основі гашеного вапна тужавіють дуже повільно (протягом 5…10 діб), причому цей процес прискорюється при сушінні.

Будівельні розчини й бетони на основі меленого негашеного вапна швидко тужавіють і тверднуть (через 15…60 хв після замішування), причому водовапняне відношення зазвичай становить 0,9…1,5. Розчини та бетони, що здатні до самонагрівання під час гідратації, доцільно використовувати для проведення робіт у зимовий період (штукатурення, мурування, бетонування тощо).

Зміни об'єму. При твердінні розчинів і бетонів, що виготовлені з будівельного повітряного вапна, наявні деформації, які можуть бути пов'язані зі зміною вологості (усадка і набухання), температури та об'єму внаслідок

повільного перебігу реакцій гідратації перевипалених частинок. Останній вид деформацій, пов'язаний з нерівномірними змінами об'єму, майже не піддається контролю й може призвести до виникнення напружень, які досягають критичних значень і викликають розтріскування виробів та деформацію мурування. У процесі твердіння на повітрі вапняні розчини й бетони, особливо виготовлені на гашеному вапні, дають значну усадку.

Міцність будівельних розчинів і бетонів на основі повітряного будівельного вапна залежить від умов його твердіння. Будівельні розчини на основі гашеного вапна повільно тверднуть за звичайних температур (10…20 °С) і через місяць набувають невеликої міцності (0,5…1,5 МПа). Твердіння розчинів на основі негашеного вапна в повітряних умовах через 28 діб сприяє отриманню каменю міцністю 2…3 МПа. Автоклавне твердіння щільних вапняно-піщаних бетонів дозволяє отримати камінь міцністю 30…40 МПа та вище.

Маркування вапна здійснюється з урахуванням його швидкості гашення та активності. Наприклад, вапно з позначкою ВП-А-1 ДСТУ Б В. 2.7-90-99 відповідає вапну повітряному, швидко гашеному, першого сорту.

Вапняні вироби, у яких пройшли процеси карбонізації, відрізняються підвищеною водо- та морозостійкістю. Також досить довговічні автоклавні бетони, виготовлені на основі меленого негашеного вапна.

Повітряне вапно використовують для приготування мурувальних розчинів, а також для виготовлення штучних бетонних виробів, силікатної цегли й інших вапняно-піщаних виробів автоклавного твердіння, змішаних гідравлічних в'яжучих речовин (вапняно-шлакових, вапняно-зольних, вапняно-пуцоланових цементів) та фарбувальних сумішей.

Вапняно-шлакові цементи (ДСТУ Б В.2.7-22-95) належать до композиційних низькоактивних безклінкерних в'яжучих речовин. Такі цементи випускають марок М50, М100, М150, М200, М250. Для регулювання строків тужавлення й поліпшення їх властивостей у процесі виготовлення додають 5 % гіпсового каменю. Для вапняно-шлакових цементів характерне інтенсивне твердіння за підвищених температур, низька морозостійкість, але висока стійкість в агресивних водах і мала екзотермія.

Вапняно-зольні цементи відносять до безклінкерних зольних в'яжучих речовин, їх отримують спільним помелом або ретельним зміщуванням окремо помелених золи та вапна. Оптимальний вміст вапна в цих цементах становить 10…40 %. Тонкість помелу таких в'яжучих речовин, оцінена за залишком на ситі № 008, не більше 10 %, початок тужавлення – не раніше 25 хв, кінець – не пізніше 24 год з початку замішування. Збільшення температури та терміну гідротермальної обробки, а також підвищення

питомої поверхні золи дозволяє підвищити активність таких в'яжучих. Марки вапняно-зольних в'яжучих: М50, М100, М150 та М200. Автоклавна обробка дає змогу отримати на основі таких в'яжучих бетони міцністю 15…25 МПа.

Основною галуззю використання вапняно-зольних цементів є мурувальні та штукатурні розчини, а також вироби автоклавного твердіння.

Вапняні розчини й бетони – повітряностійкі матеріали. Під час витримування в нормальних умовах створюються можливості для їх зміцнення внаслідок поступової карбонізації гідроксиду кальцію на повітрі. У вологих умовах розчини й бетони, що тверділи у звичайних умовах, поступово втрачають міцність і руйнуються, причому швидкість руйнування прискорюється при їх заморожуванні та відтаванні.

6.2.2. Гіпсові в'яжучі речовини

Гіпсові в'яжучі речовини (ДСТУ Б В. 2.7-82-99) є типовим прикладом повітряних в'яжучих речовин. Вони складаються переважно з напівводного гіпсу $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ або ангідриту $CaSO_4$ і отримуються внаслідок теплової обробки вихідної сировини та її розмелювання. Продукт твердіння таких в'яжучих вважається майже ідеальним будівельним матеріалом, оскільки є екологічно безпечним, негорючим та вогнестійким.

Як вихідну сировину для виготовлення гіпсових в'яжучих речовин використовують гірські породи – природний гіпс (гіпсовий камінь), що складається переважно з мінералу гіпсу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; ангідрит $CaSO_4$, а також природну сировину у вигляді гажі й глиногіпсу та деякі відходи промисловості (борогіпс, фосфогіпс, фторогіпс, ферогіпс, титаногіпс, гідролізний гіпс).

Залежно від умов темообробки гіпсової сировини утворюються α- або β-модифікації напівгідрату й розчинного ангідриту. Якщо процес відбувається в середовищі насиченої пари або в розчинах деяких солей, то утворюється α-модифікація, якщо у відкритих апаратах, сполучених з атмосферою, – β-модифікація.

Твердіння гіпсових в'яжучих речовин відбувається внаслідок розчинення напівводного сульфату кальцію (напівгідрату) й появи насиченого розчину, у якому відбуваються реакції гідратації з утворенням двоводного сульфату кальцію:

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O.$$

Гіпсові в'яжучі речовини, що складаються переважно з α-модифікації $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ і відрізняються від β -модифікації гіпсу підвищеною міцністю (25…60 МПа) і меншою пористістю, виготовляють обробкою гіпсового каменю під тиском (0,13…0,7 МПа) або витримуванням у рідких середовищах (наприклад, з використанням $CaCl_2$). Залежно від параметрів теплової обробки гіпсові в'яжучі речовини поділяють на дві групи: низько- та високовипалювальні.

Низьковипалювальні гіпсові в'яжучі речовини, що швидко тужавіють та тверднуть, отримують тепловою обробкою природного гіпсу за низьких температур (110…160 °С) або обробкою парою під тиском 0,13…0,70 МПа. Такі в'яжучі речовини складаються переважно з напівводного гіпсу, оскільки дегідратація сировини в зазначених умовах зумовлює перетворення двоводного гіпсу на на-півгідрат (α або β) $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ за схемою:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + t,\ °C = CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O.$$

Реакція дегідратації відбувається з поглинанням теплоти, і для отримання 1 кг напівводного гіпсу з двогідрату теоретично потрібно затратити 580 кДж теплоти.

До низьковипалювальних гіпсових в'яжучих речовин належать: гіпс будівельний, формувальний та високоміцний, різновидом якого є супергіпс.

Будівельний гіпс виготовляють низькотемпературним випалюванням гіпсової породи (гіпсового каменю). Найбільш поширеною є схема, що передбачає термообробку у відкритих апаратах, які сполучаються з атмосферою. Вода із сировини видаляється у вигляді пари, а гіпсова в'яжуча речовина складається переважно із дрібних кристалів β-модифікації $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, певної кількості ангідриту $CaSO_4$ і частинок нерозкладеної сировини. На окремих заводах після випалювання гіпс повторно розмелюють.

У твердому стані будівельний гіпс характеризується невисокою міцністю (2…16 МПа), яка зменшується зі зволоженням виробів.

Формувальний гіпс складається переважно з β-модифікації $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ і відрізняється від будівельного гіпсу тонкістю помелу, більшою міцністю та постійністю властивостей. Він містить незначну кількість домішок. Застосовують формувальний гіпс у керамічній та фарфоро-фаянсовій, а також машинобудівній промисловостях для виготовлення форм та моделей.

Високоміцний гіпс одержують термічною обробкою гіпсового каменю в герметично закритих апаратах (автоклавах) у середовищі насиченої пари при тиску, вищому за атмосферний, або при кип'ятінні у водних розчинах деяких солей з подальшим сушінням та помелом до отримання тонкодисперсного порошку. Такий гіпс складається переважно з α-модифікації $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, що представлена відносно крупними та щільними кристалами і характеризується меншою водопотребою порівняно з β-модифікацією $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$. Вказані особливості зумовлюють можливість отримання досить щільного каменю, міцність якого може бути у межах 25…60 МПа.

Супергіпс – це високоміцна в'яжуча речовина, яка використовується для виготовлення різних видів облицювальних плит, фігурних тонкостінних будівельних виробів, а також для влаштування безшовних наливних заготівок для підлог. Може також застосовуватись як компонент, що додається до формувального гіпсу в керамічній промисловості.

Технологія виробництва складається з підготовки гіпсової сировини, брикетування, автоклавування та сушіння брикетів, помелу та пакування готового продукту.

Характеристика готового продукту: кількість води для отримання тіста нормальної консистенції становить 24…26 %, початок тужавлення – 5…8 хв, кінець 9…12 хв, границя міцності під час стиску в сухому стані – 60…70 МПа.

Низьковипалювальні гіпсові в'яжучі широко застосовують у будівництві для виготовлення панелей-перегородок, блоків, тепло- і звукоізоляційних плит, декоративних плит, пінобетонних виробів, сухої штукатурки. Гіпс також використовується для виробництва форм і моделей у фарфоро-фаянсовій, машинобудівній та інших галузях промисловості.

Високовипалювальні гіпсові в'яжучі речовини, що повільно тужавіють і тверднуть, виготовляють випалюванням гіпсового каменю за температури вище 600 °С (600…950 °С). Такі в'яжучі речовини складаються переважно з ангідриту $CaSO_4$. До них належать ангідритовий цемент, опоряджувальний гіпсовий цемент, високовипалювальний гіпс (естрих-гіпс).

Ангідритовий цемент отримують тонким помелом нерозчинного ангідриту з домішками-каталізаторами (за способом П. П. Будникова). Як активізатори твердіння використовують сульфати (Na_2SO_4, $NaHSO_4$, K_2SO_4, $FeSO_4$ та ін.), а також матеріали, що містять певну кількість вільного вапна (доменний шлак, вапно, доломіт та ін.). Ангідритовий цемент порівняно з будівельним гіпсом характеризується меншою водопотребою (30…35 %), більш повільними строками тужавлення та більш високою во-

достійкістю (коефіцієнт розм'якшення 0,4…0,5). Цей цемент використовують для влаштування безшовних підлог, заготовки під лінолеум, для приготування розчинів та отримання штучного мармуру, а також для бетонів, призначених для мурування стін малоповерхових будівель при відносній вологості повітря не більше 70 %.

Опоряджувальний гіпсовий цемент — це в'яжуча речовина, отримана одно- чи двократним випалюванням гіпсового каменю разом з активізаторами (алюмокалієві квасці або бура) за температури 600…750 °С і подальшим тонким помелом продукту випалювання. Водопотреба такого цементу становить 37…43 %, міцність при стиску через 28 діб – 25…35 МПа, коефіцієнт відбиття (ступінь білизни) в порошку – 90 %. З використанням цього цементу виготовляють штучний мармур, опоряджувальні розчини, архітектурні деталі. Вироби зазвичай полірують і для надання їм блиску та для захисту від атмосферних впливів покривають воском або парафіном.

Високовипалювальний гіпс (*естрих-гіпс*) отримують випалюванням природного гіпсового каменю за температури 800…1000 °С з подальшим помелом продукту. При цьому гіпс майже повністю зневоднюється, а деяка кількість $CaSO_4$ піддається термічній дисоціації з утворенням CaO, що активізує хімічну взаємодію в'яжучої речовини з водою.

Естрих-гіпс характеризується повільнішими строками тужавлення, ніж ангідритовий цемент. Водопотреба його становить 28…32 %, границя міцності під час стиску – 10…20 МПа. Порівняно з іншими гіпсовими в'яжучими речовинами, він відрізняється більш високими водо- та морозостійкістю, однак залишається при цьому повітряною в'яжучою речовиною. Найчастіше естрих-гіпс використовують для безшовних підлог та заготовок під лінолеум.

Технічні характеристики гіпсових в'яжучих оцінюються визначенням тонкості помелу, водопотреби, строків тужавлення, границі міцності на розтяг при згині та границі міцності при стиску, водостійкості.

Істинна густина гіпсових в'яжучих коливається в межах 2,6…2,75 г/см^3 і зумовлена їх фазовим складом. Так, для β-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ істинна густина дорівнює 2,66…2,68 г/см^3; для α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ – 2,72…2,73 г/см^3; ангідриту – 2,9…3,1 г/см^3.

Насипна густина гіпсу становить 800…1100 кг/м^3. Тонкість помелу оцінюється залишком на ситі № 02, який для гіпсу грубого помелу становить не більше 23 %, середнього – 14 % і тонкого – 2 % (позначається відповідно I, II, III). Збільшення тонкості помелу зумовлює підвищення пластичності гіпсового тіста, міцності гіпсових виливків, але в одночас збільшує водопотребу.

Водопотреба визначається кількістю води, потрібної для приготування тіста стандартної консистенції (діаметр розпливу 180 ± 5 мм на вискозиметрі Сутарда), і залежить від виду та співвідношення модифікацій сульфату кальцію. Для отримання тіста нормальної густоти для гіпсу β-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ потрібно 50…70 % води, а для гіпсу модифікації α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ – 30…40 %. Висока водопотреба гіпсових в'яжучих призводить до того, що вироби з них відрізняються підвищеною пористістю (40…60 %), оскільки теоретично для реакції гідратації потрібно тільки 18,6 % води. Висока пористість гіпсових виливків зумовлює їх відносно невисоку міцність, але в той самий час надає хороших технологічних властивостей. Зменшення водопотреби можливе за рахунок уведення домішок, наприклад сульфітного щолоку, синтетичних жирних кислот або первинних алкіламінів у кількості 0,1…0,3 % від маси в'яжучої речовини.

Гіпсові в'яжучі за строками тужавлення поділяють на такі види: швидкотверднучі (А) – з початком тужавлення не раніше 2 хв і кінцем – не пізніш 15 хв; нормальнотверднучі (Б) – з початком тужавлення не раніше 6 хв і кінцем – не пізніше 30 хв і повільнотверднучі (В) – з початком тужавлення не раніше 20 хв.

Збільшення тонкості помелу та зменшення водогіпсового відношення призводить до скорочення строків тужавлення.

Процес тужавлення гіпсу є чутливим до зміни температурного фактора. Так, зі зниженням температури до 10 °С строки тужавлення подовжуються. З підвищенням температури до 40…50 °С відмічається скорочення строків тужавлення. В результаті подальшого підвищення температури строки тужавлення подовжуються, а при 90…100 °С гіпс не тужавіє взагалі. Зумовлено це тим, що за високих температур розчинність нанапівгідрату у воді нижча за розчинність двогідрату.

Міцнісні характеристики гіпсових в'яжучих визначають випробуванням зразків-балочок розмірами $40 \times 40 \times 160$ мм з гіпсового тіста стандартної консистенції через 2 години після виготовлення на розтяг, а половинок балочок на стиск. Величина міцності при згині і границя міцності при стиску залежать від складу в'яжучої речовини, водогіпсового відношення та вологості. Міцність виливка α-напівгідрату значно вища за міцність виливказ β-напівгідрату, що пов'язано з їх різною водопотребою. Із збільшенням водогіпсового відношення міцність гіпсу різко знижується.

Гіпсові в'яжучі є повітряними, вони мають найбільшу міцність у сухому стані. Вже за вологості виливка 1 % границя міцності при стиску зменшується на 40 %, при підвищенні вологості до 10 % продовжується зниження міцності, але при подальшому збільшенні вологості міцність ви-

ливка вже практично не змінюється. Висушування гіпсових виливків до сталої маси збільшує їх міцність майже у 2 рази.

За стандартом гіпс випробовують у зразках із тіста нормальної густоти. За границею міцності під час стиску через 2 години після виготовлення зразків передбачено 12 марок гіпсових в'яжучих – від Г-2 до Г-25, де цифра означає нормовану границю міцності при стиску в мегапаскалях. Границя міцності на розтяг при згині змінюється відповідно від 1,2 до 8 МПа.

Маркування гіпсу здійснюється з урахуванням його міцності, строків тужавлення та тонкості помелу, наприклад гіпсова в'яжуча речовина з позначкою ГВ Г-5-А-ІІ ДСТУ Б В.2.7-82-99 відповідає марці за міцністю Г-5, є швидкотверднучою та характеризується середньою тонкістю помелу.

Деформативність. Здатність гіпсу до збільшення в об'ємі визначається його мінералогічним складом. Найменше розширення характерне для β-напівгідрату 0,05…0,15 %, а найбільше – для розчинного ангідриту 0,7…0,8 %.

Гіпс має велику повзучість, тобто здатний виявляти пластичні деформації під час навантаження, причому найбільша повзучість гіпсу спостерігається під дією сил згинання, і це обмежує його застосовування для виготовлення конструкцій, що працюють на згин.

Гіпс характеризується незначною адгезією до заповнювачів, що пояснюється відсутністю взаємодії на границі «заповнювач – в'яжуча речовина». Як заповнювачі у виробах із гіпсу застосовують речовини мінерального (пісок, шлак) і органічного (костриця, відходи переробки деревини) походження.

Гіпсові вироби мають високу вогнестійкість. Через малу теплопровідність вони відносно повільно прогріваються і руйнуються лише після 6…8 годин нагрівання.

Сталева арматура у гіпсових виробах, як правило, піддається корозії внаслідок високої пористості та нейтрального середовища (pH 6,5…7,5) матеріалу.

Водостійкість гіпсових виробів є невисокою: коефіцієнт розм'якшення виробів із будівельного гіпсу становить 0,35…0,40, а з високоміцного – 0,40…0,45. Основними шляхами підвищення водостійкості гіпсових виробів є зменшення розчинності гіпсу в процессі введення домішок, ущільнення гіпсових виливків, просочування або обмазування виробів речовинами, що запобігають проникненню води.

Істотно підвищується водостійкість гіпсу при додаванні вапна 5…25 %, суміші вапна і гідравлічної домішки (трепелу, опоки, шлаку), суміші портландцементу та гідравлічної (або пуцоланової) домішки.

В’яжучі речовини марок Г-2…Г-7 використовують для виготовлення різноманітних гіпсових будівельних виробів; Г-4…Г-7 – для отримання тонкостінних будівельних виробів і декоративних деталей; Г-2…Г-25 – для штукатурних робіт: вирівнювання швів, виготовлення сухих сумішей і проведення спеціальних будівельних робіт.

Гіпс також використовують як компонент композиційних цементів, у тому числі гіпсоцементнопуцоланових та гіпсошлакоцементних в’яжучих, які можна класифікувати як гідравлічні, якщо коефіцієнт розм’якшення становить не менше 0,8.

Гіпсоцементнопуцоланові в’яжучі (ГЦПВ) отримують змішуванням будівельного гіпсу марок Г-4, Г-5 або високоміцного гіпсу марок Г-10 і вище з портландцементом і активною мінеральною домішкою (трепел, опока, кисла зола ТЕС) або пуцолановим портландцементом чи шлакопортландцементом. Вміст напівводного гіпсу в суміші становить 50…80 % за масою, пуцоланового портландцементу, шлакопортландцементу або портландцементу з активною мінеральною домішкою (з урахуванням її вмісту в цементі) – від 20 до 50 %. Мінімальна кількість цементу в ГЦПВ становить 15 % за масою.

ГЦПВ виготовляють марок М100 та М150. Ці в’яжучі характеризуються швидким тужавленням та твердінням, підвищеною водостійкістю та сульфатостійкістю. Міцність бетонів на основі ГЦПВ становить 15…30 МПа, причому вже після 2…3 годин від моменту виготовлення їх міцність досягає 30…40 % марочної. Коефіцієнт розм’якшення становить 0,6…0,8, морозостійкість – 25…30 циклів.

6.2.3. Магнезіальні в’яжучі речовини

Магнезіальні в’яжучі речовини – тонкомолоті порошки, головною складовою яких є оксид магнію. Оскільки оксид магнію при замішуванні водою гідратується дуже повільно, то для прискорення твердіння і підвищення міцності магнезіальних в’яжучих речовин використовують водні розчини магнезіальних солей, найчастіше хлориду магнію. При цьому поряд з гідратацією оксиду магнію відбувається утворення гідроксихлориду магнію: $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Магнезіальні в’яжучі відносять до повітряних в’яжучих речовин. Вони відрізняються високою вогнестійкістю, низькою теплопровідністю, підвищеною зносостійкістю і механічною міцністю.

Розрізняють два види магнезіальних в’яжучих: каустичний магнезит і каустичний доломіт.

Каустичний магнезит, що складається в основному з оксиду магнію, одержують при помірному випалюванні (за температури 750…850 °С) породи магнезит $MgCO_3$. При цьому відбувається дисоціація карбонату магнію: $MgCO_3 = MgO + CO_2$. Рідше використовують каустичний доломіт, одержаний випалом природного доломіту ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) за температури, що вища температури дисоціації карбонату магнію, але нижча температури дисоціації карбонату кальцію. Таким чином, продукт випалювання практично складається з оксиду магнію і карбонату кальцію, останній не має в'яжучих властивості й по суті є баластом. Каустичний доломіт являє собою неповноцінний замінник каустичного магнезиту.

Каустичний магнезит відрізняється високою міцністю, яка досягає під час стиску 60…100 МПа. Міцність же каустичного доломіту в 2…3 рази менше.

Магнезіальні в'яжучі речовини можна застосовувати для виготовлення фіброліту й магнезіально-тирсових (ксилолітових) підлог.

6.3. Гідравлічні в'яжучі речовини

6.3.1. Гідравлічне вапно. Романцемент

Гідравлічне вапно – це продукт, отриманий випалюванням мергелистих вапняків, що містять від 6 до 20 % глинистих або високодисперсних піщаних домішок. Головною характеристикою сировини для отримання гідравлічного вапна є гідравлічний модуль:

$$m = \frac{\%\ (CaO)}{\%\left(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3\right)},$$

який повинен бути у межах 9…1,7:

$m > 9$ – повітряне гідравлічне вапно;

$m = 4{,}5\ldots 9$ – слабо гідравлічне вапно;

$m = 1{,}7\ldots 4{,}5$ – сильно гідравлічне вапно;

$m = 1{,}1\ldots 1{,}7$ – романцемент.

Чим вищий цей модуль, тим гірші гідравлічні властивості продукту випалювання і він за своїми характеристиками наближається до повітряного

вапна. Якщо гідравлічний модуль низький і дорівнює 2,2…1,7, то вапно не здатне до гашення і за своїми властивостями подібне до романцементу.

Основними операціями під час виробництва гідравлічного вапна є видобування сировини, її подрібнення, випалювання і помел. Процес випалювання здійснюють у шахтних або обертових печах за температури від 900 до 1150, а іноді й 1200 °С.

Під час випалювання, паралельно з процесами зневоднення глинистих мінералів і розкладання карбонатів кальцію та магнію, утворюються не лише вільні оксиди CaO та MgO, а й їх сполуки у вигляді кальцієвих силікатів, алюмінатів та феритів, які надають вапну гідравлічних властивостей ($2CaOSiO_2$, $CaOAl_2O_3$, $CaOFe_2O_3$).

Гідравлічне вапно перші 7 діб має тверднути на повітрі, а далі може тверднути й набувати міцності як на повітрі, так і у воді. Чим вищий гідравлічний модуль, тим триваліший час потрібно витримувати вироби з вапна у повітряно-сухих умовах твердіння.

Технічні характеристики гідравлічного вапна. Істинна густина становить 2,6…3,0 г/см^3, а насипна – 700…800 кг/м^3.

Активність слабогідравлічного вапна – $A = 15…60$ %; сильногідравлічного – 1…15 %.

Водопотреба та водоутримувальна здатність гідравлічного вапна нижчі, ніж повітряного. Строки тужавлення гідравлічного вапна залежать від вмісту вільного CaO.

За вимогами ДСТУ Б В.2.7-90-99 вапно вважається слабогідравлічним, якщо границя міцності під час стиску на 28 добу твердіння становить 1,7; при згині – 0,4 МПа; сильногідравлічним, якщо границя міцності при стиску та згині на 28 добу твердіння становить 5,0 та 1,0 МПа відповідно.

Слабогідравлічне вапно тужавіє швидше, а твердне повільніше, ніж сильногідравлічне. Початок тужавлення зазвичай становить 0,5…2,0 год, а кінець – 8…16 год. Штучний камінь на основі гідравлічного вапна не відзначається високою міцністю. Після 28 діб комбінованого зберігання міцність при стиску зразків із вапняно-піщаного розчину (складу 1:3 за масою) становить 2,0…5,0 МПа.

Водночас гідравлічне вапно з гідравлічним модулем 2…4 при правильно підібраному режимі випалювання й ретельному помелі має міцність при стиску 6…15 МПа, інколи й 20 МПа.

Гідравлічне вапно застосовують для приготування будівельних розчинів підвищеної водостійкості, мурувальних та штукатурних розчинів, для виробництва вапняно-пуцоланових цементів, легких і важких бетонів низьких класів, для виготовлення стінового каменю, призначеного для

експлуатації в умовах різної вологості, для стабілізації ґрунтів під час будівництва шляхів із малою інтенсивністю руху. Ця речовина входить до складу сухих будівельних сумішей та широко використовується для виготовлення шпатлівок, замазок і фарб.

Гідравлічне вапно можна застосовувати як основу під фресковий живопис, тобто при нанесенні малюнків розбавленими у воді мінеральними фарбами на свіжу штукатурку.

Розчини та бетони на гідравлічному вапні мають високу довговічність під час експлуатації у повітряно-сухих умовах. Навперемінне зволожування та висушування, а також заморожування й відтавання негативно впливають на довговічність виробів, що зумовлено невисокою їх щільністю.

Романцемент найчастіше розглядають як один з етапів у розвитку технології отримання гідравлічних в'яжучих речовин, подібних до портландцементу.

Особливим видом сильногідравличного вапна є романське вапно, чи романцемент (від слова Roma – Рим). Ця в'яжуча речовина складається майже цілком з низькоосновних силікатів і алюмінатів кальцію і тому зовсім нездатна до гідратації без попереднього подрібнення.

До того як почалося виробництво портландцементу, романцемент у багатьох країнах був найважливішою гідравлічною в'яжучою речовиною. Його застосовували, зокрема, для відповідальних конструкцій, у тому числі гідротехнічних споруд, зараз використовують переважно для виготовлення будівельних розчинів і низькомарочних бетонів.

Романцемент виготовляють випалюванням не до спікання та подальшим помелом вапнякових або магнезіальних мергелів, які містять понад 25 % глинистих домішок. Для регулювання властивостей у романцемент можна вводити до 5 % гіпсу і до 15 % активних мінеральних домішок. Випалювання відбувається у шахтних печах за температури 900…1000 °С. При цьому майже все вапно зв'язується у силікати, алюмінати, алюмоферити, також утворюється не велика кількість геленіту та воластоніту. Вміст вільного вапна не перевищує 1…2 %, і тому для його гідратації вологою повітря продукт випалювання витримують на складі протягом 3…5 діб.

Водопотреба романцементу менша, ніж гідравлічного вапна, і становить 30…50 % від маси цементу. Тужавлення й твердіння романцементу відбувається за рахунок утворення гідросилікатів кальцію групи CSH(B), трикальцієвого гідроалюмінату C_3AH_6 та гідроферитів C_3FH_6.

Початок тужавлення спостерігається через 15…30 хв, кінець – через 12…24 год. Під час твердіння зразків у вологих умовах міцність на 28 добу становить 5…7 МПа. Марки романцементу 25, 50 і 100 (під час

випробування у твердих розчинах). Практично границя міцності під час стиску зразків, виготовлених з романського цементу, може іноді досягати 15,0…20,0 МПа. Але все-таки романцемент, перевершуючи за швидкістю твердіння, за міцністю і ступенем гідравлічності не тільки повітряне, але і звичайне гідравлічне вапно, значно уступає портландцементу.

6.3.2. Портландцемент і його різновиди

Цемент почали виготовляти в XIX столітті. На початку 20-х років XIX ст. Є. Челієв одержав випалюване в'яжуче із суміші вапна з глиною й опублікував результати своєї роботи в 1825 р. У 1856 р. був пущений перший у Росії завод з виробництва портландцементу.

Цемент є одним із найважливіших будівельних матеріалів. Його застосовують для виготовлення бетонів, бетонних і залізобетонних виробів, будівельних розчинів, азбестоцементних виробів. Виготовляють його на великих механізованих і автоматизованих заводах.

Цемент – це збірна назва групи гідравлічних в'яжучих речовин, головною складовою яких є силікати й алюмінати кальцію, що утворилися в результаті високотемпературної обробки сировинних матеріалів, доведених до часткового чи повного плавлення.

У групу цементу входять усі види портландцементу, пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент, розширний цемент і деякі інші.

З числа цементів різних видів найбільш важливе значення має портландцемент загальнобудівельного призначення ДСТУ Б В.2.7-44-96. Основні виробничі операції при одержанні портландцементу такі: видобування сировинних матеріалів, підготовка матеріалів (грубий і тонкий помел); випал до часткового плавлення, тобто до спікання, розмел твердих каменеподібних, звичайно округлених шматочків, що називаються цементним клінкером.

Портландцемент – це не хімічний індивідуум, тобто він не є певною хімічною сполукою. Численні дослідження й багаторічний практичний досвід показують, що для одержання портландцементу елементарний хімічний склад клінкеру (виражається умовно за вмістом найважливіших у ньому оксидів) повинен бути таким (у відсотках за масою): CaO – 62…68; SiO_2 – 18…26; $A1_2O_3$ – 4…9; Fe_2O_3 – 0,3…6.

Ці дані показують, що для виробництва портландцементу варто застосовувати сировинні матеріали зі значним вмістом оксиду кальцію й алюмінію. Цій умові відповідають дуже поширені в природі осадові по-

роди – вапняки та глини. У вапняках переважає карбонат кальцію, що дисоціює під час випалу та дає оксид кальцію. У глинах є різні гідросилікати алюмінію, формула яких має загальний вигляд $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$. Крім того, глини звичайно містять двооксид кремнію у вигляді кварцового піску й оксиди заліза.

Отже, взявши у певних співвідношеннях вапняк і глину, можна одержати цементний клінкер, що відповідає зазначеному вище елементарному хімічному складу. Звичайне співвідношення між вапняком і глиною становить приблизно 3:1 (у масових частках).

Поряд з вапняком і глиною застосовують й інші матеріали відповідного хімічного складу. Так, у районах, де є поклади мергелів, цементні заводи користуються цією сировиною. Мергелі зручні не тільки тому, що в них є тісна суміш потрібних компонентів вапняку і глини, але і з тієї причини, що ця порода відрізняється м'якістю, а це полегшує її видобуток і подрібнення. Замість вапняку можна використовувати крейду.

Співвідношення між сировинними компонентами встановлюють на основі попередньо проведених аналізів. Ретельно дозуючи вапняк і глину чи матеріали, що їх заміняють, одержують сировинну суміш. При цьому в неї часто вводять так звані коригувальні домішки для того, щоб суміш мала потрібний хімічний склад. Такими домішками служать, наприклад, залізна руда чи колчеданові недогарки, якщо в даній глині не вистачає оксидів заліза, або трепел, пісок, якщо потрібно підвищити вміст оксиду кремнію SiO_2 в суміші.

Сировинну суміш можна підготувати сухим і мокрим способами. У разі сухого способу сировинні матеріали висушують, а потім подрібнюють. За мокрим способом (до речі, більш поширеним, ніж сухий) сировинні матеріали подрібнюють в присутності води, а потім змішують (рис. 6.2). Незалежно від застосованого способу завжди прагнуть добре подрібнити й змішати сировинні компоненти. Тонкість потрібнення і однорідність суміші визначає якість клінкеру, тому що зі збільшенням дисперсності реагуючих речовин і в разі поліпшення контактів між їх частками швидше і повніше відбуваються реакції між ними.

Одержану за мокрим способом суспензію сировинних матеріалів у воді називають шламом. Ця сметаноподібна маса, що містить 32…45 % води, подається насосом у спеціальні ємності – шламбасейни, де коректується її склад, а також створюється деякий запас для безперебійної роботи печей. З басейну шлам надходить для випалу в обертову піч, що являє собою довгий циліндричний барабан (наприклад, довжиною 185 м, діаметром 5 м), який повільно обертається навколо своєї осі (рис. 6.3). Піч

складена з ланок, зварених з товстої котельної сталі, і зсередини облицьована вогнетривкою цеглою.

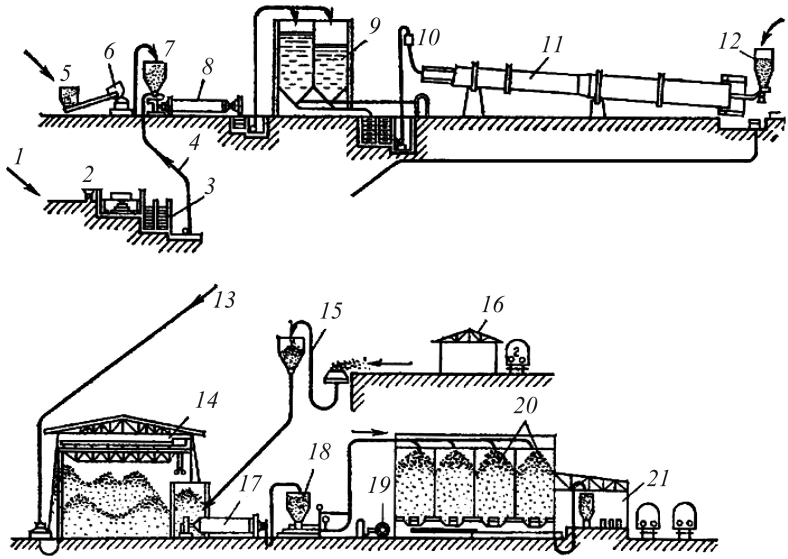


Рис. 6.2. Схема виробництва портландцементу за мокрим способом:
1 – глина з кар'єру; *2* – подача води; *3* – глинобовтушка; *4* – подача глиняної суспензії; *5* – вапняк з кар'єру; *6* – дробарка; *7* – дозатори; *8* – сировинний трубний млин; *9* – шламбасейн; *10* – дозатор шламу; *11* – обертова піч; *12* – подача палива; *13* – транспортування клінкеру; *14* – склад клінкеру; *15* – подрібнення та дозування гіпсу; *16* – склад гіпсу; *17* – трубний млин для помелу клінкеру; *18* – пневматичний насос; *19* – компресор; *20* – склад цементу; *21* – пакування цементу

Циліндричний барабан печі покладений на роликах під кутом 3…4° до горизонту. Завдяки цьому сировинна суміш, що завантажується у верхню частину печі, поступово переміщається до нижнього кінця. У нижній кінець вдувається паливо (пилоподібне вугілля чи природний газ), під час горіння якого утворюються гарячі гази, що рухаються за принципом протитечії, тобто назустріч сировинній суміші.

Щоб уявити процеси, які відбуваються під час випалу сировинних матеріалів, піч за довжиною умовно розділимо на шість зон. У першій зоні (починаючи з верхнього кінця) шлам підсушується і з нього у вигляді пари

видаляється вода. Довжина першої зони становить приблизно 26…28 % довжини печі.

Висушена маса, просуваючись по печі, потрапляє в другу зону (довжиною 24…32 % довжини печі), де за температури 500…800 °С відбувається дегідратація гідросилікатів алюмінію, що містяться в глині. У результаті дегідратації глинистих мінералів утворюються сполуки, що характеризуються розпушеною структурою частинок. При цьому внутрішня енергія речовини зростає і її реакційна здатність підвищується. Остання повинна проявитися надалі в реакціях з оксидом кальцію.

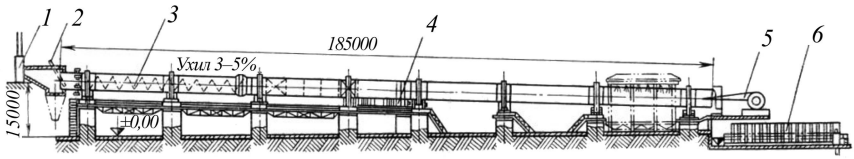


Рис. 6.3. Схема обертової печі розміром 5×185 м для випалу цементного клінкеру:
1 – димосос; *2* – живильник для подачі шламу; *3* – барабан; *4* – привід; *5* – подача палива; *6* – холодильник

Оксид кальцію утворюється в третій зоні, де за температури 900…1150 °С дисоціює карбонат кальцію. У цій же зоні починаються реакції у твердому стані між оксидом кальцію і продуктами дегідратації глини, які активізовані випалом у попередній зоні печі й містять переважно оксид алюмінію і двооксид кремнію. Оксид кальцію з оксидом алюмінію утворюють однокальцієвий алюмінат $CaO \cdot Al_2O_3$. Одночасно оксид кальцію реагує з двооксидом кремнію, при цьому виходить двокальцієвий силікат $2CaO \cdot SiO_2$, але поки що в невеликих кількостях.

Прискоренню реакцій у твердому стані завжди сприяє підвищення числа контактних ділянок між реагуючими речовинами. Тому дисперсність частинок сировинної суміші впливає на збільшення кількості новоутворень. Довжина третьої зони становить близько 25 % довжини печі.

У наступній, четвертій, зоні за трохи підвищеної температури (1000…1250 °С) перебіг реакцій у твердому стані підсилюється. Завершується утворення двокальцієвого силікату $2CaO \cdot SiO_2$. Уже наявний однокальцієвий алюмінат $CaO \cdot Al_2O_3$, насичуючись далі оксидом кальцію, переходить у $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ і потім утворює деяку кількість ще більш

основного (тобто з ще більшим вмістом оксиду кальцію) алюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3$. Але частина оксиду кальцію ще не увійшла в хімічні сполуки і продовжує залишатися у вільному вигляді. Довжина четвертої зони становить 5 % довжини печі.

Якби операція випалу закінчувалася в четвертій зоні, то була б отримана в'яжуча речовина подібна до хорошого гідравлічного вапна. Але цього недостатньо, для виготовлення цементу потрібно повністю зв'язати вільне вапно у високоосновні сполуки, у тому числі в трикальцієві силікат і алюмінат. Це досягається в п'ятій зоні – найбільш гарячій частині печі, довжина якої становить приблизно 15…17 % загальної довжини печі. Тут за температур до 1 450 °С матеріал частково плавиться – приблизно його третя частина перебуває в рідкій фазі. Завершуються реакції утворенням силікатів і алюмінатів кальцію. Матеріал спікається, утворюючи клінкер. Розміри шматочків клінкеру становлять 4…30 мм.

У шостій, останній зоні (її довжина близько 3 % довжини печі) температура клінкеру знижується до 1 000…1 200 °С, а після виходу з печі він ще сильніше охолоджується в спеціальному пристрої, названому холодильником.

Швидке охолодження необхідне, щоб запобігти утворенню великих кристалів у клінкері й водночас зберегти у незакристалізованому вигляді склоподібну фазу, тому що інакше одержується цемент зі зниженою реакційною здатністю стосовно води.

Клінкер – це ще напівпродукт. Його розмелюють у багатокамерних кульових млинах і одержують цемент. При помелі клінкеру додають невелику кількість природного гіпсу для регулювання строків тужавлення цементу.

Технічні властивості портландцементу.

1. *Істинна густина* цементу без мінеральних добавок становить 3,0…3,2 г/см^3, насипна густина – приблизно 1 300 кг/м^3.

2. *Тонкість помелу цементу* повинна бути такою, щоб при просіюванні крізь сито № 008 проходило не менше 85 % маси вихідної проби (за Блейном питома поверхня цементу повинна становити 280…320 м^2/кг). За сучасними європейськими нормами тонкість помелу портландцементу (оцінена за питомою поверхнею) повинна становити 400…450 м^2/кг.

3. *Водопотреба цементу* – це мінімальна кількість води, необхідна для приготування тіста заданої консистенції, зазвичай становить 24…28 %. Підвищена водопотреба призводить до збільшення пористості каменю, а відповідно, і погіршення його експлуатаційних властивостей.

Зниження водопотреби досягається використанням поверхнево-активних добавок-пластифікаторів і супер-пластифікаторів.

4. *Строки тужавлення цементу* – це час, протягом якого цементне тісто (паста) втрачає свою пластичність, переходячи майже в твердий стан. Розрізняють умовний початок тужавлення (початок втрати пластичності) і кінець тужавлення (повна втрата пластичності). Для портландцементу марок М300, М400, М500 початок тужавлення має бути не раніше як через 60 хв, марок М550 і М600 – не раніше 45 хв, а кінець – не пізніше ніж через 10 годин після замішування (для усіх марок).

Для регулювання строків тужавлення можуть бути використані добавки сповільнювачі або прискорювачі як органічного, так і неорганічного походження.

5. *Рівномірність зміни об'єму* пов'язана із запізнілою гідратацією деяких компонентів портландцементу. Основними причинами цього явища є гашення вільного (намертво випаленого) вапна або периклазу. У деяких випадках (при підвищенні кількості добавки гіпсу) така нерівномірність пов'язана з утворенням у затверділій структурі гідросульфоалюмінатів кальцію.

6. *Міцність цементу* – це результат когезії частинок цементу між собою та адгезії їх до заповнювача. Міцність цементу встановлюють за показником границі міцності при стиску половинок зразків-балочок розмірами $160 \times 40 \times 40$ мм, які виготовляють із цементно-піщаної розчинової суміші складу 1:3 (за масою) при В/Ц, що забезпечує нормальну консистенцію розчинової суміші. Протягом першої доби їх зберігають у камері з вологим повітрям, а після цього – у ванні з водою протягом 27 діб.

Значення границі міцності при стиску таких зразків називають *активністю* цементу, а значення активності, округлене в бік зменшення (визначене в кгс/см^2), – маркою цементу. Згідно зі стандартами України встановлено марки портландцементу: М300, М400, М500, М550, М600.

При **умовному позначенні цементу** вказують його тип, марку і спеціальні ознаки (висока міцність в раньому віці – Р; пластифікація і гідрофобізація – ПЛ, ГФ; використання клінкеру нормованого складу – Н). Наприклад, портландцемент марки М400 з добавкою до 20 % шлаку, пластифікований, швидкотверднучий позначається ПЦ-П/А-Ш-400Р-ПЛ ДСТУ Б В.2.7-46-96.

Граничні значення для одиничних результатів випробувань цементів загальнобудівельного призначення наведені нижче.

Найменування показника		Граничні значення для одиничних результатів випробувань марки цементу						
		300	400	400Р	500	500Р	550	600
Рання міцність, МПа, нижнє граничне значення	2 доби	–	–	13,0		23,0	18,0	23,0
	7 діб	13,0	18,0	–	–	–	–	–
Стандартна міцність, МПа, нижнє граничне значення	28 діб	28,5	38,0		47,5		52,5	57,5
Початок тужавлення, хв, нижнє граничне значення		50					40	
Рівномірність зміни об'єму (за методом Ле Шательє), мм, верхнє граничне значення		10						
Вміст ангідриду сірчаної кислоти SO_3, %, верхнє граничне значення	тип I	4,0				4,5		
	тип II							
	тип IV							
	тип V							
	тип III	4,5						

Маркування повинне бути чітким і містити:

– найменування підприємства-виробника та/або його товарний знак;

– умовне позначення цементу згідно з вимогами нормативного документа на нього, а при відсутності цих вимог – повне найменування;

– позначення нормативного документа, за яким поставляють цемент;

– гарантовану масу нетто цементу в упаковці;

– знак відповідності при поставці сертифікованого цементу.

Кожна партія цементу або її частина, що поставляється на одну адресу, повинна супроводжуватися документом про якість, в якому зазначають:

– найменування та адресу підприємства-виробника та/або його товарний знак;

– повне найменування та умовне позначення цементу згідно з вимогами нормативного документа на нього;

– позначення нормативного документа;
– номер партії і дату відвантаження;
– номери вагонів або найменування судна;
– вид і кількість добавки;
– середню активність при пропарюванні за результатами приймально-здавальних випробувань цементу даного виду за попередній місяць або активність при пропарюванні даної партії (для цементів загальнобудівельного призначення за ДСТУ Б В.2.7-46);
– нормальну густоту цементного тіста;
– середню міцність при стиску в ранньому віці (2 або 7 діб) за результатами приймально-здавальних випробувань за попередній місяць або відповідну ранню міцність даної партії (для цементів загальнобудівельного призначення);
– гарантійний строк;
– клас використання за даними радіаційного контролю;
– знак відповідності при наявності зареєстрованого сертифіката відповідності.

6.3.2.1. Характеристика складових портландцементного клінкеру

Подібно тому, як, наприклад, граніт складається з певних природних мінералів, так і цементний клінкер являє собою систему з декількох штучних мінералів, що утворилися у результаті випалу сировинної суміші. Але на відміну від граніту окремі складові клінкеру не можна розрізнити неозброєним оком, тому що він складається з тонкозернистих кристалічних, а також аморфних фаз.

Приблизний мінералогічний склад портландцементного клінкеру наведений у табл. 6.1.

Сумарний вміст аліту й беліту звичайно знаходиться в межах 70…80 %. Отже, у портландцементному клінкері кількісно переважають силікати кальцію. Тому даний цемент певний час називали силікатним.

Крім зазначених у табл. 6.1 найважливіших мінералів у клінкері містяться в невеликих кількостях й інші алюмінати й алюмоферити кальцію, а також ферит кальцію. Поряд із кристалічними фазами в клінкері є аморфна речовина у вигляді не закристалізованого скла (6…10 %). До складу клінкеру в невеликих кількостях (не більше 5 %) входять оксид магнію, тому що карбонат магнію – це майже невід'ємна природна домішка у вапняках. У клінкері іноді зустрічається вільний оксид кальцію

(до 1 %) як результат неповного випалу клінкеру, тобто недоліків у технології випалювання. Нарешті, у клінкері можуть бути сполуки (до 1…2 %), утворені лужними оксидами – оксидами натрію і калію. Ці оксиди переходять у клінкер із сировинних матеріалів і золи твердого палива.

Таблиця 6.1

Мінералогічний склад портландцементного клінкеру

Мінерал	Формула	Умовне позначення	Приблизний вміст у клінкері, %
Трикальцієвий силікат (аліт)	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	40…65
Двокальцієвий силікат (беліт)	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	15…45
Трикальцієвий алюмінат	$3CaO \cdot A1_2O_3$	C_3A	4…12
Чотирикальцієвий алюмоферит (целіт)	$4CaO \cdot A1_2O_3 \cdot F_2O_3$	C_4AF	12…25

Знаючи властивості клінкерних мінералів, зокрема величину тепловиділення при взаємодії з водою (табл. 6.2), і мінералогічний склад даного клінкеру, можна в першому наближенні виявити основні особливості цементу, одержаного з цього клінкеру.

Таблиця 6.2

Тепловиділення під час гідратації клінкерних мінералів

Мінерал	Величина тепловиділення	
	в разі повної гідратації, кал/г	за три доби, % від повного тепловиділення
Трикальцієвий силікат (аліт)	120	75…80
Двокальцієвий силікат (беліт)	62	Близько 10
Трикальцієвий алюмінат	203	Не менше 80
Чотирикальцієвий алюмоферит	100	Близько 20

Трикальцієвий силікат (аліт) хімічно дуже активний у реакції з водою. Про це свідчить величина його тепловиділення під час гідратації, особливо за перші три доби. Він має здатність швидко твердіти, розвиваючи при цьому велику міцність. Тому високий вміст трикальцієвого силікату має важливе значення для якості цементу. Високомарочні й шидкотверднучі цементи повинні містити підвищену кількість аліту.

Двокальцієвий силікат (беліт) менш активний ніж аліт, на що вказує не тільки тепловий ефект гідратації, але й повільний хід тепловиділення: за три доби виділяється тільки 10 % від усього тепла гідратації. Твердіє він дуже повільно. Але протягом декількох років міцність за сприятливих для твердіння умов невпинно зростає.

Трикальцієвий алюмінат є найбільш активним клінкерним мінералом; у нього найбільше тепловиділення, причому за три доби виділяється не менше 80 % від тепла гідратації. Трикальцієвий алюмінат дуже швидко твердіє, однак продукт твердіння має низьку міцність.

Чотирикальцієвий алюмоферит (целіт) за величиною тепловиділення під час реакції з водою займає проміжне положення між трикальцієвим і двокальцієвим силікатом. Чотирикальцієвий алюмоферит твердіє повільніше, ніж трикальцієвий силікат, але швидше, ніж двокальцієвий. Міцність теж вища, ніж у продукту гідратації двокальцієвого силікату.

Наведені короткі характеристики клінкерних мінералів дають деяке уявлення про вплив їх кількісного вмісту в клінкері на властивості певного виду цементу. Так, якщо потрібно одержати швидкотверднучий цемент, необхідний, наприклад, для скорочення терміну виготовлення збірних залізобетонних виробів і конструкцій, то застосовують клінкер з підвищеним вмістом трикальцієвого силікату й трикальцієвого алюмінату. Ці мінерали в сумі повинні становити не менше 65…70 % маси клінкеру. Для бетонних робіт у зимовий час теж зручний цемент із відносно великою кількістю трикальцієвого силікату й трикальцієвого алюмінату, який відрізняється високою екзотермією. Тому бетон у будь-якій конструкції, захищеній від втрати тепла, може успішно твердіти і при від'ємній температурі повітря.

Цемент із помірною екзотермією переважно використовується для масивних бетонних гідротехнічних споруд. Відомо, що в результаті значного тепловиділення цементу, що твердіє, бетон сильно розширюється у внутрішніх частинах масиву й менше – у зовнішніх, котрі природно охолоджуються повітрям чи водою. Об'ємні деформації, що виникають при нерівномірному розширенні й стиску бетону, викликають утворення тріщин і часто призводять до аварійного руйнування споруд. Тому в масивних бетонних конструкціях (наприклад, гідротехнічних спорудах)

не застосовують цементи з великим тепловиділенням. Для одержання цементу з помірною экзотермією клінкер повинен містити відносно невелику кількість трикальцієвого силікату й трикальцієвого алюмінату.

На властивості цементу, крім зазначених найважливіших клінкерних мінералів, впливають також оксиди магнію, кальцію, калію і натрію, які містяться в ньому.

У правильно виготовленому й охолодженому клінкері значна частина вільного кристалічного оксиду магнію (периклазу) розчинена в склоподібній фазі у вигляді дуже дрібних кристалів; дрібні ж кристали, які містяться в тонкомеленому цементі, встигають гідратуватися в тій стадії, коли цемент ще не затвердів. У цей період збільшення об'єму окремих складових цементу не викликає руйнування маси, що зберігає певну пластичність. Тому сучасна технологія майже повністю виключає шкідливий вплив оксиду магнію на цемент при його вмісті в клінкері до 5 %.

Вільний оксид кальцію присутній у нормальних клінкерах, як вказувалося, у незначних кількостях і притому у вигляді дуже дрібних частинок. Чим дрібніші частинки, тим вони швидше гідратуються. За таких умов процес гідратації вільного вапна в бетоні звичайно не викликає небезпеки.

Лужні оксиди наявні в клінкері в різних хімічних сполуках, наприклад, у вигляді алюмінату калію $K_3O \cdot Al_2O_3$.

Якщо в кам'яних заповнювачах бетонів є опалоподібний кремнезем, тобто водний двооксид кремнію ($SiO_2 \cdot nH_2O$) в аморфному стані, то присутність лужних оксидів у цементі може викликати руйнування бетону. Вміст цих оксидів у клінкері становить в середньому близько 0,5 %.

Причини цього руйнування такі. Лужні оксиди реагують із двооксидом кремнію, що міститься в кам'яних заповнювачах в активному, реакційноздатному вигляді, утворюючи водорозчинні силікати калію чи натрію. Вони, у свою чергу, взаємодіють з гідроксидом кальцію цементного каменю з утворенням кальцієвих солей і тим самим зменшують міцність і стійкість шару цементного каменю, що знаходиться на границі із зернами заповнювача. У зв'язку з цим у методах випробування заповнювачів для бетону введене визначення вмісту опалоподібного кремнезему.

Таким чином, при виборі цементів для різних галузей застосування слід враховувати мінералогічний і елементарний хімічний склад клінкеру. А для цього необхідно докладніше розглянути питання, що стосуються взаємодії мінералів цементного клінкеру з водою.

6.3.2.2. Взаємодія мінералів портландцементного клінкеру з водою

Мінерали цементного клінкеру являють собою безводні сполуки, але при взаємодії з водою вони утворюють гідратні сполуки. Клінкерні мінерали більшою чи меншою мірою розчинні у воді, а продукти гідратації цементу, за винятком гідроксиду кальцію (про що докладніше буде сказано нижче), являють собою практично нерозчинні сполуки. Інакше затверділі бетони не були б стійкими у воді.

Гідратні сполуки одержують із клінкерних мінералів і води у результаті їх гідролізу й гідратації.

У клінкері кількісно переважають кальцієві силікати, тобто солі, утворені сильною основою і слабкою кислотою. Такі солі здатні гідролітично розщеплюватися, збагачуючи водний розчин гідроксильними іонами. Це відбувається тому, що іони H^+ і OH^-, які завжди є у воді, взаємодіючи з аніоном солі, зв'язуються з ним у молекули слабко дисоціюючої кремнієвої кислоти. У міру перебігу процесу гідролізу збільшується вміст іонів гідроксиду в розчині.

Гідроліз – це оборотний процес, і його рівновага залежить від усіх тих факторів, які впливають на рівновагу реакцій іонного обміну. Зокрема, рівновагу сильно зрушує убік розкладання солі, коли хоча б один із продуктів цього розкладання важко розчинний у воді. З іншого боку, при додаванні в розчин надлишку одного з продуктів гідролізу, звичайно речовини, розчинної у воді, можна, відповідно до закону дії мас, зрушити рівновагу в зворотному напрямку. Якщо розбавити розчин водою, то гідроліз відбувається повніше, що теж відповідає закону дії мас. При підвищенні температури системи ступінь гідролізу різко збільшується. Пояснюється це тим, що при нагріванні розчину концентрація в ньому іонів води (H^+ і OH^-) зростає. При гідролітичному розщепленні силікатів кальцію збільшується імовірність утворення малодисоційованих молекул слабкої кислоти.

Отже, ступінь гідролізу кальцієвих силікатів портландцементу залежить від ряду умов, серед яких ступінь розведення водою, температура середовища і вид домішок, що вводяться.

Розглянемо, як відбувається гідроліз трикальцієвого і двокальцієвого силікатів.

Під час дії води на трикальцієвий силікат деяка його частина розчиняється у воді й гідролітично розщеплюється. Продукти гідролізу гідратуються: молекули води з'єднуються з даною речовиною, розчиненою у воді. Комплекси, які одержують під час гідратації, частіше мають

змінний склад. Тому число молекул води, що наводиться у формулах гідратаційних сполук, які утворилися з клінкерних мінералах, є наближеним (умовним).

Гідратація супроводжується перегрупуванням у розчині гідратних комплексів. У результаті при взаємодії трикальцієвого силікату з водою з розчину виділяється важко розчинний чотириводний двокальцієвий силікат:

$$3CaO \cdot SiO_2 + 5H_2O = 2CaO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O + Ca(OH)_2.$$

З рівняння реакції видно, що поряд з чотириводним двокальцієвим силікатом утворюється вільний гідроксид кальцію. Вода швидко насичується вапном, частина її випадає в осад. Реакція трикальцієвого силікату з водою, що почалася, а також реакції інших клінкерних мінералів відбуваються у водному середовищі, що містить гідроксид кальцію.

По-іншому відбувається гідроліз двокальцієвого силікату. Ці сполуки містять менше оксиду кальцію, ніж трикальцієвий силікат, тобто є менш основними. Тому гідроліз двокальцієвого силікату практично більшою мірою, ніж гідроліз трикальцієвого залежить від концентрації гідроксиду кальцію в розчині.

При виготовленні бетонів і будівельних розчинів, тобто коли цемент взаємодіє з водою, двокальцієвий силікат знаходиться в одній реагуючій системі разом із трикальцієвим силікатом. Внаслідок гідролітичного розщеплення останнього вода майже завжди насичена гідроксидом кальцію, тобто лужність середовища підвищена. Тому за звичайних умов твердіння бетонів двокальцієвий силікат не утворює продуктів гідролізу, а лише гідратує:

$$2CaO \cdot SiO_2 + 4H_2O = 2CaO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O.$$

Отже, у результаті цієї реакції, якщо вона відбувається за звичайної температури, одержують ту ж саму сполуку, що й під час гідролізу трикальцієвого силікату.

В результаті замішування цементу водою в кількостях, звичайно прийнятих у технології бетону, утворюється $3CaO \cdot A1_2O_3 \cdot 6H_2O$. Ця сполука є найбільш стійкою із усіх гідроалюмінатів. Інші гідроалюмінати кальцію, що утворюються, поступово переходять у шестиводний трикальцієвий алюмінат. Загальноприйняте таке рівняння реакції гідратації трикальцієвого алюмінату:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 6H_2O = 2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O.$$

Інакше взаємодіє трикальцієвий алюмінат з водою в присутності гіпсу. Наявність гіпсу необхідно враховувати з двох причин. По-перше, двоводний гіпс завжди в невеликій кількості міститься в цементі як домішка, яка вводиться при помелі для регулювання строків тужавлення цементу. По-друге, він може відкладатися в цементному камені під час так званої сульфатної корозії бетону.

Цемент без додавання гіпсу тужавіє протягом дуже короткого терміну внаслідок того, що реакція трикальцієвого алюмінату з водою відбувається швидко, а утворений шестиводний трикальцієвий алюмінат викликає надмірно ранню втрату пластичності й раннє структуроутворення в цементному тісті. Це ускладнює, а часто робить неможливим операції перемішування, укладання й ущільнення бетонних сумішей. Тому реакцію взаємодії трикальцієвого алюмінату з водою необхідно сповільнити шляхом введення гіпсу

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O.$$

Гіпс взаємодіє з гідроалюмінатом, при цьому виділяється важко розчинний гідросульфоалюмінат кальцію, що кристалізується з 30…32 молекулами води. Таким чином, протягом деякого періоду відбувається зв'язування, своєрідне блокування гідроалюмінату кальцію. Лише після того як витратиться весь гіпс, що знаходиться в розчині (наприклад, через 1…3 год), починає виділятися чистий гідроалюмінат кальцію, і цемент тужавіє.

Гідросульфоалюмінат кальцію, що приєднав багато води (30…32 молекули води), займає більший об'єм, ніж вихідні продукти реакції (гідроалюмінат кальцію і гіпс). Це збільшення об'єму нешкідливо, коли сильно гідратована комплексна сіль утворюється в середовищі цементного тіста, яке ще зберігає свою пластичність. Адже пластична маса зберігає свою суцільність, якщо навіть у ній виникають певні напруження. Однак виникнення продукту зі збільшенням об'єму дуже небезпечно, коли комплексна сіль утворюється в цементному камені. Тоді, тобто при сульфатній корозії бетону, виникають сильні внутрішні напруження, що призводять до розпушення бетону і його руйнування.

Чотирикальцієвий алюмоферит при дії води гідролітично розщеплюється з утворенням шестиводного трикальцієвого алюмінату й гідроферициту кальцію.

Далі гідроферит кальцію $CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, взаємодіючи з гідроксидом кальцію, що виділився з трикальцієвого силікату, утворює більш основний гідроферит кальцію: $3(4)CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot nH_2O$.

Таким чином затверділий цемент (цементний камінь) складається з кристалічних сполук і гелеподібних мас, що утворилися в процесі твердіння цементу. Цементний камінь включає такі тверді складові: 1) гідроксид кальцію, 2) гідросилікат кальцію, 3) гідроалюмінат кальцію, 4) гідроферит кальцію. У цементному камені містяться також негідратовані зерна цементу, тому що гідратація найбільш великих частинок цементу, що розвивається від поверхні всередину цих частинок, йде повільно і практично може не завершитися навіть через кілька років. Крім того, цементний камінь завжди має більшу чи меншу кількість пор, заповнених повітрям чи водою. Пори утворилися внаслідок того, що при замішуванні бетонних сумішей беруть води більше (для надання їм належної пластичності), ніж потрібно для реакції твердіння.

Дуже важливо розуміти реакції, що відбуваються між клінкерними мінералами й водою, і знати характер продуктів реакцій. Це допомагає правильно вибирати цементи для різних галузей застосування, а також дає можливість розробляти практичні способи, що дозволяють керувати процесами твердіння цементу й захищати його від можливої корозії.

6.3.2.3. Прискорення й сповільнення твердіння портландцементу

На практиці часто необхідно прискорювати твердіння цементу в бетонах. У деяких випадках доводиться, навпаки, сповільнювати твердіння (у першу годину після виготовлення бетонної суміші), наприклад, для поліпшення зчеплення бетону, що укладається, з основою, а також при далеких перевезеннях бетонної суміші автобетонозмішувачами, особливо в жарку погоду (з підвищенням температури значно прискорюється тужавлення цементу).

Описані нижче методи прискорення й сповільнення твердіння портландцементу поширюються також і на деякі інші види цементу.

Крім вибору цементу належного мінералогічного складу прискорення твердіння звичайно досягається тепловою обробкою чи введенням спеціальних домішок. Іноді ці два способи використовують одночасно.

Оскільки трикальцієвий силікат кількісно переважає в цементному клінкері, то на процес твердіння цементу можна впливати домішками, які прискорюють чи, навпаки, сповільнюють гідролітичне розкладання цього силікату.

Гідроліз трикальцієвого силікату прискорюється в присутності тих речовин, які, реагуючи з гідроксидом кальцію, утворюють малорозчинні

продукти реакції і тим самим виводять гідроксид кальцію зі сфери реакції і, отже, зменшують концентрацію іонів кальцію в розчині. Так діють, наприклад, карбонати лужних металів і розчинні силікати. Ці карбонати утворюють з вільним вапном практично нерозчинний вуглекислий кальцій:

$$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2NaOH.$$

Однак такі домішки можуть викликати надмірно швидке тужавлення цементу й тому їх застосовують обмежено.

Великого поширення як домішку-прискорювач набув хлористий кальцій. У кількості 1…2 % маси цементу він значно прискорює твердіння. Водночас ця речовина може сповільнювати процес твердіння на самому початку, тобто в період тужавлення. Для виробничих процесів це зручно. Ця дія хлористого кальцію пояснюється так.

Хлористий кальцій утворює з вапном гідроксіхлориди кальцію. За малих концентрацій вони розчинні, в разі високих – практично нерозчинні у воді. У період тужавлення цементу гідроксіхлорид кальцію розчиняється і тим самим підвищує концентрацію іонів кальцію, що відомою мірою заглушає гідроліз трикальцієвого силікату, тобто тужавлення цементу може сповільнитися. Але в міру того як вода, яка знаходиться у твердіючому бетоні, зв'язується цементом, вміст вільної води в бетоні зменшується і концентрація хлористого кальцію у водному розчині збільшується. У таких умовах гідроксид кальцію зв'язується хлористим кальцієм у практично нерозчинний гідроксіхлорид. Це прискорює гідролітичне розкладання трикальцієвого силікату, тобто сприяє прискоренню твердіння.

Сповільнювачами тужавлення можуть служити нітрати калію, натрію, амонію і деяких інших речовин, що збільшують розчинність вільного вапна у воді. Нітрати утворюють з гідроксидом кальцію сполуки, добре розчинні у воді $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$. При його дисоціації підвищується концентрація іонів кальцію, що пригнічує гідроліз трикальцієвого силікату.

Сповільнення тужавлення в'яжучих речовин можна також досягти іншим принциповим методом – додаючи у воду замішування такі домішки (найчастіше органічні), які у в'яжучому тісті ускладнюють дифузійні процеси, а це сповільнює реакції гідролізу до гідратації.

6.3.2.4. Корозія портландцементного каменю

Корозійні впливи на цементний камінь різноманітні. Нараховуються сотні речовин, які практично можуть входити в зіткнення з ним і виявитися для нього шкідливими.

Незважаючи на велику різноманітність агресивних факторів, основні причини корозії можна звести в такі три групи (за В. М. Москвіним):

1) розчинення складових цементного каменю практично чистою водою, наприклад прісною, розчинення й вимивання утвореного при цьому і раніше наявного гідроксиду кальцію (перший вид корозії);

2) утворення легкорозчинних солей у результаті взаємодії складових цементного каменю з речовинами, що знаходяться в навколишньому середовищі, розчинення й вимивання цих солей (другий вид корозії);

3) утворення в цементному камені під впливом проникаючих у нього речовин таких сполук, які мають більший об'єм, ніж вихідні продукти реакції. Це приводить до внутрішніх напружень і утворення тріщин у бетоні (третій вид корозії).

Наводячи класифікацію корозійних впливів, ми говоримо про корозію цементного каменю, тому що з нього майже завжди починаються корозійні руйнування, оскільки стійкість цементного каменю значно менше, ніж кам'яних заповнювачів.

Наведений розподіл має умовний характер, тому що іноді важко провести різьку межу, наприклад, між корозією першого і другого виду. На практиці бетон часто піддається корозійним впливам не одного, а декількох видів.

Розчинність гідрату оксиду кальцію може збільшуватися чи зменшуватися залежно від вмісту домішок у воді відповідно до правила добутку розчинності. Це правило говорить, що коли добуток концентрацій якихнебудь двох іонів у суміші менше, ніж добуток іонів у насиченому розчині речовини, що утвориться при їх з'єднанні, ця речовина, якщо вона знаходиться у твердому вигляді, буде розчинятися. Відповідно до зміни розчинності гідроксиду кальцію змінюється і швидкість корозійних процесів першого виду.

Усі речовини, що підвищують розчинність вапна у воді, прискорюють корозію цементного каменю і, навпаки, – корозія сповільнюється в присутності речовин, що зменшують розчинність гідроксиду кальцію. Так, кухонна сіль, яку застосовують для полегшення очищення цементно-бетонних доріг від льоду, шкідливо діє на бетон головним чином тому, що при цьому прискорюється корозія першого виду.

Наприклад, прісна вода з великою тимчасовою жорсткістю (тобто яка містить бікарбонати кальцію і магнію) і вода зі значною постійною жорсткістю (тобто яка містить сульфати кальцію і магнію) знижують розчинність вапна. Жорсткі води значно меншою мірою вимивають вапно, ніж м'яка вода.

З корозійних процесів другого виду особливе значення мають вуглекислотна і магнезіальна корозії.

Вуглекислота міститься в більшості природних вод. У середовищі, де наявний гідроксид кальцію, тобто в лужному, містяться іони HCO_3^- і CO_3^{2-}. Вода, у якій CO_2 й іони H^+, HCO_3^-, CO_3^{2-} знаходяться в рівновазі, не розчиняє карбонатну плівку, але зі збільшенням у воді кількості CO_2 відбувається реакція

$$CaCO_3 + 2H^+ + CO_3^{2-} = Ca(HCO_3)_2.$$

Бікарбонат кальцію, що утворюється, добре розчинний у воді. Отже, при певних концентраціях вуглекислого газу у воді цементний камінь піддається корозії.

Магнезіальна корозія викликається магнезіальними солями – сульфатом і хлоридом магнію, які містяться в морській воді, а також у ґрунтових водах. При їх дії на гідроксид кальцію цементного каменю відбуваються такі реакції:

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + Mg(OH)_2;$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2.$$

Утворений гідроксид магнію погано розчинний і випадає в осад у вигляді крихкої плівки, проникної для води. З подальшим надходженням у бетон розчинів магнезіальних солей вони дифундують через цю плівку і взаємодіють уже із гідросилікатами кальцію, руйнуючи цементний камінь.

При дії магнезіальних солей поряд з гідроксидами магнію утворюються також хлорид і сульфат кальцію. Хлористий кальцій підвищує розчинність вапна і, отже, прискорює корозійні процеси першого виду. Збільшення розчинності гідроксиду кальцію в його хлориді пояснюється утворенням гідроксіхлоридів кальцію, що, розчиняючись, викликають збільшення концентрації іонів кальцію, особливо за умов підвищення температури.

Варто розрізняти дію на цементний камінь хлористого кальцію, який знаходиться у воді замішування бетонної суміші чи у воді, яка є експлуатаційним середовищем для бетонних конструкцій. У першому випадку хлористий кальцій повністю зв'язується гідроксидом кальцію цементу в нерозчинні гідроксіхлориди кальцію. На цьому взаємодія компонентів закінчується. Даний процес корисний, тому що сприяє прискоренню тверднення цементу. У другому ж випадку водний розчин хлористого кальцію протягом тривалого часу омиває затверділий бетон і при цьому нові й нові порції хлористого кальцію реагують з вільним вапном цементного каменю, вимивають його і руйнують бетон.

Основною ознакою корозії третього виду служить нагромадження в порах і капілярах бетону таких сполук, об'єм яких перевищує об'єм вихідних продуктів реакції. З цих корозійних процесів найбільше значення має сульфатна корозія. Сульфати зустрічаються в більшості природних вод, а також часто в стічних водах.

У результаті обмінних реакцій вода омиває цементний камінь, поступово насичується сірчанокислим кальцієм, який утворює кристали двоводної солі з деяким збільшенням об'єму.

Сірчанокислий кальцій може далі взаємодіяти з гідроалюмінатом кальцію. При цьому виходить комплексна сіль – гідросульфоалюмінат кальцію. Її об'єм значно більше суми об'ємів вихідних речовин, тому що ця сіль кристалізується з 30…32 молекулами води. Ріст кристалів гідросульфоалюмінату кальцію викликає руйнування цементного каменю і бетону.

Основними заходами щодо захисту цементного каменю від корозії є правильний вибір цементу, виготовлення особливо щільного бетону, застосування спеціальних домішок при одержанні бетону й використання захисних покриттів.

Для виготовлення бетону, який піддається впливу агресивного середовища, варто вибирати по можливості такий цемент, стосовно якого дане середовище не було б агресивним. Слід зауважити, який би цемент не був обраний, але бетон повинен бути особливо щільним, тому що при високопористому бетоні полегшується проникнення агресивних рідин і газів у тіло бетону.

Спеціальні домішки, що вводяться в бетон для підвищення його корозійної стійкості, можуть бути різними. Так, часто застосовують деякі пластифікуючі поверхнево-активні речовини, що підвищують щільність і однорідність бетону. Окремі гідрофобізуючі речовини, наприклад мілонафт, синтетичні масні кислоти, кремнійорганічні рідини, поліпшують структуру бетону, частково гідрофобізуючи її, і тим самим відомою мірою

перешкоджають дифузії агресивних речовин усередину бетону. Гарний результат дає також уведення бітумних емульсій і дисперсій деяких полімерів у бетонну суміш. Крім того, доводиться використовувати різні захисні покриття й облицювання, що практично виключають вплив агресивного середовища на бетон (покриття з полімерів, бітумна ізоляція, облицювання кислототривкою цеглою чи діабазовими плитками й ін.).

6.3.2.5. Спеціальні види портландцементів

Портландцемент не завжди задовольняє окремі спеціальні вимоги, які ставляться до бетонів і будівельних розчинів за різних умов їх застосування. Тому промисловість випускає деякі різновиди портландцементу: сульфатостійкий, з помірною екзотермією, швидкотверднучий, гідрофобний, пластифікований і деякі інші.

Сульфатостійкий портландцемент виготовляють із клінкеру нормованого мінералогічного складу: у клінкері повинно бути не більше 5 % трикальцієвого алюмінату й не більше 50 % трикальцієвого силікату.

Низький граничний вміст трикальцієвого алюмінату пояснюється тим, що сульфатна корозія розвивається в результаті взаємодії сульфатів, які знаходяться в навколишньому середовищі, із трикальцієвим гідроалюмінатом цементного каменю. Якщо в цементному камені C_3A присутній у малих кількостях, то утворюється незначна кількість гідросульфоалюмінату кальцію. Тоді він не небезпечний, тому що розподіляється в порах бетону, витісняючи звідти воду чи повітря, і внутрішніх напружень у бетоні не викликає. У невеликих кількостях гідросульфоалюмінат кальцію навіть іноді корисний, тому що ущільнює бетон.

У клінкері сульфатостійкого портландцементу обмежується також вміст трикальцієвого силікату для зменшення величини тепловиділення цементу. Тому сульфатостійкий портландцемент має підвищену сульфатостійкість і знижену екзотермію, тобто якості, необхідні при виготовленні бетонів для окремих зон гідротехнічних та інших споруд, що працюють в умовах сульфатної агресії. Сульфатостійкий портландцемент випускають двох марок – 300 і 400.

Портландцемент з помірною екзотермією виготовляють із клінкеру, який повинен містити не більше 50 % трикальцієвого силікату і не більше 8 % трикальцієвого алюмінату. Такий цемент при помірній екзотермії відрізняється також трохи підвищеною сульфатостійкістю, оскільки в ньому звичайно міститься помірна кількість трикальцієвого алюмінату.

Цей вид портландцементу застосовують у гідротехнічному будівництві у масивних бетонних конструкціях, що піддаються частому навперемінному заморожуванню і відтаванню в прісній чи слабко мінералізованій воді. Марка за міцністю звичайно 300 і 400.

Швидкотверднучий портландцемент містить багато трикальцієвого силікату і трикальцієвого алюмінату і дуже тонко подрібнений. Тому такий цемент характеризується інтенсивним наростанням міцності в перший період твердіння – через 1 і 3 доби. Випускається також особливо швидкотверднучий цемент. Міцність під час стиску зразків з цього цементу через три доби становить 45,0…50,0 МПа (під час випробування у твердих розчинах).

Гідрофобний портландцемент виготовляють, додаючи при помелі клінкеру 0,1…0,2 % добавки милонафту, асидолу, окисленого петролатуму, синтетичних масних кислот, їх кубових залишків та інших гідрофобізуючих поверхнево-активних добавок. Ці речовини, адсорбуючись на частках цементу, утворюють найтоншу – у середньому мономолекулярну, тобто товщиною в одну молекулу, оболонку. Але ця найтонша оболонка додає цементу особливих властивостей. У цьому сутність гідрофобізації цементу як методу, що дозволяє деякою мірою керувати властивостями цементу стосовно дії води на різних етапах його використання.

Як відомо, взаємодія цементу з водою є двоєдиний суперечливий процес. Спорідненість до води органічно властива цементу, без цієї властивості він не міг би бути в'яжучою речовиною. Але водночас на певних стадіях застосування цементу вода для нього шкідлива. Так, під час зберіганні й перевезеннях цемент псується від вологи, вода з домішками, що містяться в ній, викликає корозію цементного каменю і при частому навперемінному заморожуванні й відтаванні цементних матеріалів руйнує їх.

Проблема подолання суперечностей, закладених у самій природі цементу, частково вирішується його гідрофобізацією.

Гідрофобний цемент під час перевезення і зберігання навіть у дуже вологих умовах не псується. Поверхнево-активні речовини, що містяться в ньому, виявляють пластифікуючу дію у бетонних (розчинних) сумішах, а також зменшують водопроникність і підвищують корозійну стійкість і морозостійкість бетону. Наприклад, якщо звичайний бетон витримує 300 циклів навперемінного заморожування й відтавання, то гідрофобний – 1 000 і більше циклів.

Марки гідрофобного цементу ті ж, що і портландського.

Пластифікований портландцемент одержують, вводячи при помелі клінкеру близько 0,25 % добавки сульфітно-спиртової барди (у розрахун-

ку на суху речовину) від маси цементу. Ця поверхнево-активна речовина пластифікує бетонні суміші, переважно масні, дозволяє знижувати водоцементне відношення без погіршення рухливості сумішей і в ряді випадків дає можливість зменшувати витрату цементу. Водночас підвищується морозостійкість затверділого бетону.

Білий портландцемент (ГОСТ 965-89) виготовляють із клінкеру з малим вмістом заліза (сірий колір звичайного цементу зумовлений головним чином наявністю сполук заліза у вихідних сировинних матеріалах).

Кольорові цементи (ГОСТ 15825-80) одержують на основі білого портландцементного клінкеру шляхом спільного помелу з пігментами різних кольорів, наприклад, з вохрою, залізним суриком, окисом хрому. Можна також одержувати кольорові цементи змішуванням білого цементу з пігментами. Застосування білого й кольорового портландцементів використовується для архітектурно-декоративного оформлення споруд, а також має велике значення в індустріальній обробці великоелементних будівель. Ці цементи застосовують також для кольорових цементобетонних дорожніх покриттів, наприклад, на площах для пам'ятників і монументальних споруд.

Портландцемент для влаштування дорожніх і аеродромних покриттів отримують на основі клінкеру, що містить не більше 8 % C_3A та підвищену кількість C_3S і C_4AF. До складу цементу не дозволяється вводити інертні та активні мінеральні домішки, за винятком доменного гранульованого шлаку в кількості не більше 15 %. Бетон на основі такого цементу має підвищену морозостійкість, стійкість проти стираючої та ударної дії, малу усадку, підвищену міцність під час розтягу та згину, а також відповідну границю втомлюваності (витривалість до дії циклічних навантажень). Для досягнення цих властивостей під час помелу до складу цементу вводять пластифікуючі або гідрофобно-пластифікуючі добавки, які знижують водоцементне відношення та позитивно впливають на експлуатаційні властивості бетону.

Висока витривалість бетону також досягається збільшенням однорідності цементного каменю, застосовуванням цементу із підвищеним вмістом алюмоферитів, використанням пластифікуючих добавок, збільшенням витрати цементу на 1 $м^3$ бетону.

Початок тужавлення такого цементу повинен наставати не раніше ніж через 2 години після замішування водою. Така вимога пов'язана з тим, що при будівництві доріг бетонну суміш перевозять на значні відстані. За міцністю цемент для бетонування дорожних та аеродромних покриттів повинен відповідати маркам М400 і М500.

Тампонажний портландцемент (ДСТУ Б В. 2.7-88-99) застосовується при розвідувальному й експлуатаційному бурінні нафтових і газових свердловин для відокремлення нафто- і газоносних шарів від водоносних. За речовинним складом цементи поділяють на такі типи:

– тип 1 – тампонажний портландцемент бездобавковий;

– тип I-G – тампонажний портландцемент бездобавовковий з нормованими вимогами при водоцементному відношенні, що дорівнює 0,44;

– тип I-H – тампонажний портландцемент бездобавковий з нормованими вимогами при водоцементному відношенні, що дорівнює 0,38;

– тип II – тампонажний портландцемент із мінеральними домішками;

– тип III – тампонажний портландцемент із спеціальними домішками, які регулюють густину цементного тіста.

За умовами експлуатації з урахуванням температурного фактора цементи типів I, II та III поділяють на цементи, призначені для низьких і нормальних (15…50 °С), помірних (51…100 °С) та підвищених (101…150 °С) температур.

До тампонажних цементів висувають такі вимоги, як здатність до утворення легкорухомих суспензійностійких систем, які можна перекачувати насосами і які зберігають початкову консистенцію у статичних і динамічних умовах: при тампонуванні свердловини глибиною до 1800 м – не менш як 1 год 20 хв, до 4000 м – не менш як 2 год 20 хв. Цементний камінь повинен не тільки мати достатню міцність, але й відрізнятися водо- і газонепроникністю, стійкістю в середовищі сольової та сірководневої агресії.

Сірчаний портландцемент – термопластичний в'яжучий матеріал, який отримують уведенням у розплавлені товарні сорти сірки домішки високодисперсного наповнювача і пластифікатора.

Сульфур та його сполуки використовують для виробництва паперу, гуми, ебоніту, сірників, тканин, ліків, косметики, пластмас, вибухівки, фарб, добрив, пестицидів тощо. Він є основним компонентом сірчаного цементу і належить до досить поширених елементів у земній корі (0,03 %).

Властивості сірки: істинна густина – 2,07 г/см^3, температура плавлення – 112,8 °С, спалахування сірки відбувається за температури 247…266 °С, температура кипіння – 444 °С. Під час охолодження тверда фаза, що утворюється, містить сульфур двох типів: моноклинний і орторомбічний. Кристали ромбічного сульфуру за звичайних умов стійкі на повітрі й не розчиняються у воді. Вони погано розчиняються у спирті й ефірі, легше у бензолі та нафті, а найкраще – у сірководні.

Сірка – крихкий матеріал, тому для покращення її властивостей використовують пластифікатори (дициклопентадієн, дипентен та інші). Як домішки, що підвищують вогнестійкість сірки, застосовують стирол, малеїнову кислоту, трикрезилфосфат, органічні фосфати, бромати і непредільні вуглеводні, відомі як пластифікатори, наприклад, дициклопентадієн.

Сірчаний цемент виготовляють розплавленням технічних сортів сірки, додаючи високодисперний кислотостійкий наповнювач (у співвідношенні 60:40) і пластифікатор (1,5…4 %). Як наповнювач застосовують кварцовий пісок, базальт, діабаз, андезит, трепел, шамот, азбест та інші, як пластифікатор – тіокол, термопірени тощо.

Сірку розплавляють і при перемішуванні вводять до її складу спочатку наповнювач, а потім пластифікатор. Композиції із сірчаним цементом перед застосуванням потрібно нагріти до 144…155 °С і розплавлену масу швидко використати. Сірчаний цемент найдоцільніше виготовляти на основі сірковмісної породи або відходів сірчаного виробництва.

Міцність сірки під час стиску становить 18,0 МПа, а при згині – 3,4 МПа. Для сірчаного цементу (залежно від наповнювачів) міцність під час стиску становить від 42,7 до 54 МПа, при згині – 8…12 МПа.

Сірчаний цемент зазвичай містить деякі домішки, які підвищують опір удару й різким змінам температури. Якщо використовувати заповнювач підібраного гранулометричного складу, можна досягти зменшення усадки з 12 до 4 %. Такі цементи застосовують тільки за порівняно низьких температур (нижче 90 °С).

Сірчані цементи швидко тужавіють за низьких температур і мають високу стійкість проти дії багатьох хімічних речовин. Властивості сірчаних цементів поліпшують, вводячи до їх складу м’яку газову сажу та розчинні в сірці полісульфіди (наприклад, тіокол). Додавання газової сажі сприяє видаленню повітря з розплаву, зменшує пористість, підвищує пластичність і границю міцності під час розтягу. Сірчані цементи мають добру адгезію до металів, особливо до міді (0,21…0,26 МПа). Міцність при розтягу суміші сірки (40 %) з кварцовим піском може досягти 5,0…6,0 МПа. Деякі композиції характеризуються границями міцності під час стиску 40…50 МПа.

Сірчаний цемент застосовують для укладання плиток, цегли і зарівнювання швів, футерування підлоги, апаратури, для захисту будівельних конструкцій від дії органічних і неорганічних кислот (крім плавикової).

Бетони на основі сірчаного цементу і важкого заповнювача характеризуються середньою густиною 2 300…2 400 кг/м^3 і границею міцності під час стиску 30…35 МПа. Особливо ефективним є їх застосування при

спорудженні хімічних підприємств, у шляховому і гідротехнічному будівництві, де потрібний конструкційний, швидкотверднучий бетон з підвищеною корозійною стійкістю.

Активні мінеральні домішки і пуцолановий портландцемент. Активні мінеральні домішки (інша назва гідравлічні) – це речовини, які містять переважно водний двооксид кремнію в аморфному і, отже, в активному вигляді й тому здатні взаємодіяти з гідроксидом кальцію, утворюючи гідросилікати.

Активні мінеральні домішки можуть бути природними і штучними. Природні застосовують частіше, особливо осадові органогенні породи – трепел і діатоміт, а також деякі вулканічні породи. Як активні мінеральні домішки також використовують речовини, менш активні стосовно гідроксиду кальцію, ніж, наприклад, трепел чи діатоміт, проте які вступають у взаємодію з вільним вапном. До таких речовин належать, наприклад, горілі породи.

Активні мінеральні домішки здатні реагувати з гідроксидом кальцію за звичайної температури. З підвищенням температури швидкість реакції збільшується.

Оскільки портландцемент у процесі твердіння виділяє гідроксид кальцію, що розчинний у воді й тому за певних умов може вимиватися з цементного каменю, то виявилося корисним вводити в цемент активні мінеральні домішки, щоб хімічно зв'язати гідроксид кальцію й водночас здешевити цемент. Інертні домішки, наприклад мелений кварцовий пісок, мелений вапняк, теж зменшують вартість цементу і у звичайних дозуваннях майже не погіршують його міцність. Однак усі активні мінеральні, а також інертні домішки трохи знижують морозостійкість портландцементу. Тому при виготовленні особливо морозостійкого бетону застосовують портландцемент без мінеральних домішок чи з незначною їх кількістю. Цемент, що призначається для цементобетонних доріг, повинен бути морозостійким і водночас добре чинити опір вилуговуванню гідроксиду кальцію. Тож при виготовленні дорожнього цементу доцільно вводити тільки 6…8 % активної мінеральної домішки.

Портландцемент відповідно до ДСТУ Б В.27-46-96 може містити до 15 % активних чи до 10 % інертних домішок; при цьому назва його не змінюється. Але якщо при подрібненні цементного клінкеру ввести 20…30 % активних домішок осадового походження чи 25…40 % активних домішок вулканічного походження, то одержуваний продукт називається вже не портландцементом, а **пуцолановим портландцементом**.

Цей цемент ефективно твердіє у воді й у вологих умовах. Підвищення температури, наприклад, при пропарюванні виробів, прискорює тверднен-

ня пуцоланового портландцементу більшою мірою, ніж портландського. За низьких же додатних температур наростання міцності пуцоланового портландцементу відбувається дуже повільно. Тепловиділення у пуцоланового портландцементу менше, ніж у портландского.

Цементний камінь пуцоланового портландцементу відрізняється від портландцементного, по-перше, відносно меншою кількістю клінкерних мінералів, що не розклалися, і, по-друге, зниженим вмістом вільного гідроксиду кальцію. Ці особливі властивості пуцоланового портландцементу можна пояснити так.

Між окремими зернами клінкерної частини цементу, що твердіє, розташовані насичені водою частки активної мінеральної домішки, тому створюються кращі умови для гідратації клінкерних мінералів у порівнянні з чистим портландцементом, звичайно, якщо твердіння відбувається у вологих умовах. Цементи з домішками трепелу хімічно зв'язують більше води (наприклад, на 35…60 % у перерахуванні на клінкерну частину за 6 місяців твердіння), ніж портландцемент.

Унаслідок того що вільне вапно, яке виділяється під час гідратації трикальцієвого силікату, спочатку адсорбується, а потім хімічно зв'язується активною мінеральною домішкою, цементний камінь пуцоланового портландцементу містить, наприклад, через 6 місяців твердіння приблизно в два рази менше вільного гідроксиду кальцію, ніж портландцемент. Тому бетони, виготовлені на пуцолановому портландцементі, значно більш стійкі до корозійних процесів першого виду, ніж бетони на портландцементі.

Уже вказувалося, що пуцолановий портландцемент вимагає надзвичайно вологих умов для твердіння, тому його рекомендується застосовувати для приготування бетонів, що твердіють у воді чи у вологих умовах. Цей цемент широко використовують у гідротехнічному будівництві. Марки цементу за міцністю 400, 500.

На повітрі пуцолановий портландцемент порівняно повільно твердіє і дає значну усадку. Крім того, бетони на пуцолановому портландцементі, перебуваючи у дуже сухому повітряному середовищі, іноді втрачають міцність. Це викликано головним чином «вивітрюванням» частини води з гідросилікатів кальцію, що утворилися при взаємодії аморфного двоокиду кремнію з гідроксидом кальцію. Таким чином, пуцолановий портландцемент не завжди досить повітростійкий.

Бетони на пуцолановому портландцементі менш морозостійкі, ніж на портландцементі.

Усі ці особливості пуцоланового портландцементу необхідно враховувати при його використанні в будівництві.

Шлакопортландцемент виготовляють спільним помелом портландцементного клінкеру й доменного гранульованого шлаку. Вміст останнього в шлакопортландцементі знаходиться в межах 30…60 %.

Використання доменних гранульованих шлаків у виробництві в'яжучих речовин є важливою народногосподарською проблемою, адже вони стають дорогою сировиною. Такі цементні заводи, як Магнітогорський, Кузнецький, Нижньотагильський, Липецький, Дніпропетровський, Дніпродзержинський були спеціально побудовані поруч з металургійними комбінатами, щоб можна було використовувати доменні металургійні шлаки (іноді цемент може виготовлятися в комплексі з іншими видами продукції).

Доменні шлаки одержують у вигляді відходів від виплавлення чавуну. Шлаки утворюються в доменній печі при взаємодії речовин, що знаходяться в порожній породі руди, із флюсами (плавнями). Так, якщо порожня порода являє собою в основному глину, то флюсом є вапняк. За високої температури доменної печі двооксид кремнію й оксид алюмінію глинистих мінералів взаємодіють з оксидом кальцію, що утворюється в результаті термічної дисоціації вапняку. При цьому, як і при випалюванні портландцементного клінкеру, виходять силікати й алюмінати кальцію, тільки менш насичені вапном.

Доменний шлак, швидко охолоджений водою чи парою, має вигляд зерен-гранул, звідси його назва – гранульований. Швидке охолодження шлаку перешкоджає розвитку процесів кристалоутворення. Тому доменний гранульований шлак, розмелений у порошок, здатний гідравлічно твердіти. Твердіння відбувається дуже повільно, але при додаванні вапна процес значно прискорюється. Так одержують вапняно-шлакові в'яжучі.

Коли до портландцементу домішаний доменний гранульований шлак, то він у водному середовищі зв'язує гідроксид кальцію, що утворюється під час гідролізу трикальцієвого силікату цементу, і при цьому твердіє.

Тужавлення і тверднення шлакопортландцементу відбувається трохи повільніше, ніж портландцементу, особливо за низьких додатних температур. Але під час теплової обробки шлакопортландцемент твердіє швидше, ніж портландцемент.

У процесі твердіння шлакопортландцементу виділяється менше тепла, ніж під час твердіння портландцементу. Тому шлакопортландцемент доцільно застосовувати в масивних бетонних спорудах. Взагалі ж шлакопортландцемент застосовують у багатьох бетонних і залізобетонних конструкціях нарівні з портландцементом. Марки шлакопортландцементу (за міцністю) трохи нижче (300, 400 і 500), ніж портландцементу. За морозостійкістю він також поступається портландцементу.

Шлакопортландцемент, на відміну від пуцоланового портландцементу, характеризується приблизно такою ж повітростійкістю, як і звичайний портландцемент, тобто може без втрати міцності служити в конструкціях, що знаходяться в сухих умовах середовища. Але передчасне висихання негативно позначається на твердінні шлакопортландцементу, тому необхідно якийсь час витримувати бетони й розчини, виготовлені на цьому цементі, у вологому середовищі.

Вапняно-шлакові в'яжучі. Як уже вказувалося, одержання вапняно-шлакових в'яжучих базується на здатності тонкоподрібнених гранульованих доменних шлаків досить швидко гідравлічно твердіти з додаванням вапна.

Звичайно гранульований доменний шлак розмелюють разом з повітряним вапном (вміст 10…30 %). Вапно, взаємодіючи з низькоосновними алюмінатами й силікатами шлаку, сприяє їх гідратації й утворенню високоосновних гідроалюмінатів і гідросилікатів кальцію. Гіпс, що додається, реагує у водному розчині з алюмінатами кальцію, утворюючи деяку кількість гідросульфоалюмінату кальцію. У результаті обох цих процесів відбувається твердіння в'яжучого.

Вапняно-шлакові в'яжучі тужавіють і твердіють повільно за нормальної температури й особливо повільно за невисокої додатної температури, але при тепловологісній обробці твердіння різко прискорюється. Пояснюється це тим, що вапняно-шлакові в'яжучі мають великий температурний коефіцієнт реакції, тобто реакції різко прискорюються з підвищенням температури, і, навпаки, дуже сповільнюються за її зниженням.

При використанні високоякісного шлаку і тонкому помелі компонентів в умовах нормального твердіння у вологому середовищі чи у воді вапняно-шлакові в'яжучі досягають марки 200…300, тобто за міцністю наближаються до шлакопортландцементу низьких марок. Ці в'яжучі часто називають вапняно-шлаковим цементом.

Вапняно-шлакові в'яжучі відрізняються стійкістю в прісній воді, а також у воді, що містить сульфати, але морозостійкість цих в'яжучих невелика. Для її підвищення іноді додають 20…40 % портландцементу.

Вапняно-шлакові в'яжучі застосовують у бетонах невисоких марок і в будівельних розчинах.

Вапняно-пуцоланові в'яжучі одержують шляхом спільного помелу трепелів, діатомітів та інших активних мінеральних домішок, у яких великий вміст водного двоокису кремнію, з вапном. У разі тверднення у вологих умовах чи у воді утворюються низькоосновні гідросилікати кальцію. На повітрі в сухих умовах ці гідросилікати іноді здатні вивітрюватися, тобто дегідратуватися, відщеплюючи воду. При цьому міцність виробів

може сильно знижуватися. Тому наростання і зберігання міцності при комбінованому твердінні (спочатку на повітрі, а потім у вологих умовах) вапняно-пуцоланових в'яжучих забезпечується при малому вмісті активних мінеральних домішок і відповідно високому вмісті вапна (звичайно не менше 50…60 %). У цьому випадку у твердіючому в'яжучому будуть утворюватися низькооснівні гідросилікати кальцію. Отже, вапняно-пуцоланові в'яжучі можна розглядати як штучне гідравлічне вапно.

Ці в'яжучі порівняно маломіцні (за показниками міцності вони близькі до гідравлічного вапна) і недостатньо морозостійкі. Застосування їх обмежене.

Гіпсоцементнопуцоланові в'яжучі речовини, запропоновані О. В. Волженським, виготовляють, змішуючи 50…75 частин напівводного гіпсу, 15…25 частин портландцементу і 10…25 частин активної мінеральної («пуцоланової») домішки (наприклад, трепелу, діатоміту). Одержані в'яжучі речовини відносять до числа гідравлічних.

При введенні активної мінеральної домішки до складу в'яжучої речовини утворюється стійкій матеріал.

По-іншому взаємодіє сульфат кальцію з гідроалюмінатом кальцію, коли у водному середовищі міститься незначна кількість вільного вапна. Тоді виходять низькосульфатний гідросульфоалюмінат кальцію, що містить порівняно мало гідратної води, і деякі інші солі, що кристалізуються теж з невеликою кількістю води. Ці сполуки утворюються практично без помітного збільшення об'єму. Зниження концентрації гідроксиду кальцію досягається введенням активної мінеральної домішки, що зв'язує вільне вапно. Такі домішки містять аморфний (активний) двооксид кремнію, який, реагуючи з вільним вапном в цементі, що твердіє, зв'язує його в гідросилікати кальцію.

Таким чином, при твердінні сумішей гіпсу і портландцементу з активною мінеральною домішкою внутрішні напруження в цементному камені ослаблені. Гіпсоцементнопуцоланові в'яжучі гідравлічно твердіють без збільшення об'єму.

Ці в'яжучі речовини успішно застосовують для виготовлення основ підлог, а також панелей, призначених для влаштування санітарно-технічних кабін та інших конструкцій.

Глиноземистий, розширний і безусадочний цементи. Цементи цієї групи різко відрізняються від цементів, виготовлених на основі портландцементного клінкеру, видом вихідної сировини, способом виробництва, хімічним і мінералогічним складом і властивостями.

Глиноземистий цемент – це швидкотверднуча (але нормально тужавіюча) і високоміцна гідравлічна в'яжуча речовина. На відміну від по-

ртландцементу, у складі якого переважають силікати кальцію, глиноземистий цемент складається в основному з низькоосновних алюмінатів кальцію (80…85 %), тому його іноді називають алюмінатним.

Сировиною для одержання глиноземистого цементу служать боксити й вапняки. Іноді вапняк заміняють вапном.

Цемент звичайно одержують плавленням сировинної суміші у вагранках, конверторах, електричних і доменних печах за температур вище 1500 °С. Рідше застосовують випалювання до часткового плавлення, тобто до спікання при 1250…1350 °С в обертових печах чи на агломераційній стрічці.

Завдяки алюмінатам кальцію цемент набуває високої міцності в дуже короткий термін (12…24 год). З числа алюмінатів кальцію переважне значення як стосовно в'яжучих властивостей, так і кількісного вмісту має однокальцієвий алюмінат $CaO \cdot Al_2O_3$ (скорочено СА).

Реакція моноалюмінату кальцію з водою відбувається швидко:

$$2(CaO \cdot Al_2O_3) = 2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O + 2Al(OH)_3.$$

Міцність цементного каменю наростає з великою швидкістю («лавинне» зростання). Уже через добу глиноземистий цемент показує високий опір стисканню й розтяганню, що становить приблизно 90 % від марочної міцності. Глиноземисті цементи можуть досягати такої ж міцності, як і портландцементи, але портландцемент тих же марок, що і глиноземистий, через добу має в порівнянні з ним у 3…5 разів меншу міцність.

У зв'язку зі швидким перебігом реакцій, що зумовлюють твердіння цементу, глиноземистий цемент виявляє велику швидкість тепловиділення. За 24 год він дає 75…80 % від максимальної кількості тепла, виділеного при твердінні. Екзотермія портландцементу тих же марок через добу в 3…4 рази менша. Загальна ж теплота гідратації глиноземистого цементу приблизно така ж, як і портландцементу високих марок (наприклад, 70…90 кал/г).

Обов'язковою умовою для нормальної гідратації глиноземистого цементу і тривалого збереження його міцності є невисока температура (нижче 25 °С) будівельного розчину чи бетону в період твердіння і надалі при перебуванні в конструкціях, інакше можлива втрата міцності до 50 %.

Висока чутливість твердіючого й затверділого глиноземистого цементу до дії підвищених температур пояснюється зміною характеру продуктів гідратації. Десятиводний моноалюмінат кальцію CAH_{10} і вісьмиводний двокальцієвий гідроалюмінат C_2AH_8 при 30…35 °С переходять у кубічний шестиводний трикальцієвий алюмінат $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O (C_3AH_6)$. Питома

вага CAH_{10} дорівнює 1,72, питома вага C_2AH_8 – 1,95, а питома вага C_3AH_6 становить 2,52. Отже, перехід від низькоосновних форм гідроалюмінатів кальцію до багатого вапном кубічного шестиводного трикальцієвого алюмінату пов'язаний зі зменшенням об'єму новоутворень і притому дуже значним – 1/4…1/3 частина від первісного. Внаслідок цього у твердіючому чи вже затверділому цементі, тобто в масі, що перестала бути пластичною, виникають сильні внутрішні напруження. Вони порушують структуру матеріалу, викликають утворення мікро- і макротріщин, зменшують міцність.

Тому глиноземистий цемент не слід застосовувати в умовах жаркого клімату, вироби з нього не можна піддавати тепловологій обробці, а у випадку виготовлення з нього масивних бетонних конструкцій їх необхідно охолоджувати.

Глиноземистий цемент під час гідратації хімічно зв'язує велику кількість води. З наведеного вище рівняння реакції випливає, що продукти реакції моноалюмінату кальцію стехіометрично потребують 57 % води. Практично кількість зв'язаної води становить 30…45 % від ваги глиноземистого цементу, у той час як портландцемент при однаковому водоцементному відношенні й інших рівних умовах зв'язує усього лише 15…20 % води. Тому пористість цементного каменю глиноземистого цементу майже у два рази менша, ніж портландського. Це дуже важливо.

На відміну від портландцементного каменю затверділий глиноземистий цемент має значно більшу щільність і під час твердіння не виділяє вільного гідроксиду кальцію. Крім того, структура затверділого глиноземистого цементу своєрідна – у ньому проміжки між кристалами двокальцієвого гідроалюмінату заповнені гідратом окису алюмінію. Тому стійкість глиноземистого цементу в прісній воді вище, ніж портландцементу. Глиноземистий цемент також більш стійкий у водах, яка містить сульфати магнію і кальцію, і в слабких розчинах багатьох мінеральних і органічних кислот.

Однак глиноземистий цемент руйнується навіть слабкими розчинами лугів внаслідок утворення алюмінатів. Тому його не можна змішувати з портландцементом і з вапном і застосовувати в середовищах, де можуть міститися луги.

Глиноземистий цемент використовують при аварійних роботах, для тампонування тріщин, іноді під час зимових робіт. У суміші із шамотом, хромітом, магнезитом його застосовують для виготовлення жаростійкого й жаротривкого бетону. Одна з галузей застосування глиноземистого цементу – це одержання розширних і безусадочних цементів.

Цементи, що здатні до розширення. Більшість бетонів та розчинів на основі гідравлічних в'яжучих речовин під час твердіння на повітрі дають усадку. Усадочні деформації викликають такі небажані явища, як тріщиноутворення, підвищену проникність води, а також зниження морозо- та корозійної стійкості цементного каменю. Для запобігання виникненню цих недоліків використовують багатокомпонентні в'яжучі речовини спеціального призначення, що здатні до розширення. Вони складаються з основного в'яжучого матеріалу та розширної домішки, до складу якої може входити кілька компонентів.

Як основна в'яжуча речовина в таких композиціях використовується глиноземистий цемент або портландцемент.

За здатністю до розширення цементи поділяють на безусадочні, розширні й напружувальні.

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

Розширні цементи характеризуються збільшенням об'єму (понад 0,1 %), що не компенсується усадкою. Такі цементи застосовують для омонолічування збірних залізобетонних конструкцій, зачеканення швів тюбінгів, будівництва доріг та аеродромів, виготовлення залізобетонних труб.

Напружувальні цементи мають велику енергію розширення й використовуються при виготовленні залізобетонних виробів з арматурою, напружувальна енергія якої розвивається під час розширення цементу в процесі його гідратації та твердіння.

Максимальне напруження, що може бути досягнуто в таких цементах, становить 3,5…8 МПа. Під час розширення напружувального цементу відбувається самонапруження арматури в бетоні, шо поліпшує його якість. Залежно від енергії самонапруження, ці цементі поділяють на три марки: НЦ-20, НЦ-40, НЦ-60 із напруженням, відповідно, 2, 4 та 6 МПа.

Ефект розширення цементу досягається за рахунок збільшення об'єму твердої фази або направленого росту кристалів. За природою домішки, що викликає розширення, розрізняють цементи на основі гідроксидів кальцію або магнію та сульфоалюмінатів (у продуктах твердіння яких синтезується етрингіт).

Водонепроникний розширний цемент (ВРЦ) – гідравлічна в'яжуча речовина, яка здатна до швидкого тужавлення та твердіння, може бути виготовлена помелом або змішуванням у кульовому млині тонкоподрібнених

глиноземистого цементу (70…76 %), напівводного гіпсу (20…22 %) та високоосновного гідроалюмінату кальцію $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ (10…11 %). Останній спеціально синтезують гідротермальною обробкою глиноземистого цементу з вапном протягом 5…6 год за температури 120…150 °С, потім його подрібнюють і змішують з глиноземистим цементом і гіпсом.

У процесі твердіння цементу відбувається реакція з утворенням етрингіту:

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 14H_2O = $$
$$= 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCO_4 \cdot 32H_2O + Ca(OH)_2$$

що зумовлює сульфоалюмінатне розширення штучного каменю у межах 4…5%.

Початок тужавлення цементу – не раніше як через 4 хв, кінець – не пізніше ніж через 10 хв. Процес тужавлення може бути сповільнений домішками ЛСТ, ситової кислоти, бури тощо.

Водонепроникний розширний цемент марки М500 через 6 год після виготовлення стандартних зразків має границю міцності під час стиску 7,5 МПа, а через 3 доби – 30 МПа. Після 24 год твердіння зразки мають бути абсолютно водонепроникними при тиску 0,6 МПа, а їхнє лінійне розширення знаходиться в межах 0,2…1,0 %. Слід враховувати, що водонепроникний розширний цемент має знижену морозостійкість, і тому його можна застосовувати тільки за температур вище 0 °С для відновлення зруйнованих бетонних та залізобетонних конструкцій, для гідроізоляції тунелів, стовбурів шахт, у підземному та підводному будівництві для створення водонепроникних швів. Як недоліки цього цементу слід відзначити високу вартість, короткі строки тужавлення, низьку морозостійкість.

Гіпсоглиноземистий розширний цемент (ГГРЦ) – це цемент, що має переваги над вищенаведеним цементом, є дешевшим та відрізняється тривалішими строками тужавлення.

Такий цемент отримують спільним помелом або змішуванням попередньо подрібнених високоглиноземистого клінкеру чи шлаку (70 %), у складі якого переважає однокальцієвий алюмінат, та природного двоводного гіпсу (30 %).

Марки ГГРЦ М300, М400, М500, початок тужавлення не раніше як через 20 хв, кінець – не пізніше як через 4 год. Через добу цемент має бути водонепроникним при тиску води 1 МПа. Лінійне розширення цементу через 3 доби твердіння – 0,1…0,7 %, а через 28 діб – не більше як 1 %. Границя міцності під час стиску через 3 доби – не менше 28 МПа. Темпи нарощування міцності ГГРЦ такі самі, як і у глиноземистого цементу, але спад

міцності у віці до 28 діб не спостерігається. Розширення ГГРЦ пов'язане з утворенням етрингіту та виявляється лише при твердінні у воді, при витримуванні на повітрі цемент є безусадочним.

Гіпсоглиноземистий цемент застосовують для виготовлення безусадочних та розширних водонепроникних розчинів і бетонів, для омонолічування стиків, гідроізоляційних шахт, підвалів, тампонування нафтових свердловин.

Розширний портландцемент одержують спільним помелом 60…65 % портландцементного алітового клінкеру, 5…7 % глиноземистого клінкеру або високоглиноземистого шлаку, 7…10 % двоводного гіпсу і 20…25 % активної мінеральної домішки (трепелу, опоки, діатоміту, доменного гранульованого шлаку). Портландцент повинен містити не менше 7 % алюмінатів кальцію та 55 % аліту. Механізм розширення зумовлений утворенням кристалічного етрингіту, що збільшує об'єм гідратних новоутворень. Активна домішка сприяє синтезу сполуки до тужавлення цементу, що забезпечує розширення бетонних сумішей стичному стані без виникнення напружень у кристалічній структурі. Гідросульфоалюмінат кальцію швидко утворюється за температури 60…80 °С, тому короткочасне пропарювання прискорює твердіння цементу.

Камінь на основі розширного цементу має високу щільність і водонепроникність, а також здатність до розширення у воді й на повітрі при постійному зволоженні протягом перших 3 діб. Цей цемент є напружувальним із малою енергію розширення і має марки за міцністю М400, М500, М600, початок тужавлення – не раніше як через 30 хв, кінець – не пізніше як 12 год після замішування; розширення після 1 доби становить 0,15…1,0 %.

Галузі використання такого цементу – шляхове та підземне будівництво, влаштування підлог промислових підприємств, тампонажні роботи, виготовлення залізобетонних виробів із напруженим армуванням (омонолічування каналів із напруженою арматурою).

Розширні цементи можуть бути отримані на основі сульфовмісного клінкеру, який містить 15…20 % $C_3A{\cdot}CaSO_4$. Небажаною фазою в таких цементах є $C_2S{\cdot}CaSO_4$, тому клінкер випалюють за температури 1300 °С, коли сульфосилікат розкладається. Наявність вільного CaO й ангідриту сприяє розширенню такого цементу. Такий цемент отримують спільним помелом сульфовмісного клінкеру, портландцементу і гіпсу.

Напружувальний цемент (В. В. Михайлова) (НЦ) одержують спільним помелом (до питомої поверхні не менше як 450 $м^2/кг$) портландцементного клінкеру – 65…75, глиноземистого цементу – 13…20, двоводного гіпсу – 6…10 мас. %. Причиною розширення й напруження такого цементу

є утворення етрингіту. Цемент має дуже короткі строки тужавлення: початок – через 2…5 хв, кінець – через 4…7 хв після замішування. Цементи марки НЦ-20 характеризуються границею міцності під час стиску через 1 добу – 10…12 МПа, а через 28 діб – 40…50 МПа.

При пропарюванні бетонних виробів із жорстких бетонних сумішей цей цемент створює в арматурі попереднє напруження без застосування спеціального обладнання. Крім того, його використання забезпечує водо-, бензо- та газонепроникність конструкцій, підвищує їхню тріщиностійкість, несучу здатність самонапружених конструкцій. Такий цемент доцільно застосовувати для виготовлення напірних залізобетонних труб, резервуарів для води, оболонок покриттів, при будівництві спортивних споруд (трибун, плавальних басейнів), для будівництва доріг та аеродромів, підводних і підземних напірних споруд, тонкостінних просторових конструкцій.

У США використовують три види цементів, що здатні до розширення, позначених як типи К, М, S. Ці цементи характеризуються тим, що основним джерелом алюмінатних іонів у них є різні глиноземисті сполуки. Тип К передбачає використання C_4A_3S, тип М – $CA+C_{12}A_7$ (глиноземистий цемент), а тип S як джерело алюмінатних іонів містить портландцементний клінкер з високим вмістом C_3A.

6.4. Кислототривкі в'яжучі речовини. Рідинне скло та кислотостійкий цемент

Рідинне скло (розчинне скло, розчинний силікат) – це в'язка рідина темно-жовтого чи коричневого кольору, що являє собою колоїдний розчин кремнієвої кислоти в їдкому натрієвому чи калієвому лузі.

Рідинне скло варять у скловарних печах як звичайне скло. Розплав, що випускається з печі, застигає. Одержувані тверді й прозорі куски чи брили (силікат-брили) розчиняють у воді найчастіше за підвищеної температури й тиску 6…7 атм. Утворюється в'язка рідина, це і є той технічний продукт, яким звичайно користуються в будівництві. Основною складовою рідинного скла є лужні силікати. Склад рідинного скла виражається формулою $R_2O{\cdot}nSiO_2$, де R – це Na чи K. Значення n називають модулем рідинного скла. Чим менше модуль, тим легше розчиняється у воді силікат-брила. Звичайно у будівництві натрієве рідинне скло використовується з моду-

лем від 2,5 до 3, а калієве з модулем від 3 до 4. Це рідини, що містять 50…70 % води і мають питому вагу 1,3…1,5.

Найчастіше застосовують натрієве рідинне скло (ущільнення ґрунтів, виготовлення жаротривких, вогнетривких і кислототривких бетонів. Калієве рідинне скло коштує дорожче, ніж натрієве, і застосовується переважно для виготовлення силікатних фарб. Саме собою рідинне скло твердіє повільно, цей процес треба прискорювати.

Силікати натрію чи калію, що є основною частиною рідинного скла, у воді піддаються гідролізу, наприклад:

$$Na_2SiO_3 + 3H_2O = 2NaOH + Si(OH)_4.$$

Тому водний розчин рідинного скла частково гідролізований і дає лужну реакцію. Гель селікатної кислоти, що виділяється під час гідролізу у вигляді дигідрату кремнезему $Si(OH)_4$ чи, що те ж саме, $SiO_2 \cdot 2H_2O$, має в'яжучі властивості.

Щоб рідинне скло мало гарні в'яжучі властивості, треба прискорити його гідроліз. Для цього до рідинного скла додають речовини, що прискорюють утворення гелю селікатної кислоти. Такою речовиною найчастіше служить кремнефторид натрію, який також гідролізується у воді:

$$2Na_2SiO_3 + 6H_2O + Na_2SiF_6 = 6NaF + 3Si(OH)_4.$$

Фтористий натрій у воді погано розчинний, тому процес розщеплення рідинного скла й виділення гелю селікатної кислоти прискорюється.

Кремнефторид натрію звичайно додають для прискорення твердіння рідинного скла, яке застосовується як в'яжуча речовина в процесі виготовлення кислототривких бетонів і розчинів.

В інших галузях використання рідинного скла, наприклад для виготовлення силікатних фарб, його твердіння прискорюється іншими шляхами, але теж приводить до прискорення гідролізу лужних силікатів.

Кислототривкий цемент. Кислототривким кварцовим кремнефторисним цементом називають порошкоподібний матеріал, виготовлений шляхом спільного помелу чи ретельного змішування роздільно подрібнених кварцового піску з кремнефтористим натрієм. Назва «цемент» для таких порошків є умовною, тому що вони не мають самостійних в'яжучих властивостей. Їх треба замішувати водним розчином силікату натрію, тобто рідинного скла, останнє і є в'яжучою речовиною. Якщо кислототривкий цемент помилково замішують водою, то він, звичайно, не затвердіє.

Кислототривкий цемент використовують для виготовлення кислототривких замазок, розчинів і бетонів. При цьому застосовують дрібний і крупний заповнювач з кислототривких порід (граніт, андезит, бештауніт). У процесі твердіння зерна заповнювача обволікаються і цементуються гелем кремнієвої кислоти, що виділяється під час гідролізу рідинного скла. Кварцовий пісок у кислототривкому цементі може бути замінений порошком андезиту чи бештауніту (це гірські породи, які відрізняються, подібно кварцовому піску, високою кислототривкістю).

Затверділий кислототривкий цемент здатний протистояти дії більшості мінеральних, а також органічних кислот.

Уже вказувалося, що кремнефторид натрію, який входить до складу кислототривкого цементу, прискорює гідроліз і, отже, твердіння рідинного скла. Але для завершення процесу твердіння необхідно, щоб дигідрат двооксиду кремнію $Si(OH)_4$ перейшов у метакремнієву кислоту. Цей процес відбувається поступово в міру висихання кислототривкого бетону. Виходить тверда речовина, схожа з природним опалом.

Практично, однак, не вся кількість рідинного скла гідролізується в кислототривкому бетоні, що твердіє. Це відбувається тому, що кремнефторид натрію звичайно вводять у меншій кількості, ніж це потрібно стехіометрично для розкладання рідинного скла. Збільшувати дозування кремнефториду натрію не можна, тому що твердіння може надмірно прискоритися, структура бетону при цьому погіршиться і він стане проникним до кислот. Тому частина силікату натрію залишається нерозкладеною. Для повного виділення кремнезему у вигляді гелю кремнієвої кислоти треба обробити твердіючий бетон якою-небудь кислотою. Кислототривкий бетон, покладений у конструкцію, обробляють міцною мінеральною кислотою («кислують»). У випадку застосування, наприклад, соляної кислоти процес характеризується реакцією:

$$2HCl + Na_2SiO_3 + H_2O = 2NaCl + Si(OH)_4.$$

Бетон ущільнюється не тільки завдяки виділенню нових кількостей гелю селікатної кислоти, але і внаслідок зневоднювання $Si(OH)_4$ міцною кислотою. Гель селікатної кислоти переходить у твердий опалоподібний кремнезем $SiO_2 \cdot H_2O$.

Границя міцності під час стиску кислототривкого бетону, обробленого міцною кислотою, досягає 50…60 МПа. Він стійкий у кислотах, але втрачає міцність у воді, а в їдких лугах руйнується.

З кислототривкого бетону виготовляють резервуари, ванни в травильних цехах, будують вежі й інші споруди на хімічних підприємствах. Кис-

лототривкі розчини використовують під час футерування кислототривкими плитками (керамічними, діабазовими, скляними) залізобетонних, бетонних і цегляних конструкцій на підприємствах хімічної промисловості й споріднених виробництв.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які матеріали називають неорганічними в'яжучими речовинами? Наведіть представників.
2. Наведіть класифікацію неорганічних в'яжучих речовин за умовами застосування.
3. Повітряне вапно: сировина, основні технологічні процеси виробництва.
4. Гашення і помел вапна. Охарактеризуйте процеси. Які прилади застосовуються для виконання цих процесів?
5. За якою схемою твердіє повітряне вапно?
6. Назвіть технічні властивості повітряного вапна, галузь застосування, вироби на основі повітряного вапна.
7. Порівняйте повітряне і гідравлічне вапно за складом, властивостями, галуззю застосування.
8. Гіпсові в'яжучі речовини: сировина, основні технологічні процеси виробництва.
9. Класифікація гіпсових в'яжучих речовин залежно від температури отримання. Вкажіть особливості, основних представників і галузь застосування.
10. Твердіння і технічні властивості будівельного гіпсу. Галузь застосування.
11. Портландцемент: сировина, основні технологічні схеми виробництва.
12. Охарактеризуйте процес виробництва портландцементу за мокрим способом. Яке технологічне обладнання використовується і які перетворення з сировинною сумішшю відбуваються на кожному етапі.
13. На які температурні зони поділяється обертова піч?
14. Хімічний і мінералогічний склад портландцементу. Назвіть основні компоненти і їх вплив на якість цементу.
15. За якою схемою відбувається твердіння портландцементу?
16. Що називається гідратацією портландцементу?
17. Які заходи вживають для прискорення і сповільнення твердіння портландцементу?

18. Назвіть основні види корозії цементного каменю. Механізм дії, шляхи запобігання розвитку корозії.
19. Вкажіть основні шляхи отримання цементів зі спеціальними властивостями? Назвіть основні групи спеціальних цементів.
20. Назвіть основні різновиди кислототривких в'яжучих речовин та галузь їх застосування.

Список рекомендованої літератури

1. Волженский А. В. Гипсовые вяжущие и изделия / А. В. Волженский, А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1974. – 200 с.
2. Венюа М. Цементы и бетоны в строительстве. – М.: Стройиздат, 1980. – 415 с.
3. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Высш. шк., 1986. – 386 с.
4. Рояк С. М. Специальные цементы / С. М. Рояк, Г. С. Рояк. – М.: Высш. шк., 1993. – 411 с.
5. Yong I. F. Makrodefect-free Cement // A Review. Mat. Soc. – 1991. – Vol. 179. – S.101–122.
6. Теория цемента / Под ред. А. А. Пащенко. – К.: Будівельник, 1991. – 168 с.
7. Глуховский В. Д. Вяжущие и композиционные матералы контактного твердения / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, С. Е. Максунов. – К.: Вищ. шк., 1991. – 243 с.
8. Кривенко П. В. Специальные шлакощелочные цементы. – К.: Будівельник, 1992. – 192 с.
9. Lu P. Yong I. F. Slag-Portland Cement Based DSP Paste // J. Am. Ceram. Soc. – 1993. – Vol. 76, № 5. – S. 1329–1334.
10. Пащенко О. О. В'яжучі матеріали / О. О. Пащенко, П. В. Сербш, О. О. Старчевська. – К.: Вищ. шк., 1995. – 416 с.
11. Sakai E. Composite Mechanism of Polymer Modified Cement / E. Sakai, J. Sugita // Cem. Concr. Res. – 1995. – Vol. 29. – S. 127–135.
12. Тейлор Х. Ф. У. Химия цемента. – М., 1998. – 600 с.
13. Lea's Chemistry of Cement and Concrete / Ed. by Peter C. Hewlett, 1998. – 1008 s.
14. H. Neville A. M. Wlasciwosci betonu, wydanie 4, Krakow, 2000. – 874 s.
15. Шубин В. И. Новые и перспективные виды цементов для строительного комплекса / В. И. Шубин, Б. Э. Юдович, А. М. Дмитриев, С. А. Зубехин // Цемент и его применение. – 2001, июль–август. – С. 13–21.
16. Уфимцев В. М., Пьячев В. А. Производство вяжущих вчера, сегодня, завтра // Цемент и его применение. – 2001, январь–февраль. – С. 15–17.
17. Хохрин Н. К. Строительные материалы на железнодорожном транспорте. Ч. 1. Минеральные строительные материалы. – Л.: ЛИИЖТ, 1981. – 94 с.

РОЗДІЛ 7

Заповнювачі, наповнювачі й домішки

7.1. Загальні відомості

У структуроутворенні штучних будівельних матеріалів (конгломератів) крім головного компонента – в'яжучих речовин – важливу роль відіграють також наповнювачі й заповнювачі. Перші в основному беруть участь в утворенні мікроструктури в'яжучої частини, другі за безпосередньої цементувальної дії в'яжучої частини утворюють макроструктуру конгломерату.

Заповнювачі й наповнювачі класифікують за різними ознаками: складом (неорганічні й органічні); походженням (природні, штучні й побічні продукти (відходи) виробництва); зовнішнім виглядом і формою частинок (порошкоподібні, крупнозернисті, волокнисті, стержневі й листуваті) і т. д.; взаємодією з в'яжучою речовиною (активні й інертні).

Заповнювачі й наповнювачі отримують або безпосередньо з родовищ порід з їх подальшою механічною обробкою, або ж за допомогою хімічної переробки сировини. У виробничих умовах їх виготовляють виконанням певних технологічних операцій, що входять у комплекс підготовчих робіт: подрібнення й помел, фракціонування, промивання, зневоднювання, висушування й нагрівання, збагачення й хімічна чи фізико-хімічна обробка.

Подрібнення грубозернистих заповнювачів (руда, гравій, щебінь, деревина й ін.) виконують з метою отримання зерен і частинок необхідної форми й розмірів, підвищеної однорідності й щільності. Помел дрібнозернистих матеріалів здійснюють для підвищення хімічної та фізико-хімічної активності частинок, збільшення питомої та сумарної поверхні мінерального порошку й деяких інших порошкоподібних продуктів.

У табл. 7.1 наведені види та ступінь подрібнення матеріалу.

Матеріали подрібнюють у дробарках грубого дроблення, у млинах тонкого і надтонкого подрібнення та в інших машинах.

Для підвищення насипної густини (зменшення пустотності) заповнювачів з метою поліпшення властивостей конгломерату їх розділяють на окремі фракції (фракціонують) з різною крупністю зерен, а з отриманих фракцій готують потрібні суміші заповнювачів. Фракціонування часто поєднують з подрібненням.

Таблиця 7.1

Ступінь подрібнення матеріалу під час дроблення

Вид подрібнення матеріалу	Середній розмір, мм		Ступінь подрібнення, *D*/*d*
	кусків до подрібнення *D*	зерен чи частинок після подрібнення *d*	
Крупне	300…1 500	100…300	2…6
Середнє	100…300	10…50	5…10
Дрібне	20…50	2…10	10…50
Тонке	2…10	0,075…2	50…100
Надтонке	0,075…2	0,0001…0,075	Менше 100

Порошкоподібні наповнювачі фракціонують сепарацією, одержані при цьому крупні частинки подрібнюються повторно. Однією з важливих властивостей порошкоподібного наповнювача є його щільність, яка залежить від зернового складу. Ступінь дисперсності порошкоподібного наповнювача повинна обмежуватися. Якщо дисперсність дуже висока, частинки спонтанно (мимовільно) агрегуються (злипаються) зі зменшенням питомої поверхні агрегатів, грудкуванням і підвищенням неоднорідності. Необхідний ступінь дисперсності порошкоподібного наповнювача визначають експериментально, враховуючи, що в разі тривалого зберігання високодисперсного наповнювача відбувається втрата його активності внаслідок адсорбції і хемосорбції речовин з навколишнього середовища.

Важлива роль відводиться промиванню водою зернистих заповнювачів (пісок, гравій, щебінь) для звільнення від забруднювальних глинистих, мулистих, пилуватих та інших домішок. Ці домішки погіршують якість штучних будівельних конгломератів (ШБК) – зменшують їх однорідність і міцність, перешкоджають зчепленню заповнювача з в'яжучою речовиною. Промивання заповнювачів водою часто поєднуються з їх фракціонуванням.

Після промивання заповнювач зневоднюють механічним способом (відстоюванням, фільтрацією, віджиманням, грохоченням, центрифугуванням, гідрокласифікацією) чи штучним сушінням у кар'єрах і на заводах за допомогою різних джерел теплоти (газом, інфрачервоними променями, електричним струмом високої частоти та ін.). Уведення гідрофобних (водовідштовхувальних) поверхнево-активних речовин під час промивання сприяє видаленню з поверхні частинок водних крапель. У деяких випадках, наприклад у разі приготування бетонної суміші, заповнювачі промивають частиною води замішування і тоді забруднюючі домішки, що входять у водну суспензію, виконують функції високодисперсних наповнювачів.

Очищення заповнювачів можливо також і сухими способами – за допомогою плоских вібраційних чи барабанних грохотів, а також пульсуючих знепилювачів.

У зимовий час заповнювачі не тільки сушать, але нерідко ще нагрівають до певної температури для надання їм необхідних якостей, наприклад кращої змішуваності із в'яжучою речовиною. Звичайно це здійснюється в одному апараті – сушильному барабані, на колосникових гратах та ін. Щоб заповнювачі стали більш однорідними за зерновим складом чи щільністю, їх іноді збагачують, зокрема, шляхом відділення слабких і неморозостійких включень.

У процесі підготовки деякі заповнювачі піддають хімічній і фізико-хімічній обробці з метою підвищення їх активності при взаємодії з іншими компонентами ШБК, створення більш сприятливих умов їх виробництва, підвищення щільності й міцності конгломерату й ін. У ході такої обробки до заповнювачів додаються спеціальні речовини. Так, під час виготовлення арболіту й фіброліту в органічні заповнювачі (деревну стружку, деревну дробленку, льняну і конопельну кострицю і т. ін.) вводять домішки мінералізаторів для підвищення хімічної стійкості мінеральних в'яжучих речовин, що змішуються із заповнювачами. Під час виробництва асфальтобетону й дьогтебетону в мінеральні наповнювачі вводять гідрофобізуючі домішки з метою підвищення адгезії органічної в'яжучої речовини з мінеральними заповнювачами.

Хімічну й фізико-хімічну обробку заповнювачів іноді поєднують з механічною обробкою, наприклад помелом. При цьому з поверхні зерен заповнювача видаляються недостатньо активні адсорбовані шари, завдяки чому поверхня оновлюється, стає більш активною при взаємодії з в'яжучими речовинами.

Під час транспортування вживають заходів проти забруднення промитих і непромитих заповнювачів, зволоження висушених і охолодження

нагрітих заповнювачів, тому транспортування чинить певний непрямий вплив на структуроутворення ШБК.

Важливе значення для безперебійного стійкого виробництва має зберігання заповнювачів і наповнювачів у бункерах та інших сховищах. Від правильного зберігання залежать однорідність цих матеріалів, а отже, структура і якість ШБК. У разі зберігання заповнювачів і особливо дрібнофракційних наповнювачів, наприклад, у бункерах, іноді утворюються склепіння й зависання, внаслідок чого мимовільно припиняється їх витікання з отвору. Це погіршує умови дозування заповнювачів, викликає простої обладнання, знижує продуктивність праці, відбивається на структурі та якості ШБК. Утворення склепінь і зависань є складним процесом, що залежить від багатьох факторів. Для запобігання цьому застосовують пристрої обвалення, що встановлюють у бункерах чи зовні.

Заповнювачі й наповнювачі дозують за масою та об'ємом, причому ці операції на багатьох заводах автоматизовані. Важливе значення мають точність і своєчасність дозування.

Важливою операцією, що впливає на якість ШБК, є попереднє сухе перемішування заповнювачів, а за необхідності – і наповнювачів. У процесі перемішування руйнуються початкові зв'язки між частинками, внаслідок чого підвищується їх рухливість, що сприяє, у свою чергу, заповненню міжзернових пустот більш дрібними фракціями й у підсумку – рівномірному розподілу частинок.

Перемішування сухих (нагрітих чи холодних) заповнювачів і наповнювачів супроводжується переходом теплоти від більш нагрітих до менш нагрітих, рівномірним розподілом частинок за об'ємом.

7.2. Неорганічні заповнювачі

Найбільший об'єм у ШБК займає заповнювач. У бетонах і розчинах, наприклад, його вміст може становити до 95 % за об'ємом. Тому вибору якості й різновиду заповнювачів завжди приділяється велика увага. Застосовують заповнювачі неорганічні й органічні; переважно використовуються неорганічні, особливо при виробництві бетону, залізобетону й асфальтобетону.

Заповнювачі неорганічні, чи мінеральні, отримують шляхом розробки родовищ сипких гірських порід у вигляді піску чи гравію, природного щебеню. Широко використовують дроблені гірські породи – щебінь, висівки,

пісок. Крім природних як заповнювачі застосовуються також штучні, одержані шляхом випалу глинистої сировини, інших видів мінеральної сировини, подрібненням металургійних шлаків.

Заповнювачі розділяються на дрібні й крупні. Віднесення до цих різновидів за крупністю залежить від розміру найбільшого зерна. У дрібного заповнювача зерна не більше 5 мм, причому під час просівання залишок на ситі з отворами в 5 мм повинен бути не більше 5 % за масою. Типовим представником дрібного заповнювача є пісок. У крупного заповнювача всі зерна більше 5 мм. Розмір найбільших зерен у заповнювачі також обмежується, залежно від різновиду ШБК – у межах 70…80 мм. Крупний заповнювач при кутастих зернах називається щебенем, при округлих зернах – гравієм.

Заповнювачі характеризують зерновим (гранулометричним) складом. З метою визначення зернового складу виконують розсів проби заповнювача крізь набір стандартних сит. Найменший отвір у ситі 0,16 мм, найбільший – 70 мм. При лабораторному розсіві проби заповнювача на ситах між двома сусідніми ситами, наприклад 10 і 20 мм чи 1,25 і 2,5 мм, затримаються зерна різної крупності в зазначених межах, що утворює відповідно фракцію 10…20 мм чи фракцію 1,25…2,5 мм. Нерідко зерновий склад називають фракційним.

Фракційний склад заповнювача є безперервним, якщо містить усі фракції, на які розсіюється заповнювач за допомогою сит. Фракційний склад переривчастий, якщо в заповнювачі відсутні одна чи дві фракції, його розраховують за відповідними формулами чи підбирають за графіками.

Зернові склади щільних сумішей наводяться в ГОСТ 8735-88 із вказівкою допустимих коливань у вмісті фракцій без зниження якості готових матеріалів. Важливою характеристикою заповнювача, особливо крупного, є величина насипної густини. Важкі заповнювачі мають у розсипу насипну густину понад 1000 кг/м^3, а ті, що використовуються для спеціальних цілей, – понад 2000 кг/м^3. Легкі заповнювачі полегшують конструкції і тому широко застосовуються в житловому будівництві. Їх насипна густина становить близько 500 кг/м^3. При остаточному виборі зернового складу враховують не тільки насипну густину суміші чи її пустотність, але й питому поверхню. Бажане зменшення питомої поверхні в щільній суміші, для того щоб заощадити на витраті в'яжучої речовини.

Крім фракційного складу, насипної густини й пустотності заповнювачів при оцінці якості визначаються показники міцності, морозостійкості (стосовно щебеню), ступінь забруднення сторонніми домішками, форма частинок. Враховується також стан поверхні зерен заповнювача, тому що

чим гладша поверхня зерен заповнювача, тим нижче, як правило, зчеплення зерен з в'яжучою речовиною. За необхідності оцінюються хімічна стійкість, водостійкість тощо.

Оскільки, як зазначалося вище, заповнювачі в ШБК займають велику частину об'єму і тому їх витрата дуже велика, то важливе значення має вартість заповнювачів. З цих позицій завжди залишаються кращими заповнювачі з місцевих порівняно дешевих матеріалів, у тому числі з побічних продуктів місцевої промисловості. Однак потрібна підвищена увага до оцінки їх якості.

У теорії ШБК передбачений комплексний показник якості заповнювача, що визначається безпосередньо в конгломераті за інтенсивністю зміни його властивостей, наприклад міцності. В останній цей показник виражений величиною *n*. Його числове значення залежить від щільності зернової суміші, форми й розміру частинок, стану поверхні зерен, їх міцності, здатності до адгезії з в'яжучою речовиною й інших якісних характеристик заповнювача. Числові значення комплексного структурного показника *n* можна зменшити шляхом промивання заповнювача, фракціонування, збагачення, обробки ПАР чи іншими технологічними прийомами. Чим менше числове значення *n*, тим вище позитивна роль заповнювача в ШБК як структурного елемента.

Дрібні заповнювачі. До дрібних заповнювачів належать природний та штучний пісок. Як правило, найкращими пісками в ШБК є кварцові. Однак у процесі виробництва безвипалюваних матеріалів (бетони, асфальтобетони та ін.) їх заміняють і іншими природними пісками. В усіх пісках обмежується вміст шкідливих домішок, якими є глинисті й пилуваті фракції, сірчасті й сірчанокислі сполуки (пірит, гіпс та ін.), а також слюди, органічні домішки (залишки нерозкладених рослин, гумус тощо). Для різних конгломератних матеріалів встановлюються конкретні межі припустимого вмісту шкідливих домішок, що враховуються як обов'язкові умови при застосуванні місцевих пісків. Існують спеціальні методики визначення вмісту різних шкідливих домішок.

Серед природних пісків виділяють гірські (ярові), річкові, морські, барханні, дюнні й інші різновиди. Кожний з них має позитивні й негативні показники, що виявляються при використанні їх як дрібних заповнювачів: гірські піски містять підвищену кількість глинистих і органічних домішок; морські крім кварцових зерен можуть мати уламки раковин, що знижують міцність деяких конгломератів (цементних бетонів та ін.); річкові й морські мають надмірно відполіровану поверхню зерен, що не забезпечує достатнього зчеплення їх з в'яжучою речовиною; дюнні й барханні

піски утворені дуже дрібними частинками, що не відповідає вимогам стандарту. Під час ретельної перевірки якості пісків вибирається найкращий різновид, що рекомендується до застосування в даному ШБК з урахуванням його вартості та необхідної витрати в'яжучої речовини.

Особлива увага приділяється зерновому складу піску. Важливо, щоб вміст фракцій у межах 0,16…5,0 мм був таким, при якому забезпечуються мінімальні значення пустотності й питомої поверхні.

Залежно від зернового складу пісок поділяють на крупний, середній, дрібний і дуже дрібний. Крупність оцінюється за величиною модуля крупності:

$$M_{\text{К}} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}. \qquad (7.1)$$

Модуль виражає частковість від розподілу суми повних залишків (у відсотках) піску на ситах на 100, починаючи із сита розміром отворів 2,50 мм і закінчуючи ситом з отворами 0,16 мм. Повним залишком піску A_i на кожному ситі називається сума часткових залишків на усіх попередніх ситах і на даному ситі (у відсотках). Частковий залишок a_i піску на кожному ситі – це відношення маси m_1 залишку на даному ситі до маси m наважки, що просівається, (у відсотках): $a_i = \left(m_1 / m\right) \cdot 100\ \%$.

Після попереднього просіювання від природного піску зерен крупніше 5 мм модуль крупності піску $M_{\text{К}}$ і повний залишок на ситі із сіткою 0,63 мм повинні відповідати величинам, зазначеним у табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Класифікація пісків за крупністю

Група піску	Повний залишок на ситі № 063, % за масою	Модуль крупності
Крупний	Більше 45	Більше 2,5
Середній	Від 30 до 45	2,0…2,5
Дрібний	Від 10 до 30	1,5…2,0
Дуже дрібний	До 10	1,0…1,5

Для підвищення однорідності зернового складу піски іноді фракціонують, найчастіше на дві фракції – крупну і дрібну. Крупна – з розміром

зерен 1,25…5,0 мм, дрібна – від 0,63 до 0,16 мм. У необхідних випадках зерновий склад підбирають таким чином, щоб він відповідав кривим просівання щільних піщаних сумішей (рис. 7.1). У правильно призначеному зерновому складі пустотність піску не перевищує 38 %. Завжди враховується вміст води, тому що фактична маса фракцій у сухому піску зменшиться, а при дозуванні чи прийманні за об'ємом враховують, що найбільший об'єм пісок займає при вологості 5…7 % (за масою). Непрямою характеристикою пустотності служить його насипна густина, яка для сухого кварцового піску в сипкому стані коливається в межах 1500…1550 кг/м^3, а в ущільненому струшуванням стані – у межах 1600…1700 кг/м^3.

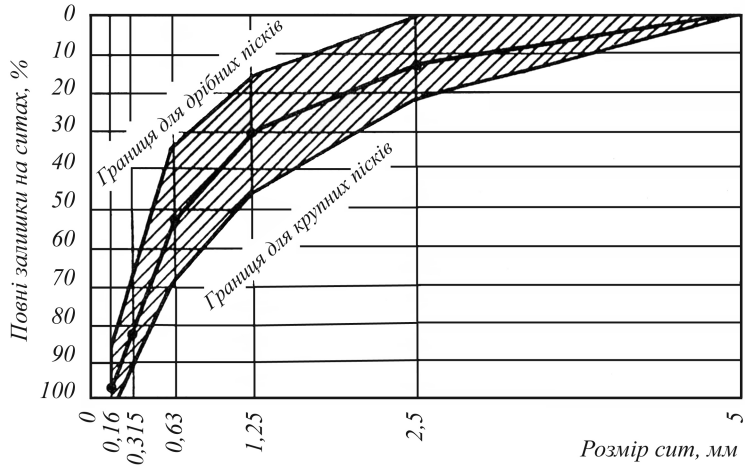


Рис. 7.1. Графік зернового складу піску

Дроблений чи штучний пісок одержують шляхом подрібнення невивітрюваних магматичних, метаморфічних чи щільних карбонатних осадових порід, міцність яких більше 50 МПа. При подрібненні намагаються одержати кутасту й кубоподібну форму зерен, що великою мірою залежить від обраного механічного обладнання. Крім гірських порід, для одержання дроблених пісків придатні деякі різновиди шлаків, цегельного та шамотного бою, інших побічних продуктів виробництва. Однак, використовуючи останні, важливо запобігти проникненню в одержувані піски всіх тих шкідливих домішок, що зазначені вище стосовно природних пісків. Дуже цінуються полегшені штучні піски, які одержують

подрібненням природних і особливо легких штучних заповнювачів. Вартість дробленого піску вище природного, і тому його звичайно застосовують для поліпшення якості природних дрібнозернистих пісків у відповідальних будівельних роботах. Полегшені піски призначені для керамзитобетону, вакулітобетону й інших легких і особливо легких конгломератів.

Крупні заповнювачі. У штучних будівельних конгломератах різного призначення як крупний неорганічний заповнювач застосовують гравій і щебінь. Природні заповнювачі отримують подрібненням пористих вапняків, вапняків-черепашників, вулканічних і вапняних туфів і деяких інших пористих порід. Штучні – шляхом термічної обробки в основному алюмосилікатної сировини з одержанням керамзитового, аглопоритового гравію чи щебеню, а також шунгізиту, вакуліту, спученого перліту, термозиту (шлакової пемзи) та інших пористих матеріалів з насипною густиною від 200 до 1 400 кг/м^3.

Природний гравій являє собою сипку суміш обкатаних уламків розміром від 5 до 70 мм. Гірський гравій у порівнянні з річковим, морським і льодовим має більш кутасті з шорсткуватою поверхнею уламки й велику кількість пилувато-глинистих домішок. Уламки гравію, оброблені водою, мають гладку поверхню, що погіршує зчеплення з в'яжучою речовиною. Найкращим різновидом гравію вважається льодовий, котрий менш обкатаний і має більш рівномірний зерновий склад. Керамзитовий гравій одержують шляхом спучування в процесі прискореного випалу гранул з легкоплавкої глини. Вакулітовий пустий гравій отримують накочуванням шару малопластичних високодисперсних порід типу суглинків, супісків, зол ТЕС, сланцевих та інших на «ядро» з легкоспалимого органічного матеріалу (стружка деревна, торф, лігнін й ін.) і подальшим випалом одержаних при цьому сирцевих гранул. Усі різновиди гравію (а також природного щебеню і жорстви) характеризуються неоднорідним петрографічним і мінеральним складом, тому що в їх утворенні беруть участь різноманітні гірські породи та мінерали. Тому оцінка їх міцності проводиться на зразках середніх проб з добором з них зерен слабких і неморозостійких порід і визначенням їх вмісту у відсотках за масою. Міцність щебеню характеризується маркою і визначається за його подрібненням під час стиску (роздавлювання) у металевому циліндрі. Значний вміст у гравії вивітрених уламків осадових та інших порід (іноді до 40…60 %) погіршує його механічні властивості, наявність же уламків магматичних порід (гранітних валунів) і піщаників підвищує його якість. У ході розробки гравійних відкладів проводиться поділ їх за зерновим

складом, оскільки інші види збагачення трудомісткі. Окремі великі брили, що зустрічаються в них, і гальку подрібнюють, що хоча і збільшує вартість, але при цьому підвищує якість гравійного матеріалу. Аналогічно діють і під час розробки відкладів природного щебеню, утвореного переважно гострокутними уламками розміром до 100…150 мм. При вмісті в гравії природного піску від 25 до 40 % матеріал називають піщано-гравійною сумішшю.

Щебінь – матеріал, якій отримують подрібненням гірських порід, валунів, гальки чи штучних каменів. Для цього застосовують різні за конструкцією і потужністю каменедробильні машини, від яких залежить якість одержуваної продукції (рис. 7.2). Найкращою формою частинок щебеню вважається кубоподібна чи тетраедрична, розмір у межах 5…70 мм. Вміст частинок пластинчастої та голчастої форм не повинен перевищувати 10…15 % за масою. Одночасно з щебенем у каменедробильних машинах одержують більш дрібні піщані (висівки) і пилуваті фракції, які відокремлюються від нього в процесі просіювання.

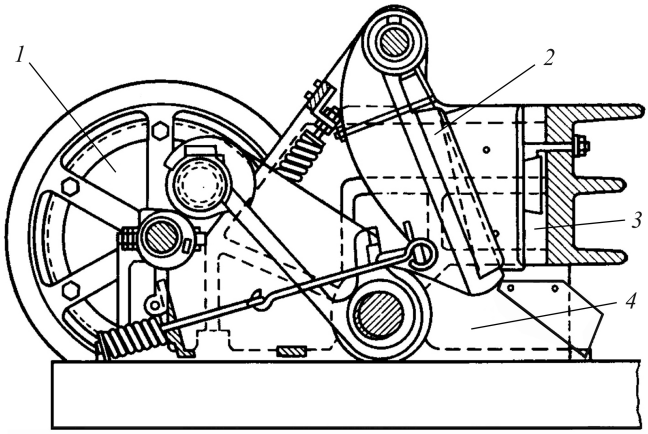


Рис. 7.2. Щокова дробарка для виготовлення щебеню:
1 – маховик; *2* – рухома щока; *3* – нерухома щока; *4* – станина

Вимоги до якості щебеню залежно від його призначення встановлені у відповідних держстандартах та технічних умовах. Ці вимоги в основному подібні, але мають деякі уточнення. Однакові вимоги подрібнення щебеню в металевих циліндрах під час стиску, морозостійкості, стираності

й опору удару, щодо зернового складу, міцності вихідної породи (у насиченому водою стані).

Для виробництва щебеню з гірських порід віддають перевагу магматичним, особливо гранітам, габро, діабазам, базальтам, а з осадових – вапнякам, доломітам, з побічних продуктів виробництва – шлакам доменного процесу, відходам керамічного виробництва. Аглопоритовий щебінь одержують шляхом спікання глинистої породи і відходів від видобутку, переробки та спалювання кам'яного вугілля на спеціальних агломераційних металевих гратках з подальшим подрібненням продуктів випалу. Сильно поризований, особливо легкий щебінь одержують при нагріванні (випалюванні) вермикуліту, вулканічного скла обсидіану, кремнеземистої гірської породи перліту й ін. Набув широкого застосування шунгизіт, сировиною для виробництва якого є шунгитові сланці, що спучуються, і містять до 3 % шунгіту – вуглецю особливої форми.

Заповнювачі сильно розрізняються між собою за міцністю. Границя міцності при стиску зразків змінюється у важких гірських порід від 10 до 500 МПа, у легких – від 0,4 до 25 МПа. Прийнято, щоб міцність заповнювача перевищувала міцність конгломерату на 20…50 %, але доцільніше щораз обґрунтовувати мінімально припустиму міцність заповнювача за характеристикою в'яжучої речовини оптимальної структури.

Для важкого бетону марки 300 і вище міцність вихідної гірської породи в насиченому водою стані повинна бути в 2 рази більша цієї марки.

У даний час міцність крупного заповнювача визначають методом роздавлювання його проби в металевому циліндрі з обчисленням показника подрібнення за формулою:

$$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\,\%,$$

де m_1 – проба щебеню (гравію), кг;

m_2 – маса залишку на контрольному ситі після просівання роздробленої в циліндрі проби щебеню (гравію), кг.

За подрібненням розрізняють щебінь (гравій) таких марок: Др 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 300 і 200. У межах цих марок за подрібненням під час стиску в циліндрі встановлені припустимі вмісти зерен слабких порід, тобто з міцністю під час стиску у насиченому водою стані зразків менше 20 МПа.

За морозостійкістю щебінь поділяється на шість марок: F 15, 25, 100, 150, 200 і 300. Число марки відповідає кількості циклів навперемінного заморожування і відтавання зразків, за яких втрата маси крупного

заповнювача не перевищує 5 % (для F 15 і 25 допускається втрата маси до 10 %). Слід зауважити, що ці вимоги до якості щебеню важливі в основному в разі його застосування в бетонах. Для інших видів ШБК технічні вимоги трохи відрізняються. Особливе значення приділяється обґрунтуванню найбільшої крупності зерен і зерновому складу: перше – виходячи з розміру конструктивного елемента, друге – за граничними значеннями, що наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Границі зернового складу крупного заповнювача

Розмір отворів контрольних сит, мм	D_{min} для фракцій з найменшим розміром зерен, мм		$0{,}5(D_{min} + D_{max})$		D_{max}	$1{,}25D_{max}$
	5 (3)	10 і більше	однієї фракції	суміш фракцій		
Повний залишок на ситах за масою, %	95…100	90…100	40…80	50…70	0…10	0

З табл. 7.3 випливає, що зерновий склад крупного заповнювача залежить від D_{max} – найбільшої крупності зерен щебеню чи гравію і від D_{min} – найменшого розміру зерен щебеню чи гравію. Призначаючи D_{max} виходять не тільки з фактичного складу матеріалу (розмір отвору сита, на якому повний залишок не перевищує 10 % наважки), але і з характеру конструкції чи виробу, для якого виготовляється конгломерат із застосуванням крупного заповнювача. Так, у випадку залізобетону найбільша крупність зерен не повинна перевищувати найменшої відстані між стержнями арматури і 1/2 товщини плити. Аналогічними міркуваннями керуються й в інших конструкціях. У загальному випадку розмір заповнювачів не повинен перевищувати 0,25…0,35 мінімального розміру конструкції і 0,65…0,75 мінімальної відстані між стержнями арматури.

За крупністю щільний гравій і щебінь розділяють на фракції 5…10, 10…20, 20…40 і 40…70 мм просіванням сухої проби масою 10 кг через стандартний набір сит з розмірами отворів 70, 40, 20, 10 і 5 мм. Пористий гравій і щебінь застосовують трьох фракцій: від 5 до 10 мм, від 10 до 20 мм і від 20 до 40 мм. Замість фракцій 5…10 мм у легких бетонах допускається застосовувати фракції 3…10 мм, а замість фракцій 10…20 мм – фракції 10…15 мм.

Для всіх різновидів заповнювачів важливе значення має коефіцієнт розм'якшення – відношення границі міцності при стиску породи в насиченому водою стані до міцності під час стиску в сухому стані, оскільки він непрямо характеризує морозостійкість матеріалу. Його величина для щільних заповнювачів повинна бути не менше 0,85, для пористих – не менше 0,80 і тільки в конгломератах теплотехнічного призначення цей показник повинен становити не менше 0,7. В усіх випадках потрібно враховувати вимоги діючих стандартів на відповідні різновиди важких і легких заповнювачів щодо показників їх якості.

Крім зернистих використовують заповнювачі іншої форми. Великого поширення в технології різних ШБК набувають волокнисті заповнювачі, що виконують у структурі функції армувального компонента. Волокнисті заповнювачі спрямованого (орієнтованого) чи хаотичного розташування збільшують здатність конгломератів до опору згинальним і розтягувальним навантаженням. З цією метою використовують короткі сталеві волокна довжиною до 25 мм і діаметром 0,005…0,015 мм (фібра), скловолокно, волокна з розплаву шлаку, кераміки, гірських порід (наприклад, азбесту, базальтів), що мають набагато більші значення пружності в порівнянні з ШБК, наприклад бетоном. Уведення до складу волокнистого заповнювача трохи ускладнює технологію ШБК, але зміцнює конструкцію, якщо тільки був обґрунтовано обраний різновид волокна. Так, наприклад, звичайне скловолокно порівняно швидко руйнується у лужному середовищі цементного каменю, тому в Україні і за кордоном запропоновані склади лугостійких скловолокон.

У складі деяких конгломератів, особливо на основі полімерних в'яжучих речовин, нерідко використовують заповнювачі пластинчастої форми з утворенням своєрідних композиційних матеріалів. Своєрідним видом «активного заповнювача» може бути і металева арматура, наприклад сталева в залізобетоні, що найчастіше виконує функції каркасу в ШБК, якщо їй надано форму сітки. Спрямоване розташування арматури підвищує анізотропність одержаного матеріалу (подібно анізотропії кристалів), що може сприяти механічному зміцненню конструкції. Однак спостерігаються випадки, коли в експлуатаційний період порушується зчеплення в'яжучого з арматурою. Тоді такий «заповнювач» стає неактивним ($n > 0$), що негативно позначається на надійності конструкції в будівлі чи споруді. Кількість та різновид арматури визначаються в теорії залізобетону за допомогою спеціальних розрахунків.

7.3. Органічні заповнювачі

Органічні заповнювачі застосовують для виготовлення теплоізоляційних, а також теплоізоляційно-конструкційних і конструкційних матеріалів і виробів: арболіту, цементного фіброліту, ксилоліту, очеретобетону, торфоплит, теплоізоляційних плит з кострищі льону, деяких пластмасових виробів – деревно-волокнистих і деревно-стружкових плит та ін.

Як деревні та інші органічні заповнювачі використовують відходи лісозаготівель (верхівки, сучки, пні, корені й ін.), лісопиляння й деревообробки (рейки, тріски, стружки, тирса), здубицю (відходи заводів дубильних екстрактів), січку очерету, сільськогосподарські відходи (рисова солома, льняна й конопельна костриця, стебла бавовнику, соняшникова лузга), побічні продукти целюлозно-паперової промисловості й ін. За останні роки збільшилася увага до полімерних заповнювачів. Органічні заповнювачі мають багато спільного, зокрема близький хімічний склад.

Деревинні заповнювачі. Сировинна база для одержання деревинних заповнювачів залишається практично необмеженою, оскільки щорічний об'єм деревинних відходів становить приблизно 150 млн $м^3$, велика частина яких поки що раціонально не використовується.

На якість ШБК, у яких застосовують деревинні заповнювачі, впливає порода дерева. Деревинні заповнювачі одержують головним чином з відходів хвойних порід (ялина, ялиця, сосна й ін.) і рідше з відходів листяних порід (осика, береза, бук та ін.).

З деревинних заповнювачів найбільш перспективними є відходи деревообробки. Їх піддають попередній підготовці з метою звільнення від забруднювальних домішок і одержання частинок потрібної форми (дробленка, стружка чи деревна вовна) і розмірів. Кускові відходи деревини піддають спочатку первинній, а потім вторинній переробці. Первинну переробку здійснюють за допомогою рубильних машин, у результаті чого одержують технологічні тріски у вигляді ромбоподібних шматків з розмірами за довжиною волокон деревини 10…40 мм. Тріска непридатна для виготовлення ШБК, тому що є занадто великою і вироби з неї мають велику пористість і низьку міцність. Під час вторинної переробки, яку здійснюють за допомогою молоткових млинів (дробарок) і стружкових верстатів, технологічні тріски перетворюють на дробленку і стружку.

Дробленку (дроблену деревину), що являє собою пластинчасті чи голчасті частинки довжиною 2…20 мм (уздовж волокон деревини) і товщиною до 5 мм, одержують з кускових відходів (рейок, обрізків). Перед вико-

ристанням дробленку тривалий час (6…12 місяців) витримують на складах.

Склад подрібнення, відсоток фракцій крупніше 20 мм (за довжиною) – 0,25 мм – не більше 5 за масою, 10…5 мм – 30…35, 5…2 мм – 55…60, дрібніше 0,25 мм – не більше 5. Її застосовують для виготлення арболіту, тобто деревобетону (з мінералізацією) і теплоізоляційних плит (без мінералізації). Під мінералізацією розуміється хімічна обробка заповнювача, наприклад, хлористим кальцієм.

Для деревно-стружкових плит, плит фіброліту (для чорної підлоги, перегородок, облицювання панелей стін та ін.), теплоізоляційного матеріалу використовується стружка листяних і хвойних порід. Розміри пелюсток стружок, отриманих на стружкових верстатах: довжина – 2…20 мм, мінімальна товщина – 0,1…1 мм. Крім спеціально виготовленої стружки застосовують також стружку й тирсу від столярного та меблевого виробництва.

У разі виготовлення виробів із застосуванням цементу (наприклад, арболіту) стружку мінералізують.

Деревна вовна, яку застосовують для приготування цементного фіброліту, складається з довгих тонких стружок (стрічечок) довжиною 500 мм, шириною 2…5 мм і товщиною 0,2…0,7 мм. Її одержують струганням спеціально приготовлених обкорених цурок довжиною 0,5 м і діаметром 10…35 см, допускається застосування більш тонких цурок діаметром 8…9 см, а також діаметром понад 35 см. З цією метою неділову деревину – тонковимірний кругляк і відходи лісопиляння (зрізання) – звільняють від кори (обкорюють) і витримують у теплий час (весняно-літній період) у штабелях, розпилюють пилкою на цурки довжиною 0,5 м і потім струганням на деревнововняних верстатах готують з цурок деревну вовну. Її сушать у конвеєрних сушарках до вологості 20…25 % і мінералізують.

Тирсу залежно від характеру розпилювання розділяють на два основних види – тирса від поперечного й подовжнього розпилювання. У разі поперечного розпилювання деревини на круглопиляльних зграйках виходять більш дрібні частинки, ніж при подовжньому розпилюванні, і вони мають волокнисту будову. Ця тирса майже повністю проходить через сито з діаметром отворів 2 мм і основною фракцією в них є 1…2 мм. У разі подовжнього розпилювання колод на лісопильній рамі одержують тирсу, близьку до кубічної форми розмірами від великих частинок (7 мм) до пилоподібних. Більша частина тирси має розміри від 2 до 5 мм. Кубоподібна форма частинок зумовлює високе відношення торцевих поверхонь до бічних, внаслідок чого матеріали й вироби з тирси мають підвищені

водопоглинання і вбираність зв'язуючих речовин, тому що показники цих властивостей уздовж волокон більші, ніж впоперек.

Тирса, отримана під час розпилювання необкореної деревини, містить домішки кори, причому зі збільшенням розмірів фракцій тирси збільшується і кількість кори в них.

У порівнянні з іншими деревними заповнювачами тирса має деякі переваги. Внаслідок однорідної будови частинок їй властива хороша плинність, що важливо при пресуванні з неї виробів. При збільшенні тиску пресування й температури плинність підвищується. Однак пористість тирси (сума пор частинок тирси і пустот між ними) становить приблизно 71…75 % за об'ємом, тобто дуже значна.

Тирсу застосовують для виготовлення тирсобетону, гіпсотирсових блоків, ксилоліту тощо, причому, як і в інших деревних заповнювачах, використовують відходи головним чином хвойних порід і значно менше – листяних.

На якість ШБК дуже впливають властивості деревних заповнювачів.

Велике значення має середня густина деревини і насипна густина деревного заповнювача, що залежать від багатьох факторів. Середня густина деревини коливається в широких межах – від 380 до 1100 кг/м^3 (в абсолютно сухому стані), а насипна, наприклад, осикової дробленки – 55,5 кг/м^3, березової – 247,2 кг/м^3 (в абсолютно сухому стані).

Важливою характеристикою деревного заповнювача є його пористість, від якої залежить пористість ШБК. У заповнювачі існують пори всередині частинок і пори (пустоти) між ними. Пористість залежить від різних факторів – від крупності частинок, ступеня ущільнення й ін. При середній густині деревини 300, 500 і 700 кг/м^3 (в абсолютно сухому стані) її пористість дорівнює відповідно 81, 68 і 55 %. Для одержання найбільш щільного ШБК необхідно підбирати суміш частинок деревного заповнювача з мінімальною пористістю.

Впливає на якість деревних ШБК і вологість деревних відходів. Вологість деревини у різних порід дерева різна, а для однієї і тієї ж породи вона залежить від місця розташування в стовбурі, від пори року, часу доби, від температури й ін. Значно зволожені відходи погано піддаються переробці їх у заповнювачі, наприклад під час переробки в стружку сильно зволоженої тріски частинки стружки стають значно розволокненими і тому отримують стружку низької якості. Розбіжності у вологості дерева, його відходів і, отже, у деревних заповнювачах впливають на однорідність ШБК.

Деревні заповнювачі мають значне водопоглинання. Вода поглинається оболонками клітин деревини (хімічно зв'язана чи гігроскопічна

волога) і капілярами (вільна чи капілярна волога), тобто порожнинами клітин, міжклітинними порожнинами, а також судинами (у листяних порід). Кількість капілярної вологи в заповнювачі залежить від загального об'єму капілярів у деревині, а водопоглинання – від крупності його частинок: чим вони дрібніші, тим більше водопоглинання, тому що збільшується питома поверхня. Найбільшу кількість води заповнювач поглинає в перші півтори години, наприклад, деревна дробленка поглинає до 160…190 % від абсолютно сухої маси.

Деревному заповнювачу властива також гігроскопічність, причому під час поглинанні вологи деревина набухає, що супроводжується тиском розбухання. Набухання відбувається у разі поглинання вологи оболонками клітинок, які при цьому збільшуються в об'ємі, тоді як поглинання вологи капілярами деревини набухання не викликає. У розрахунках складів ШБК (наприклад, арболіту) враховують набухання деревного заповнювача.

При висиханні деревного заповнювача відбувається зменшення його об'єму (усушка). Це пов'язано з випаровуванням вологи з клітинних оболонок, при видаленні її з капілярів усушка не відбувається. Найбільша усушка спостерігається впоперек волокон (до 12 %), а уздовж волокон вона незначна (0,1 %). У цілому усушка деревного заповнювача в ШБК викликає додаткові напруження і впливає на деформативні властивості. Волокниста будова деревного заповнювача спричиняє деяку анізотропію міцності ШБК.

Частинки деревного заповнювача мають пружність, що негативно впливає на ефект пресування виробів, тому заповнювач тривало зволожують гарячою водою. В результаті частинки деревини розм'якшуються, стають менш пружними і легше стискуються під час пресування.

Вміст хвої в заповнювачах повинен бути не більше 5 %, а кори – не більше 15 % від маси абсолютно сухої деревини. Не допускається використання заповнювачів, що мають гнильний запах і гниль. Гниль необхідно видаляти просіванням заповнювачів через сито з отворами 1,5…2 мм.

Заповнювачі з очерету та костриці. У різних районах нашої країни існують великі зарості очерету. Січку очерету застосовують як заповнювач для арболіту. Її готують зі зрілих стебел очерету. Найбільш сприятливою вважається зимова заготівля. Стебла очерету спочатку ріжуть на сілососоломорізці й потім додатково подрібнюють на молотковій дробарці. Частинки отриманої січки мають довжину 7…35 мм, ширину 2…6 мм і товщину 1…2 мм. За технічними вимогами найбільша крупність січки 5 мм.

Середня густина січки становить 150…155 кг/м^3. Насипна густина коливається в широких межах – від 60 кг/м^3 для фракції 0…1,2 мм до 120 кг/м^3 для фракції 5…10 мм, а міжзернова пустотність відповідно від 77 до 88 %.

Перед застосуванням січки її подібно деяким деревним заповнювачам мінералізують.

Костриця луб'яних культур – конопель та льону – є поширеною і дешевою сировиною.

Конопляну і льняну кострицю застосовують для виготовлення арболіту (частіше конопляну). Льняну кострицю, крім того, використовують для теплоізоляційних плит.

Конопляна костриця – це відхід первинної переробки стебел конопель на прядиво. Вона являє собою дрібні частинки (роздробленої здеревілої частини стебла) неправильної форми довжиною 10…70 мм і в поперечнику 2…2,5 мм.

Насипна густина костриці 100…120 кг/м^3, вологість 17…22 %. Костриця має значне водопоглинання – через 8 год воно досягає 450 % за масою.

До первинної обробки стебла конопель вимочуються 20…30 діб у природних водоймищах, у заповнених водою ямах або у басейнах з гарячою водою на коноплепереробних заводах. Біохімічні процеси відбуваються з вимиванням із костриці водорозчинних речовин – цукрів, органічних кислот, мінеральних солей. Через невеликий діаметр стебел конопель і велику їх пористість екстрактивні речовини видаляються з них швидше і більш повно, ніж з деревини. Така обробка конопель захищає цементний камінь від корозії і тому під час виробництві арболіту з конопляної костриці не замочують у воді з мінералізаторами.

Вологість конопляної костриці, застосовуваної для арболіту, повинна бути не більше 20 % за масою, її зберігають у закритому складі чи під піддашшям.

Льняна костриця складається з вузьких тонких пластин довжиною до 50 мм, шириною до 3 мм і товщиною до 3 мм. Насипна густина 110…120 кг/м^3, вологість (у відвалах) 15…20 %, водопоглинання 220…240 %, гігроскопічність до 25 %. У ній міститься більше, ніж у конопляній костриці, шкідливих для цементу речовин, у випадках застосування з цементом її мінералізують.

Використання деревних та інших рослинних заповнювачів для виготовлення різних ШБК дає великий економічний ефект, зменшується забруднення навколишнього середовища.

Полімерні заповнювачі. Основним полімерним заповнювачем є пінополістирол у вигляді високопористих гранул, який одержують з бісерного полістиролу $[-CH_2-CH(C_6H_5)—]_n$ шляхом спінювання його гранул під час нагрівання.

Насипна густина спінених гранул становить 15…20 кг/м^3, а міжгранулярна пустотність – у середньому 40 %.

Гранули пінополістиролу застосовують для одержання легких бетонів і нових ефективних теплоізоляційних матеріалів – пінопластів. Одним із перспективних пінопластів є феностиропор ФСП (розроблений ВНІІбуд), зв'язуючою речовиною у якому є фенолоформальдегідний олігомер.

7.4. Наповнювачі

Наповнювачами називаються порошкоподібні матеріали, частинки яких порівнянні з частинками в'яжучої речовини. Як і заповнювачі, вони можуть бути неорганічними й органічними; природними і штучними; простими за хімічним складом і складними, частинки наповнювача можуть бути також пластинчастими, волокнистими. Розмір їх становить від 10 до 100 мкм і не більше 1…2 мм.

Наповнювачі разом з в'яжучою речовиною беруть участь у формуванні мікроструктури матричної частини й контактних зон у конгломератах. Тісному контакту цих двох компонентів у загальній суміші сприяють механічні, теплові, ультразвукові й інші способи обробки. Нерідко складно розмежувати їх функції в роботі мікро- чи макроконгломерату. Маючи величезний потенціал поверхневої енергії, наповнювачі стають активними компонентами при тужавінні в'яжучих речовин у процесі формування структури та властивостей матеріалу. Конкретний характер функцій наповнювачів залежить від різновиду в'яжучої речовини. Однак можна виділити ряд спільних функцій наповнювачів: заповнення пор у мікроструктурі без вступу в хімічні взаємозв'язки з компонентами; збільшення водоутримувальної здатності порошкоподібної в'яжучої речовини під час використання її в будівельних розчинах, що укладаються на пористу основу, наприклад у цегляній кладці; переведення більшої частини органічної в'яжучої речовини з об'ємного в плівковий стан з рівномірним розподілом її по високорозвиненій поверхні наповнювача для поліпшення тепломеханічних властивостей; розвиток зони контакту між грубозернистими компонентами конгломерату; зниження теплового напруження в матеріа-

лі, що виникає за рахунок значного розходження в коефіцієнтах температурного розширення в'яжучої речовини і заповнювача; поліпшення деяких спеціальних властивостей конгломерату, наприклад підвищення вогнестійкості, зниження стираності й т. ін; здешевлення матеріалу за рахунок часткової заміни коштовного в'яжучого місцевим дешевшим наповнювачем зі збереженням якості на необхідному рівні. Наповнювач може мати й інші нерідко комплексні функції. Наприклад, він може виконувати роль твердого емульгатора в пастоподібних будівельних матеріалах, поротворів випалювальних ШБК із вигорянням органічного наповнювача, знижувача яскравості тону в барвистих складах з пігментами для здешевлення готового матеріалу і т. ін.

Незважаючи на велику різноманітність функцій наповнювача, загальним для кожного залишається те, що в структурі конгломерату не губиться його індивідуальність, зберігаються специфічні властивості компонента.

Залежно від матеріалу до наповнювачів належать вапнякові, доломітові й інші природні порошки осадових порід, тонкоподрібнені гірські породи й мінерали вулканічного походження, порошки помелу керамічного бою, шамоту, шлаку й інших відходів промисловості, азбестові відходи виробництва, деревинне борошно (для пластмас), зола-винесення, колошниковий пил та ін. Для вибору необхідного наповнювача й визначення його кількості проводяться лабораторні дослідження як чистого в'яжучого, так і в'яжучого з наповнювачем у ході порівняння їх показників при оптимальних структурах. Порівнянням величин екстремумів властивостей установлюється ступінь ефективності наповнювача, раціональний вміст його у в'яжучій речовині та ШБК.

7.5. Додаткові речовини (домішки)

У виробництві ШБК крім в'яжучих речовин, заповнювачів і наповнювачів широко застосовуються додаткові речовини, що називаються домішками або добавками. На стадіях технологічного процесу вони полегшують виконання операцій; знижують кількість затрачуваної енергії; зменшують витрату дорогих компонентів; знижують матеріалоємність; сприяють забезпеченню необхідних показників властивостей матеріалу, прискоренню чи сповільненню процесів структуроутворення і тужавлення. На стадії експлуатації конструкцій домішки, введені раніше в ШБК, повинні зміцнити, стабілізувати структуру матеріалу, максимально за-

гальмувати неминучу деструкцію, що виникає і розвивається в матеріалі під впливом зовнішнього середовища і внутрішніх мимовільних явищ.

Основне функціональне призначення добавок, і цим вони відрізняються від заповнювачів і наповнювачів, полягає в тому, що вони завжди досить активно взаємодіють з одним чи декількома компонентами суміші в процесі формування структури в'яжучого чи частини макроструктури ШБК. У результаті реакції виникають нові сполуки, яких раніше не було в суміші, причому добавки повністю витрачаються чи втрачають свої індивідуальні ознаки. Зрозуміло, що у разі надлишкової кількості добавки вона може частково залишитися в суміші й у сформованому матеріалі без будь-яких змін, що не є бажаним.

Поширеними є порошкоподібні домішки. За зовнішнім виглядом, а іноді й за хімічним складом вони подібні наповнювачам. Як тонкомолоті активні мінеральні домішки вони вводяться до складу неорганічних в'яжучих речовин з метою надання їм необхідних властивостей, наприклад здатності до твердіння у водному середовищі у разі додавання їх до повітряного вапна, підвищеної водостійкості та стійкості проти корозії у разі додавання до портландцементу чи стійкості до впливу високих температур зі збереженням міцності у разі додавання до портландцементу та деяких інших в'яжучих у ході виробництва так званих жаростійких бетонів і т. д. Кислостійкість матеріалу підвищують домішки порошкоподібного кварцу, андезиту, базальту й ін. До інших поширених порошкоподібних домішок належать: із природних – осадові гірські породи (трепел, діатоміт, опока, магнезит та ін.) чи породи вулканічного походження (пуцолани, пемза, туф, діабаз та ін.); зі штучних – доменні гранульовані шлаки, зола-винесення, нефеліновий шлам (побічний продукт алюмінієвого виробництва), помел шамотної цегли, випаленої глини (порошкоподібний керамзит, аглопорит) та ін. Усі ці тверді домішки утворюють з в'яжучою речовиною нові, як правило, більш складні сполуки типу силікатів кальцію, алюмінатів кальцію й ін.

Тверді домішки в сумішах можуть залишатися не тільки в стані нерозчинних мінеральних порошків. Використовують і такі тверді домішки, які у сумішах порівняно легко утворюють розчини чи розплави. Вони або належать до каталізаторів і інгібіторів (сповільнювачів), або вступають у хімічні зв'язки з компонентами суміші й утворюють нові фази в процесі структуроутворення. Їх дія може призвести також до перетворення властивостей поверхні компонентів, наприклад до мінералізації деревної дробленки і стружки шляхом екранування поверхні плівкою нерозчинної речовини. Серед домішок цієї дії – водорозчинні солі (середні й кислі), основи й інші електроліти та неелектроліти.

Значно поширеними є рідкі добавки – гомогенні чи гетерогенні, як, наприклад, водні дисперсії полімерів, ті, які легко переводяться в рідкий стан у вигляді істинних і колоїдних розчинів, емульсій, мильних пін та ін. Ці добавки мають назву поверхнево-активних речовин (ПАР). У цих органічних сполуках молекули мають вуглецевий радикал і полярну групу, що звертається при адсорбції до середовища чи твердої фази, спричиняючи структуруючий вплив у матеріалі.

Добавки (ДСТУ Б В.2.7-65-97) необхідні для регулювання властивостей бетону та економії цементу. За функціональним призначенням та основним ефектом дії розрізняють добавки, що регулюють властивості бетонних і розчинових сумішей, у тому числі пластифікуючі, стабілізуючі, водоутримуючі, добавки що поліпшують перекачування сумішей; добавки поризуючі (повітровтягувальні, піноутворювачі та газоутворювачі); домішки, що регулюють процеси тужавлення і твердіння (сповільнюють або прискорюють) та добавки, які змінюють характер процесів структуроутворення бетону та надають йому спеціальних властивостей (протиморозні, гідрофобізуючі).

Пластифікуючі добавки збільшують рухливість, тобто знижують жорсткість суміші, не погіршуючи міцності бетону. Щоб визначити ефективність дії добавки, готують суміш з осіданням конусу (ОК) 2…4 см. При введенні відповідної добавки значення ОК зростає і, залежно від досягнутого результату, добавку відносять до однієї з чотирьох груп:

I – суперпластифікатори, які збільшують ОК від 2…4 до 20 см і більше;

II – сильнопластифікуючі з ОК до 14…19 см;

III – середньопластифікуючі з ОК до 9…13 см;

IV – слабопластифікуючі з ОК менше як 8 см.

Як пластифікатори широко використовують ПАР, які найчастіше одержують із вторинних продуктів та відходів хімічної промисловості.

За характером дії розрізняють гідрофільно- та гідрофобно-пластифікуючі добавки.

Представником гідрофільно-пластифікуючих добавок є ЛСТ (лігносульфонат технічний). Як у рідкому, так і в твердому вигляді, ЛСТ легко розчиняється у воді й додається в бетонну суміш у кількості 0,1…0,5 % від маси цементу, тобто витрата його на 1 $м^3$ бетону становить 0,5…1,0 кг.

Використання пластифікаторів дозволяє поліпшити легкоукладальність бетонної суміші (при незмінній міцності бетону) та збільшити міцність бетону за рахунок зниження витрати води (при незмінній витраті цементу).

До гідрофобно-пластифікуючих добавок належать милонафт, ГКЖ-10 (етилсиліконат натрію), ГКЖ-94 (етилгідросилоксанова рідина). Ці добавки застосовують для бетонів із низькими витратами цементу. Внаслідок використання цих добавок знижується водопоглинання та підвищується морозо- та корозійна стійкість бетону.

Суперпластифікатори – це синтетичні полімерні речовини, що використовуються в кількості 0,1…1,2 % від маси цементу, і відрізняються сильним розріджувальним ефектом, час дії якого обмежується строком 2…3 години від моменту введення. Суперпластифікатори умовно поділяють на 4 групи:

– сульфатовані меламіноформальдегідні смоли та комплексні домішки на їх основі;

– продукти конденсації нафталінсульфокислоти й формальдегіду та комплексні добавки на їх основі;

– модифіковані (майже очищені від цукрів) лігносульфонати та комплексні добавки на їх основі;

– продукти конденсації оксикарбонових кислот та поліакрилати.

Найбільшого поширення набули добавки суперпластифікатори С-3, Дофен, 10-03, 40-03, ЛСТМ, ОП-7, Мельмент, Компласт, Релаксол, Динамон.

Прискорювачі твердіння призначені насамперед для скорочення строків розпалублення конструкції при монолітному бетонуванні, а у виробництві збірного залізобетону – для зменшення часу теплової обробки виробів та збільшення оборотності бортоснащення.

Найпоширенішими в практиці прискорювачами є: хлорид кальцію $CaCl_2$, сульфат натрію Na_2SO_4, поташ K_2CO_3, нітрати кальцію $Ca(NO_3)_2$ та натрію $NaNO_3$. Дія цих прискорювачів полягає в тому, що вони знижують розчинність гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$, який утворюється при гідратації цементу.

Іноді застосовують і комбіновані домішки, наприклад нітрит–нітрат кальцію, нітрит–нітрат–хлорид кальцію.

Для сповільнення тужавлення цементу застосовують добавки, які одночасно зменшують водопотребу суміші та витрату цементу, наприклад, органічні сполуки (ЛСТ) та кремнієорганічні рідини ГКЖ-10 і ГКЖ-11.

Як протиморозні добавки в умовах зимового бетонування застосовують хлориди кальцію і натрію, поташ, дія яких ґрунтується на зниженні точки замерзання води. Чим нижча температура твердіння, тим вища концентрація цих добавок у воді замішування. Повітровтягувальні добавки зменшують поверхневий натяг води й при перемішуванні бетонної суміші сприяють втягуванню найдрібніших повітряних бульбашок.

Бетонна суміш при цьому має кращу легкоукладальність, а затверділий бетон – підвищену морозостійкість. Якщо вміст повітря у бетонній суміші не вищий ніж 4…5 %, то міцність бетону практично не знижується. Підвищення морозостійкості пояснюється тим, що повітряні бульбашки в затверділому бетоні виконують роль резервного об'єму для води, яка замерзає, і запобігають виникненню внутрішніх напружень від тиску льоду.

Представниками цих добавки є смола нейтралізована повітровтягувальна (СНП) та смола деревна омилена (СДО).

Добавки поліфункціональної дії (комплексні) дають змогу одночасно регулювати кілька властивостей бетонної суміші та бетону. Наприклад, комплексна добавка ЛСТ+СНП пластифікує бетонну суміш і підвищує морозостійкість бетону; добавка ЛСТ+$CaCl_2$ пластифікує суміш, прискорює твердіння бетону та зменшує витрати цементу.

Широкого розвитку добавки цієї групи набули при впровадженні у промисловість суперпластифікаторів, більшість з яких по суті є комплексними добавками на основі поверхнево-активних речовин. Наприклад, суперпластифікатор С-3 поряд з головним компонентом – продуктом конденсації нафталінсульфокислоти та формальдегіду містить невелику кількість лігносульфонатів та сульфату натрію. Зазвичай до суперпластифікаторів додають хлорид, нітрат та глюконат кальцію, тіосульфат і бікарбонат натрію, лігносульфонати, поліоксиетилен, похідні боксиметилцелюлози, синтетичні мікропіноутворювачі, солі винної кислоти, похідні сахарів та інші речовини. Введення до суперпластифікаторів додаткових компонентів дозволяє регулювати час тужавлення і кінетику набору міцності бетону, подовжує термін легкоукладальності бетонної суміші, зменшує водовідділення та розшарування бетонної суміші, регулює внутрішню структуру бетону в напрямку зменшення кількості відкритих пор, що сприяє підвищенню щільності, водонепроникності, міцності, морозостійкості та корозійної стійкості ШБК.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. З якою метою у будівельних матеріалах використовують заповнювачі й наповнювачі?
2. Які фракції дрібних і крупних заповнювачів використовують у будівництві для отримання важких бетонів і розчинів?
3. Що називається дрібним заповнювачем? Яким показником оцінюється крупність дрібного заповнювача?
4. Що називається щебенем і гравієм? Основні фізико-механічні властивості та галузь застосування.

5. Якою характеристикою оцінюють міцність крупного заповнювача?
6. Вкажіть галузь застосування органічних заповнювачів.
7. Що називається наповнювачем? Яка відмінність між наповнювачами та заповнювачами?
8. Яке призначення додаткових речовин при виробництві штучних будівельних конгломератів?
9. Які види добавок використовують у будівництві?
10. Як визначити ефективність дії добавки?
11. У чому полягає механізм дії пластифікуючих добавок? Назвіть представників цього типу добавок.
12. У чому полягає механізм дії прискорювачів і сповільнювачів твердіння? Назвіть представників цього типу добавок.
13. З якою метою в бетони вводять повітровтягувальні добавки? Який механізм дії добавок цього типу.

Список рекомендованої літератури

1. Ратинов В. Б., Розенберг Е. И. Домішки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 207 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-65-97. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація. К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 18 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-69-98. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. – 104 с.
4. ДБН В.2.7-64-97. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. – Держбуд України: Київ. – 1999. – 67 с.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1986. – 411 с.
6. Афанасьев Н. Ф., Целуйко М. К. Добавки в бетоны и растворы. – К.: Будівельник, 1989. – 128 с.
7. Пунагін В. Н., Пшінько О. М., Руденко Н. М. Призначення складів гідротехнічного бетону. – Д.: Арт-Прес, 1998. – 213 с.
8. Руководство по применению химических добавок к бетону. – М.: Стройиздат, 1961. – 55 с.
9. Добавки в бетон. Справочное пособие / под ред. В. С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1981. – 575 с.
10. Иванов Ф. М. и др. Добавки у бетонам и строительным растворам // Бетон и железобетон. – Вып. 1 – 1974. – № 6. – С. 23–24.
11. Настанови з ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій мостів і труб, що експлуатуються / О. М. Пшінько, К. І. Солдатов, А. В. Краснюк та ін. – К.: Вид-во ТОВ «Швидкий Рух», 2006. – 280 с.

РОЗДІЛ 8

Бетони на основі неорганічних в'яжучих речовин

8.1. Загальні відомості

Бетони на основі неорганічних в'яжучих речовин являють собою штучні будівельні конгломерати (ШБК), отримані в результаті твердіння раціонально подібраної за складом, ретельно перемішаної й ущільненої бетонної суміші з в'яжучої речовини, води й заповнювачів. Крім основних компонентів до складу бетонної суміші можуть вводитися додаткові речовини спеціального призначення (домішки або добавки). Серед інших ШБК бетони найчастіше застосовуються в будівництві завдяки їх високій міцності, надійності й довговічності під час роботи в конструкціях будівель і споруд. Бетони на основі неорганічних в'яжучих речовин мають і інші переваги: легке формування бетонної суміші з отриманням будь-яких форм і розмірів виробів і конструкцій, висока механізація технологічних операцій і т. ін. Велика економічність виробів з бетону забезпечується тим, що для їх виготовлення застосовують понад 80 % обсягу місцевої сировини – піску, щебеню, гравію, побічних продуктів промисловості у вигляді шлаку, золи та ін. За деякими закордонними даними, кількість енергії, що витрачається для виробництва бетонних матеріалів, є мінімальною у порівнянні з енергією (приведеною до єдиного еквівалента), необхідною для виготовлення сталі, алюмінію, скла, цегли, пластмас. Для замішування порошкоподібних в'яжучих речовин у тістоподібний стан і отримання бетонної суміші використовують звичайну воду – питну з водопроводу чи річкову, озерну й іншу, витрати якої також нижче, ніж у процесі виробництві сталі. Після твердіння тісто утворює камінь, наприклад цементний камінь (мікроконгломерат), а ущільнена бетонна суміш – бетон (конгломерат). Частину об'єму в бетоні займають пори й капіляри різного розміру й у різній кількості.

У процесі виробництва бетонів застосовують майже всі різновиди неорганічних в'яжучих речовин, відповідно до чого бетони розділяються на цементні, гіпсові, силікатні, зольні, спеціальні (на фосфатних, магнезіальних та інших в'яжучих речовинах). Залежно від різновиду заповнювачів бетони поділяють на щільні, пористі, спеціальні. Змішуючи в'яжучі й заповнювачі в прийнятих за складом кількостях, отримують безліч технічних рішень для виробництва штучних будівельних конгломератів різного призначення. Важливу роль для одержання бетонів із заданими властивостями відіграє технологія з різноманітними операціями, режимами (тепловими, механічними й ін.) і характеристиками обладнання.

Одним із показників заданих властивостей є середня густина бетону, величина якої залежить від різновиду заповнювача і частково зумовлена пористістю цементного каменю. Особливо важкі бетони (із середньою густиною понад 2 500 кг/м^3) отримують на заповнювачах у вигляді залізної руди, бариту, чавунного скрапу, обрізків сталі чи чавуну і т. ін. Важкі – середня густина 2 200…2 500 кг/м^3 – одержують із застосуванням у них як заповнювача щебеню з щільних гірських порід – гранітів, діабазу, піщанику й ін.; полегшені – із середньою густиною 1 800…2 200 кг/м^3. У легких бетонах (середня густина 500…1 800 кг/м^3) використовується легкий заповнювач, природний чи штучний, у тому числі пемза, туфи, керамзит, аглопорит, вакуліт та ін. У них нерідко відсутня піщана фракція, внаслідок чого виникають порожнини між щебенем, а сам бетон називається крупнопористим легким бетоном. Особливо легкі бетони (теплоізоляційні) – середня густина яких менше 500 кг/м^3 – характеризуються тим, що функції своєрідного заповнювача в них виконують повітряні чи газові комірки.

При найбільшій крупності заповнювача до 10 мм бетони називають дрібнозернистими, більше 10 мм – крупнозернистими.

Залежно від виробничого призначення бетони розділяють на конструкційні, призначені для виготовлення бетонних і залізобетонних внутрішніх і зовнішніх конструкцій промислових і цивільних будівель та інженерних споруд (колони, балки, плити й ін.); спеціальні: гідротехнічні – для будівництва гребель, шлюзів, облицювання каналів та інших гідротехнічних споруд; дорожні – для будівництва дорожніх і аеродромних основ і покриттів; жаротривкі – використовуються для влаштування жаротривких покриттів, кислототривкі – для виготовлення кислототривких виробів та ін. Кожний різновид бетону має свої особливості: гідротехнічний повинен бути гранично щільним, водонепроникним, морозостійким, стійким проти дії корозії, тоді як конструкційний бетон для житлового будівництва, особливо огороджувальних конструкцій (стін, перекриттів), – повинен мати низьку теплопровідність, підтримувати

й зберігати хорошу звукоізоляцію й ін. Дорожні бетони мають бути не тільки морозостійкими, але й стійкими до динамічних впливів транспортних навантажень, до стиранності й зносу під колісьми автомобіля в складних кліматичних умовах.

Відповідно до стандарту СЕВ у нашій країні прийнятий ДСТУ Б В.2.7-43-96 «Бетони важкі. Технічні умови». Основним показником якості бетонів є границя міцності під час одноосьового стиску зразка-куба з ребром 15 см з поділом їх на 19 класів В (від В1 до В60) чи границя міцності під час стиску циліндричних зразків розміром 15 × 30 см з поділом бетонів на 19 класів С (від С8 до С55). Ці показники якості обох класів приймаються за стандартом з гарантованою забезпеченістю 95 %. Марка бетону нормується за середнім значенням показника міцності під час стиску: від 15 (для ніздрюватих бетонів) до 600 і вище (для важких бетонів).

8.2. Важкі (звичайні) бетони

8.2.1. Вихідні матеріали

Вибираючи різновид цементу, враховують характер конструкції і рекомендації нормативних документів (ГОСТів, ДСТУ, СНіПів, ТУ й ін). Так, для виготовлення залізобетонних конструкцій промислових будівель і багатьох інженерних споруд, що працюють в умовах повітряно-сухого середовища, застосовують портландцементи з підвищеним вмістом аліту. Якщо ці конструкції належать до масивних, то доцільно використовувати цементи з меншим вмістом аліту, які менше виділяють теплоти при реакціях твердіння і, отже, ці конструкції меншою мірою піддаються тепловим нерівномірним напруженням. Якщо конструкція працює в умовах впливу морської чи мінералізованої води, тоді вибирають низькоалюмінатні сульфатостійкі портландцементи й шлакопортландцементи. Гідротехнічні споруди проектують і будують із застосуванням сульфатостійких портландцементів із пластифікуючими й гідрофобними додатковими речовинами. Аналогічно враховують умови при виборі цементу для інших видів бетону.

Крім вибору в'яжучої речовини обґрунтовують також його марку, виходячи з необхідної міцності бетону в конструкціях і мінімальної витрати в'яжучої речовини як найбільш дорогого компонента бетону, надлишок якого збільшує величину усадкових деформацій, а тому і знижує тріщи-

ностійкість бетону. Звичайно виходять із співвідношення, щоб марка за міцністю цементу перевищувала на 10…40 % марку бетону, а при низьких марках бетону (100…300) перевищення марки цементу повинно складати 100…200 %. Але такі співвідношення є приблизними, тому що визначення марок цементу й бетону за стандартами проводиться за різних умов підготовки відповідних сумішей і при несхожих структурах випробовуваних матеріалів. Саме тому часто фактична міцність бетону на одну-дві марки вища марки прийнятого цементу. Щоб уникнути випадковостей, потрібно при виборі цементу й розрахунках виходити не з марки цементу, а його реальної активності $R_{\text{ц}}^{\text{а}}$, тобто з міцності цементного каменю оптимальної структури, отриманої при випробуванні зразків, виготовлених при технологічних параметрах і режимах, характерних для прийнятого чи передбачуваного виробництва бетону й бетонних виробів. При проектуванні складу бетону загальним методом можна досить точно визначити розрахункову активність цементу з урахуванням реальної технології, реальних заповнювачів і можливих домішок.

Певні вимоги ставляться до якості води, яку використовують при замішуванні бетонної суміші, а також для промивання заповнювачів і зволоження бетону. При його твердінні в сухих умовах рекомендується застосовувати питну воду, не допускається використання болотних та стічних вод. Обмежується вміст розчинених у воді солей, органічних речовин, зовсім не допускаються домішки нафтопродуктів, перевіряється водневий показник pH, який не повинен бути нижче 4,0 і вище 12,5.

Для важких бетонів спеціального призначення передбачені вимоги до якості заповнювачів, які викладені в ДСТУ Б В.2.7-43-96. Піски використовують природні чи одержувані дробленням щільних морозостійких гірських порід з розміром зерен не крупніше 5 мм. Важливо забезпечити підвищену щільність зернового складу (за кривими щільних сумішей) при модулі крупності не нижче 2,0.

Заповнювачі для бетону транспортного будівництва. Вміст пилоподібних та глинистих частинок у щебені з осадових порід не повинен перевищувати таких значень, відсотки за масою:

1 – для бетону прогонових будов мостів, мостових конструкцій зони змінного рівня води, водопропускних труб, залізобетонних шпал, опор контактної мережі, ліній зв'язку та автоблокування, опор ЛЕП;

2 – для бетону монолітних опор мостів та фундаментів водопропускних труб, розташованих поза зоною змінного рівня води.

Вміст у крупних заповнювачах зерен пластинчастої (подової) та голчастої форм для бетонів залізобетонних шпал, опор ЛЕП, контактної мережі, ліній зв'язку та автоблокування не повинен перевищувати 25 % за

масою. Для бетону мостових конструкцій, розташованих у зоні змінного рівня води, конструкцій мостового полотна прогонових будов мостів, а також водопропускних труб повинен використовуватися щебінь марки 1000 та вище із виверженних гірських порід, щебінь марки 800 та вище із метаморфічних і осадових порід, щебінь з гравію та гравій марки не нижче Др8 – для бетону класу за міцністю до В25 включно.

Для бетону конструкцій, розташованих у зоні змінного рівня води та в підводній зоні, заповнювачі, міцність яких при насиченні водою знижується більше ніж на 20 % порівняно з їх міцністю в сухому стані, не допускається застосовувати.

Для бетону залізобетонних шпал використовується щебінь із виверженних порід марки не нижче 1200, метаморфічних та осадових порід марки не нижче 1000, щебінь з гравію марки не нижче Др8. Вміст зерен слабких порід у щебені та гравії не повинен перевищувати 5 % за масою для бетонів конструкцій мостів, розташованих у зоні змінного рівня води, та бетонів водопропускних труб під насипами.

Застосування гравію за ДСТУ Б В.2.7-43-96 не допускається для бетонів:

– транспортних споруд з маркою за морозостійкістю F200 та вище;

– транспортних конструкцій, що розраховуються на витривалість.

Вміст у дрібному заповнювачі пилоподібних та глинистих частинок для бетону прогонових будов та мостових конструкцій, що експлуатуються в умовах змінного рівня води, не повинен перевищувати 2 % за масою.

Заповнювачі для бетонів гідротехнічних споруд. Допускається при будівництві масивних гідротехнічних споруд застосування щебеню та гравію розміром:

– від 120 до 150 мм;

– понад 150 мм, що вводиться безпосередньо при укладанні бетонної суміші в споруду.

Для бетону гідротехнічних споруд вміст пилоподібних і глинистих частинок у щебені та гравії не повинен перевищувати, відсотки за масою:

1 – для бетону зони змінного рівня води та надводної зони;

2 – для підводної і внутрішньої зон.

Для бетону гідротехнічних споруд, що експлуатуються в зоні змінного рівня води, наявність в крупному заповнювачі глини у вигляді окремих грудок не допускається.

Марки щебеню із природного каменю мають бути не нижче 600 для бетону класу за міцністю В15 та нижче, 800 – для бетону класу за міцністю від В20до В30 включно, 1200 – для бетону класу за міцністю вище В30. Марки гравію та щебеню із гравію мають бути не нижче Др12 для бетону

класу за міцністю В15 і нижче, Др8 – для бетону класу за міцністю В20 і вище.

Для бетону гідротехнічних споруд, до яких ставляться вимоги за морозостійкістю, кавітаційною стійкістю, треба використовувати щебінь із вивержених порід марки не нижче 1000. Застосування щебеню із гравію чи гравію марки не нижче Др8 допускається тільки після проведення спеціальних досліджень з урахуванням умов роботи конструкцій. Для бетону гідротехнічних споруд зони змінного рівня води потрібно використовувати щебінь або гравій із середньою густиною зерен не нижче 2,5 г/см^3 та водопоглинанням не більше, відсотків:

0,5 – для щебеню з вивержених та метаморфічних порід;

1,0 – для щебеню з осадових порід.

Для бетону внутрішньої, підводної та надводної зон густина зерен повинна бути не нижче 2,3 г/см^3 та водопоглинання не більше: 0,8 % – для щебеню із вивержених та метаморфічних порід; 2,0 % – для щебеню із осадових порід.

Щебінь та гравій для зносостійкого гідротехнічного бетону повинні мати марки за зносом у поличному барабані за ГОСТ 8267 не нижче: G-I – для щебеню із вивержених та метаморфічних порід; G-II – для щебеню із осадових порід, а також гравію та щебеню з гравію.

Вміст зерен слабких порід у щебені та гравії для бетонів гідротехнічних споруд зони змінного рівня води не повинен перевищувати 5 % за масою.

Морозостійкість щебеню та гравію для бетону гідротехнічних споруд повинна бути не нижче таких марок: за середньомісячної температури найхолоднішого місяця від 0 до –10 °С – F100; нижче –10 °С – F200.

Для бетону гідротехнічних споруд з нормованою морозостійкістю F300 та вище і бетону зони змінного рівня води застосування гравію як крупного заповнювача допускається тільки після проведення випробування бетону на морозостійкість.

Для бетонів гідротехнічних споруд допускається застосовувати піски з модулем крупності від 1,5 до 3,5 (повні залишки на ситі з отворами розміром 2,5 мм від 0 до 30 %, 1,25 мм – від 5 до 55 %, 0,63 мм – від 20 до 75 %, 0,315 мм – від 40 до 90 % і 0,16 мм – від 85 до 100 %). При цьому піски з модулем крупності, що дорівнює або менше 2,0, повинні використовуватись при обов'язковому застосуванні поверхнево-активних домішок.

Для бетону гідротехнічних споруд вміст у піску пилоподібних та глинистих частинок не повинен перевищувати: 2 % – для бетонів зони змінного рівня води; 3 % – надводної зони; 5 % – підводної та внутрішньої зони.

Для бетонів гідротехнічних споруд застосування дрібного заповнювача з вмістом глини у вигляді окремих грудок не допускається. Вміст слюди в дрібному заповнювачі не повинен перевищувати: 1 % – для бетону зони змінного рівня води; 2 % – для бетону надводної зони; 3 % – для бетону підводної та внутрішньої зон.

8.2.2. Визначення складу бетону

Одним з основних технологічних завдань є проектування складу бетонної суміші. Для цього розроблено ряд методів, у тому числі існують офіційні посібники, що полегшують проектування. Щораз необхідно вибирати той метод проектування (чи підбору) складу бетону, який при прийнятій технології здатний забезпечити одержання найбільш достовірного складу й оптимальної структури бетону. Тоді формується якість бетону, яка характеризується не тільки комплексом заданих, але й екстремальних показників властивостей, що відповідає закону створу. При всіх методах на початковій стадії проводиться обґрунтований вибір вихідних матеріалів, чому сприяють табличні дані й допоміжні графіки, що наведені у відповідних посібниках з підбору складів бетонів. У них вибір матеріалів зумовлений проектною маркою бетону до визначеного віку, різновидом конструкцій і експлуатаційних умов з урахуванням марки бетону за морозостійкістю, водонепроникністю й ін. На другому етапі проектування за допомогою нескладних розрахунків і дослідів у лабораторії визначаються кількісні співвідношення прийнятих матеріалів. Важливо обґрунтувати такі кількісні співвідношення компонентів бетонної суміші, за яких прийнята технологія може забезпечити отримання бетону необхідної якості й оптимальної структури. На третьому етапі одержують пробний заміс бетонної суміші й більш детально перевіряють ключові якісні показники, а за необхідності роблять уточнення (коректування) проектного складу.

Вище був викладений загальний метод проектування складу ШБК, що повною мірою стосується важкого й інших видів цементних бетонів. Для них фазове відношення означає водоцементне відношення чи водотверде відношення, якщо в'яжуче складне і містить активний чи неактивний наповнювач. Вода також може містити в розчині відповідні додаткові речовини.

Найбільш поширений у даний час розрахунок і підбір складу важкого бетону за методом «абсолютних об'ємів», розроблений Б. Г. Скрамтаєвим і його науковою школою. На першому етапі приймаються вихідні дані сто-

совно проектного класу бетону за міцністю й іншими властивостями, для чого повинні використовуватися технічні документи – проект будівлі чи споруди, проект бетонних елементів, проект організації робіт, СНіПи та інша проектна і нормативна документація. Істотною характеристикою бетонної суміші (залежно від проектних і виробничих умов) приймається рухливість, що виражається в сантиметрах, чи жорсткість, що виражається в секундах (с) (за ДСТУ Б В.2.7 -114-2002, ДСТУ Б В.2.7 -96-2000). Проводиться вибір заповнювачів, визначаються можливі фракції при їх поділі (класифікації), а також розмір найбільшого зерна (щебеню чи гравію) залежно від виду конструкції і способу укладання бетонної суміші. Обумовлюється вид і марка цементу, його мінімально припустима кількість залежно від умов роботи конструкції і рухливість (жорсткість) бетонної суміші (за таблицями). Встановлюється рекомендована витрата води залежно від рухливості бетонної суміші, виду й крупності заповнювача (за таблицею), а саме: чим менше жорсткість (вище пластичність) суміші й дрібніше найбільший розмір щебеню (гравію), тим більшу витрату води рекомендується приймати в бетонній суміші, що виражається в літрах на кубічний метр.

На другому етапі склад бетону визначається розрахунково-експериментальним способом. Це здійснюється в такій послідовності:

а) визначається водоцементне відношення (В/Ц) за даними попередніх випробувань, які допомагають встановити графічну залежність міцності бетону від В/Ц при даній активності цементу й застосуванні прийнятих місцевих заповнювачів (табл. 8.1). Найчастіше, однак, користуються виразом, який випливає з формули міцності Боломея–Скрамтаєва:

$$R_{\text{Б}} = AR_{\text{Ц}}\left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} - 0{,}5\right) \text{ або } R_{\text{Б}} = A_1 R_{\text{Ц}}\left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} + 0{,}5\right)$$

враховуючи заданий клас бетону та потрібну величину В/Ц.

При В/Ц > 0,4 (для звичайного бетону)

$$\text{В/Ц} = \frac{AR_{\text{Ц}}}{R_{\text{Б}} + 0{,}5AR_{\text{Ц}}}; \tag{8.1}$$

при В/Ц < 0,4 (для високоміцного бетону)

$$\text{В/Ц} = \frac{A_1 R_{\text{Ц}}}{R_{\text{Б}} - 0{,}5A_1 R_{\text{Ц}}}. \tag{8.2}$$

Таблиця 8.1

Значення коефіцієнтів A и A_1

Тип заповнювача за якістю	A	A_1
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Зниженої якості	0,55	0,37

б) визначається витрата води (В) за необхідною рухливістю бетонної суміші на основі результатів попередніх випробувань чи за таблицею, але з обов'язковим подальшим коригуванням стосовно вихідних матеріалів (рис. 8.1);

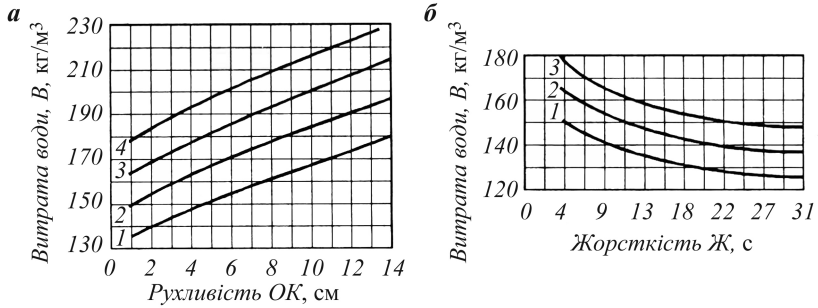


Рис. 8.1. Графік водопотреби пластичних (*а*) і жорстких (*б*) бетонних сумішей, виготовлених із застосуванням портландцементу, піску середньої крупності та гравію найбільшої крупності:

1 – 80 мм; *2* – 40 мм; *3* – 20 мм; *4* – 10 мм (при використанні замість гравію щебеню витрату води збільшують на 15…20 л. При застосуванні дрібного піску витрату води збільшують на 10…20 л)

в) знаходиться витрата цементу Ц = В : В/Ц. Може виявитися, що отримана величина витрати цементу в кілограмах на 1 м^3 бетону нижче припустимого нормами мінімуму та прийнятого за таблицями на першому етапі підбору. Тоді величину Ц збільшують до необхідної норми з відповідним збільшенням кількості води В, для того щоб незмінним залишалося розрахункове водоцементне відношення. Слід зауважити, що мінімальна

витрата цементу для бетонних конструкцій допускається 200 кг/м^3, для залізобетонних – 220 кг/м^3;

г) за отриманим значенням В/Ц та Ц встановлюється так званий коефіцієнт розсуву (α) зерен щебеню чи гравію, що вводять у розрахунки для збільшення кількості піску, щоб підвищити рухливість бетонної суміші за рахунок віддалення (розсуву) зерен щебеню чи гравію один від одного. Чим вище необхідна пластичність бетонної суміші, тим далі повинні бути віддалені зерна щебеню і, отже, більша величина α. Вона зростає також при збільшенні витрати цементу й приймається: для рухливих сумішей – 1,25…1,55, для жорстких бетонних сумішей – 1,05…1,15;

д) визначається витрата щебеню (гравію) за формулою:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\alpha V_{\text{пуст. щ}}}{\rho_{\text{нас. щ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}}; \qquad (8.3)$$

е) визначається витрата піску (кг/м^3) за формулою:

$$П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} - В - \frac{Щ}{\rho_{\text{щ}}}\right)\rho_{\text{п}}. \qquad (8.4)$$

У двох останніх формулах:

$V_{\text{пуст. щ}}$ – пустотність крупного заповнювача, визначена за формулою $V_{\text{пуст}} = 1 - \frac{\rho_{\text{нас. щ}}}{\rho_{\text{щ}}}$;

$\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{щ}}$ – істинна густина відповідно цементу, піску і щебеню г/см^3;

$\rho_{\text{нас. щ}}$ – насипна густина крупного заповнювача (щебеню чи гравію), кг/м^3.

Формули неважко виводяться з умов, що сума абсолютних об'ємів вихідних матеріалів у 1 м^3 ущільненої бетонній суміші близька до 1000 л і що об'єм пустот у щебені заповнюється сумою об'ємів піску, цементу й води при деякому розсуненні крупних зерен (що враховується співмножником α).

Після визначення кількості компонентів розрахункова середня густина бетонної суміші, кг/м^3, дорівнює $\rho_{\text{б.с}} = Ц + П + Щ + В$. У важких бетонів величина $\rho_{\text{б.с}}$ звичайно не перевищує 2 500 кг/м^3.

На третьому етапі проектування перевіряється проектний склад бетону. З цією метою роблять пробний заміс бетонної суміші й визначають її легкоукладальність (рухливість чи жорсткість). Якщо величина цієї характеристики виявиться на рівні заданої, то із суміші виготовляють контрольні зразки з розрахунку не менше трьох на кожен термін випробування, їх зберігають протягом доби в приміщенні (16…20 °С), а решту часу, що залишився до випробування, – у спеціальній камері чи в умовах нормального твердіння (температура 20 °С), вологість повітря (95…100 %). Якщо величина рухливості виявиться менше заданої, то поступово збільшують вміст води й цементу в бетонній суміші, зберігаючи постійним водоцементне відношення. Якщо рухливість виявиться більше заданої, то в бетонну суміш додають пісок і щебінь (гравій), зберігаючи їх відношення за масою. Отримавши величину рухливості на рівні заданої на першому етапі підбору складу, виготовляють пробні зразки, їх витримують і випробують, у результаті чого перевіряються міцність та інші властивості бетону відповідно до заданих технічних вимог. За необхідності отриманий склад коректують і виписують витрату матеріалів на 1 $м^3$ бетонної суміші.

Більш достовірним є фізико-аналітичний спосіб, який враховує властивості складових бетону. Раціональне співвідношення між складовими бетону залежить від ряду факторів, що приймаються як вихідні дані. До найважливіших з них належать: проектна марка бетону ($R_б$), консистенція бетонної суміші (ОК, Ж) і показник її жорсткості (G), умови виготовлення й експлуатації бетонних конструкцій; фізико-технічні характеристики складових бетону, вартість застосованих матеріалів.

До фізико-технічних властивостей матеріалів для бетону, що використовуються при проектуванні його складу, належать:

– нормальна густота (НГ) і активність застосованого цементу ($R_ц$);

– густина складових бетону ($\rho_ц$, $\rho_п$, $\rho_щ$, $\rho_в$);

– густина піску й крупного заповнювача в насипному стані ($\rho_{н.п}$, $\rho_{н.щ}$);

– питома поверхня піску й крупного заповнювача ($f_п$, $f_щ$);

– коефіцієнти, що характеризують вплив складових на міцність бетону (A, $Б$);

– реологічні характеристики матеріалів (a, $в$, c).

Склад бетонної суміші може розраховуватися двома способами.

Перший спосіб полягає у визначенні номінальних (лабораторних) складів бетону, що відповідають його проектній міцності й заданій консистенції бетонної суміші. При цьому нижче наводиться порядок проектування складу бетону.

1. Обчислюємо В/Ц и Ц/В залежно від потрібної міцності, терміну й умов твердіння бетону. Водоцементне і цементно-водне відношення знаходять, використовуючи значення коефіцієнтів *А* и *Б*, встановлених у результаті попередніх дослідів, за формулою:

$$\frac{Ц}{В} = Б + \frac{R_б}{AR_ц}. \tag{8.5}$$

У розрахунку складів бетону необхідно враховувати також вимоги до його відносної морозостійкості, водопроникності й ін. У цьому випадку для призначення В/Ц використовують відповідні залежності.

Водоцементне відношення дорівнює

$$В/Ц = \frac{1}{Ц/В}. \tag{8.6}$$

2. Визначаємо початкове цементно-водне відношення для цементного тіста нормальної густоти:

$$Z_0 = \frac{1}{[В/Ц]}, \tag{8.7}$$

де $[В/Ц]$ – водоцементне відношення цементного тіста нормальної густоти.

3. Визначаємо розрідження цементного тіста водою:

$$Z = Z_0 - \frac{1}{В/Ц}. \tag{8.8}$$

4. За заданою легкоукладальністю обчислюємо показник жорсткості проектованої бетонної суміші:

а) для пластичних сумішей

$$G = 1 - \frac{ОК}{ОК_{гр}}; \tag{8.9}$$

б) для жорстких сумішей

$$G = \lg\left(\frac{Ж}{Ж_0}\right), \tag{8.10}$$

де $К_{гр}$ – граничне осідання конусу, $ОК_{гр} = 20$ см;

$Ж_0$ – початкова жорсткість бетонної суміші граничної рухливості, яка приймається при вимірі жорсткості за ГОСТ 10181.1 рівною $Ж_0 = 0{,}63$ с, у випадку використання технічного віскозиметра $Ж_0 = 2{,}5$ с.

5. Знаходимо відносну поверхню зсуву крупного заповнювача:

$$f_0 = \frac{f_{щ}\left(1 - S_{щ} f_{щ}\right)}{0{,}5\left(1 + G\right)}, \tag{8.11}$$

де $S_{щ}$ – коефіцієнт обкатаності, який залежить від виду заповнювача: для гравію $S_{щ} = 1{,}0\ldots0{,}8$, для щебеню $S_{щ} = 0{,}7\ldots0{,}5$.

6. Для отриманих вище значень G і Z обчислюємо граничне збільшення показника жорсткості бетонної суміші від насичення її заповнювачами:

$$\Delta G_з = G + cZ. \tag{8.12}$$

Усі вищевикладені параметри виносяться як вихідні дані над розрахунковою таблицею (див. табл. 8.2). Подальші обчислення проводяться в табл. 8.2.

7. Задаючись набором величин x, близьких до оптимального значення $x_{опт}$, визначаємо насичення бетону піском:

$$X = \frac{x}{\varphi_{ц}} = \frac{x}{1/\rho_{ц} + В/Ц}. \tag{8.13}$$

8. Обчислюємо насичення бетону крупним заповнювачем для кожного значення X:

$$Y = \frac{\left|\Delta G_з - aX\right|}{b}. \tag{8.14}$$

9. Знаходимо коефіцієнт насичення бетону крупним заповнювачем:

$$K_{н} = m_{щ} + \frac{f_0}{Y}, \tag{8.15}$$

де $m_{щ}$ – коефіцієнт ущільнення щебеню (гравію). За відсутності дослідних даних $m_{щ} = 0{,}95$.

Таблиця 8.2

Розрахункова таблиця складів бетонної суміші з осадкою конусу 4 см

$R_б = 30$ МПа; $R_ц = 37{,}0$ МПа; $A = 0{,}6$; $B = 0{,}5$; В/Ц = 0,54; $\rho_ц = 3{,}1$ кг/дм^3; $\rho_п = 2{,}63$ кг/дм^3; $\rho_{н.щ} = 1{,}48$ кг/дм^3; $\rho_щ = 2{,}6$ кг/дм^3; $f_щ = 0{,}24$ м^2/кг; $\rho_{н.щ} / \rho_щ = 0{,}57$; $a = 1{,}35$; $b = 1{,}12$; $c = 1{,}60$; $G = 0{,}80$; $\Delta G_з = 4{,}0$; $f_0 = 0{,}22$.

Номер рядка	Показник	Номер складу				
		1	2	3	4	5
2	$1{,}5 \le x \le 2{,}3$	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
3	$X = \frac{(2)}{0{,}86}$	1,74	1,83	1,98	2,09	2,21
4	$Y = 3{,}57 - 1{,}21 \cdot (3)$	1,46	1,32	1,17	1,04	0,90
5	$K_н = 0{,}95 + \frac{0{,}22}{(4)}$	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19
6	$V_р = 1\,000 - \frac{570}{(5)}$	483	490	499	510	523
7	$\varphi_р = 0{,}86 + \frac{(2)}{2{,}63}$	1,43	1,47	1,51	1,55	1,59
8	$Ц = \frac{(6)}{(7)}$	337	333	331	330	330
9	$В = (8) \cdot 0{,}54$	182	180	179	178	178
10	$П = (8) \cdot (2)$	506	538	562	593	627
11	$Щ = \frac{1\,480}{(5)}$	1 344	1 325	1 302	1 274	1 240
12	$\rho_б = (8) + (9) + (10) + (11)$	2 369	2 376	2 374	2 375	2 375

Продовження табл. 8.2

Номер рядка	Показник	Номер складу			
		6	7	8	9
2	$1{,}5 \le x \le 2{,}3$	2,0	2,1	2,2	2,3
3	$X = \frac{(2)}{0{,}86}$	2,33	2,44	2,56	2,67
4	$Y = 3{,}57 - 1{,}21 \cdot (3)$	0,75	0,62	0,47	0,34
5	$K_{н} = 0{,}95 + \frac{0{,}22}{(4)}$	1,24	1,30	1,40	1,58
6	$V_{р} = 1\,000 - \frac{570}{(5)}$	540	563	594	640
7	$\varphi_{р} = 0{,}86 + \frac{(2)}{2{,}63}$	1,62	1,66	1,70	1,74
8	$Ц = \frac{(6)}{(7)}$	333	339	350	369
9	$В = (8) \cdot 0{,}54$	179	183	189	199
10	$П = (8) \cdot (2)$	666	712	769	848
11	$Щ = \frac{1\,480}{(5)}$	1 195	1 136	1 055	935
12	$\rho_{б} = (8) + (9) + (10) + (11)$	2 373	2 370	2 363	2 351

Примітка. Цифри в дужках першого стовпця таблиці визначають номери рядків.

10. Об'єм розчинової частини бетону, дм^3, приймається рівним:

$$V_{р} = 1000\left(1 - \frac{\rho_{н.щ}/\rho_{щ}}{K_{н}}\right). \qquad (8.16)$$

11. Визначаємо відносний вихід розчину з одиниці маси цементу, кг/дм^3,

$$\varphi_{р} = \varphi_{ц} + \frac{x}{\rho_{п}}. \quad (8.17)$$

12. Визначимо витрату цементу на 1 м^3 бетону, кг/м^3,

$$Ц = \frac{V_{р}}{\varphi_{р}}. \quad (8.18)$$

13. Визначимо витрату води на 1 м^3 бетону, кг/дм^3,

$$В = Ц \cdot В/Ц. \quad (8.19)$$

14. Визначимо витрату піску на 1 м^3 бетону, кг/м^3,

$$П = xЦ. \quad (8.20)$$

15. Визначимо витрату крупного заповнювача на 1 м^3 бетону, кг/м^3,

$$Щ = \frac{\rho_{н.\,щ}}{K_{н}}. \quad (8.21)$$

16. Визначаємо середню густину бетону, кг/м^3,

$$\rho_{б} = Ц + В + П + Щ. \quad (8.22)$$

Склад бетону з мінімальною витратою цементу має найбільшу середню густину.

Приклад 8.1. Визначити склади бетону М300 (кубикова міцність $R_{б} = 30$ МПа) з рухливістю бетонної суміші ОК = 4 см на матеріалах, наведених вище.

1. Цементно-водне відношення з формули (8.5) дорівнює

$$Ц/В = 0{,}5 + \frac{30}{0{,}6 \cdot 37{,}0} = 1{,}85.$$

Водоцементне відношення дорівнює

$$В/Ц = \frac{1}{1{,}85} = 0{,}54.$$

2. Початкове цементно-водне відношення тіста нормальної густоти за (8.7) дорівнює

$$Z_0 = \frac{1}{0{,}26} = 3{,}85.$$

3. Розрідження цементного тіста водою з розрахунковим Ц / В = 1,85 за (8.8) дорівнює

$$Z = 3{,}85 - 1{,}85 = 2{,}0.$$

4. Показник жорсткості пластичної бетонної суміші з ОК = 4 см за (8.9) становить

$$G = 1 - \frac{4}{20} = 0{,}8.$$

5. Відносна поверхня зсуву крупного заповнювача за (8.11) дорівнює

$$f_0 = \frac{0{,}24(1 - 0{,}7 \cdot 0{,}24)}{0{,}5(1 + 0{,}8)} = 0{,}22.$$

6. Збільшення жорсткості бетонної суміші за рахунок насичення її заповнювачами за (8.12) дорівнює

$$\Delta G_з = 0{,}8 + 1{,}6 \cdot 2{,}0 = 4{,}0.$$

Усі обчислені характеристики розміщаються як вихідні дані над розрахунковою таблицею. Подальші визначення складів бетону наводяться у табл. 8.2.

7. Наводиться вибір величин піщано-цементних відношень у межах від 1,5 до 2,3 (див. табл. 8.2, рядок 2) і визначаються відповідні значення насичення бетону піском за (8.13):

$$X = \frac{x}{0{,}32 + 0{,}54} = \frac{x}{0{,}86},$$

(див. табл. 8.2, рядок 3).

8. Ступінь насичення бетону щебенем за (8.14) дорівнює

$$Y = \frac{4{,}0 - 1{,}35 \cdot X}{1{,}12} = 3{,}57 - 1{,}21 \cdot X$$

(див. табл. 8.2, рядок 4).

9. Коефіцієнт насичення бетону щебенем за (8.15) дорівнює

$$K_{\text{н}} = 0{,}95 + \frac{0{,}22}{Y}$$

(див. табл. 8.2, рядок 5).

10. Об'єм розчинової частини бетону за (8.16) становить

$$V_{\text{р}} = 1\,000\left(1 - \frac{0{,}57}{K_{\text{н}}}\right) = 1\,000 - \frac{570}{K_{\text{н}}}$$

(див. табл. 8.2, рядок 6).

11. Вихід розчину з 1 кг цементу за (8.17) дорівнює

$$\varphi_{\text{р}} = 0{,}86 + \frac{x}{2{,}63}$$

(див. табл. 8.2, рядок 7).

12. Витрати матеріалів на 1 м^3 бетону знаходимо за формулами (8.18)–(8.21) (див. табл. 8.2, рядки 8–11).

У графі 12 розрахункової табл. 8.2 обчислена середня густина бетону.

На цьому визначення номінальних складів бетону завершується і починається оптимізація складів бетонної суміші.

При другому способі проектування як вихідний параметр обирається величина коефіцієнта насичення бетону крупним заповнювачем. При цьому операції 1–5 (див. приклад 8.1) не змінюються. Потім задаємося набором значень $K_{\text{н}}$ і визначаємо параметр насичення бетону щебенем Y. За знайденими величинами $K_{\text{н}}$ обчислюємо відповідні витрати крупного заповнювача (Щ) і, використовуючи рівняння консистенції бетонної суміші, визначаємо решту витрат матеріалів.

Обидва способи практично рівноцінні щодо обсягів обчислювальної роботи, і перевагу тому чи іншому варто віддавати за наявності даних про їх величини в оптимальних складах бетону.

Деякі особливості має проектування складів литих бетонних сумішей, для яких застосовуються комплексні добавки пластифікаторів і мікронаповнювачів (адсорбентів). Як відомо, добавки-пластифікатори знижують в'язкість цементного тіста, а мікронаповнювачі, сприяючи перерозподілу

вологи в бетонній суміші, забезпечують хорошу її стійкість до розшарування.

Проектуючи литі бетонні суміші, необхідно дотримуватися деяких умов. Звичайно литі бетонні суміші з ОК = 16..20 см виготовляються на рядових матеріалах лише з обмеженням граничної крупності щебеню (гравію) до 20 мм. Як домішки-мікронаповнювачі можуть використовуватися: високодисперсні ліофільні матеріали, наприклад, кременегелі (ОЄС), біла сажа (БС-30), бентонітова глина, відходи флотації (хвости), керамзитовий пил, мелений пісок та ін.

Оптимальна кількість органічної добавки визначається дослідним шляхом для одержання найбільшого пластифікуючого ефекту на цементному тісті з додаванням обраного мікронаповнювача (адсорбента). Цементне тісто замішується на водному розчині пластифікатора мінімальної концентрації, яка потім збільшується до одержання найбільшого пластифікуючого ефекту.

У цемент попередньо вводиться наповнювач у кількості, близькій до оптимальної, необхідної для забезпечення нерозшаровуваності литої бетонної суміші із заданою рухливістю. При кожному випробуванні проводиться визначення нормальної густоти пластифікованого цементного тіста з мікронаповнювачем (Z_0^*). Кількість дослідних замісів повинна становити не менше 5…6. Максимальну кількість мікронаповнювача визначають за умови, що гранично пластифіковане цементне тісто ($D_{\text{пл. max}}$), яке містить дану кількість мікронаповнювача ($D_{\text{нап. max}}$), має вібров'язкість, рівну вібров'язкості чистого цементного тіста $Z_0^* = Z_0$.

Для кожної обраної кількості пластифікатора визначається нормальна густота цементного тіста (Z_0^*) і будується графік її залежності від кількості добавки-пластифікатора. На основі дослідних даних встановлюється оптимальне дозування пластифікатора ($D_{\text{пл. опт}}$), при якому не відбуваються порушення структури цементного тіста (друге перетинання *s*-подібного графіка Z_0–D), і відповідне значення цементно-водного фактора пластифікованого цементного тіста з наповнювачем (Z_0^*). При розрахунку складів бетонної суміші використовується значення Z_0, що відповідає цементному тісту найменшої в'язкості.

При вмісті наповнювача в цементному тісті в межах 1…3 % від маси цементу величина $D_{\text{пл. опт}}$ практично залишається незмінною з дотриманням правила створу кривих Z_0–D. Оптимальна кількість домішки-наповнювача встановлюється при визначенні кваліметрів складових бетону для одержання нерозшаровуваних бетонних сумішей з мінімальною витратою цементу.

При розрахунку складів литих бетонних сумішей коефіцієнти A і $Б$ приймаються на підставі дослідних даних. Для орієнтованих розрахунків можна приймати $A = 0{,}5$; $Б = 0{,}5$. Оптимальний склад бетону вибирається в зоні складів, розташованих нижче рівня мінімальної витрати цементу (запісочені склади), так, щоб витрати цементу не більше ніж на 3 % перевищували мінімально можливі. Це забезпечує кращу стабілізацію (нерозшаровуваність) литих бетонних сумішей при технологічних операціях переробки бетону.

Приклад 8.2. Визначити склад бетону $R_б = 20$ МПа з литої бетонної суміші з ОК = 20 см. Властивості матеріалів для бетону наведені в прикладі 8.1. При цьому $A = 0{,}5$; $Б = 0{,}5$, а найбільшу крупність гравію залишаємо без зміни. Як пластифікатор використовується розчин ЛСТ, як мікронаповнювач – біла сажа марки БС-30.

Проведеними лабораторними випробуваннями обраних матеріалів встановлено: оптимальна кількість пластифікуючої добавки $D_{пл} = 0{,}67$ %; мінімальна кількість мікронаповнювача $D_{нап} = 3{,}0$ % від маси цементу; значення кваліметрів складових бетонної суміші з добавками; величина початкового цементно-водного фактору $Z_0^* = Z_0$ для цементного тіста з добавками. Дослідні значення кваліметрів дорівнюють: $a = 1{,}30$; $b = 1{,}0$; $c = 1{,}55$.

1. Цементно-водне відношення з формули (8.5) дорівнює

$$Ц/В = 0{,}5 + \frac{20}{0{,}5 \cdot 37{,}0} = 1{,}59; \quad В/Ц = \frac{1}{1{,}59} = 0{,}63.$$

2. Початкове цементно-водне відношення пластифікованого тіста нормальної густоти з мікронаповнювачем за (8.7) дорівнює

$$Z_0^* = Z_0 = \frac{1}{0{,}26} = 3{,}85.$$

3. Розрідження цементного тіста за (8.8) дорівнює

$$Z = 3{,}85 - 1{,}59 = 2{,}26.$$

4. Показник жорсткості литої бетонної суміші з ОК = 20 см за (8.9) становить

$$G = 1 - \frac{20}{20} = 0.$$

5. Відносна поверхня зсуву крупного заповнювача за (8.11) дорівнює

$$f_0 = \frac{0{,}24(1-0{,}7\cdot 0{,}24)}{0{,}5(1+0)} = 0{,}4.$$

6. Збільшення показника жорсткості бетонної суміші за рахунок насичення її заповнювачами за (8.12) становить

$$\Delta G_з = 0 + 1{,}55\cdot 2{,}26 = 3{,}50.$$

Подальший розрахунок складу литої бетонної суміші проводимо в табличній формі (див. табл. 8.3).

7. Вибираємо піщано-цементні відношення, близькі до оптимальної величини від $x = 1{,}4$ до $x = 2{,}0$ і визначаємо відповідні значення насичення бетону піском (при визначенні виходу цементного тіста з хімічними добавками $\varphi_ц^*$ його величину рекомендується збільшувати на 0,01 ($\varphi^* = \varphi_ц + 0{,}01$) (табл. 8.3, рядок 3):

$$X = \frac{x}{0{,}32 + 0{,}63 + 0{,}01} = \frac{x}{0{,}96}.$$

8. Насичення бетону щебенем для відповідних значень за (8.14) дорівнює

$$Y = \frac{3{,}5 - 1{,}35\cdot X}{1{,}0} = 3{,}5 - 1{,}3\cdot X$$

(див. табл. 8.3, рядок 4).

9. Коефіцієнт насичення бетону щебенем за (8.15) становить

$$K_н = 0{,}95 + \frac{0{,}4}{Y}$$

(див. табл. 8.3, рядок 5).

10. Об'єм розчинової частини бетону за (8.22) дорівнює

$$V_р = 1\,000\left(1 - \frac{0{,}57}{K_н}\right) = 1\,000 - \frac{570}{K_н}$$

(див. табл. 8.3, рядок 6).

Таблиця 8.3

Розрахункова таблиця складів литої бетонної суміш з ОК = **20 см**

$R_б = 20$ МПа; $R_ц = 37{,}0$ МПа; $A = Б = 0{,}5$; В/Ц = 0,63; $\rho_ц = 3{,}1$ кг/дм^3; $\rho_п = 2{,}63$ кг/дм^3; $\rho_{н.щ} = 1{,}48$ кг/дм^3; $\rho_щ = 2{,}6$ кг/дм^3; $f_щ = 0{,}24$ м^2/кг; $\rho_{н.щ} / \rho_щ = 0{,}57$; $a = 1{,}30$; $b = 1{,}00$; $c = 1{,}55$; $G = 0$; $\Delta G_з = 3{,}5$; $f_0 = 0{,}4$.

Номер рядка	Показник	Номер складу			
		1	2	3	4
2	$1{,}4 \le x \le 2{,}0$	1,4	1,5	1,6	1,7
3	$X = \frac{(2)}{0{,}96}$	1,47	1,58	1,68	1,78
4	$Y = 3{,}5 - 1{,}3 \cdot (3)$	1,59	1,45	1,32	1,19
5	$K_н = 0{,}95 + \frac{0{,}4}{(4)}$	1,20	1,22	1,25	1,29
6	$V_р = 1\,000 - \frac{570}{(5)}$	526	535	545	557
7	$\varphi_р = 0{,}96 + \frac{(2)}{2{,}63}$	1,49	1,53	1,56	1,60
8	$Ц = (6)/(7)$	353	350	348	348
9	$В = (8) \cdot 0{,}63$	223	221	220	220
10	$П = (8) \cdot (2)$	496	527	559	592
11	$Щ = \frac{1\,480}{(5)}$	1 233	1 210	1 183	1 151
12	$D_{нап} = 0{,}03 \cdot (8)$	10,6	10,5	10,4	10,4
13	$D_{пл} = \frac{0{,}67}{100} \cdot (8)$	2,37	2,35	2,33	2,33
14	$\rho_б = (8) + (9) + (10) + (11) + (12) + (13)$	2 318	2 321	2 323	2 324

Продовження табл. 8.3

Номер рядка	Показник	Номер складу		
		5	6	7
2	$1{,}4 \le x \le 2{,}0$	1,8	1,9	2,0
3	$X = \dfrac{(2)}{0{,}96}$	1,89	1,99	2,10
4	$Y = 3{,}5 - 1{,}3 \cdot (3)$	1,04	0,91	0,77
5	$K_{\text{н}} = 0{,}95 + \dfrac{0{,}4}{(4)}$	1,33	1,38	1,46
6	$V_{\text{р}} = 1\,000 - \dfrac{570}{(5)}$	572	589	610
7	$\varphi_{\text{р}} = 0{,}96 + \dfrac{(2)}{2{,}63}$	1,64	1,68	1,72
8	$\text{Ц} = \dfrac{(6)}{(7)}$	348	351	355
9	$\text{В} = (8) \cdot 0{,}63$	220	222	225
10	$\text{П} = (8) \cdot (2)$	629	668	712
11	$\text{Щ} = \dfrac{1\,480}{(5)}$	1 114	1 069	1 013
12	$D_{\text{нап}} = 0{,}03 \cdot (8)$	10,4	10,5	10,7
13	$D_{\text{пл}} = \dfrac{0{,}67}{100} \cdot (8)$	2,33	2,35	2,39
14	$\rho_{\text{б}} = (8) + (9) + (10) + (11) + (12) + (13)$	2 324	2 323	2 318

11. Вихід розчину на 1 кг цементу за (8.17) дорівнює

$$\varphi_{\text{р}} = 0{,}96 + \frac{x}{2{,}63}$$

(див. табл. 8.3, рядок 7).

12. Витрати матеріалів на 1 м^3 визначаємо за формулами (8.18)–(8.21) (див. табл. 8.3, рядки 8–11).

13. Кількість мікронаповнювача на 1 м^3 бетону для прийнятого співвідношення 3 % дорівнює:

$$D_{\text{нап}} = 0{,}03\text{Ц}.$$

14. Витрати пластифікатора в розрахунку на суху речовину становить (0,67 %)

$$D_{\text{пл}} = \frac{0{,}67}{100}\text{Ц}.$$

15. Середня густина бетону дорівнює сумі витрат матеріалів (див. табл. 8.3, рядок 14). З метою забезпечення найкращої легкоукладальності й нерозшаровуваності суміші допускається перевитрата цементу до 3 %, таким чином обираємо склад № 5 з витратою матеріалів: Ц = 348 кг/м^3, В = 220 дм^3/м^3, П = 629 кг/м^3, Щ = 1114 кг/м^3, $D_{\text{нап}} = 10{,}4$ кг/м^3, $D_{\text{пл}} = 2{,}33$ кг/м^3.

Проектування складів бетону за допомогою ПК дозволяє повністю автоматизувати процеси визначення таблиць еквівалентних складів бетонної суміші на основі дослідних даних випробування матеріалів, бетонної суміші й бетону. Доцільно використовувати ПК, якщо з'являється необхідність визначення великої кількості складів бетону на різних складових, а також для коректування складів у результаті зміни вологості матеріалів, запісоченості гравію, загравленості піску, при зміні виду матеріалів для бетону й ін. Розрахунок оптимальних складів бетону проводиться за алгоритмом, розробленим на основі канонічних рівнянь, наведених вище.

Отримані рівняння складу дозволяють використовувати ПК для визначення складів бетонної суміші різного призначення. Застосування ПК при проектуванні складів бетону особливо ефективне і дає можливість не тільки відразу знаходити склад з мінімальною витратою в'яжучої речовини, а й отримувати сусідні еквівалентні склади, задаючись зміною величини піщано-цементного відношення, наприклад, із кроком 0,1 в обидва боки від оптимального значення $X_{\text{опт}}$. Це дає можливість оптимізувати склад за будь-яким критерієм.

Алгоритм визначення таблиці еквівалентних складів розробляється на основі розв'язку чотирьох рівнянь складу бетону. Це дозволяє після визначення основного складу бетону з витратою в'яжучого $\text{Ц}_{\min}$, задаючи певне відхилення від величини $X_{\text{опт}}$, будувати всю таблицю складів. Блок-схема визначення еквівалентних складів щодо міцності бетону й легкоукладаль-

ності бетонної суміші для машиноорієнтованого методу проектування складів бетону наведена на рис. 8.2.

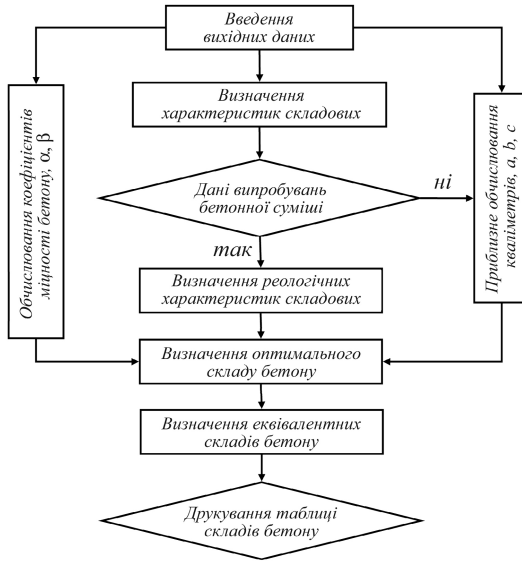


Рис. 8.2. Блок-схема визначення еквівалентних складів бетону

Викладений метод проектування складів бетону відзначається простотою з одночасним врахуванням основних властивостей вихідних матеріалів, бетонної суміші й бетону. Характерною рисою його є одержання набору еквівалентних складів із заданою консистенцією бетонної суміші й потрібною міцністю бетону.

Склад бетону подають у двох виразах: номінальному й виробничому. Номінальний – це коли витрати матеріалів на 1 м^3 бетонній суміші відносять до витрати цементу у вигляді Ц/Ц : П/Ц : Щ/Ц = 1 : П/Ц : Щ/Ц. Дана пропорція показує, скільки частин сухого піску й сухого щебеню припадає на 1 частину (за масою) цементу при виготовленні 1 м^3 бетону. Обов'язково вказується також величина В/Ц. Перехід від номінального складу до виробничого пов'язаний з урахуванням природної вологості заповнювачів. Для цього визначають вологість і реальний вміст вологи (води) у піску й щебені. Цю воду віднімають з розрахункової витрати води, а при дозуванні на заводах її зараховують з масою заповнювачів. До останнього додають їх масу, рівну відповідним масам води у вологих заповнювачах.

8.2.3. Приготування бетонної суміші та її властивості

Запроектований номінальний склад, перерахований на виробничий склад бетонної суміші, передається на завод для виготовлення виробів чи конструкцій. На бетонному заводі відповідно до заданого складу проводиться дозування шляхом відважування (рідше – об'ємного відмірювання) прийнятих вихідних матеріалів – цементу, піску, щебеню, води й ін.

Як відзначалося, до цієї технологічної операції матеріали звичайно підготовляються шляхом подрібнення (наприклад, при одержанні штучного піску), збагачення і за необхідності висушування чи навіть підігріву (при роботах у зимовий час). Дозування здійснюється за допомогою автоматичних, рідше ручних дозаторів. Порції матеріалів (за проектним складом) направляють в змішувальний апарат – бетонозмішувальні машини з примусовим чи вільним (гравітаційним) змішуванням віддозованих матеріалів. Місткість бетонозмішувачів коливаються від 100 до 250 л у пересувних (рис. 8.3) і від 250 до 4 500 л у стаціонарних установках (рис. 8.4). Чим менше рухливими очікуються суміші, тим доцільніше використовувати примусове перемішування. Воно здійснюється за допомогою протиструминних або роторних бетонозмішувачів спеціальних конструкцій. Головним змішувальним органом у них служать лопаті чи лопатки, а суміш розміщується у горизонтальних чашах при періодичному випуску суміші, чи в циліндричних барабанах – при безперервній дії змішувача. Бетонозмішувачі безперервної дії мають велику продуктивність (до 120 $м^3$/г) і меншу питому витрату електроенергії, ніж бетонозмішувачі періодичної дії.

При виготовленні дрібнозернистих і піщаних бетонних сумішей нерідко використовуються деякі інші типи змішувачів, наприклад, шнекові з приводним горизонтальним валом, розміщеним уздовж лотка, чи струминні безперервної дії з перемішуванням у «киплячому» шарі в зоні електричного поля в зустрічних потоках протилежно спрямованим струменям стиснутого повітря. Процеси дозування, завантаження й перемішування контролюють електропневматичною системою, особливо на стаціонарних заводах.

Добре перемішана однорідна бетонна суміш вивантажується в бункер чи транспортну ємність (автомобільні вагонетки, цебри, бетононасоси, трубопроводи й ін.). Якщо суміш має високу пластичність, то на шляху проходження до місця її укладання передбачаються спеціальні заходи для запобігання розшаровуванню, наприклад, додаткове перемішування чи транспортування сухої суміші з внесенням розрахункової порції води на

шляху проходження до об'єкта, введення додаткових речовин – мінеральних, пластифікуючих добавок й ін.

При виході зі змішувального апарата фактичний об'єм бетонної суміші значно менше суми об'ємів застосованих компонентів суміші. Так, якщо суму об'ємів вихідних сухих матеріалів бетонної суміші позначити як $x + y + z$, то фактичний об'єм ($V_б$) бетонної суміші становитиме $V_б = \beta(x + y + z)$, де $\beta < 1$ називається *коефіцієнтом виходу бетону*. Залежно від складу бетону коефіцієнт виходу коливається в межах від 0,55 до 0,75. Таке зниження фактичного об'єму бетону в порівнянні із сумою об'ємів сухих матеріалів пояснюється тим, що частина піску й тим більше цемент розміщаються в міжзерновому просторі крупного заповнювача. Однак при виборі місткості бетонозмішувача необхідно приймати його об'єм не менш суми об'ємів сухих матеріалів, тобто ($x + y + z$) літрів, тому що сухі матеріали, що надходять, займають до перемішування об'єм, який майже дорівнює сумі їх об'ємів. З урахуванням коефіцієнта виходу розраховують кількість n замісів у бетонозмішувальному апараті даної місткості a для одержання визначеної кількості бетонної суміші B, а саме: $n = B/(\beta a)$.

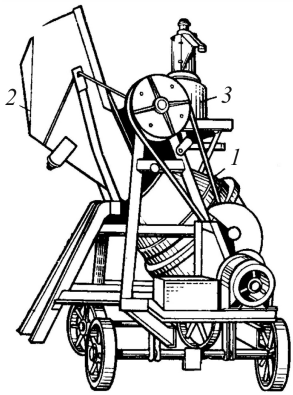


Рис. 8.3. Бетонозмішувач пересувний:
1 – барабан; *2* – ківш; *3* – бак для води

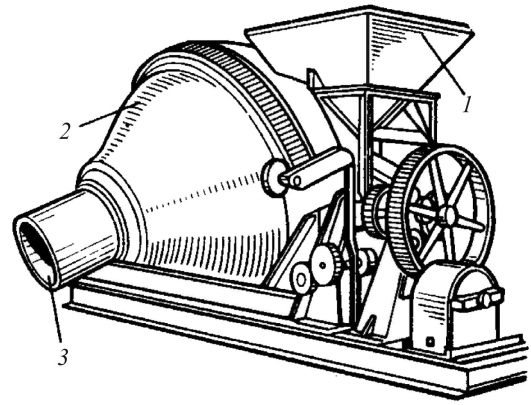


Рис. 8.4. Бетонозмішувач стаціонарний місткістю 2 400 л:
1 – бункер; *2* – барабан;
3 – вивантажувальне відділення

Подібно іншим конгломератним сумішам бетонна являє собою дисперсну систему, у якій дисперсійним середовищем є цементне тісто,

а твердою дисперсною фазою – механічна суміш дрібних і крупних заповнювачів. Якщо за необхідності в бетонну суміш додають порошкоподібний наповнювач чи інший мікродисперсний компонент, розчинний чи нерозчинний у воді, то вони за розмірами частинок, порівнянними з частинками цементу, належать до дисперсійного середовища. Зрозуміло, що це середовище є мікрогетерогенним, тому після тужавлення в бетоні воно утворює цементний камінь складного складу, названий, за виразом проф. В. Н. Юнга, мікробетоном. Склад бетонної суміші має бути запроектований так, щоб всі компоненти знаходилися на якомога менших відстанях один від одного, для того щоб на мікро- і макрорівнях повніше виявлялися внутрішні сили взаємодії частинок. Особливо важливо, якщо була забезпечена оптимізація структури бетонної суміші, при якій цементне тісто утворить нескінченну просторову сітку (матрицю) при мінімальному відношенні маси рідкої (В) і твердої (Ц, Т) фаз (В/Ц чи В/Т) і прийнятих технологічних умовах виготовлення й застосування бетонної суміші. Якби зниження цього фазового відношення продовжити, то неминучим було б утворення дискретності (переривчастості) плівки водного середовища на високорозвиненій поверхні частинок цементу й інших мікронаповнювачів. Оптимізація полягає й у тому, що отримана бетонна суміш однорідна за просторовим розташуванням у ній мікро- і макрочастинок. Крім того, заповнювачі утворюють досить щільну суміш. І хоча остання ознака оптимальності структури не є строго обов'язковою, вона, однак, майже завжди залишається бажаною для зниження витрати в'яжучого й вартості бетону.

Бетонна суміш направляється для формування з неї виробів чи конструкцій (монолітних чи збірних). Якщо параметри подальших технологічних операцій (транспортування, формування, ущільнення) з бетонною сумішшю були враховані на стадії проектування її складу, то ці операції не викликають будь-яких несподіванок у поведінці суміші. Вона транспортується без розшаровування й розривів у потоці, формується й ущільнюється без збільшення чи зниження інтенсивності механічних впливів, крім тих, які були враховані на стадії проектування складу бетонної суміші. Мінімум несподіванок виникає і на стадії тепловологісної обробки відформованих виробів і конструкцій, оскільки реальні її режими були по можливості враховані на стадії проектування складу бетону. Однак у виробничих умовах завжди можливі відхилення від технологічних параметрів і режимів, прийнятих при проектуванні складу суміші. У результаті бетонна суміш може виявитися недостатньо рухливою і легкообробною на якій-небудь стадії виробничого циклу. Особливо важливо мати рухливі суміші в процесі виготовлення армованих виробів.

Щоб зменшити зв'язані з цим технологічні дефекти у виробах (конструкціях), контролюють реологічні характеристики бетонної суміші. Найпростішими реологічними характеристиками, що мають певний фізичний зміст, на виробництві й у лабораторіях прийняті рухливість і жорсткість бетонної суміші, що побічно відображають її в'язкісні властивості. Якщо показники цих властивостей підтримувати в заданих межах припустимих відхилень, тоді технологічний процес виготовлення виробів (конструкцій) буде нормальним і бездефектним.

Рухливість за ДСТУ Б В.2.7-114-2002 відображає здатність бетонної суміші, якій була попередньо надана деяка умовна форма (наприклад, правильного усіченого конуса), деформуватися під впливом власної ваги, розпливаючись чи осідаючи і набуваючи іншої форми або зберігаючи її при інших розмірах. Рухливість бетонної суміші вимірюють за допомогою стандартного металевого конуса (рис. 8.5), що заповнюється випробуваною сумішшю, з пошаровим ущільненням.

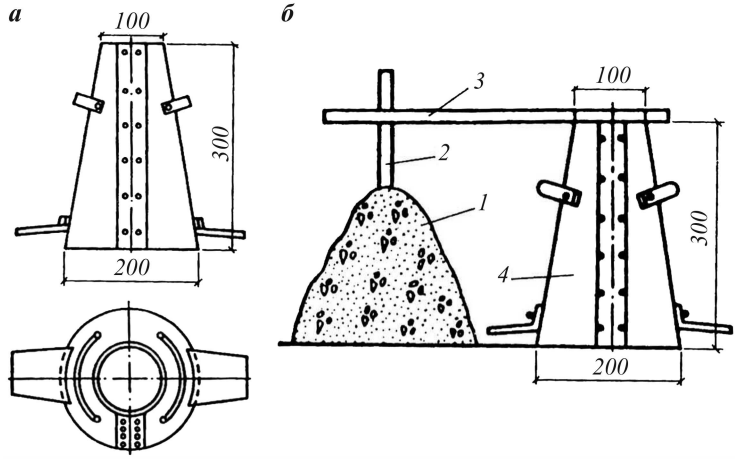


Рис. 8.5. Визначення рухливості бетонної суміші:
а – стандартна форма-конус; *б* – визначення осідання бетонного конуса; *1* – осілий конус із бетонної суміші; *2* – лінійка; *3* – металева лінійка; *4* – форма-конус

При обережному підйомі металевої форми бетонний конус осідає під власною вагою. Якщо величина осідання конуса знаходиться в межах 2…4 см, то суміші відносять до малорухливих, 4…12 см – до рухливих і більше 12 см – до високопластичних (литих). Якщо осідання конуса

рівне нулю, суміш жорстка й тоді її легкоукладальність оцінюється за допомогою спеціального приладу для визначення жорсткості.

Жорсткість бетонної суміші характеризують тривалістю (у секундах) вібрування на стандартній віброплощадці (частота коливань 3 000 коливань за хвилину, амплітуда коливань – 0,5 мм), необхідного для вирівнювання й ущільнення попередньо відформованого конуса з бетонної суміші в приладі для визначення жорсткості (рис. 8.6). Циліндричне кільце приладу, внутрішній діаметр якого 240 мм і висота 200 мм, встановлюють і жорстко закріплюють на лабораторній віброплощадці. У кільце вставляють і жорстко закріплюють стандартний конус, який заповнюють бетонною сумішшю у встановленому стандартом порядку і після цього знімають. Диск приладу за допомогою штатива опускають на поверхню відформованого конуса з бетонної суміші. Потім одночасно включають віброплощадку й секундомір і спостерігають за вирівнюванням і ущільненням бетонної суміші в циліндрі. Секундомір зупиняють, як тільки почнеться виділення цементного тіста з двох отворів диска. Диск має діаметр 230 мм, отвори 5 мм, що розташовані рівномірно по внутрішньому колу діаметром 190 мм. Час віброущільнення є характеристикою жорсткості бетонної суміші. Для більшої точності виміру жорсткості з однієї проби бетонної суміші обчислюють середнє двох визначень.

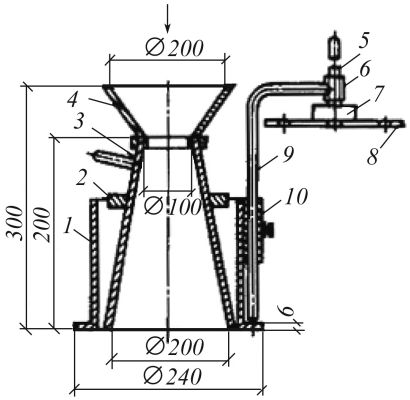


Рис. 8.6. Стандартний прилад для визначення жорсткості бетонної суміші:
1 – форма; *2* – упори для кріплення конуса; *3* – конус; *4* – лійка; *5* – штанга; *6* – напрямна втулка; *7* – втулка для кріплення диска; *8* – диск із шістьма отворами; *9* – штатив; *10* – затиск штатива

Залежно від показника легкоукладальності бетонні суміші поділяють на три групи: наджорсткі (НЖ), жорсткі (Ж) та рухливі (Р). Групи розподіляються на марки за легкоукладальністю, що наведені у табл. 8.4.

Показники рухливості й жорсткості призначають з урахуванням частоти розташування арматури, характеру виробу, виду ущільнення й ін. Так, в процесі виготовлення тонкостінних частоармованих конструкцій осідання конуса приймають 4…6 см, а при транспортуванні суміші по трубах

за допомогою насосних установок показник рухливості збільшують до 8…10 см.

Таблиця 8.4

Марка за легкоукладальністю	Норма легкоукладальності за показником		
	жорсткості, с	рухливості, см	
		осідання конуса	розплив конуса
Наджорсткі суміші			
НЖ3	більше 100	–	–
НЖ2	51…100	–	–
НЖ1	50 і менше	–	–
Жорсткі суміші			
Ж4	31…60	–	–
Ж3	21…30	–	–
Ж2	11…20	–	–
Ж1	5…10	–	–
Рухливі суміші			
Р1	4 та менше	1…4	–
Р2	–	5…9	–
Р3	–	10…15	–
Р4	–	16…20	26…30
Р5	–	21 та більше	31 та більше

Регулювання зазначених реологічних характеристик бетонної суміші досягається правильним проектуванням складу, а за необхідності – уведенням у суміш пластифікуючих та інших хімічних добавок. Їх кількість строго регламентується, оскільки вона впливає на проектний склад бетону.

8.2.4. Укладання і ущільнення бетонної суміші

Розподіл виготовленої бетонної суміші у формі здійснюється механічним укладальником чи вручну (рідше). Залежно від різновиду виробів бетоноукладачі застосовують різних конструкцій – з бункерами й живильниками, з копіроживильниками, із щелепними затворами й т. ін. Бетонну суміш, укладену в форму, піддають ущільненню. Найбільш типовим способом ущільнення є вібрування. Часті коливання, створювані вібратором (рис. 8.7), передаються бетонній суміші й усім її частинкам, викликаючи їх коливальні рухи. У результаті знижуються сили в'язкісного тертя й зчеплення, тобто переборюється реологічний опір при розміщенні суміші й зближенні частинок. Найбільший ефект ущільнення бетонної суміші вібруванням досягається при резонансних режимах, коли частоти змушених коливань частинок збігаються з частотами власних коливань вібратора.

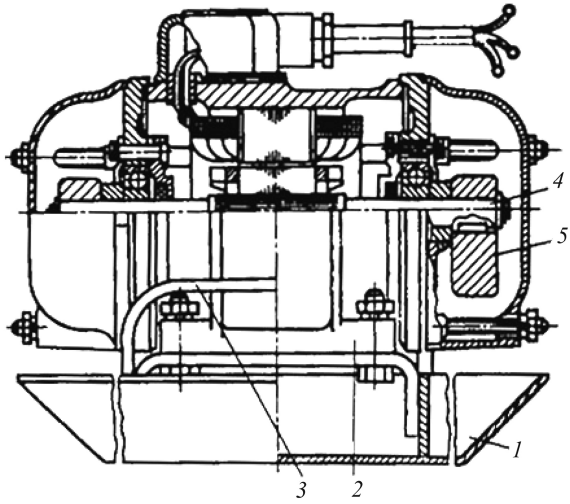


Рис. 8.7. Вібратор для ущільнення бетонної суміші:
1 – площадка; *2* – електродвигун; *3* – ручки для переміщення вібратора;
4 – вал; *5* – дебаланс

Ефективність віброущільнення значною мірою залежить від двох основних параметрів – інтенсивності вібрування й тривалості. Інтенсивність вібрування характеризується величиною амплітуди коливань, яка

дорівнює половині найбільшого переміщення частинки, і частотою змушених коливань, тобто числом періодів коливань за секунду. Про інтенсивність віброущільнення судять за амплітудним значенням прискорення, яке передається коливним частинкам, при деякій кутовій швидкості:

$$\omega = ar^2 = a4\pi^2 f^2.$$

Інтенсивність віброущільнення (за В. М. Шмигальським) характеризується добутком швидкості коливань на прискорення і може бути обчислена за формулою

$$U = \upsilon\omega = 8\pi^3 a^2 f^3,$$

де U – інтенсивність віброущільнення, см^2/с^3;

υ – швидкість коливань ($\upsilon = a\omega = a2\pi f$);

ω – прискорення.

Інтенсивність віброущільнення виражають звичайно в одиницях прискорення сили ваги. Ця характеристика показує, у скільки разів прискорення, отримане частинками бетонної суміші при вібруванні, більше прискорення сили ваги.

Тривалість віброущільнення нерозривно пов'язана з параметрами змушених коливань. При заданих параметрах для кожної бетонної суміші існує своя, оптимальна тривалість вібрування. Більш тривале вібрування призводить до розшарування бетонної суміші й погіршення якісних показників бетону.

Звичайно амплітуда коливань знаходиться в межах 0,3…0,7 мм якщо частота коливань близько 3 000 за 1 хв. Останнім часом набувають поширення низькочастотні резонансні віброплощадки з амплітудою 0,7 мм і частотою 25…40 Гц, які більше ощадливі у витраті енергії і менше гучні в роботі. При вібруванні бетонної суміші в частоармованих конструкціях доцільний високочастотний вібратор (з частотою до 7 000 коливань за 1 хв) із гнучким валом і циліндричною робочою частиною (рис. 8.8).

Ефект ущільнення і якість виробів контролюють шляхом періодичної перевірки величини коефіцієнта ущільнення, рівного відношенню фактичної середньої густини свіжоукладеного бетону до її номінальної величини, одержаної при розрахунку проектного складу. Якщо коефіцієнт ущільнення знаходиться в межах 0,98…1,0, тоді можна вважати, що досягнуто цілком достатній ступінь ущільнення виробу. Зменшення густини бетону на 1 % призводить до зниження міцності його приблизно на 5 %. Зрозуміло, що зі зменшенням рухливості бетонної суміші потрібно збільшу-

вати інтенсивність і тривалість віброущільнення. При поверхневому вібруванні шар бетонної суміші не повинний бути товще 20…25 см. Щоб підвищити ефект ущільнення бетонної суміші малої рухливості, вживаються заходи для збільшення питомого навантаження на поверхню масиву, що вібрується, тобто здійснюють вібрування з привантажувачем, наприклад, у розмірі від 10 до 40 чи 50 г на 1 см^2 поверхні (або 0,1…0,5 МПа). Можливе вібрування, яке поєднується з пресуванням під тиском 50…150 г/см^2 (чи 0,5…1,5 МПа), що називається *вібропресуванням*. При ущільненні окремих виробів вібратори спеціальної форми й габаритів (віброголки, вібробулави й т. ін.) можуть занурюватися в тіло бетонного масиву.

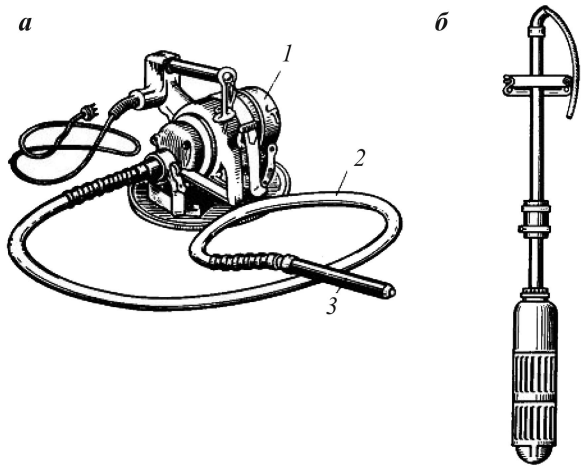


Рис. 8.8. Вібратори бетонної суміші в частоармованих конструкціях:
а – внутрішній вібратор із гнучким валом; *б* – внутрішній переносний вібратор;
1 – електромотор на підставці; *2* – гнучкий вал; *3* – вібруючий наконечник

Поширеним способом ущільнення служить віброштампування й особливо вібропрокат. Останній виконується на спеціальних вібропрокатних станах. В разі застосування рухливих бетонних сумішей відомі способи вібраційного впливу в поєднанні з вакуумуванням при якому відбувається видалення деякої частки води з маси, що ущільнюється. А також відоме подвійне вібрування і деякі інші способи ущільнення. Серед них можна назвати, наприклад, безвібраційні способи ущільнення при виготовленні порожнистих виробів – труб, колон, стовпів (опор) та ін. Для їх ущільнен-

ня бетонну суміш поміщають у відповідні форми, що піддаються обертанню, і тоді суміш ущільнюється за рахунок впливу відцентрових сил, що розвиваються при частоті обертання до 900…1 000 обертів за хвилину. До безвібраційних способів належать також наливний (з додаванням у суміш суперпластифікатора) і набивний (торкретування, з викидом суміші з сопел бетононасосів).

8.2.5. Особливості укладання бетону взимку і влітку

При укладанні бетонної суміші в конструкцію в зимовий час її захищають від замерзання як у процесі ущільнення, так і особливо в початковий період тужавлення відформованого моноліту. Важливо до замерзання одержати визначену міцність бетону, що встановлюється залежно від конкретних умов, але зазвичай не менше 30…50 % від його проектної (марочної) міцності. Для цього використовують протиморозні добавки, підігрів вихідних матеріалів та інші заходи.

Велику користь у зимовий час приносить збереження внутрішнього тепла в бетоні, що виділяється в результаті екзотермічних реакцій при його твердінні, за рахунок покриття шаром теплоізоляції (шлаку, деревної тирси, соломіту й ін.). Цей спосіб дає особливо ефективний результат при відносно малих поверхнях охолодження конструкцій, наприклад, масивних при відношенні поверхні S до об'єму V не більш 6. Збереження внутрішнього тепла одержало назву «способу термоса». Внутрішній запас тепла збільшують також шляхом попереднього підігріву води до 80 °С, заповнювачів – до 40 °С, з тим, однак, щоб температура бетонної суміші до моменту укладання не була вище 40…50 °С. Нерідко бетонну суміш підігрівають у електродно-пластинчастому бункері. При бетонуванні в зимових умовах конструкцій і елементів з великою поверхнею охолодження (при відношенні S/V, значно більшому 6) можливе укладання бетону без підігріву, тобто використовується холодний бетон. З цією метою в бетонну суміш вводяться протиморозні добавки (нітрат натрію, поташ та ін.). Вони знижують температуру замерзання води в бетоні, а деякі добавки виконують ще і функцію каталізатора твердіння в'яжучої речовини. Холодний бетон звичайно укладається за температур навколишнього середовища не нижче –20 °С з подальшою теплоізоляцією.

Влітку поверхню свіжоукладеного бетону захищають від безпосереднього впливу сонячних променів і вітру за допомогою плівкоутворювальних матеріалів, вологої тирси, матів і т. ін. У суху погоду відкриті поверхні бетону зволожують водою. Використовують також поліетиленові й полі-

вінілхлоридні плівки, практикується розливання по поверхні бетону, що захищається, бітумної емульсії й ін.

В разі укладання в конструкцію бетонної суміші в дуже жарку й суху погоду її захищають від підвищеної температури і швидкого висихання після укладання з витримуванням у вологому режимі свіжоукладеного бетону. У цих умовах захищають і компоненти від нагрівання сонячними променями: періодичне зволоження заповнювачів холодною водою чи застосування охолоджувальних пристроїв для зниження їх температури, укриття водопровідної лінії, фарбування баків з водою в білий колір і т. ін. Вода замішування нерідко штучно охолоджується чи частково заміняється льодом, для того щоб він встиг станути до моменту вивантаження суміші.

Усі викладені вище заходи особливо корисні при будівництві масивних споруд з використанням великих об'ємів бетонної суміші.

У найбільш жаркий час дня в умовах сухого й жаркого клімату може виявитися доцільним у виняткових випадках перерва при виконанні бетонних робіт на будівельному об'єкті.

Відформовані й ущільнені вироби чи конструкції з бетону піддають тепловій, автоклавній чи іншій обробці, чим досягається істотне прискорення процесів твердіння. У теплий чи жаркий час року бетон у виробах звичайно досить швидко твердіє без додаткової обробки, а щоб не було випаровування води з тіла бетону, вироби вкривають місцевими вологомісткими матеріалами. Однак наростання міцності при таких нормальних умовах твердіння відбувається порівняно повільно, тому доводиться тривалий час очікувати одержання необхідної міцності виробів, наприклад 60…70 % від марочної, зумовленої у 28-добовому терміні зберігання. Найпоширенішим способом прискорення структуроутворення й зміцнення служить теплова обробка в пропарювальних камерах періодичної чи безперервної дії у формах з термопіддонами. Застосовується також бетонування з електророзігрівом суміші. Для цього бетонну суміш короткочасно (10…15 хв) розігрівають до 50…90 °С за допомогою електророзігрівальних пристроїв, укладають у сталеву опалубку, ущільнюють і укривають від охолодження, що дозволяє підняти добову міцність бетону до 60…65 % від марочної. Прискорення твердіння бетону досягають також хімічними методами, шляхом уведення в бетонну суміш невеликих кількостей хлористого натрію, хлористого кальцію, розчинного скла чи інших комплексних речовин, наприклад, нітрит-нітрату натрію, нітриту натрію, солей більш складного складу й ін. На практиці використовують одночасно кілька способів прискорення твердіння, що приводить звичайно до отримання значного техніко-економічного ефекту, дозволяє робити

бетонування в зимовий час за температур –10, –15 °С і нижче. За рахунок уведення хімічних добавок вдається знижувати водовміст, оскільки деякі добавки чинять пластифікуючий вплив на бетонну суміш.

Розроблено високоефективні пластифікатори й суперпластифікатори, із введенням яких можна зменшувати на 20…30 % і більше вміст води в бетонній суміші, тобто зменшувати В/Ц, а отже, збільшувати міцність бетону, наприклад, у добовому віці на 50 % і більше, у місячному – на 30…40 %. Якщо кількість води в бетонній суміші не зменшувати, то при додаванні суперпластифікатора ця суміш стає литою, легкорухомою, зручною для виготовлення тонкостінних конструкцій чи фасонних деталей з тісно розташованою арматурою. Литі бетонні суміші зручні якщо відбувається подача їх бетононасосами, якщо необхідно створити щільну поверхню виробів.

Додавання суперпластифікатора трохи здорожує бетон, але збільшує продуктивність праці при виготовленні виробів, зменшує тривалість теплової обробки бетону (якщо знижена кількість води).

Як суперпластифікатори використовують або сульфіновані меламінформальдегідні смоли, або низькомолекулярні полімери – продукти взаємодії нафталінсульфокислоти й формальдегіду. Такого роду добавки сприяють диспергуванню гідратованого цементу, обволіканню дисперсних частинок плівками органічної речовини, що екранують, з ефектом пластифікації суміші без порушення основних процесів тужавлення й формування структури цементного каменю і бетону.

Використовуючи пластифікуючі добавки, особливо нові, перевіряють, щоб вони не були отруйними, не викликали корозії металевої арматури в бетоні.

Для підвищення інтенсивності тверднення бетону (крім теплової обробки) іноді активують воду замішування. Так, за даними І. М. Грушко, додавання у воду лугу, наприклад їдкого натру, і частини віддозованого цементу з подальшою обробкою ультразвуком і електромагнітним полем сприяє утворенню мікрокристалічних частинок як «запалів» у цементному тісті, що твердіє.

У виробничих умовах здійснюється постійний технічний контроль за якістю вихідних матеріалів, що надходять на завод, їх підготовкою до застосування в складі компонентів суміші, за якістю бетонної суміші (рухливістю, жорсткістю, фактичним складом бетонної суміші, однорідністю перемішування і т. ін.), за якістю затверділого бетону, особливо за його міцністю і її наростанням у часі.

При оцінці міцності бетону користуються як руйнівними методами (випробуванням зразків з їх руйнуванням), так і неруйнівними – ультраз-

вуковим імпульсним методом, методом пружного відскоку, радіометричним методом, рентгенівськими променями в спеціальних установках й ін. Ці методи дозволяють також виявляти тріщини й інші дефекти в бетонних виробах і конструкціях.

8.2.6. Структура і властивості важкого бетону

Важкий бетон – типовий представник штучних будівельних конгломератів. У ньому затверділе цементне тісто чи цементний камінь повністю оточує кожну частинку дрібного й крупного заповнювача і, крім того, заповнює простір між цими частинками, утворюючи таким чином безперервну просторову сітку чи матрицю. У процесі тужавлення цементного тіста частинки заповнювача виявляються зцементованими в суцільний моноліт. У моноліті 20…30 % від об'єму займає цементний камінь, а на частку заповнювача припадає, отже, 70…80 % об'єму. У межах об'єму важкого бетону існує також капілярно-порова частина, що утворюється в результаті випару вільної води, недоущільнення суміші й усадкових явищ. Пори присутні також у частинках заповнювача, а мікропори характерні для цементного каменю. Нерідко повітряні пори (1…2 %) рівномірно розподілені в об'ємі бетону й виникають в процесі перемішування бетонної суміші зі спеціальною повітровтягувальною добавкою, що звичайно підвищує морозостійкість бетону. Пори цементного каменю можна розділити умовно на особливо тонкі, наприклад діаметром до 1000 Å, іменовані як гелеві, і більш грубі діаметром, наприклад, від 1000 Å до 10 мкм, іменовані як капілярні, оскільки більшість з них взаємозалежні, утворюють своєрідну систему «мікроканалів», доступних для проникнення і руху по них зовнішнього водного середовища, що знижує морозостійкість бетону.

Неодмінною структурною частиною бетону, подібно іншим конгломератам, є контактні зони (звичайно шириною до 50…65 мкм), мікроструктура цементного каменю у яких трохи відмінна від такої ж структури в об'ємному цементному камені з підвищеною концентрацією кристалічної фази й зниженим вмістом мікропор. Контактний шар може також відрізнятися хімічним складом його кристалічної фази. Такі, загалом, структура й мікроструктура важкого цементного бетону. Значною мірою за властивостями вона неоднорідна, як неоднорідні її складові (щебінь, пісок, цементний камінь). Структура бетону позбавлена багатьох дефектів, пов'язаних з технологічним і експлуатаційним періодами, що

відображається на рівні показників механічних властивостей і довговічності.

Для важких бетонів характерним є не тільки високе значення середньої густини, але й висока міцність. Значення середньої густини знаходяться в межах 1800…2500 кг/м^3, а міцність під час стиску – від 5 до 80 МПа. Проектні марки його за границею міцності під час стиску: М50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700 і 800.

Основним показником міцності бетону, що подається в нормативних документах, є його клас, тобто міцність, яка приймається із гарантованою забезпеченістю 0,95. Це означає, що границя міцності, яка відповідає класу, тобто гарантована міцність (МПа), досягається не менше ніж у 95 випадках із 100.

Клас бетону за границею міцності під час стиску (у МПа) визначають за допомогою зразків розміром $15\times15\times15$ см (з округленням убік зниження міцності), виготовлених з бетонної суміші й випробуваних через 28 діб твердіння зі зберіганням у нормальних умовах, тобто за температури 20 ± 2 °С, відносної вологості повітря не нижче 90 %. Існують деякі винятки, наприклад, гідротехнічний бетон річкових споруд ще оцінюють за міцністю у 60-, 90- і 180-денному віці зразків нормального твердіння. При інших розмірах зразків-кубів з ребром 7, 10, 20 і 30 см результати випробувань множать на масштабні коефіцієнти, відповідно рівні 0,85; 0,95; 1,05; 1,10. Для оцінки міцності замість зразків-кубів нерідко використовують призми розміром $10\times10\times40$ см чи інших розмірів, випробовуваних на згин, а також зразки-циліндри діаметром 7, 10, 15, 20, 30 см і висотою, рівною діаметру чи двом діаметрам.

Між класом бетону та середньою міцністю партії, що контролюється, існує залежність

$$B=\overline{R}\left(1-1{,}64C_v\right),$$

де B – числове значення класу бетону, МПа;

$\overline{R}$ – середня міцність бетону, МПа;

C_v – коефіцієнт варіації міцності бетону, який при проектуванні конструкцій становить 13,5 %.

Для переходу від класу бетону до середньої міцності можна використовувати формулу

$$\overline{R}=B/0{,}778.$$

Бетон називають високоміцним, якщо його марка вище 600. Іноді до високоміцного відносять бетон з міцністю вище стандартної марки цементу, використаного в його складі. Зараз активність в'яжучих – цементів і гіпсів, застосованих у бетонах, значно збільшена, що дозволяє отримати бетони з границею міцності під час стиску 100 МПа. На думку деяких фахівців, можливості в цьому напрямку не вичерпані й у найближчі десятиліття міцність бетону під час стиску може досягти 400 МПа.

Міцність бетону на розтяг становить від 6 до 10 %, а під час згину – від 10 до 16 % від границі міцності під час стиску. За границей міцності на осьовий розтяг бетони поділяються на марки від 10 до 40, а під час згину – від 1,5 до 5,5 МПа. Зміцнити бетон на розтяг можна армуванням, оскільки металева арматура здатна майже повністю прийняти на себе розтягувальні напруження, розвантажуючи від них бетон. Арматура може розташовуватися як спрямовано, так і в хаотичному вигляді (при волокні-фібрі). Міцність бетону не залишається величиною постійною; за сприятливих умов – високої вологості повітря, додатньої температури й т. ін. – відзначається приріст міцності, який знаходять за формулою

$$R_{\tau} = R_{28} \frac{\lg \tau}{\lg 28},$$

де τ – вік бетону в добах, але не менше трьох діб.

До віку одного року важкий бетон у цих умовах самозміцнюється на 70…90 % від R_{28}.

Крім статичної міцності іноді перевіряють величину динамічної міцності чи ударної в'язкості. При вібраційних впливах на конструкцію важливо визначати втомлену міцність бетону, яка характеризується кількістю циклів вібраційного впливу до ознак руйнування структури.

Довговічність бетонних конструкцій великою мірою зумовлюють деформативні властивості бетону. *Деформативністю* називають здатність матеріалу змінювати свою форму і розміри під впливом зовнішніх навантажень або інших чинників. При дослідженні бетону деформації підрозділяють на два види:

1) силові, які виникають під дією зовнішніх навантажень;

2) температурно-усадкові, або власні, які виникають внаслідок хімічних і фізико-хімічних процесів твердіння бетону, зміни його вологісного стану й температури.

До першого виду відносять деформації при короткочасному навантаженні й при тривалому завантаженні (повзучість); до другого – деформації усадки й набухання, а також температурні деформації.

Для бетону характерні як пружні, так і пластичні деформації (рис. 8.9). Якщо навантаження становить до 0,2 від міцності руйнування, то для бетону характерні пружні деформації, однак при більших навантаженнях на поверхні бетону виникають мікротріщини й спостерігається вже пластична деформація. Нелінійність деформацій при навантаженнях, більших ніж 0,3…0,4 від руйнівних навантажень, пов'язана із процесом виникнення та розвитком у бетоні мікротріщин не тільки по поверхні, але й по усьому об'єму матеріалу.

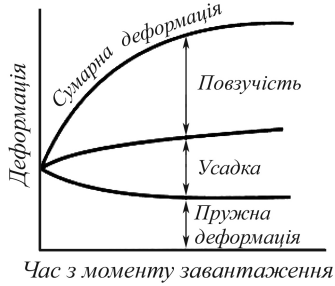


Рис. 8.9. Види деформацій бетону, які залежать від часу, при дії постійного навантаження

Цементний бетон має пружні властивості. При оптимальних структурах пружні деформації бетону тим значніші, чим більш пружним є цементний камінь.

Характеристикою пружних властивостей матеріалу, що підпорядковується закону Гука, є *коефіцієнт пружності E*, який характеризується відношенням нормального напруження в матеріалі σ до відповідної цьому напруженню відносної деформації ε_0:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

Деформація бетону $\varepsilon_б$ має пружну ε_0 і пластичну $\varepsilon_п$ складові:

$$\varepsilon_б = \varepsilon_0 + \varepsilon_п.$$

В умовах ступінчастого завантаження бетонного зразка деформації, що виникли у момент надання навантаження, мають пружний характер ε_0, а деформації, що з'явилися за час витримки під навантаженням, – пластичний характер $\varepsilon_п$. Якщо швидкість завантаження ділянки менше, що визначається $\varepsilon_п$, стають великими деформації, а залежність «σ–ε» пологішою.

При завантаженні зразка пружна деформація повертається до нуля не відразу: частина її ($\approx 10\,\%$) стає рівною нулю через деякий час, що пов'язано з пластичними деформаціями цементного каменю, що перешкоджають відновленню ε_0 заповнювача. Таку деформацію називають *деформацією пружного наслідку* $\varepsilon_{п.н}$.

Оскільки бетон є пружнопластичним, модуль пружності відповідає миттєвому завантаженню бетону до порівняно малих значень σ, за яких виникають в основному тільки ε_0. Цей модуль називають *початковим, або миттєвим, модулем пружності бетону* $E_б$. Графічно він виражається тангенсом кута нахилу дотичної в точці початку координат: $E_б = \mathrm{tg}\alpha_0$.

Початковий модуль пружності бетону під час стиску E – це відношення нормального напруження до відносної деформації при напруженні, що дорівнює 0,2 від міцності бетону. Значення модуля пружності зростає зі збільшенням міцності під час стиску й залежно від класу бетону знаходиться в межах $(9{,}5\ldots40)\cdot10^3$ МПа. Величина модуля пружності також залежить від загальної пористості бетону та використаних при його виготовленні заповнювачів. Зазвичай збільшення пористості бетону призводить до зменшення модуля пружності.

Початкові модулі пружності з достатньою точністю можуть бути обчислені за формулами:

– для важкого бетону

$$E_б = \frac{52\,000R_{ст}}{23 + R_{ст}};$$

– для бетону на пористому заповнювачі

$$E_б = 3\,100m_v\sqrt[3]{R_{ст}}.$$

При цьому якщо як пористий заповнювач застосований аглопоритовий гравій або туф, обчислене значення $E_б$ треба зменшити на 15 %, а якщо шлакова пемза – збільшити на 20 %. При розрахунку для бетонів з поризацією до 20 % $E_б$ зменшують на 10 %, при поризації більше 20 % – на 15 %.

Динамічний модуль пружності $E_д$, який визначається за частотою власних коливань зразка або імпульсним ультразвуковим методом, точніше характеризує пружні властивості бетону, ніж $E_б$, на який впливають непружні деформації, тому завжди $E_д > E_б$. Запропонований ряд формул, що зв'язують $E_д$ і $E_б$, наприклад:

$$\left.\begin{aligned} E_б &= E_д\left[1 - 0{,}15\left(\frac{\sigma - 40}{100}\right)\right]; \\ E_б &= E_д\left[1 - 0{,}001\left(\sigma - \frac{R_{гр}}{10}\right)\right]. \end{aligned}\right\}$$

Коефіцієнт Пуассона – це відношення відносних пружних поперечних і подовжніх деформацій:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{под}}}.$$

Для оцінки процесу руйнування бетону використовують коефіцієнт поперечної деформації:

$$\bar{v} = \frac{\Delta\varepsilon_{\text{поп}}}{\Delta\varepsilon_{\text{под}}}.$$

Модуль зсуву G – відношення дотичного напруження до відносного зсуву – визначають за теоретичною залежністю:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}.$$

При твердінні на повітрі бетон зменшується в об'ємі – відбувається усадка бетону; меншення розмірів бетону при твердінні його в повітряно-сухих умовах, яке зумовлене зміною вологості бетону, контракцією цементного тіста та карбонізацією новоутворень, а при твердінні у воді збільшується; відбувається набухання бетону – це явище протилежне усадці й полягає у збільшенні об'єму бетону при навперемінному зволоженні його поверхні або при постійній експлуатації у воді. Наявність набухання пов'язана з дією тих самих факторів, що й усадка, але її величина є значно нижчою. Оскільки вказані деформації розвиваються на всіх напрямках, їх називають *об'ємними*. У віці бетону 1…1,5 року кінцевий розмір усадки бетону становить від 0,1 до 1,5 мм/м, що залежить від різновиду прийнятого цементу, кількості цементного каменю в бетоні, умов твердіння.

Величина усадки в першу чергу визначається зміною вологості, тобто переміщенням та випаровуванням води, яка ще не увійшла до складу новоутворень. Усадка, що пов'язана із контракцією, є незначною і зумовлена тим, що об'єм новоутворень цементного каменю менший, ніж об'єм речовин, які вступають у реакцію. Карбонізаційна усадка пояснюється наявністю вуглекислого газу в повітрі й відбувається у поверхневих шарах бетону, що твердіє.

Найбільшу усадку, величина якої може досягати 20 мм/м, має цементний камінь. Уведення до складу бетонної суміші заповнювачів (як «жорсткого скелета») приводить до зменшення усадки у 5…10 разів; її величина після 1 року твердіння бетону становить 0,2…0,4 мм/м (рис. 8.10).

Шкідлива дія усадки пов'язана з виникненням тріщин по поверхні бетону, особливо в початкові терміни твердіння в умовах низькій вологості навколишнього середовища.

Негативним явищам, пов'язаним з усадкою, можна запобігти, забезпечуючи потрібні умови твердіння, а також вдаючись до конструктивних заходів, наприклад використовуючи усадкові шви.

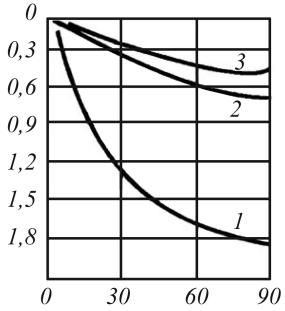


Рис. 8.10. Тенденції зміни усадки:
1 – цементний камінь;
2 – цементно-піщаний розчин; *3* – бетон

Усадкові деформації в процесі формування структури бетону пов'язані з хімічними і фізико-хімічними процесами взаємодії цементу з водою на початкових стадіях твердіння бетону. Для цього періоду характерний ефект контракції, що визначає усадку бетону. За даними С. В. Александровського, ця усадка мала в порівнянні з вологісною, а визначення її дуже складне. Контракційна усадка, як правило, не впливає на стан конструкцій у процесі експлуатації і характерна лише для дуже раннього віку бетону.

Методика визначення деформацій усадки, що розглядається нижче, враховує сумарний вплив зміни вологості бетону, карбонізації гідраоксиду кальцію і старіння гелю. При цьому два останні процеси зумовлюють необоротні деформації усадки.

Вільні відносні деформації усадки й набухання можна обчислити за формулами

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_{\text{ус}} &= \beta\left(W^{\text{e}} - W\right); \\ \varepsilon_{\text{наб}} &= \eta\left(W - W_{\text{п}}\right), \end{aligned}\right\}$$

де β та η – коефіцієнти відповідно лінійної усадки та нелінійного набухання бетону, які являють собою відносну деформацію бетону, мм/мм, внаслідок зміни його відносної вологості ω, г/г, в процесі рівномірного висихання або зволоження; $\beta \approx 3 \cdot 10^{-2}$ (мм/мм)/(г/г); $\eta \approx 5 \cdot 10^{-3}$ (мм/мм)/(г/г);

W^{e} – ефективна вологість бетону, зумовлена адсорбційно зв'язаною водою, видалення якої викликає усадку бетону;

$W_{п}$ – вологість бетону, г/г, на початку набухання.

Гранична рівномірна усадка $\varepsilon_{ум}^{\varphi}$ в умовах заданої вологості повітря φ дорівнює:

$$\varepsilon_{ум}^{\varphi} = \beta\left(W_{кр} + W_{\varphi}\right),$$

де $W_{кр}$ – критична вологість;

W_{φ} – розрахункова рівноважна вологість бетону, г/г, яка відповідає відносній вологості повітря φ.

З урахуванням деформацій усадки (при $t = \text{const}$) повна деформація бетону до розглядуваного часу t складе

$$\varepsilon_{б(t)} = \varepsilon_{0(t)} + \varepsilon_{п(t)} + \varepsilon_{ус(t)}.$$

Вільні температурні деформації, які викликані зміною температури, розраховують за формулою

$$\varepsilon_{t} = \alpha\,\Delta t,$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення бетону, який знаходиться в межах $(0{,}7\ldots1{,}5)\cdot10^{-5}/°C$, складає в середньому $1\cdot10^{-5}\ \frac{1}{°C}$;

Δt – зміна температури, °С.

Особливо слід виділити повзучість, що виявляється в умовах стискувальних, розтягувальних та інших напруженнях, що діють протягом тривалого часу. Якщо бетонний зразок залишити в завантаженому стані, то пластичні деформації $\varepsilon_{п}$ у ньому зростатимуть протягом тривалого часу, хоча навантаження на зразок не збільшується. Властивість бетону деформуватися (повзти) в часі в умовах постійного навантаження називається *повзучістю*. При $\sigma \le (0{,}3\ldots0{,}6)$ залежність між $\varepsilon_{п}$ і σ вважають лінійною, якщо $\sigma > (0{,}3\ldots0{,}6)R$ повзучість відносять до нелінійної, за якої структура бетону порушується. Для оцінки лінійної повзучості використовують характеристику повзучості φ_{t}:

$$\varphi_{t} = \frac{\varepsilon_{п(t)}}{\varepsilon_{0}},$$

де $\varepsilon_{п(t)}$ – відносна деформація повзучості до моменту часу t;

ε_{0} – пружна деформація у момент завантаження ($t = 0$).

Ця характеристика залежить від виду цементу, природи заповнювачів, складу бетонної суміші (чим менша витрата цементу й нижче В/Ц відношення, тим меншою є повзучість).

Деформації повзучості найінтенсивніше розвиваються з моменту прикладення навантаження і затухають лише через кілька років. Наслідком повзучості є *релаксація* – перерозподіл напружень та їх часткове зменшення.

Повзучість у бетонах значною мірою зумовлена повзучістю цементного каменю і, відповідно до закону конгруенції ШБК, зростає зі збільшенням у ньому гелю в міру зростання водоцементного відношення. Але повзучість залежить також від якості заповнювача. Вона більша при зменшенні модуля пружності гірської породи, застосованої для одержання заповнювача. Крім того, повзучість пов'язана з наявністю мікротріщин у контактній зоні на границі цементного каменю із заповнювачем і залежить ще від ряду причин.

Викликають деформації і температурні коливання повітря чи іншого зовнішнього середовища. Внаслідок різних температурних коефіцієнтів складових бетону в ньому виникають напруження, які при великих температурних перепадах можуть бути значними. Крім того, при фазовому переході вміщуваної у бетоні води у льод бетон розширюється.

Коефіцієнт теплового розширення бетону визначається з формул:

– лінійного розширення:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_0\left(t_2 - t_1\right)} = \frac{1}{l_0}\frac{\Delta l}{\Delta t};$$

– об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{V_2 - V_1}{V_0\left(t_2 - t_1\right)} = \frac{1}{V_0}\frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

Для ізотропного тіла $\beta = 3\alpha$.

Для полікристалічних ізотропних тіл середні значення коефіцієнтів температурного розширення становлять:

$$\alpha_{\text{сер}} = \frac{\alpha_1 l_1 K_1 + \alpha_2 l_2 K_2}{l_1 K_1 + l_2 K_2};$$

$$\beta_{\text{сер}} = \frac{\beta_1 V_1 K_1 + \beta_2 V_2 K_2}{V_1 K_1 + V_2 K_2},$$

де l_0 і V_0 – довжина та об'єм за вихідної температури;
t_1 та t_2 – температурні межі вимірювання;
$\alpha_i, \beta_i, V_i, K_i$ – характеристики компонентів;
K – модуль об'ємного стиску, який дорівнює $\frac{E}{3(1-2\mu)}$ (E – модуль пружності, μ – коефіцієнт Пуассона).

Коефіцієнт теплового розширення бетону знаходиться в межах від $7 \cdot 10^{-6}$ до $12 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}, що залежить від різновиду крупного заповнювача; у середньому він приймається рівним $10 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}.

Для вимірювання температурних деформацій застосовують дилатометри.

Певну користь у «заліковуванні» виникаючих при твердненні дефектів можуть приносити, як показали дослідження А. В. Саталкіна, статичні й навіть комплексні (статичні з динамічними й вібраційними) навантаження на молодий бетон. За певних умов раннє навантаження бетону, що твердіє, викликає закономірне зміцнення, що є наслідком деякої сприятливої перебудови мікро- і макроструктури. Важливо тільки, щоб напруження не перевищували границі тривалої міцності бетону на ранній стадії його твердіння.

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

Для визначення деформацій застосовують прилади, які називають тензометрами. Тензометри для виміру лінійних деформацій бетонних і залізобетонних конструкцій за способом перетворення вимірюваної деформації підрозділяються на ТМРС (механічні, важільно-стрілкові); ТМРЛ (механічні, важільно-лімбові); ТОМП (оптично-механічні, призмові) та ТЕМТ (електро-механічні, тензорезисторні).

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

Найважливішою характеристикою якості гідротехнічного й дорожнього бетону є морозостійкість. За цією властивістю бетони маркують: F50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 і 500. Такими, що не витримали встановленого маркою числа циклів заморожування за температури –15…20 °C і відтавання за температури +15…20 °C (за стандартом), вважаються бетонні

зразки, що втрачають більш ніж 5 % за масою за час випробувань (ця оцінка тільки для дорожніх бетонів), а в міцності під час стиску – більше 15 % від її первісного значення. За стандартом для порівняння приймається міцність зразків у так званому еквівалентному віці, встановленому з урахуванням тривалості тверднення.

Бетон розділяють на марки і за водонепроникністю, що має особливе значення, коли в експлуатаційних умовах бетон піддається тривалому контактуванню з водним середовищем. Перевірка повної водонепроникності (чи іноді водопроникності) проводиться в лабораторії шляхом впливу напору води на зразок циліндричної форми товщиною 15 см при різних гідростатичних тисках, що виражаються в паскалях (від $2 \cdot 10^5$ до $12 \cdot 10^5$). Прийнято такі марки: W 2, 4, 6, 8, 10 і 12, що особливо важливо враховувати в процесі перевірки якості бетону для труб, гідротехнічного й інших видів важкого бетону.

Водонепроникний бетон може виявитися проникним при більш високих тисках води чи при рідинах, що більш рухомі, з меншою в'язкістю, наприклад легких нафтопродуктах. У таких випадках підвищують непроникність бетону введенням ущільнюючих (наприклад, алюмінату натрію) і гідрофобізуючих домішок, створенням захисних синтетичних плівок. Фільтрація нафтопродуктів знижується при додаванні в бетонну суміш хлорного заліза чи інших перевірених домішок. Для всіх рідких середовищ фільтрація ускладнюється при використанні в бетоні розширного портландцементу. Подібно іншим бетонам на основі неорганічних в'яжучих речовин, важкий бетон при оптимальних структурах (за І. О. Риб'євим) підпорядковується закону створу (рис. 8.11) й іншим загальним закономірностям. Стосовно механічних властивостей діє закон міцності оптимальних структур: добуток міцності бетону на ступеневу функцію фазового відношення (В/Ц) є величина постійна.

Цією постійною величиною служить аналогічний добуток міцності цементного каменю на його водоцементне відношення при оптимальній структурі, віднесений до того ж степеня. Показник степеня *n* в обох випадках показує вплив складових компонентів на загальний стан структури бетону.

Із закону міцності оптимальних структур випливає загальна формула міцності бетонів:

$$R_{б} = \frac{R^{*}_{ц}}{x^{n}}, \qquad (8.23)$$

де $R_б$ – міцність цементного бетону оптимальної структури, виражена будь-якою її характеристикою (границя міцності під час стиску, границя міцності під час центрального розтягу чи згину й т. ін.);

$R^*_ц$ – міцність цементного каменю оптимальної структури, виражена тією ж характеристикою, що була прийнята для оцінки міцності цементною бетону (і в тому ж віці);

x – відношення фактичної величини В/Ц бетону до $В^*$/Ц цементного каменю оптимальної структури; воно дорівнює відношенню усереднених товщин (δ, δ^*) плівок водного середовища у свіжовиготовлених матеріалах, тобто $x = В/Ц / В^* / Ц = \delta / \delta^*$;

n – показник степеня, що відображає вплив якості вихідних матеріалів, дефектів структури на міцність бетону;

Екстремум у залежності $R = f(В/Ц)$ визначається дослідним шляхом.

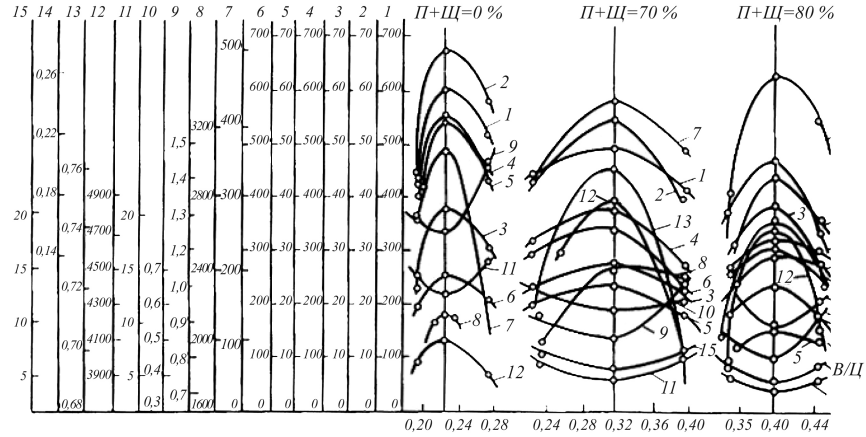


Рис. 8.11. Загальна закономірність екстремальних показників властивостей бетону при оптимальних структурах:

1 – границя міцності під час стиску $R_{ст}$, кг/см^2; *2* – границя міцності на розтяг під час згину $R_н$, кг/см^2; *3* – границя міцності на розтяг під час розколювання $R_р$, кг/см^2; *4* – призмова міцність $R_{пр}$, кг/см^2; *5* – пружні деформації під час стиску ($\varepsilon_{ст} \cdot 10^8$); *6* – модуль пружності ($E \cdot 10^6$), кг/см^2; *7* – морозостійкість *F*, кількість циклів; *8* – середня густина ρ_0, кг/м^3; *9* – усадка $\varepsilon_{ус}$, мм/м; *10* – коефіцієнт виходу бетону $\beta_в$; *11* – водопоглинання *В*, %; *12* – швидкість ультразвуку υ, м/с; *13* – коефіцієнт Пуассона μ; *15* – водонасиченість $В_н$, %

З формули (8.23) випливає, що підвищити міцність бетону можна, по-перше, шляхом усілякого збільшення $R_{ц}^{*}$ – уведенням хімічних домішок типу каталізаторів чи поверхнево-активних речовин, збільшенням вмісту кристалічної фрази на стадії твердіння, додатковим помелом, переходом на більш високі марки в'яжучого й ін. З тією ж метою потрібно зменшувати значення реального В/Ц і показника степеня *n*. Перше досягається за допомогою пластифікуючих і суперпластифікуючих домішок, а також інтенсифікацією перемішування суміші чи іншими заходами, що знижують товщину плівок водного середовища на твердих частинках цементу чи іншого в'яжучого. Показник степеня можна зменшити фракціонуванням і промиванням заповнювача, складанням щільних сумішей, застосуванням кубоподібного крупного заповнювача, активуванням поверхні зерен і т. ін. Великий резерв підвищення міцності полягає в оптимізації технологічних переробок, особливо режимів ущільнення в процесі формування й обробки відформованих виробів і конструкцій.

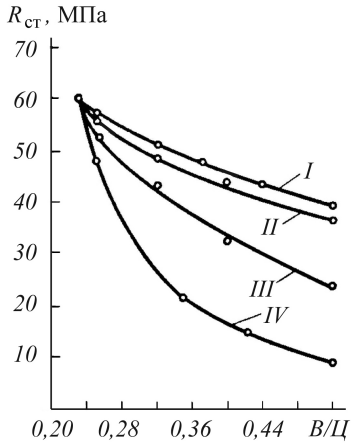


Рис. 8.12. Гіперболічні криві міцності бетонів оптимальних структур; інтенсивність спаду міцності залежить від різновиду і якості в'яжучої речовини бетонів (*I–IV*)

Графічно формула (8.23) виражається у вигляді гіперболічної кривої в прямокутній системі координат, на якій по осі ординат відкладені міцність, а по осі абсцис – водоцементне відношення (рис. 8.12). На цих площинних графіках відсутня третя найважливіша змінна величина, хоча вона в кожній точці кривої оптимальних структур завжди присутня і змінюється разом із двома іншими змінними – міцністю і водоцементним відношенням. Цією третьою величиною є вміст в'яжучої речовини в оптимальній структурі бетону. Однак для спрощення користуються площинним вираженням цієї функції, маючи на увазі, що в кожній новій точці кривої оптимальних структур незримо набуває свого нового значення і величина С (її іноді називають «концентрацією в'яжучого»). Тому за допомогою цієї величини також можна керувати міцністю бетону, як і за допомогою R^{*}, В/Ц і *n*. Варто тільки враховувати, що зі збільшенням В/Ц

обов'язково знижується *С*. Якщо цього дійсно не відбувається, значить структура – неоптимальна.

У технології важкого бетону найбільши поширеними поки що є формули Боломея–Скрамтаєва (8.1) і (8.2), що були використані вище при підборі складу бетону. Це пояснюється простотою прямолінійної функції на відміну від гіперболічної. Тим часом дослідами І. Г. Малюги (результати опубліковані в 1895 р.), М. М. Бєляєва (1927) й інших дослідників було встановлене зниження міцності при збільшенні водоцементного відношення. Ця залежність була виражена у вигляді формули Абрамса–Бєляєва:

$$R_{28} = \frac{R_{ц}}{A\left(В/Ц\right)^{n}}, \tag{8.24}$$

де R_{28} – міцність бетону у віці 28 діб;

$R_{ц}$ – міцність портландцементу під час стиску до 28 діб, випробуваний у розчині 1:3 жорсткої консистенції (за старим стандартом);

A і n – емпіричні коефіцієнти: $n = 1{,}5$; для бетону з гравієм $A = 4$, із щебенем $A = 3{,}5$. Графічно формула Абрамса–Бєляєва зображується гіперболічною кривою.

Загальна формула (8.24) міцності бетону, безпосередньо пов'язана із законом міцності оптимальних структур, за зовнішним виглядом подібна до формули Абрамса–Бєляєва, отриманої набагато раніше. І вони схожі між собою не тільки за зовнішним виглядом; у них набув відображення найважливіший специфічний закон бетонів, який називається законом водоцементного відношення – зі збільшенням В/Ц міцність бетону знижується при застосуванні даного цементу; вони також мають характер гіперболічної функції. Однак загальна формула міцності має і принципові відмінності від формули Абрамса–Бєляєва і тим більше від формули Боломея–Скрамтаєва. Головна відмінність полягає в тому, що загальна формула стосується будь-яких бетонів оптимальної структури і, більше того, вона поширюється на інші ШБК оптимальної структури при відповідній зміні фазового відношення (с/ф). Важливо також, що кожен член загальної формули має строгий фізичний зміст і функціональне значення, що допомагає, як відзначено вище, спрямовано регулювати дану властивість бетону й удосконалювати технологію. Міцність бетону при оптимальній структурі зменшується не тільки тому, що збільшується В/Ц, але й унаслідок одночасного зменшення кількості (*С*) в'яжучої речовини й відпо-

відно збільшення заповнюючого компонента в бетоні. Цей взаємозв'язок R, В/Ц і C у теорії ШБК має математичне вираження.

Значення узагальнюючої формули полягає ще й у тому, що вона дозволяє передбачати максимально можливу міцність бетону при даній активності цементу, яка визначається за міцністю цементного каменю оптимальної структури. Вище останньої міцність бетону бути не може, оскільки заповнювач завжди вносить деяку кількість додаткових дефектів у структуру цементного каменю, виготовленого при загальній технології і загальних режимах тверднення матеріалів. Винятки з цього правила можливі тільки якщо в бетон додаються спеціальні різновиди заповнювачів, в основному армувального характеру, зміцнення за рахунок яких може перекрити зниження міцності від внесених у структуру дефектів.

Значення міцності в технології бетону істотно зростає, якщо в заданій межі вона залишається постійною при виготовленні масової продукції. Якщо ж вона змінюється від замісу до замісу, то одержувана продукція внаслідок неоднорідності за міцністю є низькою за якістю й дорогою за вартістю. Оцінку однорідності бетону заданої марки проводять за результатами контрольних випробувань бетонних зразків за більш-менш тривалий період часу. З цією метою визначають коефіцієнт варіації за формулою $C_V = S/R_{\text{ср}}$, де S – середнє квадратичне відхилення часткових результатів випробування від середньої міцності ($R_{\text{ср}}$), яке визначається за формулою

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left(R_i - R_{\text{ср}}\right)^2}{n-1}}.$$

Середня міцність бетонних зразків дорівнює

$$R_{\text{ср}} = \sum R_i / n,$$

де R_i – гранична міцність окремого зразка;

n – число випробуваних зразків бетону даної марки.

Однорідність бетону визнається задовільною, якщо коефіцієнт варіації C_V має значення не більше ніж 0,135 (чи 13,5 %). Правильно організоване виробництво бетону дозволяє досягати значення C_V не більше 7…8 чи навіть нижче. Зниженню C_V сприяють автоматизація й повна механізація виробничих процесів, високий рівень підготовки вихідних матеріалів, оптимізація складу бетону й технологічних операцій на заводі.

Враховуючі переваги важкого бетону для нього характерні два великі недоліки – велика середня густина і значна теплопровідність. Тому, коли не потрібна висока міцність, переходять до застосування легких, менш міцних, але більш «теплих» бетонів.

8.3. Легкі бетони

Легкі бетони набувають у будівництві широкого застосування. Конструкції з легких бетонів дозволяють поліпшити теплотехнічні й акустичні властивості будівель, значно знизити їх масу, успішно вирішити проблему об'ємного і багатоповерхового будівництва, а також будівництва в сейсмічних районах країни. Із застосуванням легких бетонів можна зменшити вартість будівництва на 10…20 %, знизити трудові витрати на будівництвах до 50 %, збільшити продуктивність праці на 20 %. Розвиток виробництва бетонів із застосуванням пористих заповнювачів характерний як для нашої країни, так і для закордонного будівництва. Але в нашій країні найбільш широко використовуваним заповнювачем є керамзит, а також аглопорит, перліт та ін. Керамзитовий гравій становить до 80 % загального обсягу сучасного виробництва штучних пористих заповнювачів. За кордоном більш типовим легким заповнювачем є термозит (шлакова пемза).

Бетони називаються легкими, якщо в сухому стані їх середня густина не перевищує 2 000 кг/м^3. Їх маси знижують в основному за рахунок полегшення заповнювача, іноді ще шляхом поризації в'яжучої частини.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-18-95. «Бетони легкі. Загальні технічні умови» за границею міцності під час стиску конструкційні легкі бетони розділяють на класи В12,5; В15; В17; В20; В22; В25; В30; В35; В40; без урахування вимог стандарту СЕВ їх поділяють за міцністю під час стиску на марки (кгс/см^2) М20; М35 і т. д. до М500 . Теплоізоляційні легкі бетони розділяються на класи В0,35; В0,75; В1; В2. За середньою густиною в сухому стані існують такі марки легких бетонів: D200; D300; D400…D2 000. За морозостійкістю легкі бетони витримують від 25 до 500 циклів навперемінного заморожування й відтавання. За водонепроникністю конструкційні легкі бетони мають ті ж марки, що й важкі бетони.

Залежно від призначення й технічних властивостей легкі бетони розділяють на конструкційні, які застосовують для несучих конструкцій (стіни, перекриття й ін.); теплоізоляційні, які використовують для шарува-

тих огороджувальних конструкцій, як утеплювач і різного роду теплоізоляції, звукопоглинання; конструкційно-теплоізоляційні з міцністю 25…100 кгс/см^2 для огороджень.

Конструкційні легкі бетони марок 150…400 отримують на основі портландцементу марок 300…600 із застосуванням керамзитового гравію (керамзитобетони), аглопоритового щебеню (аглопоритобетони) чи шлакової пемзи (шлакобетони). Як дрібний заповнювач застосовують природний пісок, але може бути використаний і дроблений пісок. Середня густина цих бетонів із застосуванням кварцового піску складає 1 600…1 800 кг/м^3, що значно менше, ніж при застосуванні щільного заповнювача для одержання важкого бетону тієї ж міцності. Ефективність легкого бетону в даному випадку особливо наочна при порівнянні їх за коефіцієнтами конструкційної якості (ККЯ). Цей коефіцієнт дорівнює відношенню границі міцності бетону під час стиску до його середньої густини. За однакової міцності у легкому конструкційному бетоні в середньому він вище в 2 400/1 700 = 1,4 рази, тому легкі бетони доцільніше застосовувати, ніж важкі однакової міцності, у міжповерхових перекриттях опалювальних будівель, у проїжджій частині мостів, у залізобетонних конструкціях зі звичайною і попередньо напруженою арматурою (балки, прогони, сходові марші й площадки і т. ін.). Широкому застосуванню конструкційних легких бетонів у зовнішніх конструкціях сприяє висока морозостійкість (F 35 і вище), а при використанні для гідротехнічних споруд їх морозостійкість збільшують до 300 і вище, що досягається введенням деяких додаткових речовин (ПАР). Теплопровідність цих бетонів у сухому стані дорівнює 0,35…0,60, а у вологому стані 0,6…0,8 Вт/(м·К), тоді як у важких вона становить 1,25…1,55 Вт/(м·К).

Теплоізоляційні легкі бетони мають невисоку середню густину – нижче 500 кг/м^3 і мають також гарні теплозахисні властивості, тому що в сухому стані їх теплопровідність нижче 0,20 Вт/(м·К). Позитивні властивості теплоізоляційних легких бетонів дозволяють використовувати їх у конструкціях як досить надійну теплоізоляцію.

Бетони середніх марок (за міцністю) мають середню густину в межах 500…1 400 кг/м^3 і теплопровідність до 0,5…0,6 Вт/(м·К) і тому з великим успіхом поєднують функції конструкційного й теплоізоляційного матеріалу (конструкційно-теплоізоляційного бетону).

Величину середньої густини й міцність легкого бетону регулюють в основному за допомогою підбору відповідного заповнювача – природного чи штучного. Оскільки цементний камінь значно обважнює бетон, то його вміст намагаються довести до мінімуму, а макроструктуру наблизити до контактної при даній технології його формування. У зв'язку з цим для

легких бетонів використовується пористий заповнювач, особливо той, який зберігає міцність на достатньому рівні. У загальній формулі міцності бетону (8.26) значення показника степеня *n* швидко збільшується зі зниженням міцності заповнювача, зменшенням його середньої густини. Найбільш часто в легких бетонах застосовують з природних заповнювачів пемзу, вулканічний туф, черепашник, вапняний туф та ін., а зі штучних – шлакову пемзу (термозит), керамзит, аглопорит, шунгізит (спучені при нагріванні шунгітові сланці), спучені перліти та вермикуліти та ін. За середньою густиною вони знаходяться в широкому діапазоні марок – від 100 до 1200 і більше. Міцність цих зернистих заповнювачів звичайно оцінюється за величиною напруження при подрібнюванні їх у металевих циліндрах, і вона коливається в межах від 0,4 до 20 МПа.

У легкому бетоні може бути використаний не тільки мінеральний, але й органічний заповнювач – деревна дробленка, здубиця, кострица, гранульований пінополістирол і т. ін. Розмір зерен заповнювача дорівнює від 1,25 до 40 мм. Одержуваний різновид легкого «деревобетону» називається арболітом, він використовується як стіновий матеріал у житловому будівництві.

В'яжучою речовиною в легких бетонах служать звичайний чи швидкотверднучий портландцемент, а в окремих випадках шлакопортландцементи. Арболіт іноді виготовляють і на основі високоміцного гіпсу.

Підбір складу, приготування, укладання й ущільнення бетонної суміші, догляд за бетоном, наприклад, у покриттях, не відрізняється від тих же операцій, прийнятих у технології важких бетонів. Загальний метод проектування складу ШБК повною мірою поширюється на легкі бетони, хоча за аналогією з важкими існують інші, специфічні методи підбору складу легкого бетону.

Одна з таких часткових закономірностей дуже близька до загального закону створу ШБК. Вона була детально вивчена проф. Н. А. Поповим і описана в теорії легких бетонів. Відзначено, що при даному складі легкого бетону його міцність пов'язана з кількістю води, що додається до суміші. У міру додавання води міцність бетону збільшується і максимум міцності досягається при оптимальній кількості води. Пройшовши через максимум, при подальшому збільшенні вмісту води міцність знижується під впливом зниження густини бетону. Встановлено, що найбільшу міцність і оптимальну рухливість отримують, коли коефіцієнт виходу ущільненої суміші є найменшим. Показано, що на цю залежність впливають технологічні фактори. Характер розташування екстремумів властивостей легкого бетону (міцність, рухливість, коефіцієнт виходу) на одній вертикальній лінії залишається незмінним (рис. 8.13), відображаючи як

приклад загальний закон створу, відкритий значно пізніше цієї важливої закономірності. Як відзначалося вище, найбільшого поширення в Україні набули легкі бетони із застосуванням у них керамзиту, тобто керамзитобетон, рідше – аглопоритобетон, шунгізитобетон та ін. Нерідко у бетон вводять домішки ще більш легких заповнювачів, наприклад перліту у вигляді піску. Так, поширення набув поризований керамзитобетон зі спученим перлітовим піском. Останній додається в обмеженій кількості (до 0,2 м^3 на 1 м^3 бетону), що забезпечує необхідну густину бетону.

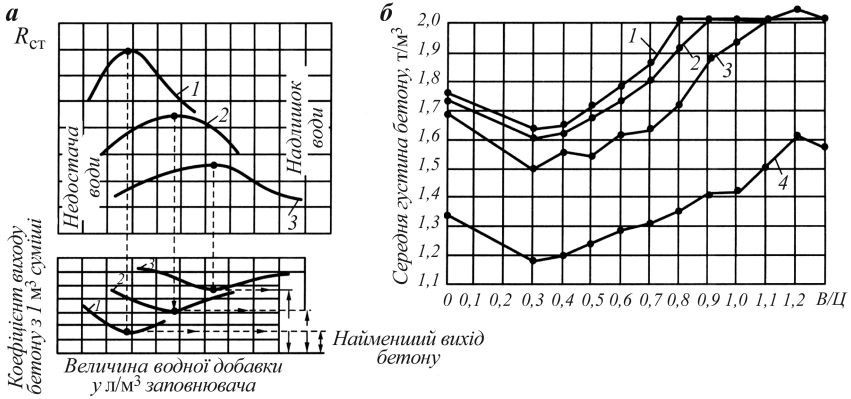


Рис. 8.13. Загальний характер впливу кількості води на властивості легкобетонної суміші та затверділого бетону:

а – зв'язок між водовмістом, міцністю легкого бетону та виходом укладеної легкобетонної суміші при ущільненні (за М. О. Поповим): *1*– сильному; *2* – середньому; *3* – слабкому; *б* – вплив В/Ц на густину свіжоукладеної суміші (складу 1:2:5 за масою) шлакопемзобетону: *1* – вібрування 5 хв; *2* – те ж, 3 хв; *3* – те ж, 1 хв; *4* – суміш у пухконасипному стані

Незалежно від різновиду заповнюючих частин на легкі бетони повністю поширюються загальні закономірності оптимальних структур (див. рис. 8.11).

Серед різновидів легких бетонів – крупнопористий і поризований бетони.

Крупнопористий, чи безпіщаний, бетон є економічним і ефективним. Для його виробництва потрібні порівняно невеликі капіталовкладення, невелика витрата цементу і, в основному, місцеві заповнювачі. Цей бетон легкий, має малу теплопровідність, що знижує витрату палива на опалення

приміщень. Він не містить піску, що зумовлює його крупнопористу будову.

Як заповнювач в крупнопористих бетонах використовується щебінь чи гравій розміром від 5 до 40 мм, які можуть бути щільними чи пористими, наприклад керамзит, цегляний бій та ін. Як відзначено, у цьому бетоні обмежений вміст портландцементу (120…150 кг/м^3), що призводить до одержання бетону порівняно невисоких класів В1, В2, В2,5, В3,5, В5 і В7,5. В разі введення пластифікуючих домішок можливо ще більше зниження витрати цементу – 80…100 і нижче. Крупнопористий бетон використовується як стіновий матеріал опалюваних будівель висотою до чотирьох поверхів, що піддають двосторонньому оштукатурюванню, щоб виключити продувність стін.

Іншим різновидом легкого бетону є *поризований*, який відрізняється тим, що в ньому існує не тільки легкий заповнювач, але й спеціально поризований цементний камінь. Останнє досягається введенням поризуючих речовин (піни), причому замкнуті пори заповнені повітрям. Поризований бетон виготовляють з цементу, мінерального порошку (меленого з природно кам'яних матеріалів або тонкомеленого гранульованого шлаку, золи і т. ін.) шляхом змішування їх з попередньо підготовленою спіненою масою з води і піноутворювача, наприклад смолосапонінового, одержуваного з мильного кореня.

Склад бетону встановлюється в лабораторії за допомогою загального методу проектування оптимальних складів ШБК. Цей різновид бетону характеризується поліпшеними теплотехнічними властивостями й тому застосовується як теплоізоляційний чи конструкційно-теплоізоляційний матеріал у стінових огороджувальних конструкціях. Однак слід зауважити, що при виготовленні він потребує додаткових трудовитрат і тому застосовується порівняно рідко.

Ніздрюваті бетони (ДСТУ Б В.2.7-45-96) як різновид легких бетонів використовуються набагато частіше крупнопористих і поризованих. Вони мають своєрідну (ніздрювату) структуру макропор, рівномірно розподілених в об'ємі бетону й відокремлених одна від одної тонкими й досить міцними перегородками (мембранами). Середня густина таких бетонів у висушеному стані коливається в широких межах – від 1200 і нижче 500. При середній густині не більше 500 кг/м^3 вони використовуються як теплоізоляція, від 500 до 900 кг/м^3 – як конструкційно-теплоізоляційні й від 900 до 1200 кг/м^3 – конструкційні матеріали, звичайно армовані металевою арматурою.

Інші властивості характеризуються такими показниками: міцність – 3…15 МПа, морозостійкість – більше 25 циклів, теплопровідність –

0,08…0,25 Вт/(м·К), усадка – 0,1…0,4 мм/м. Стіни з ніздрюватих блоків є найбільш економічно ефективними в порівнянні з іншими огороджувальними конструкціями – залізобетонними тришаровими панелями з мінеральним утеплювачем, панелями з керамзитобетону, цегляними стінами й ін. У ніздрюватих, як і у поризованих бетонів, цементний камінь у результаті додавання у свіжоприготовлену масу домішки-пороутворювача виявляється насиченим порами, в основному замкнутими, ніздрюватими. На відміну від поризованих, виробництво ніздрюватих бетонів супроводжується більш вираженим ефектом спучування вихідної суміші.

Будь-яка в'яжуча речовина, – як неорганічна, так і органічна найчастіше спучується під впливом додаткових реагентів, що вводяться в суміш. У результаті взаємодії реагуючих речовин у суміші виділяється газ, наприклад водень чи кисень. Крім хімічних методів поризації, спучування може проходити механічним шляхом за рахунок утворення в суміші стійкої піни. У зв'язку з цим ніздрюваті бетони розділяють на газобетони й пінобетони.

Газобетон і газосилікат. Переважне поширення в будівництві набули газобетони. Як газоутворювач вводиться тонкомелений алюмінієвий порошок (алюмінієва пудра ПАП-3). Вступаючи в хімічну реакцію з гідроксидом кальцію, він сприяє виділенню молекул водню і відповідної енергії хімічного зв'язку:

$$3Ca(OH)_2 + 2Al + 6H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3H_2O.$$

Водень, що виділяється, частково втрачається при перемішуванні компонентів газобетону (в'яжуче, заповнювачі), але велика його частина (до 70…85 %), розширюючись, спучує цементне тісто. Ніздрювате цементне тісто твердіє, утворюючи високопористу матричну частину цього конгломератного матеріалу. Крупний заповнювач у ньому відсутній. Щоб процес спучування відбувався інтенсивніше, до портландцементу додають деяку кількість вапна-пушонки – приблизно 10 % від його маси. Швидке укладання суміші в металеві форми приводить до того, що процес газоутворення відбувається в основному в період перебування суміші в цих формах і триває приблизно 15…20 хв. Важливо, щоб до моменту завершення процесу виділення водню бетонна суміш загустіла й змогла зафіксувати ніздрювату структуру матричної частини бетону.

Іншим газоутворювачем замість алюмінієвої пудри може служити пергідроль, тобто технічний перекис водню – 30 %-вий водний розчин. У лужному середовищі цементного тіста чи цементного розчину

пергідроль розкладається з виділенням молекул кисню й відповідної енергії хімічного зв'язку: $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$.

Молекули кисню спучують цементне тісто чи будівельний розчин протягом 7…10 хв, що дозволяє отримати газобетон середньою густиною 500…1200 кг/м^3. Дослідження показали позитивний вплив на утворення макроструктури ніздрюватих бетонів спільного застосування пергідролю і хлорного вапна. Підвищенню однорідності розподілу пористості сприяє короткочасна (до 20 с) обробка компонентів ніздрюватобетонних сумішей в електромагнітному полі, особливо в присутності магнітоактивних домішок, наприклад піритних недогарків, феросиліцію.

Вироби з ніздрюватого бетону виготовляють автоклавним і неавтоклавним способами. Технологія може бути ливарною за високих значень фазового відношення (В/Т = 0,45…0,70) чи вібраційною, за якою застосовуються суміші зі зниженим фазовим відношенням (В/Т = 0,30…0,40). Форми можуть бути горизонтальними розбірними (вироби у автоклавах у вертикальному положенні), вертикальними у вигляді касетних установок. На більшості заводів у нашій країні набув поширення ливарний спосіб з різальною і віброрізальною операціями. Для різального способу виробництва характерним є формування масиву об'ємом 5…18 м^3 з подальшим його розрізуванням у двох чи трьох площинах і автоклавною обробкою виробів на піддонах.

Виготовлення газобетону здійснюється в такій послідовності. В'яжуче (звичайно застосовується портландцемент) зважується на автоматичних дозаторах і надходить у змішувач безперервної дії. Сюди ж завантажують кремнеземистий компонент – мелений кварцовий пісок, у якому міститься не менше 80…85 % кремнезему, тонкістю помелу більше 2 000 см^2/м, що в 10 разів і більше вище питомої поверхні немеленого піску. На деяких заводах з виготовлення ніздрюватого бетону застосовують замість меленого піску маршаліт, каракумські барханні піски, золи-винесення ТЕС, мелені шлаки й ін. При підвищеній середній густині газобетону (понад 1 000 кг/м^3) допускається заміна частини меленого піску немеленим. Для регулювання терміну тужавлення цементу іноді в змішувач додають двоводний гіпс.

Перемішування сухих компонентів здійснюється з водою (2…3 хв), а потім у суміш вводиться водна суспензія алюмінієвої пудри чи інший газоутворювач, наприклад пергідроль. Готову добре перемішану суміш вивантажують з газобетонозмішувача в сталеві форми, у яких відбувається її спучування за температури 20…40 °С. Формування виробів (плит, блоків та ін.) може проводитися на віброплощадках. Великого поширення набуло використання вібрації при перемішуванні й формуванні виробів (віброспучування). Такий спосіб поліпшує ніздрювату структуру

газобетону та його однорідність. Вібрація дозволяє знизити кількість води замішування, прискорити спучування й зміцнення в порівнянні з безвібраційною, чи ливарною, технологією, здійснюваною в нерухомих формах. Особливо ефективна вібрація при введенні пластифікатора чи поверхневоактивних речовин, що знижують реологічний опір суміші.

Зараз набуває поширення виробництво газобетону у вертикальних касетних формах. Касета має ряд розділових вертикальних металевих стінок у відстані, зумовленій товщиною панелі, що формується. Між кожними двома формувальними відсіками розміщується тепловий відсік. Для підвищення якості й удосконалення технології виробів з ніздрюватих бетонів, особливо знижених середніх густин, останнім часом почали застосовувати герметизацію формувального простору. У результаті підвищеного тиску газу створюються умови для одержання щільніших міжпорових перегородок, збільшення міцності газобетону. Крім того, усувається зрізання краю і збільшується оборотність касетних установок, що підвищує ефективність виробництва газобетону.

На завершальній стадії форми направляють на передавтоклавну витримку. На цій стадії технології видаляється нерівна верхня частина («край») і масив розрізається на вироби заданих розмірів за допомогою різальної машини. У ній «ножем» є натягнута металева струна, яка виконує зворотно-поступальні й обертальні рухи, що дозволяє розрізати масив у вертикальному й горизонтальному напрямках. Через 30…40 хв, а при вібраційному спучуванні трохи швидше, вироби направляються у автоклави для теплової обробки. Якщо в'яжучим є портландцемент, то подальше твердіння виробів можливе і без автоклавів. тужавлення виробів у автоклавах є складним фізико-хімічним процесом. Воно проводиться при поступовому підйомі, ізотермічній витримці й зниженні тиску пари й температури середовища. Ізотермічний період за найвищої температури 175…200 °С становить приблизно 6…8 год. В основному утворюються гідросилікати кальцію й інші сполуки, які зміцнюють структуру.

Після автоклавної обробки вироби транспортують до складського приміщення, роблять перевірку розмірів і за необхідності – фрезерування, обробку поверхні й т. ін. Якщо в'яжучим є вапно з кремнеземистим компонентом, а одержуваний конгломератний матеріал – газосилікат, то автоклавна обробка виробів обов'язкова. Вона може починатися через 20…30 хв після формування замість 30…40 хв при газобетоні. Слід зауважити, що найбільший об'єм (близько 2/3) виробництва теплоізоляційних ніздрюватих бетонів припадає на частку газосилікату.

Витрата вапна в ніздрюватих бетонах трохи нижча, ніж портландцементу: відповідно 150…180 замість 270…300 кг/м^3 у газобетоні при

однаковій середній густині (близько 600 кг/м^3). При застосуванні вапняно-цементного в'яжучого загальна витрата його зростає, але витрата кожного компонента складає близько 125 кг/м^3.

Пінобетон і піносилікат отримують із застосуванням піноутворювачів – смолосапонінового, клейканіфольного, ГК, алюмосульфонафтенового й ін. Щоб технічна піна до затвердіння її стінок («мембран») не розпадалася, у суміш уводять стабілізатор – в'язкі речовини типу рідинного скла, тваринного клею. Основним компонентом суміші, як і раніше в газобетонах і газосилікатах, залишається цементне тісто, цементно-піщана чи вапняно-піщана розчинні суміші. Пісок піддають частковому чи повному помелу, іноді з в'яжучим. Піну виготовляють окремо у піногенераторі й потім пропускають її в пінобетонозмішувальний апарат; у нього подається також розчинна суміш. Через 2…3 хв перемішування готова пінобетонна суміш надходить у бункер, з якого вона розливається в сталеві форми. Далі повторюється технологічний цикл автоклавування. Оскільки спучування суміші з піною завершується в основному в змішувачі, то форма заповнюється повністю, тоді як при газоутворювачах наповнення форм бетоном було можливим не більше ніж на половину їх висоти.

При проектуванні складів газо- і пінобетонів, газо- і піносилікатів виходять з необхідності отримання заданих меж середньої густини й міцності з дотриманням найменшої витрати в'яжучих речовин і пороутворюючих речовин. Враховуються також вимоги стосовно морозостійкості бетону і технологічності бетонної суміші. Рекомендуються різні методи підбору складу ніздрюватих бетонів, що дозволяють отримувати необхідні числові показники основних властивостей, однак більш доцільно й у даному випадку користуватися загальним методом проектування оптимальних складів ШБК, у результаті чого можна одержати не тільки найбільш економічні бетони за своїм раціональним складом, а й найкращі за показниками будівельно-технологічних і експлуатаційних властивостей (закон створу).

Фізико-механічні властивості ніздрюватих бетонів характеризуються такими показниками: маркою за границею міцності під час стиску зразків-кубів з ребром 150 мм при їх вологості 10 ± 2 % за масою і 28-добовому твердненні в нормальних температурно-вологісних умовах зберігання. За цим показником ніздрюваті бетони розділяють на марки М15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, чи відповідно до ДСТУ Б В.2.7-45-96 на класи В1; В1,5; В2; В2.5; В3,5; В5; В7,5; В10. За морозостійкістю виділяють такі класи бетону: F15, 25, 35, 50, 75, 100. Міцність і морозостійкість бетону залежать від його застосування. Так, конструкційні ніздрюваті бетони повинні

мати марку за міцністю не менше 75 (клас не нижче В5,0), а за морозостійкістю – не менше 50.

При виготовленні армованих виробів з газо- і пінобетону, газо- і піносилікату рекомендується попередня антикорозійна обробка сталевої арматури, наприклад, шляхом нанесення на неї покриття. Важливі теплотехнічні властивості ніздрюватих бетонів, особливо при використанні їх як стінових та інших огороджувальних конструкцій. Так, коефіцієнт теплопровідності їх дорівнює звичайно 0,11…0,15, а при зменшенні середньої густини до 250…200 кг/м^3 він становить 0,08…0,07 Вт/(м·К), що відповідає хорошим теплозахисним матеріалам. Ці бетони мають також високу звукопоглинальну і звукоізолювальну здатність. Так, при середній густині 350 кг/м^3 коефіцієнт звукопоглинання становить 0,7 при частоті хвиль у середньому інтервалі 375…500 Гц. За вогнестійкістю багато марок ніздрюватих бетонів перевершують важкі цементні бетони внаслідок зниженого вмісту в них гідратних сполук, що є найбільш вразливими до впливу високих (екстремальних) температур. Додатково слід зауважити, що міцність, як і інші властивості ніздрюватих бетонів, зумовлена їх пористою структурою, і тому перебуває в прямій залежності від величини середньої густини. Якщо ж середня густина залишається постійною, то тоді найважливішим фактором є активність в'яжучого й оптимальний вміст компонентів у суміші, так що оптимальній структурі ніздрюватого бетону завжди відповідає комплекс найбільш сприятливих показників властивостей (закон створу).

8.4. Спеціальні бетони

Спеціальними називають бетони, що призначені для використання в спеціальних конструкціях чи монолітних спорудах. У зв'язку з цим доводиться вибирати найбільш відповідні в'яжучі й заповнювачі, трохи змінювати технологію чи окремі технологічні операції, параметри й режими. Зрозуміло, однак, що всі різновиди спеціальних бетонів, незалежно від їх конкретного призначення, залишаються представниками ШБК, показуючи комплекс екстремумів властивостей при оптимальних структурах, зберігаючи інші загальні закономірності, а також схожість між собою при оптимальних структурах. Водночас кожен різновид бетонів має специфічні особливості, що повинні враховуватися на всіх етапах їх

виготовлення й застосування. Розглянемо окремі представники спеціальних бетонів.

Дорожній цементний бетон належить до щільних важких бетонів, застосовується для влаштування автодорожніх покриттів, мостових конструкцій і труб. Для основ доріг і будівництва штучних інженерних споруд використовують важкі й легкі дорожні бетони.

Маркування дорожнього бетону здійснюють за міцністю і морозостійкістю. За границею міцності під час стиску класи дорожного бетону такі: В5, В7,5, В10, В15, В20, причому для верхніх шарів покрить – класи В22,5; В25; В30, а для нижніх шарів – не вище В15 і В20. Для легкого бетону – В5; В7,5; В20. У залізобетонних конструкціях мостів класи важкого бетону В15, В20, В25, В30, В40 і В45. Верхні межі цих класів застосовуються для мостових конструкцій з так званого попередньо напруженого залізобетону, а нижні межі – для масивних конструкцій – опор, фундаментів, труб та ін. За морозостійкістю бетони маркують у межах від 100 до 300 циклів заморожування. З метою підвищення цієї марки в бетон вводяться повітровтягувальні добавки зокрема СНВ (на основі абієтінової смоли), милонафт та ін. для залучення до 5…6 % повітря. Такою добавкою, повітряні бульбашки, що утворюються демпфірують тиск льоду в порах, що підвищує ефект морозостійкості за кількістю циклів випробування. Важливою властивістю бетону є стиранність, яка характеризується втратою маси зразка на 1 $см^2$ випробуваної поверхні, імітує опірність бетонного покриття впливу сил, що виникають при проїзді транспорту. Більш повну характеристику якості матеріалу дає випробування на знос, показником якого служить втрата маси (%) зразка (проби матеріалу) при випробуванні в стандартному поличному барабані. Підвищення опору стиранності й зносу досягають як застосуванням більш твердих порід заповнювача, так і втоплюванням у верхній шар свіжоукладеного бетону мінеральних зерен розміром до 5 мм з особливо твердих матеріалів, наприклад кварциту, іноді корунду й ін. Стабільність бетонного елементу відомою мірою може бути охарактеризована коефіцієнтом температурного розширення, величина якого з усередненням повинна бути не більше $10 \cdot 10^{-6} \ \frac{1}{°C}$.

Склад бетонної суміші визначається одним з відомих методів, а також загальним методом проектування оптимального складу ШБК. При цьому на стадії вибору вихідних матеріалів враховується, що найкращим різновидом в'яжучого для дорожнього бетону є портландцемент гідрофобний і пластифікований, а також звичайний, але зі зниженим вмістом C_3A (не більше 10 %), при класі В40 і вище для верхнього шару покриття.

Зі зменшенням вмісту цементу зменшуються усадкові деформації, при його оптимумі підвищується довговічність бетону. Для яких-небудь попередніх розрахунків звичайна витрата цементу приймається рівною 320…350 кг/м^3. Щебінь і гравій варто застосовувати промитими, щоб усіляко знизити вміст глинистих домішок (не більше 1 % за масою) і виключити органічні речовини. Піски бажано використовувати крупно- і середньозернисті природні чи штучні від дроблення щільних гірських порід.

Гідротехнічний бетон подібно дорожньому є різновидом щільних важких цементних бетонів, застосовується для зведення споруд, що періодично або постійно контактують з водою.

Гідротехнічний бетон повинен мати комплекс технічних властивостей: механічна міцність, яка характеризується вісьма класами – від В15 до В40 і визначається за границею міцності під час стиску; міцність на розтягання; водостійкість й водонепроникність; морозостійкість, яка характеризується сьома марками – від 50 до 500 циклів стандартного заморожування і відтавання, малим тепловиділенням при твердінні й ін. Особливо високі показники якості для бетонів, призначених для конструкцій і споруд у зонах змінного рівня води. Відповідні вимоги встановлюються і до якості матеріалів для бетону. Так, для підводних зон доцільно застосовувати шлакопортландцемент і пуцолановий портландцемент, які є досить водостійкими і низькотермічним. Для надводних зон застосовуються бетони на основі гідрофобного й пластифікованого портландцементу. До бетонів у зовнішніх частинах гідротехнічних споруд висувають підвищені вимоги за міцністю (не нижче В20), морозостійкістю (не нижче марки 300), водонепроникністю (не нижче W6 чи W8). Підвищені вимоги й до матеріалів-компонентів бетону. Так, портландцемент використовується сульфатостійкій, крупний заповнювач повинен мати підвищену морозостійкість (виготовлятися із щільних гірських порід). До бетонів для внутрішніх частин масивних гідротехнічних споруд також ставлять технічні вимоги: застосування шлакопортландцементів з малою і помірною екзотермією, інших портландцементів з активними мінеральними домішками, марки бетонів можливі 100 і 150.

Для морських умов роботи споруди виготовляють з бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу, а в підводних частинах бетон повинен надійно протистояти вилуговуванню гідроксиду кальцію шляхом хімічного зв'язування його активним кремнеземом з утворенням малорозчинних гідросилікатів кальцію.

Для особливо відповідальних гідротехнічних споруд використовують цементи, що задовольняють спеціальні технічні умови.

Вода для замішування бетонної суміші використовується із pH не менше 4 і не більше 12,5. У ній обмежується вміст солей, завислих пилувато-глинистих домішок, а також іонів SO_2^{-4} і Cl^-.

Жаростійкі бетони зберігають свої властивості при тривалому впливі високих температур у теплових агрегатах (футерування тунельних печей і вагонеток, фундаменти під промислові печі й труби і т. ін.) чи при короткочасному, ударному впливі теплоти, що супроводжується значними температурними перепадами. Їх застосовують як конструктивний і футерувальний матеріал.

Звичайний важкий бетон здатний стабільно зберігати чи навіть трохи збільшувати міцність при тривалому нагріванні до 100 °С. При подальшому підвищенні температури може виникнути явище постійного зміцнення за рахунок прискорення процесів гідратації. Однак за температур вище 140…150 °С звичайно спостерігається зниження міцності з погіршенням інших властивостей, тому що частково руйнуються кристалічні гідратні новоутворення, а також гідросилікатна фаза, головним чином у зв'язку з видаленням цеолітної води. І хоча з деяким ризиком можна допустити короткочасне підігрівання бетонних конструкцій до 200 °С, усе-таки подальше підвищення їх температур у межах 200…1 700 °С вимагає застосування жаростійких (за температур до 1580 °С) чи вогнетривких (1580…1 700 °С) бетонів.

Жаростійкій вогнетривкі бетони можуть бути особливо важкими, важкими, легкими чи полегшеними, ніздрюватими. Їх отримують на основі як гідравлічних, так і повітряних в'яжучих речовин: портландцементу, глиноземистого й високоглиноземистого цементів, алюмофосфатного в'яжучого, рідинного скла з отверджувачами, наприклад кремнефтористим натрієм (Na_2SiF_6). Як заповнювачі використовують хромітові руди, бій магнезиту, щебінь з базальтів і діабазів, шамотний цегляний щебінь (бій) та ін. У жаростійкі бетони на основі портландцементу додають тонкомолоті активні мінеральні речовини, які мають, як і крупні заповнювачі, високу вогнетривкість. Для вогнетривких бетонів використовують високоглиноземистий цемент, який до того ж має незначну усадку й малий коефіцієнт термічного розширення. Добре зарекомендували себе фосфатні зв'язуючі (алюмофосфатні, алюмосилікатофосфатні, хромофосфатні й ін.). Вони дозволяють отримувати вогнетривкі бетони, у тому числі легкі із застосуванням у них вермикулітового, перлітового, керамзитового заповнювачів, бою легковагих вогнетривів і т. ін.

У жаростійкі ніздрюваті, зокрема газобетони, крім портландцементу й алюмінієвої пудри вводяться тонкомолотий шамот, зола-винесення, керамзит й ін. Ці бетони можуть експлуатуватися в умовах температур до

1200 °С при збереженні міцності 2,5…5,0 МПа і середній густині 600…800 кг/м^3. Розроблено склад особливо легкого жаростійкого бетону, у який входять швидкотверднучий портландцемент, тонкомолота силікат-брила й легкі пористі й волокнисті заповнювачі. Цей бетон використовують за температур до 1000 °С, а його середня густина у висушеному стані 300 кг/м^3, міцность під час стиску 0,2 МПа. Теплопровідність при 20 °С дорівнює 0,09 Вт/(м·К), а при 600 °С – 0,20 Вт/(м·К).

Структуроутворення жаростійких бетонів відбувається на стадії виготовлення виробів і в умовах впливу високих температур, хоча останні можуть приводити і до зміцнення (наприклад, за рахунок ущільнення гелю), і до деструкції (наприклад, за рахунок дегідратації кристалогідратів) при застосуванні гідравлічних в'яжучих речовин.

Серед побічних продуктів промисловості як компонентів жаростійких бетонів зустрічаються перспективні, наприклад алюмохромовий продукт – тонкодисперсний порошок відпрацьованого каталізатора в нафтохімічному виробництві. Він має розвинуту поверхню (до 5000 см^2 у 1 м речовини) і високу вогнетривкість (до 2000 °С). Його вміст у в'яжучому, як показали дослідження в НДІкерамзит, приводить до збільшення міцності й вогнетривкості змішаного в'яжучого на портландцементі й глиноземистому цементі за високих температур, наприклад вище 1500 °С.

Дослідження жаростійких бетонів продовжуються. Зокрема, досягнуті успіхи в галузі одержання бетонів вищої вогнетривкості, які залежно від їх складу зберігають міцність та інші властивості в заданих межах за температур понад 2000…2500 °С. Їх виготовляють на основі цирконійвмісних в'яжучих і з застосуванням тугоплавких заповнювачів. За температур вище 1200 °С міцність бетону підвищується за рахунок спікання суміші, особливо в області температур до 2000 °С. Бетони на цирконійвмісних цементах є перспективними для футерування теплових агрегатів, а також для використання в інших галузях техніки високих температур в енергетичній, металургійній, хімічній та ядерній промисловості. Жаростійкі газобетони використовують у вигляді великих блоків і монолітних конструкцій. Вони в 2…3 рази дешевші фасонних вогнетривких виробів і, головне, дозволяють індустріалізувати будівництво. Зрозуміло, що при нагріванні міцність бетону не залишається постійною і чим ближче температура до гранично припустимого значення, тим більше міцність бетону відхиляється від первісної (марочної). Однак вона залишається достатньою, щоб зберегти структуру бетону, особливо його матричної частини, на необхідному рівні, що забезпечує міцність у межах необхідного мінімуму. Слід зауважити, що алюмофосфатні в'яжучі й рідке скло

з отверджувачами забезпечують збереження міцності бетону на порівняно високому рівні, наприклад до 8…9 МПа.

Кислототривкий бетон – різновид ШБК, отриманий на основі спеціального – кислототривкого – цементу із застосуванням кислототривких заповнювачів. Він використовується для конструкцій, що контактують з більшістю відомих кислот. Меншу стійкість цей бетон виявляє до дії плавикової кислоти, а також до слабких кислот, води й розчинів лугу. Даний різновид кислототривкого матеріалу застосовується у вигляді не тільки бетону, але й будівельного розчину, мастики, тобто без крупних заповнювачів.

Кислототривкий цемент складається із суміші тонкоподрібненого кварцового піску та кремнефтористого натрію (Na_2SiF_6), які замішуються водним розчином силікату калію чи натрію, тобто рідинним склом. Замість кремнефтористого натрію як отверджувач можуть бути застосовані більш доступні речовини, наприклад нефеліновий шлам, деякі різновиди шлаків та ін. До кислототривких заповнювачів належать кварцовий пісок і щебінь з андезиту, діабазу, базальту, кварциту і т. ін.

Віддозовані матеріали-компоненти складу бетону, що рекомендуються, перемішують до однорідного стану з однаковим вмістом кожної фракції в кожному мікрооб'ємі суміші. Після перемішування суміш переводять у пресовий цех, де виготовляються штучні вироби – резервуари, труби, хімічна апаратура й ін. Твердінню виробів сприяє тепле повітряно-сухе середовище з температурою не нижче 10 °С і відносною вологістю повітря не вище 70 %. Після твердіння бетон характеризується міцним зчепленням зі сталевою арматурою, але під впливом киплячої води, слабких кислот і лугів, кремнефтористоводневої кислоти бетон, як відзначено вище, піддається поступовому руйнуванню.

Особливо важкі та гідратні бетони застосовують у спеціальних спорудах – ядерних реакторах, атомних електростанціях, рентген-кабінетах тощо для біологічного захисту від радіоактивних (рентгенівських, γ-, α- і β- випромінювань й ін.) впливів. Для особливо важких бетонів характерною властивістю є велика середня густина, що дорівнює від 2,5 до 6,0 т/м^3. Гідратні бетони відрізняються підвищеною кількістю хімічно зв'язаної води – більше 3 % за масою, а отже, і ядер водню. Як наслідок цей водень, маючи малу молекулярну масу, сприяє захопленню потоку гарячих нейтронів, γ-випромінювань й ін. Крім того, ці бетони мають досить високу теплостійкість, теплопровідність, малу усадку, хоча цілком виключити усадку і появу тріщин на границі контакту цементного каменю і металевого заповнювача – завдання складне.

Як в'яжучі речовини в особливо важких бетонах використовують портландцемент, пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент, гіпсоглиноземистий (розширний) цемент, у гідратних бетонах – глиноземистий, розширний, швидкотверднучий, самонапружений й ін. Усі вони тією чи іншою мірою сприяють максимальному хімічному й адсорбційному утриманню води в цементному камені й бетоні. Зокрема, напружуючий цемент ущільнює структуру бетону, майже повністю виключає усадку. Зона контакту стає щільною і без тріщин.

Заповнювачами в особливо важких бетонах служать дуже важкі (з високою густиною) магнетит, гематит, барит, металевий скрап, обрізки заліза й т. ін. Піщані фракції звичайно складають з дробленого бурого залізняку, кварцитових «хвостів», чавунного дробу та ін.

Підвищення захисних властивостей особливо важких бетонів досягають уведенням додаткових речовин, наприклад карбіду бору, хлористого літію, сірчанокислого кадмію й ін., у які входять відповідні легкі елементи (бор, літій, кадмій і т. д.).

Заповнювачами в гідратних бетонах служать лімоніт з гідросетітом (бурий залізняк), серпентин та ін., що містять хімічно зв'язану воду, гірські породи і мінерали. Якість заповнювачів для цих видів бетону контролюється за їх густиною, мінімальною міцністю під час стиску, водопоглинанням. Їх показники нормуються у певних допустимих межах.

Проектування оптимальних складів особливо важких і гідратних бетонів як типових різновидів ШБК проводиться загальним методом. Були запропоновані також спеціальні методи. При проектуванні важливо забезпечити необхідні технічні вимоги до складових матеріалів і бетону, особливо щодо здатності затримувати радіоактивні випромінювання. Ця властивість оцінюється товщиною шару матеріалу, за якого потік випромінювання слабшає у 2 рази порівняно з первісним. У зв'язку з цим необхідно враховувати показник середньої густини (ρ_0) бетону, визначати фактичний вміст хімічно зв'язаної води, який розраховується за формулою HQ_0, де H – необхідний вміст водню в бетоні.

Особливо важкі й гідратні бетони виготовляють за звичайною технологією із застосуванням бетонозмішувачів для перемішування віддозованих компонентів і вібраторів для ущільнення свіжовідформованих бетонних виробів.

Шлаколужні бетони отримують на основі шлаколужних в'яжучих, у яких алюмосилікатний компонент представлений гранульованим шлаком, а лужний – сполуками лужних металів. Як заповнювачі в них використовують традиційний природний (граніт, вапняк та ін.), штучний (керамзит, перліт) щебінь, а також пісок та дрібнодисперсні заповнювачі –

дрібні піски, супіски, леси, легкі суглинки. Гідроксиди лужних металів, які утворюються під час гідратації шлаколужних цементів, вступають у хімічну взаємодію з мінералами глин. У результаті утворюються особливо корисні структурні компоненти бетону – нерозчинні лужні гідроалюмосилікати, аналоги природних цеолітів і слюд. Тому присутність у заповнювачах пилуватих і глинистих домішок корисна, оскільки утворяться додаткові ущільнювальні й зміцнювальні компоненти в процесі твердіння бетону. Їх сумарний вміст допускається до 25 %. Цементуючою речовиною цього конгломерату є гідратні кристалічні новоутворення, що виникають під час взаємодії шлаків і тонких ґрунтових частинок з лугами, а також гелева маса, пронизана кристалічними зростками цих новоутворень.

Залежно від виду та якості заповнювачів бетони можуть бути важкими та легкими. Вони мають міцність при природному твердінні від 30 до 100 МПа, при пропарюванні віброущільнених бетонів – від 40 до 120 МПа, а після автоклавної обробки – від 50 до 150 МПа. Границя міцності під час розтягу складає звичайно 1/10…1/15 $R_{ст}$, на вигин від 1/7 до 1/10 $R_{ст}$. Ці бетони мають високу морозостійкість (до 700 циклів і більше) і водонепроникність (до 2 МПа), тому що їх структура відрізняється наявністю замкнутих пор округлої форми. Важкі щільні бетони із застосуванням у них гранітного щебеню і кварцового піску відрізняються підвищеною корозійною стійкістю. Легкі шлаколужні бетони отримують із застосуванням керамзиту, аглопориту, термозиту, спученого перліту, немеленого гранульованого шлаку. Легкі бетони при широкому діапазоні середньої густини (300 до 1900 кг/м^3) мають $R_{ст}$ від 3 до 60 МПа. Можливе отримання ніздрюватих шлаколужних бетонів за звичайною технологією із застосуванням піноутворювачів, наприклад каніфолі з рідинним склом, чи газоутворювачів – алюмінієвої пудри, кількість якої знижується в 5…10 разів у порівнянні з газобетоном на основі портландцементу, тобто до 0,02…0,03 % від маси в'яжучого.

Шлаколужні бетони мають комплекс корисних властивостей: мале тепловиділення при твердінні, високу водостійкість і морозостійкість, корозійну стійкість і біостійкість, високу абразивну стійкість і зносостійкість, підвищену жаростійкість, задану міцність й ін. Ці властивості великою мірою залежать від характеру контакту між шлаколужним в'яжучим і заповнювачем у бетонах. Дослідження показують, що в контактній зоні завжди спостерігається екстремум мікротвердості, підвищений вміст новоутворень, найвищий коефіцієнт кореляції хімічних елементів у в'яжучій речовині й відповідно до закону створу структура контактного шару наближається до оптимальної, що сприяє оптимізації загальної структури бетону (див. рис. 8.13).

Шлаколужні бетони використовують у згинальних конструкціях, дорожніх основах і покриттях, тротуарних плитах, для облицювання каналів, влаштування фундаментів, труб, лотків, виготовлення стінових блоків тощо.

На основі шлаколужних в'яжучих розроблена технологія виробництва жаростійкого ніздрюватого бетону із застосуванням металургійних гранульованих шлаків і лугу. Бетон виготовляється у вигляді плит розмірами $750 \times 500 \times 200$ чи $750 \times 500 \times 70$ мм, що мають середню густину 250…350 кг/м^3, міцність під час стиску 1,0…1,5 МПа, під час розтягу 0,15…0,30 МПа, а коефіцієнт теплопровідності їх не перевищує 0,13 Вт/(м·К) при 20 °С.

Полімерцементні бетони й бетонополімери – різновиди цементних бетонів, до складу яких входять органічні полімерні речовини. У полімерцементних бетонах їх додають до складу бетонної суміші у вигляді водорозчинних дисперсій (кремнійорганічних, полівінілацетатних емульсій, дивінілстирольного латексу і т. ін.). Полімерні речовини, внесені до складу бетонної суміші в обмеженій кількості, беруть участь у процесах формування структури на стадії тверднення відформованого й ущільненого виробу. З метою прискорення цих процесів іноді до складу вводять каталізатори чи стабілізатори та деякі інші додаткові речовини. Полімерцементні бетони мають трохи знижену міцність, але збільшену деформативність і тріщиностійкість.

Бетонополімери отримують за звичайною технологією цементного бетону, однак на завершальній стадії тверднення бетонного виробу проводяться його вакуумне сушіння й подальше просочення мономером. Серед вживаних мономерів – метилметакрилат, стирол та ін. Вони заполімеризовуються в порах цементного каменю й бетону під впливом кисню повітря, підвищених температур, затверджувачів та ін. Просочення повне чи тільки верхнього шару виробу на глибину 10…20 мм знижує наскрізну пористість, підвищує міцність вихідного цементного бетону. За границею міцності під час стиску вони можуть складати до 120…300 МПа. Зростає в 3…4 рази опір стиранню. Різко знижується повзучість, але збільшується модуль пружності. Поліпшуються морозостійкість, водонепроникність, хімічна стійкість і деякі інші якісні показники. Водночас додавання в бетон мономерів і пов'язані з цим додаткові технологічні операції здорожчують готові вироби. Їх використовують в основному для особливо відповідальних конструкцій і споруд, наприклад на об'єктах з високим рівнем виробництва й споживання енергії (гідравлічні, теплові й атомні електростанції, хімічні підприємства, трубопроводи й ін.).

Фібробетон – різновид цементного бетону, у якому досить рівномірно розподілені обрізки «фібри». Під цією збірною назвою маються на увазі волокна з металу, відрізки тонкого сталевого дроту, відходи цвяхового виробництва й ін., а також зі скла, полімерів (головним чином пропілену) тощо. Фібра виконує функції армувального компоненту, що сприяє поліпшенню якості бетону, підвищує його тріщиностійкість і деформативність. Внаслідок того, що фібра вноситься в суміш у процесі перемішування, розподіл волокон у масі стає неорганізованим, хоча вібраційний вплив на бетонну суміш при ущільненні деякою мірою сприяє спрямованому розміщенню окремих волоконець. При рівнобіжній орієнтації їх до дії розтяжних зусиль на виріб міцність останнього істотно зростає у порівнянні з хаотичним напрямком їх в об'ємі. До фібри ставляться певні вимоги стосовно, наприклад, її стійкості до лужного середовища бетону, довжини волоконець у порівнянні з їх діаметром (не менше 10:1). Концентрація фібри в об'ємі бетону встановлюється на стадії проектування оптимального складу й залежить, зокрема, від її грудкування при перемішуванні бетонної суміші.

У міру збільшення вмісту крупного заповнювача, особливо після 30…35 % за масою, у бетоні зменшується оптимальний вміст армувальних волоконець, тому що виникає їх нерівномірний розподіл, ускладнюється технологія. Дослідження показують, що при використанні нейлону, поліетилену, поліпропілену й інших армувальних волокон з низьким модулем пружності збільшується їх відносна розтяжність, а в бетонів та інших ШБК підвищуються ударна в'язкість, опірність стиранню й виколюванню лінз каверн і т. ін. Застосування волокон зі сталі, лугостійкого скла, азбесту й інших волокон з високим модулем пружності збільшує міцність бетонів під час розтягу і навіть опірність динамічним впливам. Більш доцільне комбінування армувальних волокон.

Ефективним є введення фібри, яка піддавалася поверхневій обробці полімерними речовинами чи їх компаундами. Максимальні міцнісні показники (наприклад, під час стиску до 40 МПа і більше) досягаються при 3 %-му вмісті фібри (за об'ємом) і довжині фібри 40…45 мм.

Фібробетони застосовують у збірних і монолітних конструкціях, що працюють на знакозмінні навантаження.

8.5. Корозія бетонів

Вище були розглянуті багато різновидів бетонів, одержуваних на основі неорганічних в'яжучих речовин. Серед них найбільш застосованим є важкий цементний бетон. Він та інші види бетонів мають певну довговічність, що виражається в роках, десятиліттях і більше. Їх поведінка в експлуатаційних умовах в основному відповідає тим етапам довговічності, про які повідомлялося вище, а саме: можуть бути й етапи зміцнення структури, і відносної її стабільності, і тривалої чи прискореної деструкції. Особливо важливо всіляко гальмувати процеси деструкції, що стосовно бетонів мають характер корозії, оскільки деструкція значною мірою відбувається під впливом хімічних реакцій і фізико-хімічних явищ.

Бетони та цементний камінь як його матрична частина в експлуатаційних умовах піддаються корозійному впливу різних середовищ, особливо мінералізованої води в морських спорудах (моли, причали, естакади з пальовою основою і залізобетонною верхньою будовою, портові конструкції й ін.), мінеральної кислоти при експлуатації резервуарів, веж та інших споруд хімічної промисловості. На бетон чинять корозійний вплив органічні кислоти й біосфера, особливо при роботі споруд у торф'яних ґрунтах, на підприємствах харчової промисловості. Негативно впливають на склад і структуру цементного каменю в бетонах лужне середовище, прісна вода, особливо водні розчини електролітів. В індустріальних районах корозію бетонів викликають гази, наприклад, сірчисті, сірководень, хлористий водень, аерозолі солей, наприклад морської води, й ін. Агресивний вплив мають також тверді, в основному високодисперсні речовини, здатні утворювати у вологих умовах прошарок з істинних і колоїдних розчинів. Крім хімічних реакцій, при контакті із середовищем можливі фізичні сорбційні процеси з поглинанням із середовища поверхнево-активних речовин (ПАР), наприклад, сірковмісних полярних смол з нафтопродуктів, з фізичним порушенням суцільності контактів у структурі й прискоренням розвитку дефектів.

Сутність корозійного впливу різних агресивних факторів виражається або в розчиненні структурних компонентів цементного каменю і подальшому процесі вимивання розчинів силою напору чи під впливом дифузії, або в утворенні нових хімічних сполук у цементному камені, здатних розчинятися в рідкому омиваючому середовищі, наприклад, у воді, чи утворювати найтонші суспензії і виноситися під впливом дифузії чи фільтрації, або в кристалізації чи набряканні новоутворень з явищами подальшого механічного напруження усередині цементного каменю і мікротріщиноут-

ворення. Зауважимо, наприклад, що найбільш поширеним видом руйнування залізобетонних паль у морських причалах є поступова поява подовжніх тріщин і лущення поверхні.

При прогнозуванні довговічності звичайно виходять з даних визначення параметрів процесу корозії, експериментально одержаних в умовах чи близьких до експлуатаційних. Серед параметрів корозії бетону: швидкість просування всередину агресивного фронту; глибина пошкодження корозією бетону; товщина шару бетону, що втратив міцність на стиск чи розтяг (що може бути визначено за допомогою формули); коефіцієнт агресивності чи критерій корозійного пошкодження, що виражається за припустимим зниженням міцності; зміна концентрації одного з компонентів, наприклад кальцієвих солей, що виникають як продукт взаємодії мінералів цементного каменю й кислот – зовнішнього агресивного середовища, та інші можливі параметри експерименту.

Процеси корозії бетону і залізобетону детально вивчалися в науково-дослідних інститутах (наприклад, роботи В. М. Москвина й ін.).

При впливі на бетон прісної безнапірної води відбувається її дифузія в тіло бетону й цементного каменю. Об'ємна і поверхнева дифузія води супроводжується *розчиненням* кристалічного гідроксиду кальцію при деякій втраті міцності цементного каменю.

Водночас вода сприяє інтенсифікації додаткової гідратації цементу, що раніше не вступив у реакцію з водою замішування в бетоні. Якщо прісна вода була жорсткою (з високим вмістом бікарбонату кальцію), то виникає зміцнення структури у зв'язку з кристалізацією в порах середньої солі вуглекислого кальцію (карбонату):

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O.$$

Ефект зміцнення в перший період експлуатації конструкції може виявитися ефективніше зниження міцності від розчинення кристалічного гідроксиду кальцію. Очевидно, що перший період (перший часовий елемент довговічності) виявиться з тим великим ефектом зміцнення, чим більше в тілі бетону залишилося негідратованого цементу. Перший період змінюється відносною стабілізацією структури й властивостей цементного каменю, оскільки процес деструкції гальмується структурою цементного каменю, що ущільнилася, особливо якщо були введені в суміш активні кремнеземисті домішки. Таким чином, хоча корозія явно виражена (розчинення гідроксиду кальцію), вона завуальована.

Якщо прісна вода діє на бетонну споруду, наприклад греблю, перемичку і т. ін., під напором, то відбувається не стільки дифузійний, скільки

фільтраційний процес. Після розчинення частини кристалічного гідроксиду кальцію рівновага не встановлюється, як у випадку безнапірної дії води. Процес вимивання розчину $Ca(OH)_2$ (вилуговування) прискорюється в міру збільшення розміру й кількості пор після вилуговування, а також при зниженні жорсткості напірної води. Тут можна зауважити, до речі, що найбільше сильно розчиняє вапно в бетоні дистильована вода. У цілому при впливі напірної води етапи зміцнення і стабілізації структури дуже малі, але їх трохи можна збільшити введенням активних кремнеземистих домішок з утворенням у тілі цементного каменю й бетону водонерозчинних гідросилікатів кальцію ($CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$). Цьому ж до деякої міри сприяє підвищення щільності структури за рахунок оптимізації складу бетону й застосовуваного цементу. Таким чином, у цьому випадку корозія не тільки явно виражена, але вона і прогресує, видаляючи з бетону кристали $Ca(OH)_2$.

При впливі на бетон мінералізованої води, наприклад морської, можливі різні види корозії, коли аніон SO_4^{2-} взаємодіє з катіоном кальцію Ca^{2+}, утворюючи в присутності води $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, тобто кристалічний двоводний гіпс, слабко розчинний у воді, але внаслідок зростання кристалів, що створює в порах механічне напруження і тріщини. Якщо у воді мало аніонів SO_4^{2-}, то можливо очікувати іншу реакцію

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 19H_2O =$$

$$= 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O.$$

Нова кристалічна речовина називається етрингітом і відрізняється в 3 рази більшим об'ємом, ніж кристали вихідного гідроалюмінату кальцію ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$), що приводить до ще більш інтенсивного зростання напруження усередині цементного каменю і мікротріщиноутворення. Кристали етрингіту утворюються в цементному камені й при проникненні в пори і капіляри розчину сірчанокислого натрію чи мірабіліту ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$). Щоб зменшити сульфатну корозію бетону, використовують цементи зі зниженим вмістом у ньому $3CaO \cdot Al_2O_3$, а також додають активні кремнеземисті речовини.

Розчини солей соляної кислоти, так само як і сірчаної, відзначеної вище, або побічно (наприклад, NaCl) сприяє розчиненню $Ca(OH)_2$, або безпосередньо сприяє корозії бетону. Так, хлористий магній приводить від взаємодії і реакції з вапном до утворення легкорозчинного і хлористого кальцію, що вимивається, і найтоншої суспензії гідроксиду магнію:

$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2$. У результаті кристалічний і міцний $Ca(OH)_2$ руйнується в тілі бетону. Деструкції сприяють атмосферні умови – циклічне зволоження і висихання, заморожування і відтавання бетону, а також напружений стан конструкцій.

Незрівнянно велику небезпеку, ніж мінералізована вода, на бетон роблять кислоти. Практично всі кислоти приводять до корозії цементного каменю, оскільки в ньому міститься велика кількість кристалічного $Ca(OH)_2$. Так, сірчана кислота приводить в остаточному підсумку до «гіпсової» корозії, тому що $H_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Азотна кислота, розчиняючись у воді, дисоціює на іони H^+ і NO_3^- і тому взаємодіє з основами, основними оксидами і солями, подібно іншим кислотам:

$$2HNO_3 + CaO = Ca(NO_3)_2 + H_2O;$$

$$2HNO_3 + Ca(OH)_2 = Ca(NO_3)_2 + 2H_2O;$$

$$2HNO_3 + CaCO_3 = Ca(NO_3)_2 + CO_2 + H_2O.$$

Кальцієва селітра, яка утворилася, розчинна у воді й таким чином поступово відбувається вилуговування вапна з втратою густини – міцності цементного каменю. Руйнують кристалічний $Ca(OH)_2$, портландит у цементному камені усі неорганічні кислоти, у тому числі й вугільна, остання – через стадію розчинного бікарбонату кальцію.

Однак серед мінеральних кислот існують і винятки, наприклад, кремнієва чи кремнефтористоводнева кислоти. Солі кремнієвої кислоти, які називають силікатами (наприклад, $CaSiO_3$), нерозчинні у воді, за винятком солей натрію і калію (Na_2SiO_3, K_2SiO_3), що, однак, практично, не виникають у тілі цементного каменю. Частіше під впливом розчинення кремнієвої кислоти можуть виникати колоїди і драглі (гелі), особливо в присутності гідрокремнезему, наприклад опалу, здатні або набухати і створювати небезпечні внутрішні тиски, або висихати і збільшувати міцність за рахунок додаткового ефекту склеювання частинок. З органічних кислот небезпеки не становить щавлева кислота, тому що її кальцієві солі нерозчинні у воді й ущільнюють пори. «Отрутою» для цементу і цементного каменю є цукор та інші більш складні вуглеводи, тобто органічні речовини, молекули яких містять альдегідну ($R \cdot CHO$) чи кетонну ($R_2 \cdot CO$) групу і гідроксильні групи. З ними відбуваються реакції з утворенням або важкорозчинних комплексних речовин типу $Ca_3(C_6H_5O_7) \cdot 4H_2O$ та ін., або легкорозчинні у воді сахарат і глюкозат кальцію, чи алюмінію заліза. Вони вимиваються з тіла бетону, залишаючи каверни і пори замість досить

міцного кристалічного $Ca(OH)_2$. Органогенна корозія, що виникає під впливом рослинних олій, фруктових і овочевих соків, тваринних жирів чи інших органічних речовин біогенного і небіогенного походження (наприклад, при виробництві синтетичних каучуків), наносить значну шкоду бетонним і залізобетонним конструкціям. Щораз у результаті відповідних реакцій утворюються легкорозчинні солі кальцію, знижується водневий показник (pH) рідкої фази, що саме собою вже сприяє розкладанню гідратованих мінералів цементного каменю, порушенню загальної рівноваги в тілі бетону.

Луги менш агресивні, ніж кислоти й мінералізовані води, але і вони сприяють також деструкції цементного каменю внаслідок їх кристалізації з утворенням кристалізаційного тиску в порах.

З газових агресивних середовищ особливої уваги заслуговує газоподібний сірководень. Цементний бетон у цьому газовому середовищі піддається корозії зі збільшенням у складі сульфатів, появою реактивної сірчаної кислоти.

Не виникає корозії бетону в середовищі мінеральних олій та інших нафтопродуктів, якщо вони не містять полярних груп у молекулах чи не потрапляють з водою замішування.

Процес корозії досліджується не тільки прямими, але і непрямими методами, наприклад, за збільшенням проникності середовища за рахунок інтенсифікації дифузії, фільтрації, за зміною механічних показників цементного каменю чи бетону, особливо міцності, повзучості, зниження морозостійкості й т. ін. Аналіз кінетики корозійного процесу показує, що інтенсивність взаємодії структурних елементів цементного каменю з хімічно активними (агресивними) компонентами зовнішнього середовища залежить від величин його зовнішньої і внутрішній (особливо порової) поверхні, структури порового простору. У ході дифузії активних іонів вони належать до основних поглиначів з відповідним хімічним переродженням мікроструктури цементного каменю. Знаючи гранично припустиму кількість агресивного компонента, при якому хімічне переродження досягає критичного рівня для цілісності структури, і швидкість дифузії агресивного компонента (хоча і змінну в часі), можна з певним наближенням визначити довговічність цементного каменю (і бетону) у будівельній конструкції, підданій впливу зовнішньої агресії.

Корозії піддаються не тільки щільні, але й пористі, у тому числі ніздрюваті, бетони, отримані за допомогою автоклавного твердіння. Одним з агресивних факторів, що впливають на газобетон у огороджувальних конструкціях, є вуглекислий газ в атмосфері. У зв'язку з його адсорбцією гідросилікатний кристалічний каркас у стінках порожнин

газобетону істотно змінюється, оскільки утворюється карбонат кальцію і виділяється гель кремнекислоти. Вміст кристалічної частини зменшується за об'ємом, кількість хімічно зв'язаної води в гідратах знижується, міцність зменшується, деформації стають у більшій мірі необоротними, поступово переходячи в деформації повзучості; модуль пружності також зменшується. У результаті газобетон, особливо в промислових будівлях, де концентрація вуглекислоти значно більша, ніж у звичайній атмосфері, зазнає деструкцію, тим більше якщо під впливом механічних навантажень він знаходиться в напруженому стані.

У легких бетонах з вмістом органічних заповнювачів (типу арболітів) діють внутрішні фактори, що разом із зовнішніми можуть приводити до значної деструкції, якщо в технологічний період не були передбачені необхідні заходи для стабілізації структури. Якість деревних заповнювачів головним чином оцінюють за вмістом в них шкідливих для цементу екстрактивних речовин, геміцелюлози і крохмалю, нерідко називаних «цементними отрутами», оскільки вони здатні переводити частину міцної кристалічної фази цементного каменю у водорозчинні кальцієві сахарати.

Підвищення стійкості бетонів до процесів корозії і гальмування деструктивних процесів у цементному камені й бетоні досягають рядом технологічних заходів. Найбільш суттєвими серед них є: обмежений вміст C_3S (наприклад, до 50 %, щоб зменшити вміст у цементному камені $Ca(OH)_2$), введення аморфних кремнеземистих домішок у цемент для хімічного зв'язування гідроксиду кальцію; підвищення густини за допомогою ПАР; використання, по можливості, жорстких бетонних сумішей і надання бетону оптимальної структури; зниження концентрації дефектів у бетоні усадочного характеру (наприклад, за допомогою мікронаповнювачів); застосування гідрофобізаторів у сумішах й ін.

При впливі на бетон кислотовмісних середовищ його захищають шарами з кислототривкого цементу (оштукатурюванням, торкретуванням тощо).

Спеціальні сульфатостійкі портландцементи дуже необхідні при виготовленні бетонів, що працюють в умовах впливу розчинів сульфатів і розчинних у воді основ (лугів). У передексплуатаційний період приносять користь заходи для просочення поверхневого шару бетонів розчинами ущільнювальних речовин, наприклад флюатів, полімерами й мономерами, а також обклеювання ізоляцією. У період експлуатації конструкцій виявляться ефективними періодична обробка поверхні за допомогою піскоструминних апаратів; надання форм виробам і конструкціям, що виключають скупчення агресивного середовища; усунення щілин, пазух та інших порожнин, їх надійна герметизація.

Комплекс вищевказаних чи інших ефективних заходів сприяє збільшенню довговічності бетону в конструкціях.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається бетоном? Галузь його застосування бетонів.
2. Наведіть класифікацію бетонів за середньою густиною. Як структура бетонів впливає на їх середню густину, міцність і галузь застосування?
3. Які компоненти входять до складу бетону? Які вимоги ставляться до них?
4. Особливості бетонів для транспортного будівництва. Вибір матеріалів і вимоги до бетонів.
5. Що означає підібрати (запроектувати) склад бетону?
6. У чому сутність проектування складу бетону за методом «абсолютних об'ємів»?
7. У чому фізичний смисл закону міцності бетону (формула Боломея-Скрамтаєва)?
8. Наведіть послідовність проектування складу бетону за методом «абсолютних об'ємів».
9. У чому особливість проектування складів важких бетонів з домішками й наповнювачами?
10. Що називається бетонною сумішшю? Які технологічні властивості бетонної суміші?
11. З якою метою виконують ущільнення бетонної суміші? Які методи ущільнення бетонної суміші ви знаєте?
12. Які особливості бетонування взимку? Які ефективні методи бетонування застосовують у цих умовах?
13. Від яких структурних характеристик залежать підвищена міцність, морозо- і водонепроникність бетону?
14. Що називається класом бетону? Яка існує взаємозалежність між класом і середньою міцністю бетону?
15. Як структура бетону впливає на деформативні характеристики бетону?
16. Застосування легких бетонів у цивільному та транспортному будівництві. Склад і властивості легких бетонів.
17. У чому особливості складу та застосування спеціальних видів бетонів.
18. Корозійні процеси в бетонах. Особливості, механізм дії, шляхи підвищення стійкості проти корозії.

Список рекомендованої літератури

1. Черкинский Ю. С. Полимерцементный бетон. – М.: Стройиздат, 1960. – 223 с.
2. Баженов Ю. М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
3. Рамачандран В. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
4. Баженов Ю. М. Технология бетона. – М.: Высш. шк., 1987. – 449 с.
5. Рабинович Ф. Р. Дисперсноармированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.
6. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 396 с.
7. Хаютин Ю. Г. Монолитный бетон: технология производства работ. – М.: Стройиздат, 1991. – 576 с.
8. Roy D. M. Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF /9-th ICCC, vol.1, 1992. – S. 357–380.
9. Будівельні матеріали: Підручник / П. В. Кривенко, В. Б. Барановський та ін. – К.: Вища шк., 1993. – 388 с.
10. Микульский В. Г. Строительные материалы (материаловедение и технология): Учеб. пособие. – М.: ИАСВ, 2002. – 536 с.
11. Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство: Підручник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський та ін. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.
12. Кривенко П. В. Долговечность шлакощелочного бетона / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарьова. – К.: Будівельник, 1993. – 223 с.
13. Хаютин Ю. Г. Повышение плотности бетона за счет создания кристаллизационного барьера // Бетон и железобетон. – 1996. – № 3. – С. 21–24.
14. IS.Zollo R. F. Fiber-reinforced Concrete: an Overview after30 year of Development // Cem. Concr. Com. – 1997. – Vol. 19. – S. 107–122.
15. Lea's Chemistry of cement and Concrete / Ed. by Peter C. Hewlett, 1998. – 1008 s.
16. Aitcin P.High Performance Concrete, E&FN Spon / – London. – 1998. – 591 p.
17. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
18. Баженов Ю. М. Высококачественный тонкозернистый бетон // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 24–25.
19. Горчаков Г. И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – М., 1976.
20. Симонов М. З. Основы технологии легких бетонов. – М.: Стройиздат, 1973. – 358 с.
22. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М., 1980.

РОЗДІЛ 9

Вироби і конструкції на основі неорганічних в'яжучих речовин

9.1. Загальні відомості

Залізобетон – це комплексний будівельний матеріал, у якому для сумісної роботи раціонально об'єднані цементний бетон і сталева арматура.

Цементний бетон, як і більшість каменеподібних конгломератних матеріалів, добре чинить опір зусиллям стисканню, але погано працює на розтяг. Границя міцності бетону під час розтягу приблизно в 10…18 раз нижче границі міцності під час стиску. Тому для сприйняття розтягувального напруження виникла необхідність введення в бетон сталевої арматури. Поєднання бетону зі сталевою арматурою і спільна їх робота в конструкції зумовлена такими властивостями:

1) сталь і бетон у разі зміни температури в інтервалі від 0 до 100 °С мають практично однакові коефіцієнти лінійного температурного розширення;

2) між бетоном і арматурою виникають значні сили зчеплення (адгезія), що перешкоджають зміщенню арматури відносно бетону, захисний шар бетону надійно захищає арматуру від корозії, механічних пошкоджень та впливу високих температур.

З метою підвищення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій здійснюють армування попередньо напруженою високоміцною

арматурою. Таке армування можливе в разі використання бетонів високих класів. Попередньо напружені залізобетонні конструкції є відносно економічними, тому що проектуються з урахуванням використання високоміцних матеріалів.

Попередній натяг арматури здійснюють або до бетонування конструкції чи виробу, або після цього. У першому випадку арматуру спочатку натягують, кінці її закріплюють на упорах форми виробу, після чого приступають до бетонування. Після досягнення бетоном передаточної міцності арматуру звільняють від натяжного пристрою. Розтягнена арматура прагне повернутися у первісний стан, обтискує бетон. У результаті цього в залізобетоні створюються взаємно врівноважені зусилля розтягу в арматурі й стиску в бетоні. У другому випадку арматуру розташовують у каналах бетонної конструкції, утворених раніше за допомогою спеціальних порожниноутворювачів, і натягають її після того, як бетон набуває передаточної міцності. Потім натягнуту арматуру анкерують на кінцях конструкції, а канали замонолічують цементним розчином чи бетонною сумішшю.

Попереднє напруження в арматурі здійснюють електротермічним способом (стержнева арматура) та механічним з використанням домкратів подвійної дії (дротова арматура).

Таким чином, сутність попереднього напруження бетону полягає в тому, що з використанням сили пружної післядії натягнутої арматури (за умови її міцного закріплення) досягається обтиснення бетону в тій зоні, де експлуатаційне навантаження може викликати зусилля розтягу (рис. 9.1).

Зазвичай попереднє обтискування бетону становить 5…6 МПа.

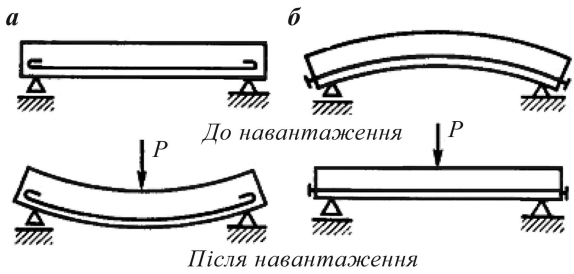


Рис. 9.1. Робота залізобетонної балки під час згину:
а – зі звичайною арматурою; *б* – з попередньо напруженою арматурою

Можна виділити такі основні напрямки застосування збірного залізобетону: розробка й використання ефективних і великорозмірних конструкцій і виробів зі збірного залізобетону; застосування високоміцних і попередньо напружених бетонів; більш широке використання легких бетонів і тонкостінних просторових конструкцій; зменшення кількості типорозмірів і зниження вартості масового виробництва їх на спеціалізованих заводах.

Ефективність збірного залізобетону значно зростає з використанням у будівництві уніфікованих елементів, конструкцій, що допускають різноманітне комбінування виробів і деталей. Уніфікація виробів зі збірного залізобетону дозволяє зменшити кількість типорозмірів, підвищити якість продукції й удосконалювати технологію їх виробництва.

9.2. Класифікація залізобетонних виробів

Залізобетонні конструкції і вироби підрозділяють на збірні, які виготовляють на залізобетонних заводах і монтують на будівельних майданчиках, і монолітні, які бетонують в опалубці в проектному положенні.

За *видом армування* залізобетонні вироби поділяють на попередньо напружені, зі звичайним армуванням та сталефібробетони.

За *густиною* застосовуваних бетонів вироби бувають: з особливо важких бетонів з середньою густиною більше 2 500 кг/м^3; з важких бетонів – 1 800…2 500 кг/м^3; з легких бетонів – 500…1 800 кг/м^3; з особливо легких (теплоізоляційних) бетонів – менше 500 кг/м^3.

За *видом бетонів* і застосовуваних у бетоні в'яжучих речовин розрізняють вироби: з цементних бетонів – важких на звичайних щільних заповнювачах, особливо важких бетонів і легких бетонів на пористих заповнювачах; силікатних бетонів автоклавного твердіння – щільних (важких) або легких на пористих заповнювачах на основі вапна або змішаному в'яжучому; ніздрюватих бетонів – на цементі, вапні або змішаному в'яжучому; спеціальних бетонів – жаростійких, хімічностійких, декоративних, гідратних.

За *внутрішньою будовою* вироби можуть бути суцільними й порожнистими, одношаровими (виготовленими з бетону одного виду) або двошаровими й багатошаровими (виготовлені з різних видів бетону або із застосуванням різних матеріалів, наприклад теплоізоляційних).

Залізобетонні вироби одного виду можуть відрізнятися так само *типорозмірами*, наприклад стіновий блок кутовий, підвіконний і т. д. Вироби одного типорозміру можуть підрозділятися також за *марками*. В основу розподілу на марки покладене різне армування, наявність монтажних отворів або розходження в закладних деталях.

Залежно від призначення збірні залізобетонні вироби поділяють на такі основні групи: для житлових, громадських, промислових будівель; для споруд сільськогосподарського, гідротехнічного, транспортного будівництва й вироби загального призначення.

Залізобетонні вироби повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, а також вимогам робочих креслень і технічних умов на них. Вироби масового виробництва повинні бути типовими й уніфікованими для можливості застосування їх для будівництва споруд і будинків різного призначення.

Вироби повинні мати максимальний ступінь заводської готовності. Збірні або комплексні вироби поставляють споживачеві, як правило, у закінченому, зібраному й повністю укомплектованому деталями вигляді. Залізобетонні вироби з прорізами, заповнюваними столярними виробами, поставляються із вставленими віконними або дверними блоками, прооліфленими або заґрунтованими. Якість поверхні виробів повинна бути такою, щоб на місці будівництва не була потрібна додаткова їх обробка (якщо це не передбачено проектом).

9.3. Матеріали для залізобетону

Для звичайного збірного залізобетону використовують цементні бетони класів В15 і В20, для напружено-армованих конструкцій найбільш доцільні бетони класів В45 і В50 і вище.

Як в'яжучу речовину для попередньо напружених конструкцій застосовують ефективні швидкотверднучі й особливо швидкотверднучі цементи, що дозволяє значно скоротити час теплової обробки.

Армування залізобетонних конструкцій здійснюють сталевою арматурою у вигляді стержнів і арматурного дроту (рис. 9.2). Стержнева арматура може бути гарячекатаною, термічно зміцненою або зміцненою в холодному стані.

Арматурні стержні виготовляють гладкого чи періодичного профілю. Періодичний профіль арматури одержують при гарячому прокаті чи шля-

хом сплющування стержнів у холодному стані на спеціальних верстатах. Залежно від механічних властивостей арматурний прокат для ненапружених залізобетонних конструкцій розділяють на класи відповідно до ДСТУ 3760-98. Для попередньо напружених конструкцій використовують холоднокатаний високоміцний арматурний дріт класу В-ІІ та вироби з нього.

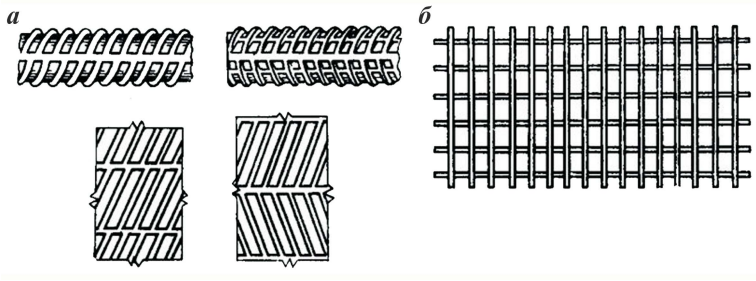


Рис. 9.2. Гарячекатана арматура періодичного профілю (*а*) і сітка зі зварених стержнів (*б*)

9.4. Виготовлення збірних виробів і конструкцій

Збірні залізобетонні вироби й конструкції виготовляють на заводах, полігонах і спеціалізованих підприємствах. Технологія виготовлення включає такі основні операції: підготовка матеріалів; приготування бетонної суміші; виготовлення арматурних виробів; армування й укладання бетонної суміші; формування виробів (укладання бетонної суміші й ущільнення); твердіння виробів в умовах теплової обробки. Окремі види виробів (стінові панелі й блоки, сходові площадки й т. ін.) піддають додатковій обробці – облицювання поверхні, укладання теплоізоляційних шарів та ін. Лицьову поверхню панелей і блоків оздоблюють декоративним бетоном, розчином, керамічними плитками або піддають обробці гідрофобізуючими матеріалами.

Виготовлення ненапруженої арматури включає підготовку пруткової і дротової арматури на заводі, тобто її чищення, виправлення, різання й гнуття, зварювання арматурних елементів і укрупнене складання просторових арматурних каркасів. Зварювання стержнів малого діаметра і дротових прутків під час виготовлення арматурних сіток і плоских

каркасів здійснюється за допомогою контактного точкового електрозварювання в місцях перетину стержнів. Циліндричні арматурні каркаси (зовнішній і внутрішній) для армування труб та інших виробів виготовляють на навивально-зварювальній машині.

Під час армування попередньо напружених залізобетонних виробів і конструкцій натягування арматури може проводитися різними способами: механічним, електротермічним, электротермомеханічним і хімічним (з використанням енергії розширення спеціальних видів цементів).

Формування виробів є однією з найважливіших операцій в технологічному процесі виробництва ЗБК і складається зі складання форм, установки арматури, укладання бетонної суміші у форму й ущільнення.

В процесі виготовлення залізобетонних виробів особливої уваги вимагає формування багатопустотних панелей, труб і великооб'ємних елементів. Формування багатопустотних панелей і настилів здійснюють у спеціальних формах за допомогою вібросердечників.

Формування залізобетонних труб виконують у горизонтальних чи вертикальних формах. Вертикальне формування труб доцільно для виготовлення кілець великого діаметра (1,5…3 м) з товстими стінками труб.

Для формування конструкцій із жорстких, малорухомих бетонних сумішей використовують комбіновані способи віброущільнення: вібропресування, вібрування з привантажувачем, що дозволяє щільно укласти жорсткі й особливо жорсткі суміші з В/Ц = 0,35. У процесі ущільнення, наприклад, на віброплощадці виріб може додатково пресуватися під навантаженням 0,05…0,15 МПа. Застосовують віброштампування, вібровакуумування, центрифугування – відцентровий спосіб ущільнення бетону.

Частота обертання форм у верстатах-центрифугах досягає звичайно від 10 до 17 $с^{-1}$ залежно від властивостей бетонної суміші, що ущільнюється, і розмірів виробу.

Зараз розроблені роликові центрифуги на пневматичних шинах, що знижує шум при роботі. У таких пристроях досягається додаткове ущільнення за рахунок вібрування й загладжування бетонної суміші валиком-котком, який знаходиться усередині форми.

Твердіння залізобетонних виробів відбувається в природних умовах або при тепловій обробці, що дозволяє прискорити твердіння бетонної суміші.

Залежно від температури й вологості навколишнього середовища розрізняють такі види теплової обробки залізобетонних виробів:

а) пропарювання за нормального тиску й температури 70…100 °С;

б) обробка залізобетонних виробів у автоклавах насиченою парою з тиском 0,8…1,3 МПа і температурі 174…193 °С;

в) контактне обігрівання і електропрогрівання шляхом пропущення електричного струму через бетонний масив чи обігрівання його інфрачервоними променями.

Крім того, використовують метод «гарячого формування», за якого бетонна суміш перед укладанням у форму протягом 8…12 хв розігрівається електричним струмом до температури 75…85 °С і витримується у формі (в умовах термоса) 4…6 год. Після витримки у формі бетон набуває необхідної міцності (близько 70 % проектної), що дозволяє зняти опалубки, транспортувати залізобетонний виріб на будівельний майданчик та виконувати монтаж.

Пропарювання при нормальному тиску проводиться в камерах періодичної чи безперервної дії і є найбільш економічним способом тепловологої обробки. З камер пропарювання періодичної дії широке застосування мають камери ямного типу глибиною до 3…3,5 м. Стінки камер виготовляють із бетону. Закривають камери масивними кришками. Пару в камеру подають так, щоб забезпечити підвищення температури зі швидкістю 20…35 °С за 1 год до максимальної – 85…90 °С. За цієї температури виріб прогрівається на всю товщу й витримується в такому стані 6…8 год. Після ізотермічної витримки починають поступове охолодження виробу. Тривалість пропарювання залежить від виду бетону, властивостей цементу й становить близько 12…15 год для пластичних і 4…8 год для жорстких бетонних сумішей. Слід зауважити, що застосування швидкотверднучих цементів дозволяє скорочувати тривалість ізотермічної витримки (за більш низької температури прогрівання 70…80 °С) і зменшити загальний час пропарювання до 8…10 год. Контроль міцності бетону здійснюється в автоматичному режимі.

Камера пропарювання безперервної дії являє собою тунель, що забезпечує встановлений режим пропарювання виробів, які завантажуються з однієї сторони тунелю й вивантажуються з іншої. За час перебування в камері тунельного типу вироби проходять зони підігріву, ізотермічної витримки за максимальної температури й охолодження.

Такі камери пропарювання, що забезпечують заданий режим, застосовують головним чином за конвеєрним способом виробництва. Найбільш перспективними є вертикальні камери безперервної дії. У цих камерах процес теплової обробки виробів здійснюється за принципом протитечії. Пара (рис. 9.3) надходить у верхню частину камери, у зону ізотермічного прогріву, по перфорованій трубі. Завантаження виробів проводиться у нижній частині камери. Потім холодні вироби рухаються нагору, назустріч гарячому пароповітряному середовищу. Пройшовши зону ізотермічного прогріву в найбільш гарячій частині камери, вироби опускаються

вниз і поступово охолоджуються. Теплова обробка в камерах прискорює час твердіння бетону приблизно в 7…8 разів.

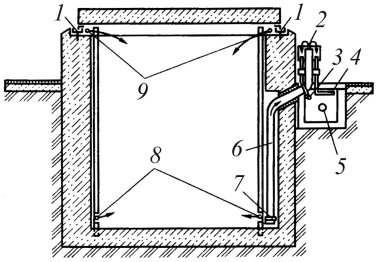


Рис. 9.3. Пропарювальна камера системи Л. А. Семенова: *1* – ущільнення; *2* – контрольний конденсатор; *3* – трубопровід підігрітої води; *4* – водопровідна труба; *5* – паропровід з котельні; *6* – зворотна труба; *7* – гідравлічний клапан; *8*, *9* – нижня і верхня перфоровані труби відповідно

Іншим способом теплової обробки є запарювання виробів у автоклавах – спеціальних апаратах, що герметично закриваються. Сутність способу полягає в тому, що при тиску насиченої пари 0,8…1,3 МПа вода як рідка фаза зберігається навіть за температури 175…193 °С. Це створює сприятливі умови для прискорення твердніння й виготовлення виробів високої міцності. Режим автоклавної обробки залежить не тільки від часу попередньої витримки виробів до пуску пари у автоклав, тиску пари ізотермічного прогріву, інтенсивності підйому й зниження тиску пари, але й від умов охолодження виробу після зниження тиску пари до атмосферного. Запарювання у автоклавах є найбільш ефективним методом теплової обробки, особливо для виробів з ніздрюватих бетонів.

Контакте прогрівання виробів здійснюється шляхом безпосереднього контакту виробу з джерелом теплоти чи з нагрівальними приладами, які прогрівають стінки форми. Як джерело теплоти використовують гостру пару, гарячу воду або гарячі мастила. Цей спосіб теплової обробки ефективно застосовують для виготовлення тонкостінних виробів у касетах при достатній їх герметизації. Крім того, за допомогою нагрітої води чи мастила здійснюють обробку деяких видів виробів у термобасейнах (твердіння виробів у гарячій воді).

Після теплової обробки виготовлення залізобетонних виробів, якщо не потрібна подальша обробка поверхні, закінчується. Звільнений від форми виріб перевіряється відділом технічного контролю заводу й подається на склад готової продукції.

Виробництво залізобетонних виробів для збірного будівництва розвивається за двома принципово різними напрямками: формування в стаціонарних, нерухомих формах – стендова і касетна технологія; формування в рухомих формах – поточно-агрегатний спосіб і на піддонах-вагонетках – конвеєрна технологія.

Стендова технологія. Стенд являє собою залізобетонну площадку з гладкою поверхнею, розділену на окремі технологічні площі. На площадці встановлюють опалубку визначеної конфігурації, утворюючи форму майбутнього виробу. При стендовому способі виробництва виріб протягом усього виробничого циклу (до моменту затвердіння бетону) залишається на місці. У той же час технологічне обладнання для виконання окремих операцій з укладання арматури, бетонної суміші й ущільнення переміщається послідовно від однієї форми до іншої.

Високий економічний ефект стендовий спосіб дає в разі виготовлення залізобетонних виробів значних розмірів: плит перекриттів, ферм і балок для промислового і транспортного будівництва.

Стендовий спосіб виробництва поширений у масовому виготовленні виробів у касетах (рис. 9.4).

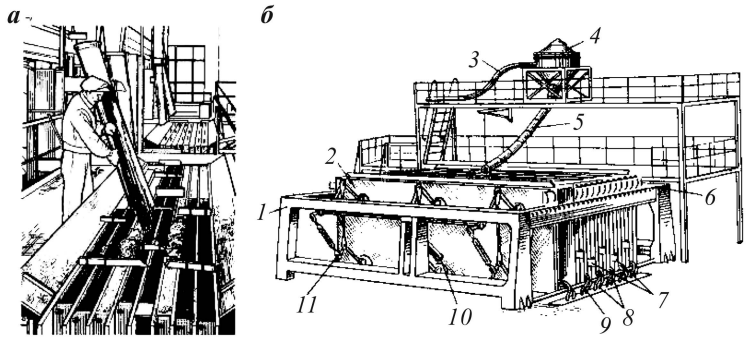


Рис. 9.4. Виготовлення збірних залізобетонних виробів касетним способом:

а – загальний вигляд цеху; *б* – касетно-формувальна установка; *1* – станина; *2* – упори для обтискування касети; *3* – бетоновід; *4* – бункер для бетонної суміші; *5* – шланг для укладання бетонної суміші; *6* – опори розділяючих стінок; *7* – навісні вібратори; *8* – вертикальні розділяючі стінки касети; *9* – подача пари в теплові відсіки; *10* – гідроціліндр для привода; *11* – механізм обтискування касети

За *касетного способу* вироби виготовляють у вертикальних формах-касетах, що являють собою ряд відсіків, утворених сталевими укріпленими стінками-перегородками. На касетній установці здійснюється весь цикл виробництва тонкостінних виробів, тобто установка арматури, укладання й ущільнення бетонної суміші й твердіння. З цією метою

касетна установка має вібрувальні пристрої і пристрої для прогрівання парою чи електропрогрівання виробів у процесі твердіння.

Поточно-агрегатний спосіб виробництва полягає в тому, що всі операції з виготовлення виробу, очищення й змащення форм, укладання арматури й бетонної суміші, тверднення й розпалублення виконуються на спеціальних постах, що утворюють визначену поточну технологічну лінію. Виріб разом з формою послідовно переміщається (за допомогою крана чи тельфера) від поста до поста з різними інтервалами часу, що залежать від тривалості тієї чи іншої операції – від декількох хвилин (змащення форм) до декількох годин (тверднення в пропарювальних камерах).

Основна перевага поточно-агрегатного способу виробництва – в універсальності основного технологічного обладнання. Так, у зв'язку з незначною витратою коштів на виготовлення нових форм можна швидко переходити на випуск іншого виду виробів. Цей спосіб виробництва залізобетону набув у нашій країні найбільшого поширення. Він економічно доцільний для заводів із широкою номенклатурою виробів і середньою річною продуктивністю до 100 тис. $м^3$.

Конвеєрний спосіб виробництва являє собою більш досконалу потокову технологію й дозволяє максимально механізувати й автоматизувати основні технологічні операції. За цього способу технологічна лінія працює за принципом замкнутого пульсуючого конвеєра. Вагонетки-піддони, на яких складається форма виробу, переміщаються по конвеєрній лінії для виробничих операцій: очищення й змащення форм, укладання арматури й бетонної суміші, ущільнення суміші, теплової обробки і розпалублення з інтервалом часу, необхідним для виконання найбільш тривалої операції.

Конвеєрний спосіб виробництва економічно доцільний для випуску однотипних виробів на заводах великої потужності. Подальшим удосконалюванням конвеєрної технології є виготовлення залізобетонних виробів для збірного будівництва на спеціальних прокатних станах.

9.5. Залізобетонні вироби й конструкції для збірного будівництва

Для будівництва будівель і споруд використовують збірні фундаментні плити, блоки, балки й інші елементи для монтажу частин будівель нижче рівня підлоги першого поверху; елементи каркаса будівель і міжповерхових перекриттів, стінові панелі й блоки, сходові марші й площадки.

Фундаментні плити – масивні елементи фундаменту трапецеїдальної форми з розмірами: довжина – 80, 100, 120 см, ширина – від 120 до 320 см, висота 40…50 см. Плити армують арматурною сіткою і виготовляють з бетону класу В15.

Фундаментні блоки являють собою прямокутні паралелепіпеди з бетону класу В10. Довжина блоків може досягати 3 м при товщині 40…60 см і висоті 60 см. Блоки армують тільки монтажною арматурою. У торцевій частині блоків для кращого їх зчеплення між собою влаштовують пази, які заповнюють під час монтажу фундаменту розчином чи бетоном.

До виробів для конструкцій каркасів будівель належать колони, горизонтальні пов'язі або діафрагми – ригелі й прогони (рис. 9.5).

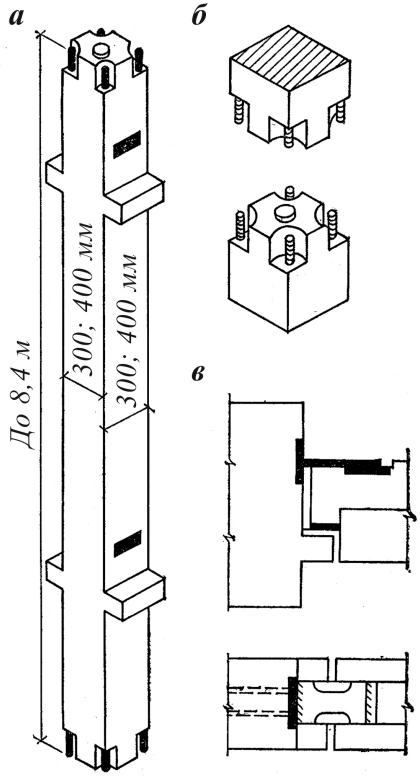


Рис. 9.5. Елементи уніфікованого каркаса:
а – колони; *б* – ригель; *в* – з'єднання ригеля з колонами

Їх виготовляють з армованого бетону не нижче класу В15. Для надійного з'єднання стояків з ригелями і прогонами у виробах передбачені закладні металеві деталі з подальшим зварюванням їх при монтажі.

Стінові панелі підрозділяють:

а) на панелі для зовнішніх стін неопалюваних будівель з важких і легких бетонів класу не нижче В15; для опалюваних будівель – одношарові з легких чи ніздрюватих бетонів і шаруваті з важкого бетону з теплоізоляційним прошарком;

б) панелі для внутрішніх стін, виготовлені з важкого чи легкого бетону класу не нижче В10, панелі перегородок, армовані й неармовані, виготовлені з різних видів бетону.

Одношарові панелі найчастіше виготовляють із залізобетону із застосуванням пористого заповнювача (керамзиту), шлаку й ін. Для облицювання таких панелей використовують керамічні плитки й інші декоративні покриття (рис. 9.6). Товщина зовнішніх стінових панелей може бути від 16 до 45 см.

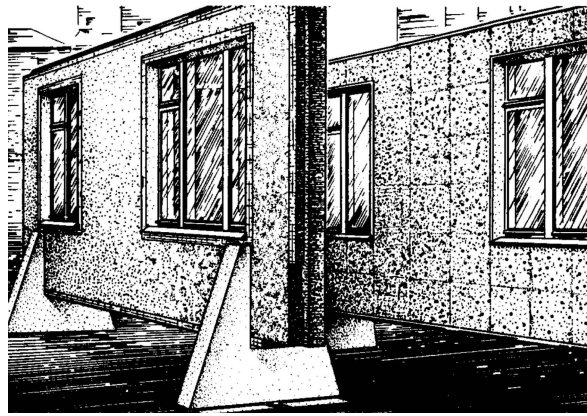


Рис. 9.6. Внутрішня поверхня стіни під фарбування

Стінові блоки застосовують у великоблочному будівництві. Їх розділяють на п'ять марок за границею міцності під час стиску – від 50 до 200 кгс/см^2 (5,0…20,0 МПа). Незалежно від різновиду бетонів середня густина блоків за умовами теплотехнічних вимог не повинна перевищувати 1 600 кг/м^3.

Блоки мають конструктивну чи монтажну арматуру й застосовують їх для зовнішніх і внутрішніх стін. Блоки можуть бути суцільними чи порож-

нистими (рис. 9.7). Зовні їх покривають декоративним, а зсередини – штукатурним розчинами.

Морозостійкість великих стінових блоків і панелей для монтажу зовнішніх елементів будівель повинна бути не менше F15.

Елементи міжповерхових перекриттів – настили й панелі перекриттів – виготовляються зі звичайного бетону класу не нижче В15 із круглими чи овальними пустотами.

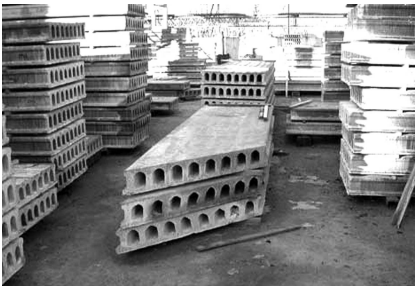


Рис. 9.7. Панелі перекриття з круглими пустотами

Настили мають довжину, що перекриває шестиметровий прогін, при товщині 200…220 мм і ширині від 80 до 1 500 мм і армуються звичайною чи попередньо напруженою арматурою.

Панелі перекриттів можуть випускатися розмірами на «кімнату». Застосування тонкостінних панелей розміром на «кімнату», що мають підвищену заводську готовність, значно знижує витрату сталі на 1 м^2 перекриття.

Санітарно-технічні пристрої, тобто елементи для мережі водопроводу, каналізації, опалення й вентиляції, сміттєпроводів, також можуть бути виконані на основі збірних залізобетонних виробів. На заводі металеві труби водопровідної та каналізаційної мереж, труби гарячого водопостачання замонолічують (у процесі виготовлення) у масив залізобетонних панелей і блоків. Такі вироби й деталі, доставлені на будівельний майданчик, дозволяють зібрати мережі водопостачання і водовідведення в короткі строки.

Як елементи витяжної вентиляції застосовуються блоки у вигляді прямокутних залізобетонних виробів із круглими чи прямокутними отворами. Ширина таких блоків призначається залежно від кількості витяжних отворів, а довжина – залежно від висоти приміщення.

Елементи сходів із збірного залізобетону виготовляють у формах, що дозволяють одержувати виріб певного сходового профілю. Сходові площадки у вигляді прямокутних плит, так само як і марші, виготовляють з бетону класу не нижче В15 і армують арматурною сіткою.

У цивільному будівництві нагромаджений достатній досвід монтажу житлових будівель з об'ємних залізобетонних блоків-кімнат і блоків-квартир. Такі блоки-квартири виготовляють на спеціалізованих домобудівних комбінатах у вигляді об'ємної залізобетонної конструкції. Ідея монтажу

будівель із заздалегідь виготовлених блоків виникла на початку XX ст. (патент № 5882, виданий Російським Привілеєм у 1901 р.), а реалізована вона була в 1955 р. Готові блоки-квартири доставляють на місце будівництва і встановлюють за допомогою козлових чи інших кранів (рис. 9.8).

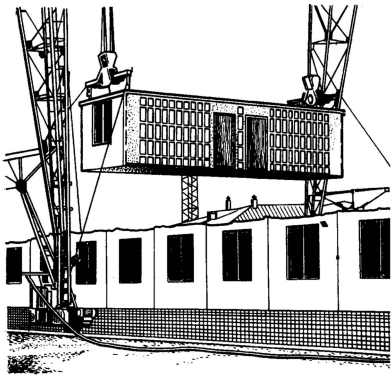


Рис. 9.8. Блок-квартира

У будівництві промислових будівель і споруд застосовують збірні деталі й вироби, аналогічні виробам для цивільних будівель. Однак для монтажу каркаса промислових будівель використовують колони, балки, підкранові балки та ферми, що мають відмінні риси. Колони можуть бути безконсольними, одно- та двоконсольними, суцільними – прямокутного чи таврового профілю, двогілчастими і ґратчастими. Найбільш високі техніко-економічні показники мають двогілчасті колони, які при однаковій несучій здатності мають значно меншу масу, що дозволяє збільшувати їх довжину до 35 м при ширині 1 м.

Усі різновиди колон виконують з важкого бетону класу не нижче В45, армованого звичайною чи попередньо напруженою арматурою.

Балки, застосовані для монтажу промислових будівель, можуть бути прямокутного, таврового чи двотаврового профілю залежно від прогону, який перекривається. Армують балки звичайною арматурою, а якщо прогон понад 12 м – попередньо напруженою арматурою. Для виготовлення балок використовують важкі бетони класу не нижче В45.

Для перекриття прогону промислових будівель застосовують ферми й арки з попередньо напруженою арматурою (рис. 9.9).

Для перекриття великих прогонів при обґрунтуванні доцільності використовують залізобетонні та армоцементні оболонки.

Залізобетонні оболонки можуть бути виконані в збірному або монолітному варіанті з використанням важких бетонів класу В45…В60. Плита оболонки армується зварними сітками, а бортові елементи звичайною і попередньо напруженою арматурою.

Армоцементні оболонки й вироби виготовляють із піщаного (дрібнозернистого) бетону класу В45…В60 з армуванням зварними сітками та звичайною і попередньо напруженою арматурою в бортових елементах.

Для ущільнення бетонної суміші використовують ефективні способи – високочастотне вібрування, віброштампування, вібропрокат і т. ін.

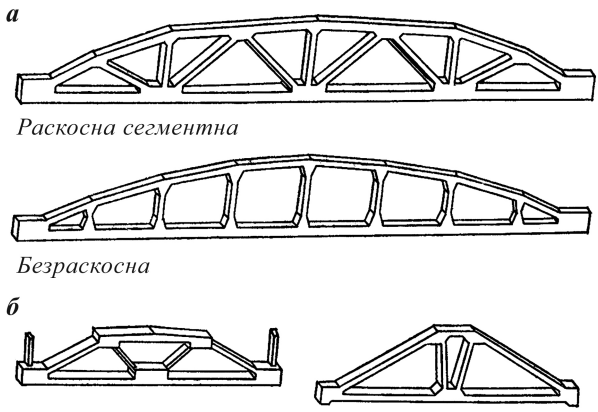


Рис. 9.9. Кроквяна арка прогоном 18 м (*а*) і підкроквяна ферма (*б*)

Залізобетонні труби можуть бути безнапірні й напірні. Безнапірні залізобетонні труби для міських колекторів і промислових водоводів випускаються діаметром від 1 700 до 3 500 мм при довжині до 4,0 м і товщині стінок 110…180 мм з арматурою у вигляді подвійного спірального каркаса. Високоякісні напірні розтрубні труби з робочим тиском 1,0 МПа і більше виготовляють діаметром від 500 до 1 500 мм і довжиною до 5 м.

9.6. Вироби спеціального призначення

Для транспортного будівництва специфічними деталями є прогінні будови від 2 до 33 м, труби з отворами від 1,5 до 5,0 м, рамно-блочні й пальово-естакадні мости, тюбінги для тунелів, фундаменти й опори контактної мережі, шпали для магістральних і під'їзних колій (рис. 9.10 і 9.11). Виготовляються конструкції пасажирських платформ, тягових підстанцій, водонапірних башт, лінійних будинків і лежнів.

Тунелі метрополітенів, а в ряді випадків і залізниць укріплюють тюбінгами. Довгий час застосовувалися чавунні тюбінги. Зараз їх замінюють залізобетонними, що дає значний економічний ефект.

Вироби для метрополітенів і тунелів виготовляють із важкого цементного бетону класу за границею міцності при стиску: для блоків і тюбінгів обробок тунелів, блоків стін, колон і перекриттів станцій метрополітену – не нижче В30; для інших виробів – не нижче В15.

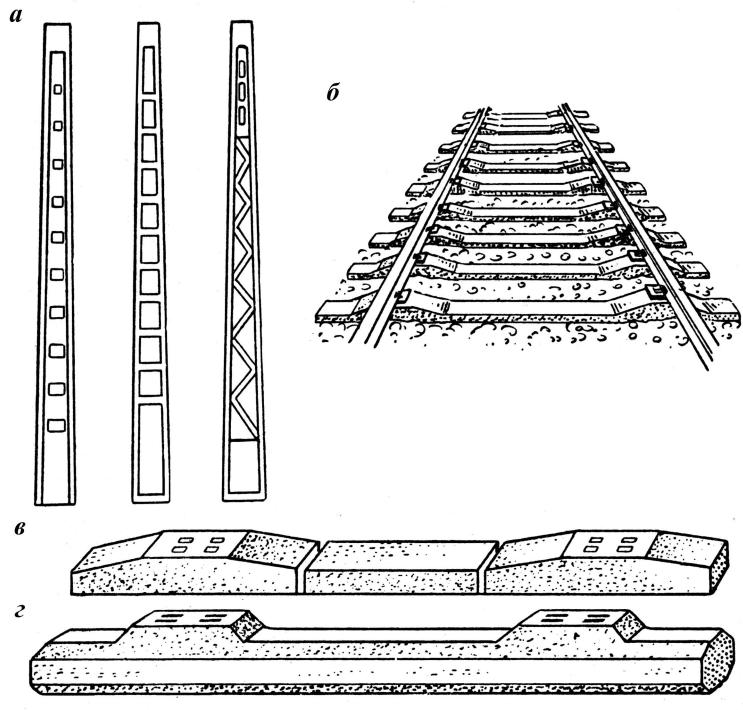


Рис. 9.10. Залізобетонні деталі для транспортного будівництва:
а – збірні залізобетонні опори для контактної мережі; *б* – залізнична колія на цільнобрускових шпалах з попередньо напруженого струнобетону; *в*, *г* – суцільнобрускові й двошарнірні шпали відповідно

У разі сильного потоку ґрунтових вод, а також за наявності агресивного середовища для виготовлення залізобетонних виробів для оброблення тунелів застосовують спеціальні склади бетону. Підвищені вимоги до бетонів, застосовуваних для виробів метрополітенів і тунелів, ставляться за морозостійкістю й водонепроникністю.

Дерев'яні шпали недостатньо довговічні. Строк їх служби не перевищує 15 років, тоді як залізобетонна шпала зберігається до 50 років. Тож у переважній більшості випадків застосовують залізобетонні шпали. Їх використання у залізничному будівництві відрізняється особливою техніко-економічною ефективністю. Довжина споруджуваних залізниць вимірюється тисячами кілометрів, а на кожен кілометр колії при верхній будові важкого типу потрібно до 2 000 шпал.

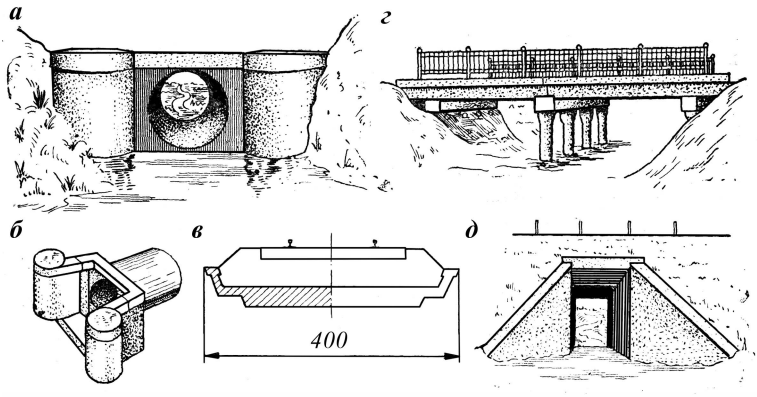


Рис. 9.11. Залізобетонні деталі для збірних штучних споруд:
а, *в* – збірна залізобетонна безфундаментна труба; *б* – збірний залізобетонний міст на стовпових опорах; *г* – прогінна будова збірного моста; *д* – збірна залізобетонна чотиришарнірна прямокутна труба

Для мостових конструкцій виготовляють прогінні будови попередньо напружені з бетону класу не нижче В30, стояки опор мостів – з бетону класу не нижче В25; морозостійкість бетону не менше F200.

Плити покриття доріг і аеродромів виготовляють із бетону класу В25, аеродромні плити – попередньо напружені морозостійкістю не менше F100…150 залежно від кліматичних умов, розмірами до $3 \times 1{,}75$ м при товщині 13…17 см.

Специфічними виробами залізнично-дорожнього будівництва є шпали й опори контактної мережі електрифікованих залізниць.

Опори контактної мережі являють собою вертикальні стояки висотою 10…15 м, до яких кріпиться консоль, яка служить підвіскою для проводу. Перші залізобетонні опори мали суцільний прямокутний переріз; зараз застосовують трубчасті, двотаврові й швелерні опори з наскрізними

й ґратчастими стінками. Клас бетону опор – не нижче В30, морозостійкість F100…200 залежно від кліматичних умов. Для підвищення довговічності й жорсткості опори виготовляють попередньо напруженими.

Зазвичай для шпал застосовують попередньо напружений залізобетон. Шпали з ненапруженого залізобетону чутливі до тріщиноутворення за значних згинальних моментів. Їх армують стержневою, дротовою й пасмовою арматурами. Залізобетонні шпали поділяються на суцільнобрускові й складені. Складені можуть бути двоблочними з металевим зв'язком і двошарнірними. Більш доцільне застосування складених шпал з ненапруженого залізобетону у вигляді двох залізобетонних блоків з металевим зв'язком між ними й то лише на лініях з малою вантажонапруженістю й невисокими навантаженнями на осі. Так, у Франції, Швейцарії, Алжирі, Іспанії, Ірані, Південній Африці й деяких інших країнах набули поширення двоблочні шпали типу RS, а останнім часом – типів SL й VAX6. Маса таких шпал близько 180 кг. На такі шпали витрачається метал менш дорогий, ніж для попередньо напружених шпал, але його потрібно в 3…4 рази більше. Недоліком їх є мала епюрна площа, що створює підвищені тиски на баласт й основну площадку земляного полотна. Крім того, мала жорсткість з'єднання блоків дає можливість переміщення й повороту їх один відносно одного, зміни ширини колії.

Найбільш раціональними є суцільнобрускові попередньо напружені шпали. Ці шпали прості у виготовленні при стержневій або пасмовій арматурах. При цьому застосовуються стержні діаметром 10…14 мм із границею пружності й міцності залежно від діаметра відповідно від 539 до 882 МПа й від 1 323 до 1 470 МПа. Прагнення створити ще більш однорідне попереднє напруження по перерізу шпали привело до варіантів з вісьма й дев'ятьма стержнями, або круглим перерізом діаметром близько 7 мм, або навіть до овального перерізу періодичного профілю (з ребрами) з розмірами осей 8 й 11 мм. Найбільш надійним прийомом під час виготовлення шпал є закріплення стержнів за торцеві стінки форм або за тверді упори і їх натяг. Потім форма заповнюється бетоном. Після вібрації, пропарювання й твердіння бетону натяжні пристрої знімають, і попереднє напруження арматур передається бетону.

Застосування пасмової арматури дає можливість у кожному пасмі зосередити відносно тонкі високоміцні дроти (у США сім дротів діаметром близько 3,7 мм утворюють одне пасмо діаметром приблизно 11 мм). Використання пасмової арматури дозволяє забезпечити більш високий попередній натяг в арматурі в порівнянні зі стержневою арматурою тієї ж площі поперечного перерізу.

Найбільш досконалі так звані струнобетонні шпали, армовані тонкими дротами, розташованими дисперсно по перерізу шпали. Їх застосовують у СНД, Англії, Японії й у ряді інших країн.

У Франції з 1973 р. перейшли до застосування суцільнобрускових шпал як зі стержневою арматурою (чотири стержні діаметром 9,5 мм) періодичного профілю, так і із дротовою арматурою (18 гофрованих дротів діаметром 5 мм).

З 1 січня 1990 р. в Україні діє ГОСТ 10629-88 «Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1 520 мм. Технічні умови». Шпали ШС-1 призначені для скріплень типу КБ, а шпали ШС-2 – для скріплень типів ЖБР і БП (рис. 9.12). Відрізняються ці шпали одна від одної лише відстанями між осями отворів для закладних болтів (ці відстані становлять 310 мм у першому й 244 мм у другому випадку).

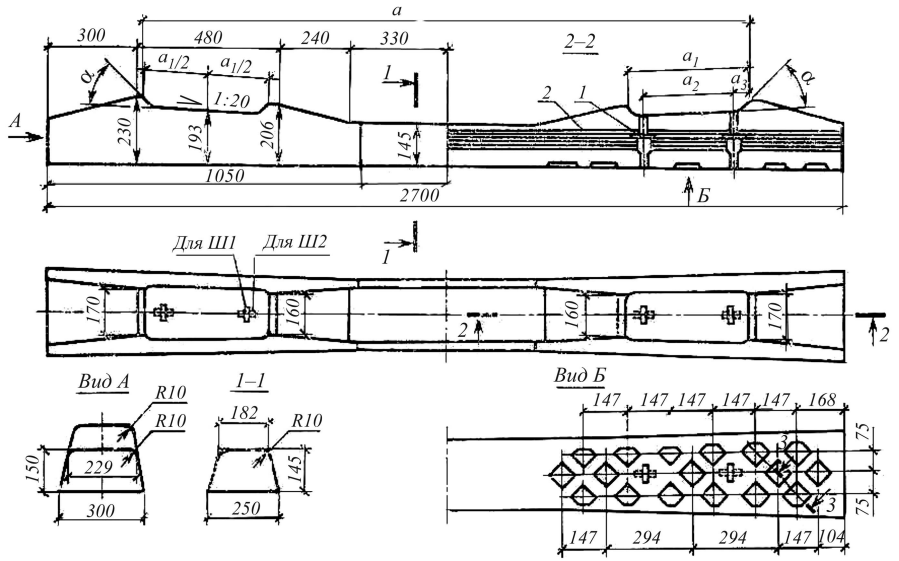


Рис. 9.12. Шпала залізобетонна попередньо напружена для колії шириною 1 520 мм:
1 – закладна шайба; *2* – дротова арматура

Крім шпал ШС-1 і ШС-2 випускають поліпшені шпали ШС-1в і ШС-2в, у яких на торцях збільшена:

1) їх висота з 135 до 150 мм, що підвищує опір зсуву шпал по баласту;

2) товщина захисного шару бетону над верхнім рядом струн від 15 до 30 мм.

Розосереджені по перерізу бетону 44 холоднотягнуті дроти періодичного профілю діаметром 3 мм згідно з ГОСТ 7348 та ТУ 14-4-1471-87 із високоміцної сталі забезпечують високу тріщиностійкість і міцність шпали. Загальний натяг усіх арматур повинний бути не менше 357 кН, а однієї струни – 8,1 кН. Попереднє напруження арматури повинно становити 1147 МПа. Для струнобетонних шпал ШС застосовують бетон класу В40. Марка бетону за морозостійкістю повинна бути не менше F200. На одну шпалу ШС витрачається 7,96 кг металу, у тому числі 6,53 кг високоміцного дроту. Об'єм шпали 0,106 $м^3$, маса близько 265 кг.

Вироби гідротехнічного будівництва – балки й балкові плити перекриттів прогоном більше 6 м між бичками й для утворення водозливних поверхонь гребель, для шпунта паль, балок естакад морських портів, фундаментні плити, підпірні елементи річкових набережних виготовляють із бетону класу В25 і вище. Деякі збірні елементи гідротехнічних і меліоративних споруд, наприклад дренажні блоки й труби, блоки для хвилеломів, вироби, застосовувані в мережних спорудах меліоративних систем, та інші виготовляють із бетону класу В15.

9.7. Монолітний залізобетон

Поряд із залізобетонними виробами для збірного будівництва успішно використовують монолітний залізобетон. Виготовлення монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій економічно доцільно під час використання індустріальних методів виконання робіт і широкого застосування сучасної опалубки. В процесі бетонування ефективним є раціональне поєднання збірного й монолітного залізобетону із звичайною й попередньо напруженою арматурою.

Відмітною рисою монолітного залізобетону є те, що основні технологічні операції – монтаж опалубки, укладання арматури й бетонної суміші в опалубку, ущільнення бетонної суміші, твердіння і догляд за бетоном – здійснюють в умовах будівельного майданчика.

Залежно від конфігурації конструкції використовують різні види опалубки: стаціонарну, розбірно-переставну, переміщувану в горизонтальному або вертикальному напрямках й ін.

Арматурні вироби виготовляють в арматурно-зварювальних цехах залізобетонних заводів і доставляють на місце установки в опалубку. Бетонну суміш готують на механізованих (автоматизованих) бетонних заводах і у вигляді «товарного бетону» доставляють на місце укладання. Для монолітного залізобетону використовують або важкі цементні бетони, або легкі із застосуванням пористих заповнювачів. Однією із вагомих (основних) вимог до якості бетонної суміші є зручність укладання. Для більшості монолітних залізобетонних виробів і конструкцій осідання стандартного конуса знаходиться в межах від 1…3 см (фундаменти, підпірні стінки, блоки масивів і т. ін.) до 6…8 см (конструкції, насичені арматурою, тонкі стінки, плити, колони малого перерізу й ін.).

Транспортують бетонну суміш на місце робіт автобетонозмішувачами. У автобетонозмішувачах готові бетонні суміші не забруднюються, не розшаровуються і зберігають однорідність, тому що можуть перемішуватися під час транспортування. Бетонну суміш часто виготовляють безпосередньо в барабані автобетонозмішувача. Сухі складові в заданих кількостях завантажують у барабан на центральному дозувальному вузлі, за 5…8 хв до прибуття на місце робіт виготовляють бетонну суміш.

На будівельному майданчику для транспортування й укладання бетонної суміші використовують крани, транспортери, пневмонасоси й пневмонагнітачі. Пневматичний спосіб подачі бетонної суміші до місця укладання відрізняється простотою і дозволяє транспортувати її стисненим повітрям по трубах на відстань до 150 м.

Для ущільнення бетонної суміші в опалубці використовують поверхневі або глибинні вібратори.

Монолітні бетонні й залізобетонні конструкції бетонують безперервно ділянками або блоками. Безперервне укладання бетонної суміші здійснюють у тому випадку, коли необхідно отримати підвищену монолітність і однорідність бетону в конструкції. Якщо бетонують конструкції великої площі (залізобетонні перекриття), роботи ведуть ділянками, передбачаючи влаштування робочих швів у місцях мінімальних напружень.

Якість бетонної конструкції значною мірою залежить від умов гідратації цементу й формування оптимальної структури залізобетону. Тому відразу після укладання й ущільнення бетонної суміші починають догляд за бетоном. У літній період поверхні свіжоукладеної бетонної суміші захищають від висихання в перші години твердіння і від дощу. Для цього після закінчення бетонування відкриті горизонтальні поверхні конструкції покривають шаром вологого піску, тирси або зволоженою мішковиною. У жарку погоду покриття підтримують у вологому стані до набуття

бетоном не менше 70 % проектної міцності. Вертикальні поверхні залізобетонної конструкції після зняття опалубки поливають водою.

В разі бетонування конструкцій з великою поверхнею і довжиною (аеродромні й дорожні бетонні покриття) для збереження вологи застосовують покриття із плівки, що відбивають сонячні промені, зберігають вологу й запобігають появі температурно-усадкових деформацій.

Після досягнення бетоном проектної міцності опалубку знімають. Залізобетонні конструкції можуть сприймати відповідне навантаження.

Контроль якості залізобетонних виробів включає перевірку фактичної міцності бетону під час стиску, водонепроникності (для бетонних труб), якості армування й товщини захисного шару бетону. Крім того, перевіряється відповідність форми й розмірів, якість обробки поверхні, а вибірково – тріщиностійкість і жорсткість виробів.

Залізобетонні вироби необхідно зберігати на складах, розсортовуючи за видами й типорозмірами. Готові вироби на складі слід розташовувати на дерев'яних прокладках правильними рядами. Залізобетонні вироби необхідно зберігати в проектному положенні. Так, стінові панелі й перегородки – у вертикальному чи злегка похилому положенні; настили перекриттів, двотаврові балки й ферми, колони, залізобетонні палі й опори ЛЕП – у горизонтальному.

9.8. Гіпсові й гіпсобетонні вироби

Вироби, отримані на основі гіпсової в'яжучої речовини, розділяють на гіпсові й гіпсобетонні. Гіпсові вироби виготовляють з гіпсового тіста, іноді з мінеральними чи органічними домішками для поліпшення технічних властивостей готової продукції, гіпсобетонні – із суміші гіпсового й цементного тіста із застосуванням дрібнозернистих і крупних пористих заповнювачів: мінеральних – шлаку, черепашнику, туфового і пемзового заповнювачів та інших і органічних – тирси, січки соломи, очерету, костриці льону, деревної вовни й т. ін.

Гіпсові й гіпсобетонні вироби можуть бути повнотілими й порожнистими (об'єм пустот більше 15 %), армовані й неармовані. За призначенням їх поділяють на плити й панелі (для перегородок, перекриттів); листи для облицювання стін (гіпсова «суха штукатурка»); камені стінові; теплоізоляційні матеріали; архітектурно-декоративні деталі.

Гіпсові й гіпсобетонні вироби виготовляють за технологією ШБК, яка включає такі операції: підготовка й дозування складових, приготування гіпсового тіста чи гіпсобетонної суміші, формування виробів, звільнення їх від форм і сушіння.

Бетони на основі будівельного гіпсу завдяки ряду цінних властивостей в'яжучої речовини (швидке твердіння у звичайних умовах і здатність легко формуватися) є перспективними при виготовленні великорозмірних елементів для збірного будівництва. Вони характеризуються низькою тепло- і звукопровідністю (при відносно малій середній густині), мають достатню міцність, легко піддаються механічній обробці й фарбуються в різні кольори. Вироби, отримані на основі гіпсових в'яжучих, мають середню густину в межах 800…1100 кг/м^3 (для гіпсових) і 1200…1500 кг/м^3 (для гіпсобетонних), а границю міцності під час стиску – від 2,5 до 10,0 МПа. Міцність гіпсових і гіпсобетонних виробів залежить (так само, як і для цементних бетонів) від активності гіпсового в'яжучого, водогіпсового відношення та якості заповнювачів. Для зниження витрати в'яжучого та середньої густини виробів іноді при підготовці гіпсового тіста його змішують з технічною піною чи додають газотвірних речовини. У цьому випадку отримують піногіпсові чи газогіпсові вироби із середньою густиною до 800 кг/м^3. До недоліків виробів з гіпсу і гіпсобетону варто віднести низьку водостійкість, гігроскопічність, крихкість і малу міцність під час згину. Такі вироби й конструкції не можна застосовувати в приміщеннях з вологістю повітря більше 60 %.

Нижче розглянуті основні різновиди цієї продукції.

*Гіпсобетонні панел*і широко використовують у будівництві для влаштування перегородок, санітарно-технічних кабін, основ підлоги й інших деталей. Панелі для самонесучих перегородок виготовляють з гіпсобетону з границею міцності під час стиску не менше 3,5 МПа і середньою густиною до 1400 кг/м^3. Вологість гіпсобетонних панелей при доставці споживачу не повинна перевищувати 8…12 %. У зв'язку з цим техніко-економічні показники виробництва панелей у касетах нижче у порівнянні з виготовленням їх способом безперервного прокату.

Гіпсобетонні панелі, армовані дерев'яною рейковою арматурою, широко застосовуються для влаштування несучих перегородок у житлових, цивільних будівлях, а також у побутових приміщеннях промислових будівель. Вони можуть бути суцільними чи з прорізами для дверей і розмірами «на кімнату». Розмір панелей перегородок по ширині звичайно дорівнює висоті поверху, а по довжині відповідає довжині чи частині довжини кімнати (3 × 6 м) при товщині панелі 80…120 мм. Готові панелі

повинні мати гладку поверхню, придатну для фарбування чи обклеювання шпалерами.

Гіпсобетонні панелі для влаштування санітарно-технічних кабін і вентиляційних комунікацій житлових і промислових будівель виготовляють з гіпсобетону з границею міцності під час стиску 6,0…7,0 МПа у висушеному до постійної маси стані. Крім того, гіпсобетонні панелі можуть бути використані для влаштування підлоги під лінолеум, мастичні підлоги, полівінілхлоридні плитки й ін. Такі панелі виготовляють на основі гіпсоцементопуцоланового в'яжучого (50…70 % напівводного гіпсу, 15…20 % портландцементу і 10…25 % активної мінеральної домішки) товщиною не менше 50 мм і армують їх дерев'яними каркасами. Вони повинні мати границю міцності під час стиску не менше 7,0 МПа, а середню густину – до 1300 кг/м^3 (при вологості 10 %). Застосування гіпсобетонних панелей у будівництві дозволяє прискорити опоряджувальні роботи й знизити собівартість влаштування перегородок.

Ефективними є гіпсоволокнисті панелі із застосуванням волокнистих заповнювачів у вигляді макулатури, очерету, відходів текстильного виробництва, січки соломи.

Економічно доцільним методом виробництва панелей є виготовлення їх на прокатних станах, з армуванням дерев'яним рейковим каркасом. Шнековий укладальник прокатного стану подає на раніше покладений каркас гіпсобетонну масу й розподіляє її рівним шаром по ширині панелі (рис. 9.13). Розрівняна гіпсобетонна маса проходить між двома гумовими стрічками, що рухаються з однаковою швидкістю в одному напрямку, і ущільнюється калібрувальними валками. Калібрувальні валки, що надають панелі остаточні розміри за товщиною, не стикаються з ущільненою масою, тому що відокремлюються від неї гумовими стрічками, які рухаються. Відформована панель надходить на обгінний рольганг і за короткий проміжок часу твердне.

Далі рольгангом панель подається на кантувач, перевертається у вертикальне положення і направляється в сушильну камеру. Панелі сушать протягом 20…26 год гарячими газами з температурою теплоносія 110…130 °С і після просушування (до вологості 12 %) транспортують на будівельний майданчик чи склад готової продукції.

Гіпсобетонні панелі можуть виготовлятися також у вертикальних формах-касетах. Відповідні установки дозволяють здійснювати ті ж виробничі операції, що і при виготовленні панелей на прокатних станах. Однак тривалість циклу виготовлення панелі в касетах складає близько години, а при безперервному прокаті – усього лише 15…20 хв.

Гіпсобетонні плити виготовляють з гіпсового тіста чи розчину й гіпсобетонних сумішей. Вони можуть бути суцільними й порожнистими, з розмірами 0,8 × 0,4 м при товщині 80…100 мм. Виробництво плит складається з підготовки гіпсової маси, формування й висушування виробу. Формування плит проводять:

1) методом лиття гіпсового тіста, що містить до 55…75 % води, у форми й ущільнення виробу вібрацією;

2) методом пресування, за якого будівельний гіпс незначно зволожується водою і після заповнення ним форми виріб пресують. У цьому випадку досягається висока міцність виробів і відпадає необхідність у сушінні. Вологість виробів не повинна бути більше 8 % при середній густині 1 000…1 400 кг/м^3.

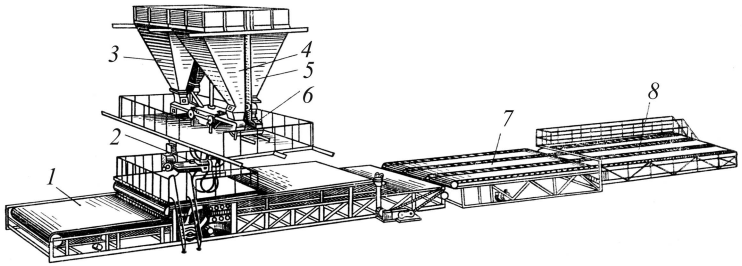


Рис. 9.13. Технологічна схема виробництва гіпсобетонних панелей методом прокату:

1 – прокатний агрегат; *2* – розчинозмішувач; *3*, *4*, *5* – бункери відповідно гіпсу, піску, тирси; *6* – дозатор-живильник; *7* – обгінний рольганг; *8* – кантувач

Гіпсобетонні плити застосовують для влаштування перегородок і як вогнезахисне облицювання дерев'яних конструкцій.

Листи гіпсокартонні (гіпсова «суха штукатурка») (ДСТУ Б В.2.7-95-2000) являють собою оздоблювальний матеріал, який складається з тонкого шару затверділого гіпсового тіста з деякою кількістю в ньому наповнювача й технічної піни, обклеєного картоном. Картон ніби армує гіпсове тісто, підвищує міцність виробу й дозволяє проводити обробку стіни без спеціальної підготовки. Піна зменшує середню густину гіпсового тіста до 900 кг/м^3 і нижче.

При виготовленні сухої гіпсової штукатурки використовують також різні домішки, що вводять з метою регулювання термінів тужавлення

гіпсу, одержання пористої структури й кращого зчеплення гіпсової маси з картоном.

Гіпсові обшивні листи виготовляють на прокатних конвеєрних установках за такою технологічною схемою. Попередньо приготовлене гіпсове тісто надходить у змішувач й перемішується зі стійкою технічною піною.

Отриманий піногіпс виливають на лист картону, що рухається разом з гумовою стрічкою транспортера, і покривають зверху іншим листом. Після цього гіпсова маса, покрита картоном, протягається між формуючими валками, що знаходяться один від одного на відстані, рівній товщині сухої штукатурки. Пройшовши між формувальними валками, гіпсокартонна стрічка разом із транспортером продовжує рухатися до обрізного пристрою і під час руху твердіє. Після тужавлення вона розрізається на листи необхідної довжини, які потім надходять у багатоярусні сушила. Просушені обшивні листи відправляють на склад готової продукції.

Листи сухої гіпсової штукатурки випускають довжиною від 2,5 до 3,5 м, тобто на всю висоту поверху приміщення, що облицьовується, при ширині 1,2 і 1,3 м і товщині 10 і 12 мм.

Зараз виготовляють також гіпсоволокнисту суху штукатурку, тобто безкартонні гіпсоволокнисті листи. Такі листи отримують з гіпсової маси з органічними волокнистими наповнювачами: макулатурою, льняною кострицею, подрібненою деревиною й ін. До складу гіпсоволокнистих листів входить 90…95 % будівельного гіпсу, 5…10 % волокнистих армувальних матеріалів і вода для утворення гіпсоволокнистої маси.

Гіпсоволокнисті облицювальні листи за міцністю не поступаються сухій гіпсовій штукатурці при значно меншій їх собівартості.

До облицювальних гіпсових листів ставляться такі технічні вимоги. Границя міцності під час згину повинна бути не менше 3,2 МПа при товщині зразка 12 мм і 2,7 МПа при товщині 10 мм. Вологість плит не повинна перевищувати 1…2 % за масою.

Гіпсові облицювальні листи застосовують для обшивання внутрішніх стін перегородок і стель промислових і цивільних будівель з відносною вологістю повітря не більше 60 %. Їх прикріплюють до поверхні спеціальними мастиками, виготовленими на бітумній, казеїновій чи гіпсовій основах.

Гіпсобетонні камені для зовнішніх стін виготовляють суцільними й порожнистими. Такі камені можуть бути використані для мурування стін невідповідальних будівель. За границею міцності під час стиску у висушеному стані гіпсобетонні камені поділяють на марки 35, 50 і 75 (3,5…7,5 МПа).

Крім зазначеної вище продукції можуть виготовлятися гіпсові й гіпсобетонні вироби для перекриттів: самонесучі плити й несучі гіпсові й гіпсобетонні камені. Ці вироби випускаються як суцільними, так і порожнистими, армованими й неармованими, з каркасом і без каркасу. Гіпсові й гіпсобетонні вироби застосовують як вкладиші, а також для заповнення часторебристих панелей перекриттів у житлових і підсобних будівлях і невідповідальних спорудах.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається залізобетоном? Назвіть основні принципи сумісної роботи бетону й арматури.
2. У чому полягає сутність попереднього напруження бетону і які його переваги перед звичайним армуванням? У яких конструкціях застосовують попереднє напруження?
3. Наведіть класифікацію залізобетонних виробів.
4. Які вимоги ставляться до вихідних матеріалів для залізобетонних виробів і конструкцій?
5. Яку арматуру застосовують для армування конструкцій? Які існують способи армування?
6. Назвіть основні технологічні операції виготовлення залізобетонних виробів і конструкцій?
7. У чому полягає процес формування залізобетонних виробів? Які існують способи формування і як вибрати спосіб формування залежно від виду конструкції?
8. Які існують способи прискорення твердіння залізобетонних виробів і конструкцій?
9. Назвіть основні напрямки виробництва залізобетонних виробів для збірного будівництва, вкажіть особливості перелічених технологічних схем. Які конструкції можна виготовляти за цими технологіями?
10. Які вимоги ставляться до залізобетонних виробів і конструкцій для збірного будівництва? Назвіть основні види виробів і матеріалів для цього виду будівництва.
11. Які вироби і конструкції належать до виробів спеціального призначення? Які ставляться до них вимоги?
12. Які види збірних виробів застосовують у дорожньо-мостовому й транспортному будівництві?
13. У чому сутність монолітного будівництва? Які переваги монолітного будівництва перед збірним?

Список рекомендованої літератури

1. Попов Н. Н. Железобетонные и каменные конструкции / Н. Н. Попов, М. Ю. Чарыев. – М.: Строительство, 1996. – 540 с.
2. Гусев Б. В. Вторичное использование бетонов / Б. В. Гусев, В. А. Загурский. – М.: Строительство, 1988. – 300 с.
3. Баженов Ю. М. Технология бетонних и железобетонных изделий / Ю. М. Баженов, А. Г. Комар. – М., 1994.
4. Русанова Н. Г.Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій: Підручник: У 2 ч. 4.2. Виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій / Н. Г. Русанова , П. П. Пальчик, Л. М. Рижанкова. – К.: Вища шк., 1994. – 334 с.
5. Волянський О. А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій: Підручник: У 2 ч. Ч.1. Технологія бетону. – К.: Вища шк., 1994. – 271 с.

РОЗДІЛ 10

Будівельні розчини

10.1. Загальні відомості

Будівельними розчинами називають різновид ШБК, отриманий під час твердіння раціонально підібраної і ретельно перемішаної суміші, яка складається в основному з в'яжучої речовини, води і дрібного заповнювача (піску). Відсутність крупного заповнювача надає будівельним розчинам деяких специфічних особливостей у порівнянні з бетонами, наприклад підвищеної пластичності.

Будівельні розчини застосовуються для зв'язування в моноліт цегляного, кам'яного мурування чи під час монтажу конструкцій та будівельних виробів, наприклад панелей, блоків, під час будівництва збірних житлових і промислових будівель. Розчини використовують також для декоративного оздоблення стін і стель, для влаштування підлог, виготовлення тонкостінних конструкцій, виконання штукатурних робіт.

Основна особливість застосування будівельних розчинів полягає в тому, що їх укладають на пористу основу – цеглу, бетон, пористий камінь – порівняно тонкими шарами без спеціального, як правило, механічного ущільнення. Однак у разі підвищеної жорсткості розчинової суміші нерідко використовується ущільнення, наприклад вібраційне.

Будівельні розчини мають різне функціональне призначення (за ДСТУ Б В.2.7-23-95) і за цією ознакою їх класифікують на кладочні, штукатурні, монтажні спеціальні, до яких належать акустичні, тампонажні, гідроізоляційні, рентгенозахисні й ін.

За видом дрібно-зернистих заповнювачів, які входять до складу будівельних розчинів, виділяють будівельні розчини важкі й легкі. Середня густина важких – понад 1 500 кг/м^3, а легких – менше 1 500 кг/м^3.

За видом в'яжучої речовини розрізняють такі будівельні розчини: цементні, що готуються із застосуванням портландцементу чи його різновидів; вапняні – на основі вапна повітряного чи гідравлічного; гіпсові

із застосуванням у них будівельного чи високоміцного гіпсу; змішані, одержані на основі двох чи декількох в'яжучих, найчастіше цементу та вапна, рідше – цементу та глини. У цих розчинах вапно і глина, а іноді й деякі інші тонкодисперсні й тонкомолоті домішки (шлаки, золи й ін.) відіграють роль твердих пластифікаторів, оскільки вони мають велику водоутримуючу здатність. Їх присутність запобігає інтенсивному відсмоктуванню води з розчину в пористу цеглу, бутовий камінь чи бетон під час мурування й монтажу збірного об'єкта.

10.2. Матеріали для виготовлення будівельних розчинів

Для виготовлення будівельних розчинів, як в'яжучі речовини застосовують портландцемент, цемент для будівельних розчинів, будівельне вапно, гіпсову в'яжучу речовину, а також глиноземистий цемент та інші види спеціальних цементів. Для виготовлення кольорових цементно-піщаних розчинів, крім звичайного, використовують білий та кольорові портландцементи, а також природні та штучні пігменти.

Для кладочних, облицювальних і штукатурних розчинів застосовують цементи, отримані шляхом спільного помелу портландцементного клінкеру з додаванням гіпсу, кремнеземистих домішок, мармуру, пилу електрофільтрів клінкеровипалювальних печей та ін. Але вміст клінкеру в таких цементах повинен бути не менше 20 %. Допускаються пластифікуючі, гідрофобізуючі, повітровтягувальні домішки. Марки цементів – не менше 300, тонкість помелу – через сито № 008 повинно проходити не менше 88 % взятої наважки, водовідділення цементного тіста при В/Ц=1,0 – не більш 30 % за об'ємом. Цемент повинен витримувати випробування на рівномірність зміни об'єму, вміст SO_3 не повинен перевищувати 1,5…3,5 % маси цементу, вміст лужних оксидів – не більш 2 % маси цементу.

Для будівельних розчинів спеціального призначення – декоративних, кислототривких, рентгенозахисних, тампонажних й інших штукатурок – із особливою старанністю вибирається різновид в'яжучої речовини, домішок і хімічно стійких заповнювачів. Оптимізують структуру розчинів з урахуванням їх конкретного призначення, забезпечуючи пористість акустичних розчинів, високу щільність кислото- й лугостійких розчинів, гідрофобність при гідроізоляції і т. д.

Залежно від виду та призначення будівельних розчинів як заповнювач використовують переважно пісок природний або отриманий подрібненням різних гірських порід певного гранулометричного складу. Найбільша крупність зерен піску для виготовлення розчинів для монтажу великоблокових і великопанельних стін, а також для мурування із бутового каменю не повинна перевищувати 5 мм; для цегляного мурування – 2,5 мм; для підготовчого шару штукатурки (оббризкування) – 2,5 мм, для опоряджувального шару штукатурки (накривка) – 1,25 мм. Застосування дрібних пісків можливе лише за відповідного техніко-економічного обґрунтування.

Для отримання штукатурних розчинів треба застосовувати пісок з модулем крупності від 1 до 2,2. Для розчинів марок 100 і вище використовують піски, що відповідають вимогам, які ставлять до заповнювачів для бетонів.

Для декоративних розчинів застосовують миті піски, подрібнені гірські породи – мармур, граніт, а також керамічний, вугільний, пластмасовий дрібняк.

Для отримання легких розчинів використовують піски із туфів, трасів, опок, пористі штучні піски: шлакові, зольні, керамзитові, аглопоритові, із спученого перліту та вермикуліту (згідно з ДСТУ Б В.2.7-17-95).

Вимоги до природних пісків за забрудненням сторонніми домішками такі ж самі, як і для пісків у цементні бетони. У низькомарочних розчинах допускається вміст у піску пилувато-глинистих домішок до 10 %, рідше – до 15…20 % за умови обов'язкового збільшення тривалості перемішування розчину під час його виготовлення.

З метою пластифікації будівельного розчину можуть застосовуватися не тільки неорганічні речовини, особливо вапно й гіпс, але й органічні, зокрема поверхнево-активні речовини (ПАР). Вони дозволяють знижувати витрату води в будівельному розчині, підвищують його морозостійкість і т. ін. До таких речовин належать милонафт, ССБ, СДБ, абіетат натрію, підмильний луг (ПМЛ) та ін. Взимку в розчини додають протиморозні речовини (домішки): поташ у кількості 10…15 %, нітрит натрію – до 5…10 %, а також аміачну воду, нітрат кальцію, карбонат натрію й ін. Хороші показники одержують з додаванням ацетату натрію, при цьому кладочні розчини інтенсивно набирають міцності за від'ємних температур до –15 °С. Оптимальна витрата цієї домішки становить 4 % від маси цементу. Протиморозні домішки знижують температуру замерзання рідкого середовища розчинової суміші, беруть участь у процесах гідратації в'яжучої речовини.

10.3. Приготування, властивості й маркування будівельних розчинів

Оптимальний склад розчину встановлюється загальним методом, але з урахуванням специфічної особливості – укладання його на пористу основу мурування. Можливі й інші функції будівельного розчину – конструктивні, декоративні, водозахисні тощо, що враховується на першій стадії проектування складу. У разі пористої основи потрібно передбачити збільшення водоутримувальної здатності розчину, щоб запобігти розшаровуванню розчину до початку його твердіння.

Інколи, при малих обсягах робіт, склади низькомарочних розчинів призначають за таблицями з перевіркою їх якості в лабораторії і на виробництві. Проф. М. А. Попов запропонував також оригінальний метод підбору складу будівельних розчинів, що базується на застосуванні формули

$$R_{\text{р}} = 0{,}25 R_{\text{ц}} \left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} - 0{,}4 \right), \qquad (10.1)$$

де $R_{\text{ц}}$ – активність цементу, МПа;

Ц – витрата цементу, кг/м^3;

В – витрата води, м^3.

Технологія виготовлення будівельного розчину на спеціалізованих заводах чи окремих розчинозмішувальних вузлах складається з ряду взаємозалежних операцій: підготовки вихідних матеріалів – просіювання природного піску, домелювання за необхідності й розсіювання штучного піску; дозування матеріалів за масою; перемішування відважених компонентів до однорідного стану розчинової суміші в стаціонарних чи пересувних розчинозмішувачах різної ємності. Тривалість перемішування зумовлена видом вихідних матеріалів, але звичайно становить не менше 1…1,5 хв, а в разі вмісту в суміші високодисперсних домішок – до 3…4 хв. Транспортування готової розчинової суміші здійснюється за допомогою спеціально обладнаних автоцистерн і самоскидів. Можливе виготовлення на заводі сухої суміші. На об'єкті будівництва її з'єднують з водою у змішувачах з вільним перемішуванням, розташовуваних на кузові автомобіля (автозмішувача).

Перед транспортуванням (вибірково) і укладанням готової розчинової суміші визначають її якісні характеристики, у тому числі легкоукла-

дальність по пористій основі, нерозшаровуваність під час транспортування і зберігання, умовну в'язкість й інші задані властивості.

Легкоукладальність – це здатність будівельного розчину рівномірно укладатися по пористій основі (цегла, бетон, природний камінь й ін.) тонким шаром. Якщо суміш має хорошу легкоукладальність, то вона здатна заповнити всі поверхневі нерівності основи й утворити суцільне зчеплення з усією поверхнею. За недостатньої легкоукладальності розчинова суміш розподіляється нерівномірно і стикається, а потім зчеплюється з основою тільки на окремих ділянках. Шар стає неоднакової щільності й товщини. З цією властивістю пов'язана характеристика *в'язкості*, яка звичайно визначається в будь-яких умовних одиницях. Від в'язкості залежить здатність розчинової суміші переміщатися (транспортуватися) до місця укладання по трубах, шлангах, лотках і т. ін.

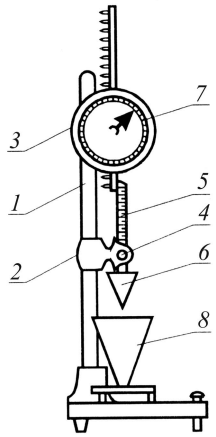


Рис. 10.1. Стандартний металевий конус для оцінки рухливості будівельного розчину: *1* – стояк; *2*, *3* – кронштейни; 4 – пускова кнопка; *5* – рухомий стержень; *6* – конус; *7* – шкала зі стрілкою; *8* – посудина

Від легкоукладальності залежить також здатність розчинової суміші наноситися рівномірним шаром на поверхні, які штукатурять, з подальшим твердінням.

Оцінка умовної в'язкості чи рухливості розчинової суміші проводиться за допомогою стандартного металевого конуса масою 300 г, який занурюється у випробувану суміш (рис. 10.1) (ДСТУ Б В.2.7-23-95). Рухливість оцінюється у сантиметрах як різниця між початковим відліком і відліком після вільного занурення в ущільнену 25 натисками стержня розчинову суміш протягом 1 хв. Глибина занурення конуса приймається залежно від виробничого призначення розчину. Так, наприклад, будівельні розчини для цегляного мурування повинні характеризуватися глибиною занурення конуса від 9 до 13 см, а для віброваного мурування з бутового каменю – усього 1…3 см. Рухливість їх у разі монтажу стін з великих елементів повинна бути 5…7 см. За рухливістю виділяють марки: П4, П8, П12, П14 (табл. 10.1).

Важливо не тільки рівномірно й тонким шаром розподілити розчинову суміш, але й захистити шар, що твердіє, від швидкого відсмоктування

води замішування в пори й капіляри мурування, панелі й ін. *Водоутримувальна здатність* оцінюється за втратами маси розчинової суміші товщиною 12 мм, що покладена на 10 аркушів фільтрувального паперу й повинна бути не менше 90 % узимку й 95 % улітку.

Таблиця 10.1

Марки розчинової суміші за рухливістю (за ДСТУ Б В.2.7-23-95)

Марки розчинової суміші за рухливістю	Глибина занурення конуса, см	Призначення розчинової суміші
П4	1…4 вкл.	Бутове мурування, ущільнення вібруванням
П8	Більше 4 до 8 вкл.	Бутове мурування звичайне із порожнистої цегли й каменю, монтаж стін із великих блоків і панелей, розшивання горизонтальних і вертикальних швів у стінах з панелей і блоків, облицювальні роботи
П12	Більше 8 до 12 вкл.	Мурування із звичайної цегли та різного виду каменю, штукатурні та оздоблювальні роботи
П14	Більше 12 до 14 вкл.	Заповнення пустот у бутовому муруванні

Для забезпечення тривалої водоутримувальної здатності розчинової суміші в неї вводять додаткові порошкоподібні чи органічні речовини, про які повідомлялося вище. Їх кількість визначається на стадії проектування оптимального складу будівельного розчину. При цьому необхідно зберігати найменшу кількість цементу, тим більше що на виготовлення розчинів витрачається до 15…20 % загальної кількості цементу, застосовуваного в будівельних роботах.

Середня густина розчинової суміші (за ГОСТ 5802) характеризується відношенням маси ущільненої розчинової суміші до її об'єму. Випробування виконують за допомогою сталевого циліндра місткістю 1000 $см^3$, який перед випробуванням зважують.

Здатність до розшаровування розчинової суміші – важлива характеристика для підводного укладання, а також для трубопровідного транспортування розчинової суміші. Її визначають (за ГОСТ 5802) порівнянням маси заповнювача в нижній та верхній частинах ущільненої вібруванням

(протягом 1 хв) на вібромайданчику розчинової суміші у циліндричному пристрої розмірами 150×150 мм. Для цього відділяють від випробуваної суміші верхній шар 7,5±0,5 мм і залишають нижній. Шари розчинової суміші зважують з точністю до 2 г і здійснюють мокре розсіювання на ситі з діаметром отворів 0,16 мм до повного видалення в'яжучої речовини. Відмиті заповнювачі цих двох шарів висушують до постійної маси за температури 105…110 °С і зважують з точністю до 2 г.

Вміст заповнювача в ущільненій розчиновій суміші, %, визначають за формулою:

$$V = \left(\frac{m_1}{m_2} \right) 100\ \%,$$

де m_1 – маса відмитого висушеного заповнювача із верхньої (або нижньої) частини випробуваної суміші, г;

m_2 – маса розчинової суміші відібраної проби із верхньої (або нижньої) частини випробуваної суміші, г.

Показник розшаровуваності, %, розраховують за формулою:

$$П = \left(\frac{\Delta V}{\Sigma V} \right) 100\ \%,$$

де ΔV – абсолютна величина різниці між вмістом заповнювача у верхній та нижній частинах випробуваної суміші, %;

ΣV – сумарний вміст заповнювача у верхній та нижній частинах випробуваної суміші, %.

У розчинах для підводного бетонування показник розшаровуваності повинний бути в межах $П = 1…1{,}5$ %.

Якість затверділого будівельного розчину в основному характеризується міцнісними, деформативними властивостями й довговічністю. У цегляному муруванні й великопанельних будівлях будівельні розчини піддаються напруженню не тільки під час стиску, а також виникають згинальні навантаження і навантаження зрізу. У зв'язку з цим будівельний розчин у муруванні повинен мати необхідну міцність на розтяг під час згину й розколювання. У роботі зовнішніх стін із великорозмірних елементів, які піддаються механічним і температурно-вологим впливам, важливими є деформативні властивості будівельного розчину: усадка, коефіцієнт температурного лінійного розширення, модуль пружності й ін. Для підвищення герметизації стиків, особливо у великопанельних будівлях,

основну роль відіграють водонепроникність і міцність зчеплення розчину з поверхнею бетонних конструкцій.

Забезпечення тривалої нормальної експлуатації будівель пов'язано з *довговічністю* будівельного розчину, тобто з його здатністю зберігати чи навіть поступово зміцнювати структуру в експлуатаційних умовах. Умовно її можна визначати випробуваннями зразків на морозостійкість і стійкість при навперемінному зволоженні й висушуванні. До основних експлуатаційних властивостей належать також щільність, пористість, водопоглинання, водонепроникність та ін. Відповідно до теорії ШБК між усіма властивостями, пов'язаними зі структурою, існує взаємозумовленість. Ця закономірність стосується і будівельних розчинів. На них поширюються загальна формула міцності й закон міцності оптимальних структур (графічно зображується у вигляді гіперболічної кривої), закон створу, загальний метод проектування оптимального складу. Важливо на першій стадії проектування оптимального складу вибрати найкращий для даних умов в'яжучий компонент, здатний утримувати воду в тонких шарах, високоякісний пісок і, за необхідності, пластифікуючі домішки. Контроль якості розчину здійснюється шляхом систематичної перевірки якості застосованих матеріалів, а також точності дозування, старанності перемішування суміші, легкоукладальності отриманої розчинової суміші й міцності розчину.

Міцність під час стиску визначають на зразках-кубах з розміром ребра 7,07 см у віці, встановленому стандартом або технічними умовами на даний вид розчину. Зразки із розчинової суміші рухливістю до 5 см виготовляють у формах із піддоном, форму заповнюють у два шари. Ушільнення шарів здійснюють 12 натискуваннями спеціальним шпателем: шість – вздовж одного боку і шість – у перпендикулярному напрямку.

Зразки з розчинової суміші рухливістю 5 см і більше формують у формі без піддона, що встановлюється на звичайну керамічну цеглу (вологість цегли не більше 2 %, водопоглинання за масою 10… 15 %), накриту змоченим непроклеєним папером (наприклад, газетним). Форми заповнюють за один прийом з деяким надлишком і ущільнюють суміш 25 штикуваннями сталевим стержнем діаметром 12 мм і довжиною 300 мм.

Форми, заповнені розчиновою сумішшю на основі гідравлічних в'яжучих речовин, витримують до розпалублення в камері нормального тверднення за температури 20 ± 2 °С і відносної вологості повітря 95…100 %, а форми з розчиновою сумішшю на основі повітряних в'яжучих речовин – за температури 20 ± 2 °С і відносної вологості повітря 65±10 %. Зразки видаляють із форм через 24 ± 2 год після укладання розчинової суміші. Зразки, які виготовлені з розчинових сумішей з викорис-

танням шлакопортландцементів, пуцоланових портландцементів з додаванням уповільнювачів тужавлення, витягують із форм через 2…3 доби. Після цього зразки повинні зберігатися за температури 20 ± 2 °С. Вік зразків для проведення випробувань вказують у нормативній документації.

Міцність затверділого розчину $R_р$ на основі портландцементу залежить від активності в'яжучої речовини та її витрати і може бути розрахована за емпіричною формулою М. А. Попова (10.1). Ця формула в основному використовується для розчинів, укладених на щільній основі. У разі укладання на пористу основу спостерігається відсмоктування води з розчину, що сприяє його ущільненню та зростанню міцності приблизно в 1,5 разу.

Міцність розчину через 28 діб може бути визначена за формулою

$$R_{28} = K \cdot R_ц (Ц - 0{,}95) + 4,$$

де K – коефіцієнт, який залежить від якості піску (для дрібного піску $K = 1{,}4$; для середнього – 1,8; для крупного – 2,2);

Ц – витрата цементу, т/м^3.

За границею міцності під час стиску виділяють такі марки будівельних розчинів: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200. Для конструкційних цілей приймають і більш високі марки розчинів – 300 і вище. Такий високоміцний розчин використовують також для заповнення каналів у попередньо напружених конструкціях, ущільнення бетонних споруд методом ін'єкції (ін'єкційні розчини). У них застосовується портландцемент марок 400…500.

Істотною характеристикою якості розчинів є їх *морозостійкість*, яку встановлюють випробуваннями зразків-кубів з розміром ребер 7,07 см шляхом циклічного заморожування і відтавання. Зразки для випробувань насичують водою протягом 48 год за температури від +15 до +20 °С. Після водонасичення зразки вкладають у морозильну камеру з температурою від –15 до –20 °С. Тривалість одного заморожування становить не менше 4 год. Після цього зразки витягують із камери і занурюють у ванну з водою за температури +15…20 °С на 3 год. Морозостійкість оцінюють за втратою міцності під час стиску та втратою маси зразків.

За морозостійкістю будівельні розчини розділяють на такі марки: F 10, F 15, F 25, F 35, F 50, F 100, F 150, F 200 і F 300. На величину морозостійкості впливають різновид в'яжучої речовини, водов'яжуче відношення, якість піску, умови твердіння, пористість шару й основи. Для розчинів усіх марок повинна забезпечуватися оптимальна структура, щоб як

міцність, так і морозостійкість були не тільки в межах заданих величин, але й екстремальними, задовольняючи вимоги закону створу в умовах прийнятої технології.

Усадка характеризує тріщиностійкість, повзучість і міцність розчину при розтягу. Для випробувань виготовляють зразки-кільця в спеціальних формах, що складаються із піддона з жорстко закріпленим у центрі круглим сердечником діаметром 90 мм і зовнішнього роз'ємного кільця діаметром 127 мм. Висота форми-кільця 40 мм. Після формування в такій формі зразки тверднуть протягом 20 ± 2 год в умовах 100 % вологісті повітря або їх піддають короткочасній тепловій обробці в разі необхідності. Потім зі зразків знімають зовнішнє металеве кільце, і вони залишаються щільно насадженими на сталевий сердечник. Зразки-кільця в такому вигляді зберігають у середовищі із вологістю 40…70 %. Час витримування визначається нормативною документацією. Можна також використовувати методику, що передбачає вимірювання лінійних розмірів затверділих зразків-балочок (розмірами $40 \times 40 \times 160$ мм).

Деформацію усадки розчину із швів мурування, якщо це передбачено проектом, визначають за методикою ГОСТ 24544.

Міцність зчеплення з бетонною, металевою, дерев'яною, гіпсокартонною, керамічною, азбестошиферною та теплоізоляційною основами визначають на спеціальній розривній машині (ГОСТ 28840). Використовують зразки-пластини розмірами $50 \times 25 \times 25$ мм, що з'єднані між собою хрест-навхрест розчиновою сумішшю. Міцність зчеплення з основою, Па, розраховують за формулою

$$R = P/S,$$

де P – навантаження, яке викликає руйнування зчеплених зразків, Н,

S – площа склеювання, м^2.

Визначити міцність зчеплення розчину з кам'яним муруванням можна за методикою, наведеною в ГОСТ 24992.

Стираність характеризує стійкість матеріалу до абразивного зносу і, як це передбачено проектом, оцінюється втратою маси, що віднесена до одиниці площі матеріалу. Для розчинів цей показник визначають за методикою (ГОСТ 13087), яка застосовується для бетонів на кругах стирання. Як абразив використовують шліфзерно 16 з насипною густиною 1 715…1 725 кг/м^3 або вольський пісок.

Для випробувань виготовляють два зразки-куби з ребром 70 мм або два циліндри діаметром і висотою 70 мм. Перед випробуванням зразки витримують не менше 2 діб за температури 23 ± 5 °С і вологості 60 %.

Стираність розчину, г/см^2, розраховують за формулою

$$S = \frac{m_1 - m_2}{F},$$

де m_1, m_2 – маса зразка відповідно до і після чотирьох циклів випробувань, г;

F – площа зразка, см^2.

10.4. Види будівельних розчинів

Для кам'яного мурування зовнішніх стін будинків застосовують головним чином *цементні* й *змішані* розчини (цементно-вапняні й цементно-глиняні) марок М10, М25 й М50 залежно від вологісних умов і потрібної довговічності будинку. У муруванні перемичок, простінків, карнизів, стовпів марка може бути підвищена до М 100.

Віброцегляні панелі виготовляють із застосуванням розчинів марок М75, М100, М150, виготовлених на портландцементі й шлакопортландцементі.

Вапняні розчини відрізняються пластичністю та легкоукладальністю, добре зчеплюються з поверхнею, характеризуються малою усадкою, високою довговічністю, але є повільнотверднучими. Причому розчини на основі повітряного вапна використовують для надземного мурування, а на основі гідравлічного – для мурування не тільки в сухих, але й у вологих умовах.

Легкі розчини використовують для теплоізоляційного мурування й оштукатурювання будівельних матеріалів усіх видів, оскільки внаслідок низьких середньої густини й коефіцієнта теплопровідності вони сприяють збереженню енергії. У випадку застосування теплоізоляційних будівельних матеріалів з'єднувальні шви є провідниками холоду, і тому використання названих розчинів сприяє підвищенню термічного опору стін (приблизно на 150 %) без зниження міцності.

Монтажні розчини для замонолічування стиків елементів збірних залізобетонних конструкцій виготовляють на основі портландцементу, розширного та безусадочного цементів. Марка таких розчинів повинна бути не нижче М 100.

Опоряджувальні розчини поділяють на звичайні штукатурні та декоративні. За способом нанесення розрізняють суху та мокру штукатурки.

Суха штукатурка – це заздалегідь виготовлені на заводі тонкі плити, що прикріплюються до основної конструкції. *Мокру штукатурку* наносять декількома шарами на спеціально підготовлену поверхню. Перший шар називають набризком, другий – ґрунтом, третій – накривкою. Набризк наноситься на поверхню для заповнення нерівностей, а також для кращого зчеплення шарів покриття з основою. Ґрунт необхідний для створення рівної поверхні, звичайна його товщина – 5…7 мм. Накривка – шар товщиною не більше 3 мм, що призначений для покриття всіх заглиблень і створення рівної та гладкої поверхні.

Штукатурки поділяють на високоякісні, поліпшені та прості. Для тимчасових та невідповідальних споруд використовують просту штукатурку в два шари без накривки. Тип штукатурки вибирають залежно від матеріалу основи й призначення. Якщо штукатурка двошарова, то нижній шар повинен бути міцнішим, ніж верхній. У протилежному випадку виникає зовнішня жорстка оболонка, яка внаслідок процесів усадки й деформацій легко відшаровується. Нижній шар штукатурки зазвичай виконується із вапняно-цементних або змішаних розчинів, а верхній – із розчинів на основі вапна.

Характер нижнього шару штукатурки допускає різноманітні способи її виконання, найбільш важливими з яких є:

– двошарове виконання: нижній шар із вапняно-цементного розчину, верхній – із вапняно-цементного розчину або оздоблювальної штукатурки. Обробка поверхні може здійснюватися затиркою, дряпанням або фарбуванням;

– одношарове виконання: для такої штукатурки використовують високоякісні декоративні штукатурки, у тому числі на основі цементів, для яких лише у виняткових випадках необхідне напилення розчинової суміші як основи під штукатурку. Ці штукатурки наносять на всю товщину шару, вони відрізняються високою водоутримувальною здатністю.

Залежно від функції розрізняють штукатурки зовнішні (товщина 20 мм) і внутрішні (товщина 15 мм).

Зовнішня штукатурка виконує функцію оздоблення й вирішує завдання захисту основи від вологи. Вона повинна гарантувати достатній вологообмін між оштукатуреними будівельними елементами й зовнішнім середовищем, бути стійкою до дії морозу й зміни температур.

Внутрішня штукатурка значною мірою зумовлює мікроклімат у приміщенні й виконується, як правило, в один шар із розчинів на основі вапна.

Нанесення цементної розчинової суміші напиленням необхідно за наявності гладкої основи (гладкий опалубний бетон), основи із низьким всмоктуванням (наприклад, клінкерна цегла або природне каміння) або основи з поганою адгезією (наприклад, легкі плити із деревної шерсті, комишитові покриття та ін).

Для облицювального шару великих блоків і панелей (розчини марки 50 і вище) як в'яжучу речовину використовують білий і кольоровий портландцементи, а також звичайний портландцемент та шлакопортландцемент.

Під час влаштування гідроізоляційних покриттів залізобетонних труб шляхом нанесення штукатурного шару або торкретної оболонки, для замонолічування стиків та швів використовують водонепроникний безусадочний та розширний цементи.

Рухливість штукатурних розчинових сумішей для підготовчих шарів (набризк, ґрунт) – 8…10 см; оздоблювального (накривка): без гіпсу – 7…8 см, з гіпсом – 9…12 см.

Декоративні кольорові розчини використовують для оздоблення фасадів будівель і елементів міського благоустрою, а також для штукатурення всередині приміщень. Як в'яжучу речовину застосовують портландцемент (у тому числі білий та кольоровий) та вапно для оздоблення фасадів будівель, вапно та гіпс – для кольорового штукатурення всередині будівель.

Декоративні розчини повинні мати необхідну водостійкість, морозостійкість, світлостійкість і добре зчеплення з оздоблювальною поверхнею. Як жовтий пігмент застосовують вохру, як коричневий – умбру, як червоні – сурик залізний, мумію, як зелений – оксид хрому, як блакитний – ультрамарин, як сірий – графіт, як чорний – пероксид мангану.

Сучасними видами оздоблення є штукатурки з кам'яним дрібняком, теразитові та з колоїдно-цементного розчину.

Декоративна кам'яна штукатурка застосовується для імітації різних гірських порід і складається з портландцементу, вапняного тіста, мармурової муки, мармурового дрібняку, слюди та пігменту.

Для виготовлення декоративних розчинів як заповнювачі використовують подрібнені гірські породи (мармур, граніт, вапняк), а також штучні матеріали (скло, шлак, кераміка).

Оздоблення декоративними розчинами дозволяє отримати гладку, бугристу або рельєфну фактуру поверхні. Гладка фактура утворюється під час обробки поверхні вирівнювальними механізмами, бугриста – присипкою поверхні вологим піском (дрібнобугриста фактура), обробкою свіжоукладеної поверхні стисненим повітрям (крупнобугриста) або набризком

оздоблювального розчину. Рельєфна фактура оздоблювального шару може мати різний візерунок, для чого використовують рельєфні валики, шаблони, віброштампи із рельєфоутворювачами. Тип оздоблення залежить від поєднання кольорів подрібненого каменю й декоративного розчину.

Теразитові штукатурки є різновидом цементно-піщаних і вапняних штукатурних розчинів, що містять пігменти, слюду, пісок та інколи спеціальні домішки. Для виготовлення теразитових сумішей використовують дрібні (2 мм), середні (3…4 мм) та крупні (5…6 мм) заповнювачі. Теразитову суміш змішують з водою і наносять на підготовлену поверхню одним або декількома шарами. Теразитова штукатурка відрізняється невисокою міцністю, здатна до відшаровування під впливом атмосферних чинників.

Для оздоблення фасадного боку панелей у процесі їх формування використовують теразитові суміші, що складаються з білого цементу й кольорового кам'яного дрібняку у співвідношенні від 1:4 до 1:5. Зерновий склад кам'яної кришки беруть таким: фракція 1,25…2,5 мм – 35…40 %, 2,5…5,0 мм – 60…65 %. Кількість води підбирають так, щоб отримати суміш з глибиною занурення конуса 2…3 см. Після укладання й ущільнення оздоблювального шару поверхню виробу обробляють розпиленою водою, внаслідок чого цементне тісто змивається з поверхні зерен кольорового заповнювача й заповнює міжзернові пустоти.

Штукатурка на основі колоїдно-цементного клею (КЦК) за фізико-механічними показниками є кращою за інші види розчинів для оздоблення, але поступається їм своєю декоративністю. Колоїдно-цементний клей отримують шляхом вібропомелу цементу й кварцового піску в співвідношенні 7:3 (за масою) до питомої поверхні 500 $м^2$/кг. Одержану суміш змішують з водою і піском. Якщо необхідно отримати розчин підвищеної водостійкості, до його складу вводять гідрофобізатори.

Підвищення якості будівельних робіт потребує постійного розширення асортименту розчинів спеціального призначення.

Спеціальні розчини – це розчини для заповнення швів, ін'єкційні, гідроізоляційні, тампонажні, акустичні й рентгенозахисні розчини.

Розчини для заповнення швів між елементами збірних залізобетонних конструкцій, які зазвичай мають рухливість 7…8 см, їх готують на портландцементі та чистому кварцовому піску.

Ін'єкційні розчини застосовують для заповнення каналів попередньонапружених конструкцій. Це цементно-піщані розчини, марка яких має бути не нижчою за М300 і досягається використанням цементів марки М400 і вище.

Гідроізоляційні розчини виготовляють на цементах підвищених марок (М400 і вище) з використанням кварцового піску. Для улаштування гідроізоляційного шару, що зазнає впливу агресивних середовищ, як в'яжучу речовину застосовують сульфатостійкий портландцемент і сульфатостійкий пуцолановий портландцемент. Орієнтовний склад за масою 1:2,5 або 1:3,5 (цемент:пісок). Щоб забезпечити водонепроникність швів і стиків у споруді, використовують гідроізоляційні розчини на основі розширного цементу.

Водонепроникні розчини виготовляють на основі розширного або безусадочного цементів складів від 1:2 до 1:3 або на основі звичайного портландцементу та шлакопортландцементу з використанням різних домішок.

Заповнювачем є пісок із модулем крупності 1,5…2 для штукатурних робіт, 2…3 для стяжок, 2,5…3,5 для торкретних робіт. Склади водонепроникних цементно-піщаних розчинів для влаштування гідроізоляційних стяжок і штукатурок змінюються в межах від 1:2,5 до 1:3,5 (цемент:пісок) при В/Ц = 0,45…0,55 і рухливості суміші 2…6 см; для нанесення захисних покриттів торкретуванням – від 1:1 до 1:3 при В/Ц = 0,28…0,35; для нанесення покриттів способом мокрого торкретування або пневмонабризку – від 1:1 до 1:3 при В/Ц = 0,5…0,6 і рухливості суміші 6…10 см.

Водонепроникні розчини використовують якщо потрібно влаштувати гідроізоляційні стяжки і штукатурки замість звичайної обклеювальної гідроізоляції в санвузлах і душових кімнатах, цехах з підвищеною вологістю, промислових та інших систематично зволожуваних приміщеннях, під час штукатурення і торкретування залізобетонних резервуарів, колодязів, насосних станцій, тунелів та інших споруд.

Кислотостійкі розчини – суміші, які складаються з тонкомолотого кварцового компонента, кремнефториду натрію із кислотостійким заповнювачем (піском), які замішані рідким натрієвим чи калієвим склом.

Для отримання матеріалів підвищеної кислотостійкості застосовують натрієве скло з кремнеземистим модулем 2,4…2,8 і густиною 1,38…1,40 г/см^3, калієве – з модулем 3…3,2 і густиною 1,30…1,32 г/см^3. Як заповнювач використовують природний дрібний кварцовий пісок або пісок, отриманий подрібненням кислотостійких щільних гірських порід. Можна застосовувати продукти подрібнення бою керамічних виробів. Співвідношення між тонкомолотим наповнювачем та кварцовим піском зазвичай становить 1,2…1,3 у разі використання натрієвого скла та 1:1 – калієвого.

Як отверджувач застосовують дрібномолотий кремнефторид натрію Na_2SiF_6 у кількості приблизно 15 % від маси рідкого скла.

Для підвищення водостійкості додають домішки, що містять 84…97 % активного кремнезему, наприклад силікагель, тонкомолотий опал, халцедон, діатоміт, трепел, опоку та ін. Для підвищення щільності й непроникності додають домішки: парафін, фурфурол, фуриловий спирт та їх суміші.

Міцність кислотостійких розчинів становить не менше 15 МПа, а з додаванням фурилового спирту – більше 20 МПа, адгезія до бетону, кераміки та металу – не менше 2 МПа, коефіцієнт розм'якшення – не менше 0,85.

Кислотостійкі розчини використовують для створення антикорозійних покриттів на поверхнях спецобладнання, а також під час футерування.

Жаростійкі розчини. Як в'яжучу речовину застосовують глиноземисті й високоглиноземисті цементи, портландцемент та рідінне скло. Заповнювачами та тонкомеленими наповнювачами можуть бути матеріали на основі шамоту, динасу, шлаків, паливних зол та бою випаленої керамічної цегли.

Жаростійкі розчини на основі портландцементу містять поряд із в'яжучою речовиною (16…20 %) шамотний заповнювач (84…80 %), пластифікатор у вигляді суміші ЛСТ (0,1 %) та вогнетривкої (4…6 %) або бентонітової (2…4 %) глини. Кількість тонкомеленого порошку (наповнювача) у вигляді шамоту добирається відповідно до кількості портландцементу. Розмір зерен шамотного заповнювача не повинен перевищувати 1,2 мм. Такі розчини застосовують для вогнетривкого мурування конструкційних елементів промислових печей та інших теплових агрегатів із шамотної цегли, які експлуатуються за температур до +1200 °С.

Вогнетривкі розчини містять у своєму складі шамотний порошок, інколи порошок бокситу, рідінне скло та пластифікатор (суміш вогнетривкої або бентонітової глин). Застосовують ці розчини для мурування печей (або інших високотемпературних агрегатів) із штучних вогнетривів, що експлуатуються за температури до 1 350 °С.

Тампонажні розчини можуть бути цементно-піщаними, цементно-піщано-суглинистими, цементно-суглинистими. Як в'яжучу речовину використовують різні види цементів залежно від умов експлуатації розчинів, наприклад у випадку агресивних середовищ – сульфатостійкий пуцолановий або шлакопортландцемент. У разі дії напірних вод краще застосовувати тампонажні цементи, у звичайних гідрологічних умовах – портландцементи. Ці розчини мають високу однорідність, водостійкість, рухливість і використовуються для тампонування нафтових свердловин та тунелів. У разі буріння стовбурів шахт використовують цементно-суглинисті розчини складу від 1:2 до 1:4 (цемент:суглинок), при звичайному способі про-

ходки – цементно-суглинисті складу від 1:4 до 1:8 та цементно-піщано-суглинисті складу 1:4:4. Середня густина таких розчинів має бути 1650…2000 кг/м^3, марка за міцністю під час стиску – М25, М50, М75 та М100.

Акустичні та теплоізоляційні розчини повинні мати середню густину 600…1200 кг/м^3. Як в'яжучі речовини застосовують портландцемент, шлакопортландцемент, вапно, гіпс, а також цементно-вапняні суміші. Для утворення структури зі сполученими порами обмежується кількість в'яжучого компонента. Як заповнювач використовують однофракційні піски із зернами крупністю 3…5 мм, що отримані подрібненням легких пористих матеріалів: пемзи, туфів, шлаків, перліту, шлакової пемзи, аглопориту, керамзиту та ін.

Акустичні розчини застосовують як звукопоглинальну штукатурку, але одночасно вони виконують функцію теплоізоляційного шару. Склад таких розчинів змінюється від 1:5 до 1:8 за об'ємом.

Високою ефективністю відрізняються звукоізоляційні та акустичні розчини на основі спученого перліту. Ці розчини залежно від виду застосованої в'яжучої речовини мають такі склади: на основі цементу – від 1:3 до 1:6; гіпсу – від 1:3 до 1:4; вапна – від 1:3 до 1:4; цементно-вапняних в'яжучих – від 1:0,25:5 до 1:1:8.

Коефіцієнт звукопоглинання акустичних розчинів становить близько 0,5 якщо частота 800…1600 Гц, коефіцієнт теплопровідності 0,06…0,12 Вт/(м· К), середня густина 300…600 кг/м^3.

Рентгенозахисні розчини використовують в основному як захисні штукатурки, і їх середня густина повинна перевищувати 2200 кг/м^3. Як в'яжучий компонент застосовують портландцемент, шлакопортландцемент, як заповнювачі – барит у вигляді піску із крупністю зерен до 1,25 мм, як наповнювач – тонкомелений порошок із бариту. Домішки, що підвищують захисні властивості штукатурки, зазвичай містять легкі елементи (гідроген, літій, кадмій) та речовини, що містять бор.

Склад таких розчинів за об'ємом може бути 1:0,25:4 (цемент:вапняне тісто:баритовий пісок) або 1:3:1 (цемент:баритовий пісок:баритовий пил). В разі товщини штукатурки до 30 мм її виконують у два шари, до 50 мм – у три шари, а якщо товщина більше 50 мм поряд з розчиновою сумішшю використовують металеві сітки або баритобетонні плити.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається будівельним розчином? Склад і призначення будівельного розчину.
2. Класифікація будівельних розчинів.

3. Які вимоги ставляться до вихідних матеріалів для будівельного розчину?
4. Які додаткові речовини використовують для покращення технологічних і експлуатаційних властивостей будівельного розчину?
5. Вкажіть особливості підбору складу складного розчину?
6. У чому особливості підбору вихідних матеріалів для легкого будівельного розчину?
7. Які існують особливості у підборі складу будівельного розчину залежно від галузі його застосування?
8. Яким показником оцінюється легкоукладальність розчинової суміші? На які марки розділяється розчинова суміш залежно від призначення?
9. Як визначити здатність розчинної суміші до розшарування? Коли потрібно враховувати цю характеристику?
10. Як визначити марку будівельного розчину?
11. У чому відмінність штукатурних розчинів від мурувальних?
12. Назвіть спеціальні будівельні розчини.

Список рекомендованої літератури

1. Демьянова В. С. Сухие строительные смеси, модифицированные химическими добавками / В. С. Демьянова // Изв. вузов. Строительство. – 1998. – № 4, 5. – С. 69–72.
2. Большаков Э.Л. Сухие смеси для бетонов повышенной водонепроницаемости / Є. Л. Большаков // Строительные материалы. – 1998. – № 11. – С. 24–25.
3. Большаков Э.Л. Сухие смеси для гидроизоляционных работ / Є. Л. Большаков // Строительные материалы. – 1999. – № 3. – С. 28–29.
4. Казарновский З. И. Сухие смеси – новые возможности в строительстве // Строительные материалы. – 1999. – № 2. – С. 20–21.
5. Казарновский З. И. Сухие смеси – важный фактор повышения эффективности и культуры строительства // Строительные материалы. – 2000. – № 5. – С. 34–35.
6. Козлов В. В. Сухие строительные смеси: Учеб. пособие. – М.: Изд-во ассоциации строит. вузов. – 2000. – 96 с.
7. Карапузов Е. К.Сухие строительные смеси: Справочное пособие / Е. К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд и др. – К.: Тех. шк., 2000. – 226 с.
8. Ловаг Х. Г. Комплексный завод по производству сухих строительных смесей // Цемент и его применение. – 2001. – Май–июнь. – С. 16–21.
9. Гонтарь Ю. В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю. В. Гонтарь, А. И. Чалова // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 8–10.

РОЗДІЛ 11

Азбестоцементні вироби

11.1. Загальні відомості

Азбестоцементні матеріали – важливий різновид ШБК, який застосовуваних у покрівлі (шифер), а також у вигляді стінових панелей, труб і декоративних виробів. Азбестоцементна промисловість у країнах СНД розвинулася в могутню галузь. Приблизно половина світового обсягу азбестоцементних листів і труб виробляється в країнах колишнього СРСР, причому за останні роки значно змінився сортамент виробів, які стали більш великорозмірними, а їх виготовлення здійснюється на високомеханізованих заводах. Окремі підприємства переведені на автоматичну систему керування технологічними процесами.

Для виготовлення азбестоцементних виробів застосовуються три основних компоненти: цемент і вода, що формують в'яжучу частину цих конгломератних матеріалів, і азбест, що є активним заповнювачем. Він успішно виконує функції армування цементного каменю, який, у свою чергу, є матрицею в цьому ШБК. Склад і структура азбестоцементу забезпечують виробам у кілька разів більшу міцність під час розтягу і згину, ніж їх мають цементний камінь чи цементний бетон. Існують й інші позитивні якісні характеристики цього конгломератного матеріалу. Наприклад, забезпечується підвищена опірність ударним навантаженням, фарбування виробів може бути обране за бажанням замовника чи за проектом, стіновим панелям надана порівняно мала вага. До того ж для цього матеріалу характерна висока вогнестійкість. Саме тому, як відзначено, продукція азбестоцементної промисловості користується у будівельників великим попитом. Крім традиційного шиферу і труб у будівництві широко застосовуються вентиляційні короби, електроізоляційні дошки, вироби «малих форм» – підвіконня, віконні зливники й ін.

11.2. Вихідні матеріали

Найважливішою складовою азбестоцементу є цементний камінь, сформований на основі портландцементу, до якого ставляться високі технічні вимоги.

На азбестоцементних заводах як в'яжуче використовується клінкерний портландцемент марок 400 і 500. У ньому не допускається вміст домішок, крім гіпсу. Кількість трикальцієвого силікату (аліту) повинна бути не менше 52 %, трикальцієвого алюмінату – не більше 8 %, вільного вапна – не більше 1 % (за масою). Якщо використовується автоклавний спосіб обробки виробів, то може застосовуватися також піщанистий портландцемент, оптимальний вміст кварцового тонко подрібненого піску в якому залежить від кількості трикальцієвого силікату в клінкері. З підвищенням вмісту C_3S у клінкері портландцементу збільшується кількість піску. Так, у разі виготовлення цементу з алітовим клінкером вміст піску доводиться до 45 %, а при белітовому клінкері – до 30…35 %. У піску, що додається, повинно бути не менше 87 % SiO_2 і не більше 3 % оксидів калію і натрію, а кількість пилоподібних, мулистих і глинистих домішок не повинна перевищувати 10 %, у тому числі не більше 3…5 % глинистих частинок розміром менше 0,005 мм. Для виробництва облицювальних виробів застосовують також білий і кольоровий портландцемент.

У виробництві азбестоцементних виробів використовується в основному хризотил-азбест. Він витягається із серпентинних порід, у яких розташований у вигляді жил. Серед найбільших родовищ слід назвати Баженовське (Урал), Джетигаринське (Казахстан) та ін. Хризотил-азбест є водним силікатом магнію – $3MgO_2SiO_2 2H_2O$. У ньому звичайно зустрічаються сторонні домішки – закисне залізо, карбонати, сульфати й сульфіди.

За структурою азбест – кристалічний мінерал з яскраво вираженою волокнистою будовою. Кожне кристалічне волокно хризотил-азбесту, у свою чергу, складається з величезної кількості паралельно розташованих найтонших елементарних кристалів – волокнинок (фібрил). У технології азбестоцементу користуються механічним розпушуванням азбесту до різного ступеня тонкості волокон. Хризотил-азбест має високу міцність під час розриву по осі волокнистості (до 26,0…35,0 МПа) і досить високу еластичність, хоча існують також ламкі (крихкі) різновиди, зі зниженою міцністю під час розриву. За даними П. М. Соколова, середні величини модулів пружності волокон хризотил-азбесту коливаються в межах від $15{,}8 \cdot 10^4$ до $21 \cdot 10^4$ МПа. Волокна азбесту мають поверхневий шар з гідрок-

сильних груп, з'єднаних із суміжним внутрішнім шаром з іонів магнію, що надає поверхні високої адсорбційної здатності, а з водою легко утворюють суспензію. Але кількість адсорбованої води на поверхні волокон азбесту порівняно невелика – до 1,5…2,0 %, тому при дозуванні азбесту цією величиною звичайно нехтують. Теплопровідність розпушеного азбесту складає 0,05…0,075 Вт/(м·К) залежно від його середньої густини, що коливається в межах від 35 до 250 кг/м^3.

Азбест має різну довжину волокон – від частинок міліметра до 40 мм. За середньою довжиною волокна і вмістом пилу азбест розділяють на сорти: середня довжина збільшується від нижчої марки 8-го сорту до вищої марки нульового сорту. Для виробництва азбестоцементних виробів застосовуються 3-, 4-, 5- і 6-й сорти азбесту. Більш низькі сорти (7- і 8-й) містять дуже короткі волокна (коротше 1 мм), багато пилу й «галі» (дрібні шматки руди й породи), що знижує армувальні властивості азбесту. Тому від застосування їх утримуються.

Крім сортності азбест розділяється за марками. Кожному сорту відповідає кілька марок, що відрізняються або текстурою (напівтверда і м'яка залежно від ступеня розщеплення чи розпушування волокон у процесі збагачення), або мінімальним залишком (%) на верхньому ситі спеціального контрольного апарата. Чим вище сорт азбесту й жорсткіше його текстура, тим вище якість виробів. Так, 3-му сорту за текстурою відповідає три марки азбесту з напівтвердою текстурою (П-3-70; П-3-60; П-3-50) і дві марки з м'якою текстурою (М-3-70; М-3-60); 5-му сорту відповідають чотири марки азбесту з напівтвердою і чотири марки азбесту з м'якою текстурами і т. д.

Вода, використана для розпушування азбесту, промивних робіт і тим більше для замішування цементу, повинна бути вільною від глинистих домішок, органічних речовин чи продуктів їх розкладання, мінеральних солей. Її температура в технологічному циклі звичайно становить 30…40 °С. Нерідко використовується рекуперацiйна вода, що застосовується в попередніх циклах технологічного процесу й відбирається з нижньої частини рекуператорів. У ній обмежуються вміст завислих речовин (наприклад, не більше 100 мг/л), величина pH (не менше 8,5).

Крім трьох основних компонентів, у виробництві азбестоцементних виробів застосовуються додаткові речовини – пластифікуючі, ущільнювальні, гідрофобізуючі й ін., а також можливе додавання пігменту для надання виробу певного кольору. Особливо необхідні речовин, що підвищують фільтрувальну здатність суспензії на стадії формування листів.

11.3. Основи виготовлення азбестоцементних виробів

Азбестоцементні вироби виготовляються в основному за допомогою мокрого способу формування. Значно рідше використовуються напівсухий і сухий способи. Останній – тільки у процесі виготовлення плоских листів і плиток.

У разі мокрого способу першим етапом є приготування суміші з азбесту декількох марок, для того щоб забезпечити високу щільність, фільтрувальну й водоутримувальну здатність. Операція розпушування азбесту значною мірою зумовлює якість продукції. На першій стадії механічної обробки на бігунах протягом 12…15 хв слабшає зв'язок між найтоншими волокнами азбесту. На другій стадії – у голандері-розпушувачі чи іншому апараті відбувається розподіл азбесту на найтонші волокнинки (6…8 мк). Зазвичай перевагу надають розпушуванню мокрим способом, тобто на бігунах у присутності води. Голандер, тобто металевий резервуар, усередині якого обертається барабан, оснащений ножами, є гідравлічним розпушувачем, тому що поділ азбесту, обім'ятого бігунами, на найтонші волоконинки відбувається в кишенях між ножами барабана в результаті впливу швидких вихрових рухів струменів води. У цьому ж апараті звичайно здійснюється і змішування розпушеного азбесту з цементом у водному середовищі. Воду одночасно із завантаженням цементу додають з нижньої частини рекуператора (збірника відпрацьованої води).

Азбестоцементна маса порівняно швидко (за 8…10 хв) стає достатньо однорідною, тому що дрібні зерна цементу, що несуть на поверхні високий негативний електричний заряд, швидко осідають і міцно утримуються на розвинутій поверхні тонковолокнистого азбесту, який також несе високий, але позитивний заряд у водному й лужному середовищі. Якщо використовується піщанистий цемент, то дрібні частинки диспергованого піску також осідають на волокнах азбесту, хоча й при більш тривалому змішуванні суспензії (12…13 хв). Для отримання рухомої суспензії потрібно на 1 мас. ч. сухої азбестоцементної суміші додавати не менш 4…5 мас. ч. води, що уточнюється розрахунком залежно від сортів азбесту в замісі.

Виготовлена азбестоцементна маса надходить у ковшовий змішувач для отримання певного запасу маси, щоб підтримувати безперервну роботу формувальної машини. Зі змішувача маса спрямовується по жолобу в металеві ванни, що є частиною листоформувальної машини. Одночасно в жолоб безперервно надходить рекуператорна вода (відбирається з ни-

жньої частини рекуператора), що дозволяє підтримувати необхідну консистенцію маси. Азбестоцементна суспензія, що надходить у ванни сітчастих циліндрів листоформувальної машини, звичайно складається з 8…10 % сухої речовини та 90…92 % води. Але існують й інші листоформувальні машини, на яких застосовується азбестоцементна суспензія більш високої концентрації, наприклад до 40…45 % сухої речовини (у ній до 15 % азбесту, до 85 % цементу).

Формування листів та інших азбестоцементних виробів мокрим способом проводиться на круглосітковій формувальній машині (а напівсухим – на фільтрувальній стрічці). Принцип формування виробів полягає у відфільтровуванні води із шарів азбестоцементної маси під впливом гідростатичного тиску до необхідного ущільнення (рис. 11.1). Для цього в металевій ванні, наповненій азбестоцементною суспензією, розташований порожній каркасного типу циліндр, обтягнутий металевою сіткою (сітчастий барабан). На сітці маса осідає тонким шаром і частково зневоднюється за рахунок фільтрації води крізь сітку. Вода з барабана відводиться спочатку в згущувачі (рекуператори) для відділення й повернення у виробництво неосілої частини азбесту, а потім вона використовується для промивання сітки й сукна й розрідження азбестоцементної маси в жолобі. З поверхні барабана шар азбестоцементної маси знімається нескінченною сукняною стрічкою. Пройшовши по стрічці вакуум-коробки (з розрідженням приблизно 300 мм рт. ст.), попередньо зневоднена азбестоцементна маса переноситься до металевого формувального барабана, що знімає масу із сукна і навиває її на свою поверхню концентричними шарами, при цьому маса ущільнюється між обертовими металевими циліндрами. Коли азбестоцементний шар на барабані досягне необхідної товщини, його розрізають по твірній циліндра й сирий лист знімають. Тиск пресової частини листоформувальної машини становить звичайно 20…40 Н/см, для другого підпресувального вала 100…120 Н/см і для основного прес-вала

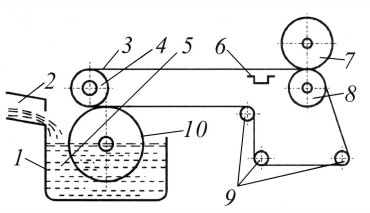


Рис. 11.1. Схема формувальної машини для виготовлення азбестоцементних виробів: *1* – металева ванна; *2* – жолоб для подачі азбестоцементної маси; *3* – стрічка конвеєра; *4* – притискний вал; *5* – шар азбестоцементної маси; *6* – вакуум-коробка; *7* – форматний барабан; *8* – ведучий вал; *9* – натяжний ролик; *10* – барабан, обтягнутий металевою сіткою

до 400 Н/см. У результаті обтиснення вміст вологи в листі значно знижується і досягає 25 %.

Якщо виготовляються плоскі плитки, то лист додатково розрізається на плитки, які стопками пресують під високим тиском (до 40 МПа) на гідравлічному пресі. Якщо виготовляються хвилясті листи, то хвилястості надають на спеціальних верстатах періодичної дії. Існують верстати і безперервної дії, які застосовуються на всіх автоматизованих лініях.

Вироби твердіють у пропарювальних камерах за температур 50…60 °С, відносної вологості 90…95 % протягом 10…14 год, а потім 5…7 діб в утепленому складі. Швидше відбувається твердіння у автоклавах під дією пари тиском 0,8 МПа, що дозволяє використовувати піщанистий цемент і виключити витримування виробів на складі заводу.

Під час виготовлення труб принципи формування залишаються такими ж, але використовуються спеціальні трубоформувальні машини зі знімними форматними барабанами (качалками). У трубоформувальних і листоформувальних машинах також не існує принципових відмінностей у конструкціях ванн сітчастих циліндрів, вакуумзневоднювальних пристроїв і пристроїв для очищення сукна.

Після закінчення процесу навивання азбестоцементних шарів на форматну качалку останню знімають і встановлюють нову. Щоб можна було легко вийняти качалку, діаметр труби трохи збільшують розвальцьовуванням. З цією метою сітку на кінцях ненабагато розтягують за допомогою металевих клинів і розвальцьовують трубу на спеціальному каландрі.

Сухий спосіб формування азбестоцементних листів передбачає розпушування азбесту й змішування його з цементом і піском у сухому вигляді. Для подальшого зволоження додається 12…15 % води, а ущільнення маси здійснюється на конвеєрній стрічці чи катками під пресом. Твердіють вироби, до яких в основному належать плитки для підлоги й облицювальні плитки, у автоклавах. Сухий спосіб дозволяє застосовувати короткохвильовий азбест, переважно марок 6-го сорту.

11.4. Номенклатура продукції азбестоцементних заводів

Азбестоцементні вироби широко застосовуються для влаштування дахових покрить, у стінових конструкціях, трубопроводах і т. ін. Промисловість випускає хвилясті листи, плоскі листи непресовані й пресовані,

електроізоляційні дошки, деякі спеціальні вироби – вентиляційні короби, листи для градирень, деталі для склепіння метрополітену, панелі й ін.

Хвилясті листи виготовляють різних розмірів за довжиною, шириною, товщиною, кроком і висотою хвилі, а використовують їх для дахових покрить житлових, громадських і промислових будівель. У широкій номенклатурі цих листів передбачені основні розміри: за довжиною – від 1200 (листи В) до 2500 мм (листи посиленого профілю, уніфікованого профілю й ін.), ширина листів – від 686 до 1150 мм також залежно від профілю. Чим більше розміри за довжиною й шириною, тим товстіші листи – від 5,5 до 7,5 мм. Висота і крок хвилі листів прийняті відповідно в межах 28…54 і 115…200 мм. У даний час передбачений випуск листів п'яти профілів. Існує тенденція до подальшого збільшення габаритів профільованих і плоских листів, тому що знижується витрата деревини на риштування й кроквяні ферми, зменшується трудомісткість і скорочуються терміни покрівельних робіт із їх застосуванням.

Плоскі листи використовуються для зовнішнього і внутрішнього облицювання стін, стель, перегородок і балконних огорож. Їх випускають пресованими і непресованими з гладкою чи тисненою (рельєфною) поверхнею.

Для покриття підлог у кухнях, санітарних вузлах, магазинах, столових та інших виготовляють *плитки* розміром $150 \times 150 \times 10$ (13) мм різного кольору.

Розроблено й виготовляється ряд конструкцій утеплених азбестоцементних *плит для покрить*, наприклад плити АП, які утеплені мінеральною ватою, плити АКП із двох азбестоцементних листів, між якими поміщений утеплювач та ін. Застосовуються також азбестоцементні стінові панелі з дерев'яним каркасом чи безкаркасні. Їх маса значно менша, ніж маса панелей з інших матеріалів. Розміри та якісні показники панелей і листів встановлюються відповідними стандартами. Розміри листів – 3600×1500, 3000×1200 мм, 1200×800 мм (дрібнорозмірні). У дослідно-промисловому масштабі виготовляють великорозмірні листи двоякої кривизни довжиною до 5 м (для літніх будівель).

Азбестоцементні труби застосовують для влаштування водопроводу й каналізації в населених пунктах. Безнапірні труби використовуються для проведення дренажних ліній, будівництва кабельних мереж і т. ін. Внутрішній діаметр труб (умовний) складає від 100 до 500 мм при довжині 3000 і 4000 мм (що залежить від типу трубоформувальних машин). Поступово збільшується випуск труб довжиною 5 і 6 м, що знижує кількість стиків, витрату муфт і ущільнювальних кілець.

Освоєно виробництво азбестоцементних труб із газонепроникними покриттями з полімерних матеріалів. Такі труби характеризуються високою водо-, бензо- і маслостійкістю й надійно заміняють сталеві труби.

Азбестовий баласт являє собою відходи азбестового виробництва, що задовольняють спеціальні технічні умови на них як на баластовий матеріал. Він звичайно містить пилуватих частинок розміром менше 0,1 мм 4…8 %, розміром 7…25 мм – 7…30 % і дрібних вільних волокон азбесту довжиною 0,25…1 мм – 4…5 % за масою. За гранулометричним складом азбестовий баласт близький до гравелистого крупно- або средньозернистого піску. Наявність вільних волокон азбесту створює специфічні особливості, до яких належить практична водонепроникність баласту в ущільненому стані (коефіцієнт фільтрації 0,5…0,04 м/добу або $6 \cdot 10^{-6} \ldots 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м/с). Небезпеці стікання води з бічних і торцевих поверхонь шпал під їх нижні постелі при ущільненому баласті під шпалами, у міжшпальних ящиках, на плечах й укосах баластової призми запобігає достатнє зчеплення баласту з контактними поверхнями завдяки наявності азбестових волокон і гарному збереженню вологості баластом. Внаслідок гігроскопічності азбестових волокон на поверхні азбестового баласту створюється кірка товщиною 0,5…1 см. Після дощів кірка швидко відновлюється. Наявність кірки перешкоджає пилуванню баласту під час проходу поїздів (при швидкості руху до 120 км/год), проникненню забруднювачів у баластовий шар і полегшує їх видалення з його поверхні. Колія на азбестовому баласті більш пружна, ніж на щебеневому (модуль пружності підрейкової основи на 15…25 % менший).

Азбестовий баласт у порівнянні з іншими характеризується меншою температуропровідністю й може розглядатися як теплоізоляція. Він у разі промерзання не обдимається, тому широко застосовується на дорогах Уралу й Сибіру. Однак азбестовий баласт має й деякі недоліки. Він сильно ущільнюється: на осідання варто призначати запас 25…35 % проектної товщини баластового шару, у той час як при гравійному баласті – 20 %, піщаному – 15 % і щебеневому – 10 %. На укосах баластової призми можуть утворитися місцеві вимоїни, якщо недостатньо добре для рівномірного стоку води спланована поверхня. У цілому ж азбестовий баласт створює економію на 15…20 %. Особливо доцільне його застосування на коліях із сильним забрудненням, зокрема на виходах з вугільно-рудних басейнів. Обмеженням для більш широкого застосування азбестового баласту є дальність його перевезення й нераціональність укладання в колію із залізобетонними шпалами.

11.5. Основні властивості азбестоцементних виробів

Основні властивості азбестоцементу – міцність і деформативність під впливом статичних і динамічних (ударних) навантажень. Для підвищення опірності виробів впливу атмосферних опадів, агресивного зовнішнього середовища необхідно також забезпечити їх достатню щільність – водонепроникність, мінімально припустиме водопоглинання й ін. Конкретні показники якості азбестоцементних виробів визначені у відповідних стандартах. Наприклад, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-53-96 стосовно листів хвилястих уніфікованого профілю серед інших вимог (форма, розміри, дефекти) передбачається, щоб їх середня густина у висушеному стані була не менше 1,75 г/см^3, що забезпечує величину водопоглинання не більше 25 %. Мінімальна границя міцності під час згину у хвилястих листів у поперечному до гребенів хвиль напрямку й залежно від товщини листа й сортності повинна бути в межах від 15,7 до 19,6 МПа. Необхідно, щоб листи були морозостійкими й витримували в насиченому водою стані не менше 25 циклів (для профілю ВУ – не менше 50) навперемінного заморожування й відтавання без яких-небудь ознак розшарування чи пошкодження, зберігаючи після цього випробування не менше 90 % первісної величини границі міцності, щоб при стандартному випробуванні вони були водонепроникними (табл. 11.1).

Міцність труб оцінюється в основному границею міцності під час розриву, що визначається за допомогою гідравлічного тиску. За величиною максимального робочого тиску напірні водопровідні труби розділяють на класи: до 0,6 МПа – клас ВТ6, до 0,9 МПа – клас ВТ9, до 1,2 МПа – клас ВТ12 та ін. Газопровідні труби за максимальним робочим тиском розділяють на марки: для газопроводів низького тиску (до 0,005 МПа) – марка ГАЗ-НД, для газопроводів середнього тиску (до 0,3 МПа) – марка ГАЗ-СД. Для з'єднання труб використовуються азбестоцементні муфти самоущільнювальні типу САМ.

До стандартних характеристик якості азбестоцементу належить ще *ударна в'язкість*, тобто опірність виробів ударному навантаженню. Цей важливий показник якості виробів оцінюється за допомогою спеціального копра й виражається роботою, витраченою на руйнування зразків стандартних розмірів при ударному впливі маятника. Так, листи ВУ при товщині 6…7,5 мм повинні мати ударну в'язкість не менше 1,5…1,8 Дж/м^2 залежно від сорту.

Таблиця 11.1

Фізико-технічні характеристики азбестоцементних листів (хвилястих і плоских)

Показник властивостей	Профіль хвилястих листів			Вид плоских листів	
	звичайний	підсилений	уніфікований	пресований	непресований
Границя міцності під час згину, МПа, не менше	15,7	17,2	19,6	250	200
Ударна в'язкість, кДж/м^2, не менше	1,5	1,6		2,6	2,5
Штампове навантаження, кН	–	1,72	2,15	–	–
Середня густина, г/см^3, не менше	1,60	1,63	1,75	1,80	1,70
Морозостійкість, циклів, не менше	25		50		25

Серед нестандартних характеристик якості азбестоцементних виробів у відповідальних конструкціях які працюють при навантаженнях понад 30…40 % від руйнівних часто визначають міцність з урахуванням повзучості, величину модуля пружності, теплостійкість і деякі інші показники.

Повзучість азбестоцементу в порівнянні з бетонами значно більша, що можна пояснити великою кількістю гелю у в'яжучій частині. З цієї ж причини величина повзучості й інтенсивність її приросту згодом зменшується, тому що зростає об'єм кристалізаційної структури в цементному камені й зменшується об'єм гелевої складової. Випробування показують, що величина прогину азбестоцементних плиток, що перебувають під навантаженням, рівним 50 % руйнівного, у 3…3,5 рази більша величини прогину, що виникає в умовах короткочасного впливу того ж навантаження. Малопомітний прояв повзучості спостерігається при навантаженнях, що становлять 25…35 % руйнівного. Однак розрахунок міцності азбестоцементних виробів і конструкцій проводиться з урахуванням цього показника.

Модуль пружності азбестоцементу залежить від величини навантаження. Якщо остання не перевищує 75…85 % руйнівного, то модуль пружності під час розтягу (азбестоцемент в основному працює на розтяг) дорівнює: 12 000 МПа – у непресованого азбестоцементу із середньою густиною до 1,7 кг/м^3, виготовленого на 5-му і 6-му сортах азбесту; 18

000 МПа – у пресованого азбестоцементу з густиною до 1,9 г/см^3, виготовленого на 3- і 4-м сортах азбесту. Якщо руйнівні навантаження більші за 75…85 %, пропорційність між навантаженням і деформацією порушується, тому що подовження зразків зростає швидше відповідних напружень.

Модуль пружності збільшується в міру підвищення щільності й віку азбестоцементних виробів, а також вмісту азбесту.

Теплостійкість – здатність азбестоцементу витримувати без втрати міцності високі температури нагрівання. Дослідження показують, що з початком дегідратації гідросилікатів кальцію за температури 300 °С починається зниження міцності азбестоцементу. Якщо температура досягає 400 °С зниження міцності досягає вже помітної величини – до 10…15 %. При подальшому підвищенні температури створюються умови для дегідратації гідроксиду кальцію з ще більшою втратою міцності азбестоцементу (до 45 %). Тому граничною температурою припустимого нагрівання звичайного азбестоцементу може бути прийнята 500 °С, яка і є його теплостійкістю.

З метою економії азбесту, який є порівняно дефіцитним природним матеріалом, були спроби замінити частину його іншими компонентами, подібними тією чи іншою мірою до тонковолокнистої структури азбесту. У цьому напрямку проводилися дослідження із заміни частини азбесту скловолокном. Але вони показали, що необхідно мати скловолокно лугостійке, тому що звичайне виявилося недовговічним і в експлуатаційний період такий азбестоцемент швидко руйнувався. Зараз вивчена можливість використання для цих цілей мергелевого й базальтового скловолокна. Так, у Чехії і Польщі протягом багатьох років під час виготовлення азбестоцементних виробів до 10…12 % азбесту заміняли базальтовою мінеральною ватою, що відрізняється своєю лугостійкістю, порівняно високою корозійною стійкістю.

Були позитивні спроби заміняти частину азбесту органічними заповнювачами, наприклад целюлозою, кострицею, що за умови їх попередньої «мінералізації», особливо обробкою розчином хлористого кальцію, дає ефект зниження витрати азбесту без помітного зниження якості азбестоцементу, особливо при сухій технології виготовлення виробів. Для підвищення хімічної стійкості скловолокна за кордоном рекомендується вводити в нього оксиди цирконію, а також патентуються нові склади скловолокна.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть галузі застосування азбестоцементних виробів.
2. Які вихідні компоненти входять до складу азбестоцементних виробів?
3. На які технологічні операції поділяється процес виробництва азбестоцементних виробів?
4. Вкажіть особливості формування структури азбестоцементних виробів?
5. Особливості формування виробів трубчастої форми.
6. Назвіть основні фізико-механічні властивості азбестоцементних виробів.

Список рекомендованої літератури

1. Чистяков А. М. Легкие многослойные ограждающие конструкции. – М.: Стройиздат, 1987. – 242 с.
2. Верней И. И Теория формования асбестоцеметных листов и труб. – М.: Стройиздат, 1988. – 289 с.
3. Волчек И. З. Экструзионный асбоцемент. – М.: Стройиздат, 1989. – 184 с.
4. Наназашвили И. Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: Справочник. – М.: Высш. шк., 1990. – 495 с.

РОЗДІЛ 12

Силікатні бетони

12.1. Загальні відомості

Силікатні матеріали й вироби автоклавного твердіння являють собою штучні будівельні конгломерати на основі вапняно-кремнеземистого в'яжучого, отриманого в процесі автоклавної[1] обробки під дією пари при високій температурі й підвищеному тиску. Одним з основних компонентів сировинної суміші, з якої формуються вироби, служить вапно, що характеризується великою хімічною активністю до кремнезему в процесі теплової обробки. Саме тому другим основним компонентом сировинної суміші є кварцовий пісок чи інші мінеральні речовини, що містять кремнезем, наприклад шлаки, золи ТЕС й ін. Щоб хімічна взаємодія відбувалася досить інтенсивно, кремнеземистий компонент піддають тонкому подрібненню. Чим тонше подрібнення піску, тим вище повинен бути відносний вміст вапна в суміші. Як заповнювачі можуть також застосовуватися немелений кварцовий пісок, шлак, керамзит, спучений перліт і т. ін. Неодмінним компонентом у всіх сумішах є вода.

До числа автоклавних силікатних виробів відносять силікатну цеглу, великі силікатні блоки, плити з важкого силікатного бетону, панелі перекриттів і стінові панелі, колони, балки й ін. Силікатні вироби випускають повнотілими чи полегшеними, з наскрізними чи напівзамкнутими порожнинами. Особливе значення мають силікатні ніздрюваті бетони, заповнені рівномірно розподіленими повітряними порожнинами, чи пухирцями.

---

1 Автоклав – циліндричний металевий котел діаметром 2,6…3,6 м і довжиною 2..30 м з кришками, що герметично закриваються з торців, обладнаний манометром для вимірювання тиску пари в котлі, запобіжним клапаном і пристроями для автоматичного контролю процесу обробки парою.

Вони можуть мати конструктивне й теплоізоляційне призначення, що зумовлює форму й розміри виробів, їх якісні показники.

Вироби набувають властивостей, необхідних для будівельних матеріалів, після автоклавної обробки, у процесі якої утворюється новий вапняно-кремнеземистий цемент із характерними для нього новоутвореннями гідросилікатів кальцію і магнію, а також безводних силікатів.

Можливість утворення у автоклаві каменеподібного виробу була встановлена наприкінці XIX ст., але масове виробництво силікатних виробів, деталей і конструкцій, особливо типу бетонів, було вперше організоване в країнах колишнього СРСР. Технологія їх виготовлення механізована й значною мірою автоматизована, що забезпечує отримання більш дешевої продукції в порівнянні з цементними матеріалами й виробами. Ефективні дослідження в цьому напрямку були виконані П. І. Боженовим, О. В. Волженським, П. П. Будниковим, Ю. М. Буттом та ін. Було показано, що у процесі автоклавної обробки утворюються найбільш стійкі низькоосновні гідросилікати зі співвідношенням $CaO:SiO_2$ у межах 0,8:1,2, хоча на проміжних стадіях тужавлення можливі й більш високоосновні хімічні сполуки. П. І. Боженов, відзначаючи «технічний синтез» цементуючої зв'язки у автоклавному конгломераті, який складається із суміші гідросилікатів, вважає, що хімічна сировина повинна задовольняти певні вимоги. Вона повинна бути високодисперсною з питомою поверхнею порошку в межах 2 000…4 000 $см^2/м$, по можливості аморфною, склоподібною. Хімічно активна сировина забезпечує не тільки утворення цементуючої зв'язки у автоклавному конгломераті, але й ряд технологічних властивостей сировинної суміші (формувальність виробів, рівність їх поверхні, транспортабельність й ін.). Але не тільки хімічні й фізико-хімічні процеси впливають на формування структури й властивостей силікатних матеріалів під час автоклавної обробки. О. В. Волженський першим звернув увагу на зміну тепловологісних умов та їх вплив на якість виробів. У зв'язку з цим виділяють три етапи автоклавної обробки: наповнення автоклаву й виробів парою до заданого максимального тиску й температури; ізотермічне прогрівання до початку зниження тиску; спуск пари з подальшим витягуванням виробів з автоклаву.

Повний цикл автоклавної обробки, за даними П. І. Боженова, складається з п'яти етапів: впуск пари і встановлення температури 100 °С; подальше підвищення температури середовища й тиску пари до призначеного максимуму; ізотермічна витримка при постійному тиску (чим вище тиск, тим коротше режим автоклавізації); повільне й поступове наростання швидкості зниження тиску пари до атмосферного, а температури – до 100 °С; остаточне остигання виробів у автоклаві чи після вивантаження їх

з автоклава. Оптимальний режим, тобто найкращі умови за величиною тиску пари, температури і тривалості всіх стадій обробки, зумовлюється видом сировини, хоча з економічних міркувань завжди прагнуть до швидкого підйому і повільного спуску тиску.

Формування мікро- і макроструктури силікатного виробу в автоклаві відбувається на різних стадіях обробки. Механізм тужавлення вапняно-піщаного сирцю до каменеподібного стану полягає в тому, що спочатку утворюється вапняно-кремнеземиста цементувальна речовина як продукт хімічної взаємодії основних компонентів у суміші в умовах підвищених тисків і температур. Відповідно до однієї з теорій (Будникова, Бутта, Кржеминського й ін.), утворення цементувальної речовини відбувається через попереднє розчинення вапна у воді. Оскільки розчинність вапна з підвищенням температури знижується, то поступово розчин стає насиченим. Але з підвищенням температури зростає розчинність тонкодисперсного кремнезему. Наприклад, зі збільшенням температури з 80 до 120 °С розчинність кремнезему зростає (за даними Кеннеді) майже в 3 рази. Тому за температури 120…130 °С вапно і кремнезем, які містяться в розчині, взаємодіють з утворенням гелеподібних гідросилікатів кальцію. У міру подальшого підвищення температури новоутворення укрупнюються з виникненням зародків і кристалічної фази, а потім і кристалічних зростків. При надлишку вапна утворюються порівняно крупнокристалічні двоосновні гідросилікати кальцію типу $C_2SH(A)$ і C_2SH_2, а після повного зв'язування вапна в процесі перекристалізації виникають більш стійкі мікрокристалічні низькоосновні гідросилікати кальцію типу CSH(B) і $C_4S_5H_5$ (тоберморит). Кристалізація відбувається навколо зерен кварцу й у міжзерновому просторі, супроводжується зрощенням кристалічних новоутворень у каркас з подальшим його зміцненням і обростанням.

Відповідно до іншої теорії, утворення мікроструктури в'яжучого відбувається не через розчинення вапна і кремнезему, а у твердій фазі під впливом процесу самодифузії молекул в умовах водного середовища і підвищеної температури. Існує і третя теорія (Саталкін, Комохов та ін.), що допускає утворення мікроструктури в'яжучого в результаті реакцій у рідкій і твердій фазах.

Дуже корисними для формування структури і властивостей силікатних каменю і матеріалів є додаткові речовини (домішки), які виконують функції прискорювачів процесів утворення гідросилікатів кальцію чи магнію, кристалізації новоутворень, модифікаторів властивостей і структури. У цілому до складу силікатного каменю переважно входять низькоосновні гідросилікати кальцію, що мають тонкоголчасту чи лускату мікрокристалічну будову CSH(B), і тоберморит.

Оптимальна структура силікатного матеріалу формується в разі визначеної кількості вапняно-кремнеземистого цементу й мінімальному співвідношенні його фазових складових. У свіжовиготовленому конгломераті дисперсійним середовищем (с) служить вапняне тісто ($В_т$), а твердою дисперсною фазою (Ф) є мелений кремнеземистий (піщаний) компонент ($П_м$). Активність в'яжучої речовини, що виражається міцністю вапняно-кремнеземистої в'яжучої речовини оптимальної структури після автоклавної обробки, як і інші властивості силікатного матеріалу, залежать від мінімального співвідношення $В_т : П_м$ (за масою). Результати глибоких експериментальних досліджень показали, що границі міцності під час стиску, на розтяг під час згину, середня густина та інші показники властивостей силікатного каменю набувають екстремальних значень якщо мінімальне співвідношення $\frac{с^*}{Ф} = \frac{В_т^*}{П_м}$ (рис. 12.1). Міцність силікатного конгломерату $R_с = \frac{R^*}{x^n}$, де R^* – міцність автоклавного силікатного каменю оптимальної структури; $x = В_т П_м : \frac{В^*}{П_м} = \frac{\delta}{\delta^*}$ – відношення усереднених товщин плівок вапняного тіста у в'яжучій речовині відповідно конгломерату й оптимальної структури; n – показник степеня, залежить від якості вихідних матеріалів. Виконані дослідження силікатного каменю й силікатного конгломерату на прикладах бетонів дрібно- і крупнозернистих (рис. 12.2) показали, що при оптимальних структурах їх властивості повністю підпорядковуються загальним закономірностям ШБК.

Крім кремнеземистого сировинного матеріалу можливо, як показали дослідження останніх років, використання у виробництві автоклавних виробів поширених малокварцових видів сировини – польовошпатових, глинистих, карбонатних пісків, а також шлаків та інших побічних продуктів промисловості. Мінерали малокварцової сировини, розчинившись в умовах автоклавування, стають активними компонентами, що не поступаються за розчинністю кварцу. У автоклаві формується нове в'яжуче, яке складається з низькоосновних слабкозакристалізованих гідросилікатів кальцію, а в присутності іонів алюмінію – з високоосновних гідросилікатів кальцію.

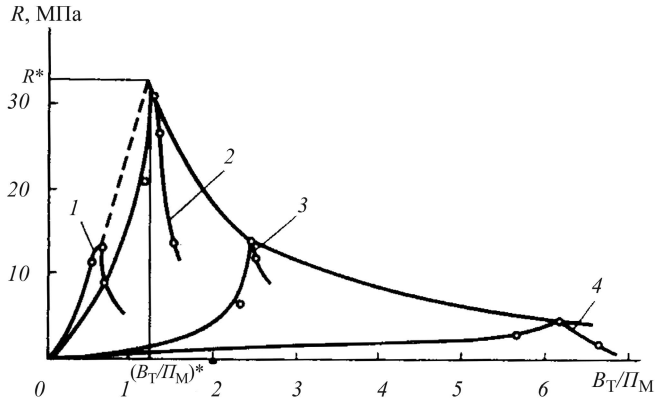


Рис. 12.1. Залежність міцності силікатного каменю від співвідношення мас вапняного тіста ($В_т$) і піску меленого ($П_м$), а також від складу суміші: *1* – $\frac{20}{80}$; *2* – $\frac{40}{60}$; *3* – $\frac{60}{40}$; *4* – $\frac{80}{20}$; тут чисельник – кількість вапна; знаменник – кількість меленого піску (за масою)

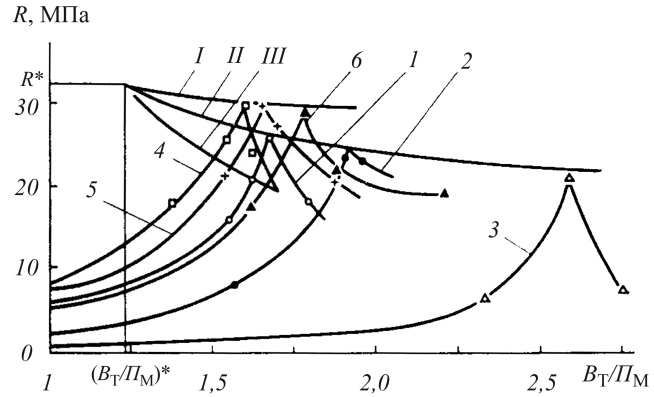


Рис. 12.2. Залежність міцності дрібнозернистого силікатного бетону з вапняно-кремнеземистим в'яжучим від його складу:
1 – вапняно-кремнеземисте в'яжуче і пісок у співвідношенні – 80:20; *2* – те ж, 60:40; *3* – те ж, 40:60; *4* – те ж, 30:70; *5* – те ж, 20:80. Склади *1*, *2*, *3* виготовлялися із застосуванням керамдору; склади *4*, *5* і *6* – із застосуванням гранітного щебеню. Криві *I*, *II* і *III* стосуються оптимальних структур із застосуванням відповідно гранітного щебеню з керамдору і тільки місцевого піску

12.2. Силікатна (вапняно-піщана) цегла

Силікатна цегла (ГОСТ 379-95) – штучний каменеподібний матеріал, отриманий шляхом пресування зволоженої суміші кварцового піску й вапна з подальшим запарюванням у автоклаві. Сировиною для його виробництва є кварцовий пісок (92…94 % маси сухої суміші) і вапно (6…8 %, в перерахунку на активний CaO).

Кварцові піски, застосовані у виробництві цегли, повинні складатися із зерен різної крупності для зменшення об'єму пустот, мати домішок слюди не більш 0,5 % і не містити включень глини, яка знижує якість виробів.

Вапно може бути негашеним чи гідратним з вмістом не більш 5 % MgO. Наявність у вапні перепалу затруднює його гашення й може сприяти розтріскуванню цегли. Звичайно використовують швидкогашене вапно з вмістом близько 70 % активного CaO.

Виготовлення силікатної цегли включає такі операції: подрібнювання вапна-кипілки, змішування вапна з піском, гашення вапна в суміші з піском, додаткове перемішування і зволоження суміші до 7…9 %, формування (пресування) цегли і запарювання цегли-сирцю у автоклавах. Основними операціями є формування і запарювання сирцю. Формування цегли проводиться на підйомових пресах під тиском 15,0…20,0 МПа. Відформована цегла-сирець укладається на вагонетки й подається для запарювання у автоклав (рис. 12.3).

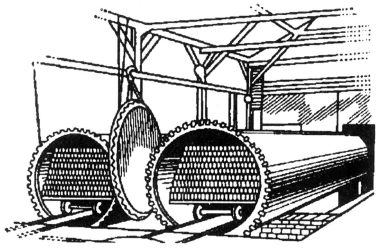


Рис. 12.3. Завантаження цегли у автоклав

Запарювання сирцю у автоклаві (за П. І. Боженовим) умовно складається з п'яти етапів: 1) від початку пуску пари до встановлення у автоклаві температури 100 °С; 2) від початку підйому тиску пари до встановлення максимально заданого; 3) витримка виробу при постійній температурі й тиску; 4) зниження тиску й температури до 100 °С; 5) остигання виробів до температури 18…20 °С (можливе додавання вакуумування). Для високоякісної автоклавної обробки сирцю задають певний режим: поступовий підйом тиску пари протягом 1,5…2,0 год, ізотермічна витримка за температури 175…190 °С протягом 4…8 год, зниження тиску пари й температури протягом 2…4 год. Весь цикл запарювання триває 10…14 год. Вивантажену з автоклава цеглу витримують 10…15 днів на повітрі для кар-

бонізації невідреагованого вапна вуглекислим газом. Карбонізація вапна сприяє підвищенню щільності, міцності й водостійкості силікатної цегли.

Силікатна цегла має таку ж форму і розміри, як і звичайна керамічна – 250 × 120 × 65 мм. Її виготовляють як суцільною, так і порожнистою. Випускають також потовщену цеглу (250 × 120 × 88 мм) з пустотами. Залежно від границі міцності під час стиску і згину силікатну цеглу поділяють на марки 75, 100, 125, 200, 250 і 300. Середня густина силікатної цегли трохи вища, ніж у звичайної керамічної, і складає 1800…1900 кг/м^3; теплопровідність знаходиться в межах 0,81…0,87 Вт/(м·К). Водопоглинання цегли повинне бути не більше 16 % за масою, а морозостійкість – не менше F 15 (для рядової цегли).

Силікатна цегла має яскраво-сіре фарбування. При використанні чистого кварцового піску і лугостійких пігментів можна одержати вироби блакитного, зеленуватого, жовтого й іншого кольорів. Собівартість силікатної цегли приблизно на 25…35 % нижче керамічної. Вона широко застосовується для мурування несучих стін промислових і цивільних споруд, для стовпів, опор і т. д. Однак у порівнянні зі звичайною керамічною цеглою силікатна має знижену стійкість проти впливу деяких агресивних середовищ. Таку цеглу не слід використовувати для мурування фундаментів, особливо в умовах високого рівня ґрунтових вод.

Забороняється застосовувати силікатну цеглу у виробах і конструкціях, підданих тривалому впливу нагрівання до температур понад 500 °С (печі, димарі й т. ін.). При тривалому нагріванні силікатна цегла руйнується внаслідок дегідратації гідросилікату й гідроксиду кальцію.

12.3. Силікатний бетон

Силікатний бетон – каменеподібний штучний будівельний конгломерат, що виходить з ущільненої й отверділої у автоклаві зволоженої суміші меленого негашеного вапна (6…10 %), меленого кварцового піску (8…15 %) і звичайного кварцового піску (70…80 %) чи іншого заповнювача. Силікатні бетони можуть бути важкими – із середньою густиною більше 1800 кг/м^3 (щільний заповнювач – пісок і щебінь або гравій), легкими – із середньою густиною менше 1800 кг/м^3 (заповнювачем є керамзит, аглопорит та ін.) і ніздрюватими – із середньою густиною менше 500 кг/м^3. Розділяють бетони дрібнозернисті з крупністю зерен заповнювача до 5 мм і крупнозернисті з зернами більше 5 мм.

Найбільше застосування отримали важкі дрібнозернисті бетони з границею міцності під час стиску 15, 20, 25, 30, 40 і 50 МПа. Можна виготовити високоміцні силікатні бетони з більш високою границею міцності – 60, 70, 80 МПа і більше. Морозостійкість таких бетонів, особливо бетонів високої міцності, досягає 300 циклів навперемінного заморожування й відтавання без помітних слідів руйнуваня структури. Крім того, вони мають достатню водостійкість і стійкість до впливу деяких агресивних середовищ. Міцність, морозостійкість та інші властивості силікатних бетонів значною мірою залежать від тонкості помелу піску й вмісту його в суміші у визначеній кількості активного CaO. Якщо вміст активного CaO 12,5 % зі збільшенням питомої поверхні меленого піску міцність і морозостійкість силікатного бетону помітно зростають.

Силікатні бетони можна армувати як звичайною, так і попередньо напруженою арматурою. Однак у вологому режимі експлуатації конструкцій арматуру слід покривати антикорозійними сумішами. В нормальному режимі експлуатації арматура в щільному силікатному бетоні не кородує. У зв'язку з цим силікатні бетони широко застосовують у промисловому й цивільному будівництві нарівні зі звичайними цементними бетонами.

Із щільних силікатних бетонів виготовляють усі несучі конструкції: панелі стін і перекриттів, сходові марші й площадки, балки, колони, плити й інші деталі для збірного промислового, цивільного та сільськогосподарського будівництва. З міцних силікатних бетонів виготовляють також напружено-армовані залізничні шпали, тюбінги для шахтного будівництва й метро, безазбестовий шифер й інші вироби. Силікатний бетон застосовують для будівництва збірних покрить і основ доріг загального призначення. Він має високу опірність зносу (не більше 0,2 мм за рік) і високий коефіцієнт зчеплення з колесами автомобіля (0,65…0,80). Крім несучих конструкцій, із силікатних бетонів (з додаванням цементу М400) виготовляють облицювальні вироби, зокрема силікатні облицювальні плити. Їх застосовують для облицювання цегляних житлових і промислових будівель, за винятком цоколів, зовнішніх підвіконь, поясів та інших частин будинків, що піддаються значному зволоженню. Можливість фарбування силікатних плит у різні кольори за допомогою лугостійких пігментів дозволяє підвищити їх декоративні якості й широко використовувати для архітектурної обробки фасадів будівель.

Зараз значна увага приділяється розвитку виробництва легких силікатних бетонів із застосуванням пористих заповнювачів, наприклад керамзиту, аглопориту, спученого перліту, шлакової пемзи й ін. В'яжучим у таких бетонах є тонкомолота вапняно-кремнеземиста суміш, що забезпечує набір міцності в умовах автоклавної обробки.

12.4. Силікатні вироби ніздрюватої структури

Силікатні вироби ніздрюватої структури поділяються на піно- і газосилікат.

Піносилікат – каменеподібний будівельний конгломерат ніздрюватої будови. Для його виготовлення, крім технічної піни, береться звичайно до 25 % меленого вапна-кипілки і кварцовий пісок. Крім піску можуть бути використані доменний шлак, золи, трепел, діатоміт та інші заповнювачі з великим вмістом кремнезему. Вапно й заповнювачі піддають спільному чи роздільному подрібнюванню, після чого готують ніздрювату суміш шляхом перемішування вапняно-піщаного розчину зі стійкою технічною піною. Готову ніздрювату суміш вивантажують зі змішувального барабана пінобетонозмішувача в роздавальний бункер, а потім розливають у форму виробу. Через 6…8 год піносилікат у формах завантажують у автоклави для запарювання й тужавлення.

Газосилікат – штучний кам'яний матеріал ніздрюватої будови, у якому пориста структура вапняно-піщаної суміші утворюється уведенням газоутворювачів. Технологічний процес отримання газосилікату подібний до виробництва газобетону і складається в основному з подрібнювання вапна й піску, приготування вапняно-піщаного розчину разом із газоутворювачем, формування виробу і запарювання у автоклаві.

Із силікатних бетонів ніздрюватої структури виготовляють вироби із середньою густиною 300…1200 кг/м^3 і границею міцності під час стиску 0,4…20,0 МПа. Вони характеризуються дрібнопористою структурою, низькою теплопровідністю (0,1…0,35 Вт/(м·К) і достатньою морозостійкістю. Піно- і газосилікати з малою середньою густиною (до 500 кг/м^3) використовують для утеплення будівельних конструкцій і теплових установок (трубопроводів, котлів та ін.). Вироби з границею міцності під час стиску 2,5…7,5 МПа і теплопровідністю до 0,29 Вт/(м·К) застосовують для виготовлення великорозмірних виробів зовнішніх і внутрішніх стін, перегородок і перекриттів будівель. Для перекриттів промислових і житлових будівель виготовляють армопіносилікатні плити з границею міцності під час стиску вище 7,5 МПа. Плити з розмірами (150…300) × 50 × (10…14) см не потребують додаткової теплоізоляції, водночас є досить міцними та довговічними.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть вироби, які виготовляють на основі вапна і піску.
2. З яких етапів складається цикл автоклавної обробки? Дайте характеристику кожному етапу.
3. Які процеси відбуваються при автоклавній обробці вапняно-піщаних виробів?
4. Що називається силікатною цеглою? Сировина для виробництва силікатної цегли.
5. Які операції включає виробництво силікатної цегли?
6. Який режим автоклавної обробки застосовують при виробництві силікатної цегли?
7. Назвіть технічні вимоги і галузь застосування силікатної цегли.
8. Що називається силікатним бетоном? Сировина для виробництва, технічні вимоги й галузь застосування силікатного бетону.
9. Які особливості виготовлення й застосування силікатних виробів ніздрюватої структури?
10. Дайте техніко-економічне обґрунтування застосування силікатних матеріалів у будівництві.

Список рекомендованої літератури

1. Шатава В. Пористый бетон «Силикорк» / В. Шатава, Я. Шкрдлик. – М.: Стройиздат, 1962. – 231 с.
2. Виноградов Б. Н. Сырьё для производства автоклавных силикатных бетонов. – М.: Стройиздат, 1966. – 163 с.
3. Волженский А. В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия / А. В. Волженский, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
4. Куприянов В. П. Технология производства силикатных изделий. – М.: Высш. шк., 1975. – 240 с.
5. Боженов П. И. Технология автоклавных материалов. – Л.: Стройиздат, 1978. – 367 с.
6. Хавкин Л. М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.

РОЗДІЛ 13

Бітумні та дьогтьові в'яжучі речовини та матеріали на їх основі

13.1. Особливості утворення в'яжучих речовин органічного походження та їх класифікація

Органічні в'яжучі речовини – це природні або штучні тверді, в'язкопластичні та рідкі матеріали, що складаються з хімічних сполук, молекули яких містять атоми карбону. Органічні в'яжучі речовини можна розглядати як дисперсні системи, представлені сумішшю різних сполук, у тому числі метанових C_nH_{2n+2}, нафтенових C_nH_{2n}, ароматичних C_nH_{2n-6} та гетероциклічних, а також високомолекулярними вуглеводнями та неметалевими похідними.

Органічні в'яжучі є гідрофобними та горючими матеріалами, більшість з них здатні розчинятися в органічних розчинниках (бензолі, толуолі, гасі, лігроїні), а деякі тільки набухати в них. Вони також характеризуються достатньою адгезією до більшості матеріалів органічного та неорганічного походження.

Сировиною для виробництва органічних в'яжучих речовин є продукти органічного походження, у тому числі нафта, кам'яне вугілля, горючі сланці, торф. Ця сировина підлягає хімічній переробці (фракційна розгонка, суха деструктивна перегонка), у результаті чого, крім таких цінних продуктів, як бітум, дьогті, одержують також смолоподібні залишки, з яких шляхом додаткової переробки отримують цілий ряд речовин, що за своїми властивостями можуть бути класифіковані як органічні в'яжучі матеріали.

Класифікують органічні в'яжучі речовини за такими ознаками:

1. *За механізмом твердіння* органічні в'яжучі речовини поділяють на *коагуляційні* (бітуми, дьогті) і *поліконденсаційні* (або полімеризаційні).

2. Залежно *від властивостей, хімічного складу, виду сировини та технологічного процесу* органічні в'яжучі речовини коагуляційного твердіння поділяють таким чином:

– *бітумні* речовини, які складаються із вуглеводнів метанового, нафтенового та ароматичного рядів, а також їх кисневих, сірчаних і азотних похідних;

– *дьогтьові* речовини, які складаються із суміші ароматичних вуглеводнів та їх кисневих, азотних або сірчаних похідних;

– *бітумнополімерні*, які складаються з нафтових бітумів та полімерів;

– *гумобітумні*, одержані в результаті спільної переробки нафтових бітумів та старої гуми;

– *гумодьогтьові*, одержані спільною переробкою старої гуми та дьогтепродуктів.

Бітумні та дьогтьові в'яжучі входять до групи органічних в'яжучих матеріалів, що складаються з високомолекулярних вуглеводнів та їх неметалевих похідних (сполук вуглеводнів із сульфуром, оксигеном, нітрогеном). Основними ознаками цих в'яжучих є розм'якшення (розрідження) під час нагрівання та відновлення своєї початкової в'язкості під час охолодження.

Їх застосовують переважно для отримання гідроізоляційних матеріалів. Так, ще 4 500…5 000 років тому природний бітум використовували в будівництві єгипетських і вавилонських споруд: храмів, ритуальних басейнів та гробниць. У VI ст. до н. е. бітум було застосовано у Вавилоні під час будівництва каналів для пропускання вод Євфрату, ізоляції тунелів, а також для влаштування асфальтових дорожніх покриттів.

13.2. Бітумні в'яжучі речовини

Бітуми – це органічні речовини, які складаються здебільшого з різних сумішей високомолекулярних вуглеводнів метанового, нафтенового та ароматичних рядів, їх кисневих та сірчаних похідних.

Елементний склад бітумів, %: карбон – 73…87; гідроген – 8…12; сульфур – 1..3; оксиген – 1…5; нітроген – 0…2.

За консистенцією бітуми поділяють на тверді, напівтверді та рідкі, за призначенням – на дорожні, будівельні, покрівельні, гідроізоляційні.

Дорожні бітуми використовують для виготовлення асфальтових бетонів та розчинів, *будівельні* — для виготовлення асфальтових, приклеювальних та ізоляційних мастик, бітумно-гумових матеріалів, а *покрівельні* – для виготовлення покрівельних мастик, рулонних та гідроізоляційних матеріалів.

Рідкі бітуми розраховані для використання в холодному або нагрітому стані за температури від 20 до 120 °С, тому за нормальної температури вони мають порівняно невелику в'язкість, яка забезпечує необхідну легкоукладальність сумішей в дорожнє полотно.

Основними властивостями рідких дорожніх бітумів є: в'язкість (технологічна), швидкість загуснення, що характеризується вмістом летких масел (фракційним складом), адгезія та стійкість до погодних змін.

Швидкість загуснення залежить від умов випаровування летких фракцій та вимог до швидкості підвищення міцності дорожнього покриття.

В'язкість рідких бітумів визначається за допомогою стандартного віскозиметра в секундах. Одна секунда приблизно відповідає 0,25…0,30 пуаз абсолютної в'язкості. В'язкість рідких бітумів знаходиться в межах $C^{5}_{60} = 5…200$ с (верхній індекс біля літери C – це діаметр отвору, через який витікає бітум, мм, нижній – температура випробування, °С).

До бітумних в'яжучих матеріалів належать природні, штучні (нафтові) та сланцеві бітуми.

Природні бітуми – це в'язкі рідини та твердоподібні речовини чорного чи темно-коричневого кольору, що утворилися внаслідок природного процесу окиснювальної полімеризації нафти. Вони легко розчиняються в сірковуглеці, бензолі та хлороформі, гірше – у бензині. Структура природних бітумів, їх фізико-хімічні та фізико-механічні властивості близькі до нафтових бітумів. У чистому вигляді бітуми зустрічаються рідко. Найчастіше природні бітуми містяться (від 5 до 20 %) у пісках, пісковиках, вапняках, доломітах і сланцях, у місцях нафтових родовищ, утворюючи лінзи, а іноді й цілі асфальтові озера. Особливо цінними є асфальтові вапняки, доломіти, пісковики, з яких виготовляють асфальтові порошки та мастики. Використання природних бітумів обмежене внаслідок невеликої кількості родовищ, складності та низької економічності вилучення бітумів із бітумінозних порід.

Із асфальтових порід бітум добувають виплавлянням їх у гарячій воді або обробкою породи органічними розчинниками з подальшим відокремленням розчинника від бітуму. Вказаний спосіб називається *екстрагуванням*. Його доцільно використовувати лише в тому разі, коли вміст бітуму в породі становить не менше 10…15 %. Досить економічним є добування природного бітуму виварюванням у воді, підкисленій соляною кислотою, при цьому бітум відділяється від породи й спливає у вигляді піни. Цей бітум подають у відстійники для відокремлення від води та мінеральних домішок. Бітумні доломітові та вапнякові породи без відокремлення

бітуму використовують у вигляді тонкого порошку для одержання асфальтової мастики та асфальтових бетонів.

Нафтові (штучні) бітуми одержують переробкою нафтової сировини. В Україні основними постачальниками нафтових бітумів є Кременчуцький, Одеський, Лисичанський та Дрогобицький нафтопереробні заводи.

Залежно від в'язкості нафтові бітуми поділяють на тверді, напівтверді та рідкі, а залежно від способу переробки – на залишкові, окиснені та крекінгові.

Залишкові одержують у результаті атмосферно-вакуумної перегонки високосмолистої нафти після відбору бензину, гасу та масляних фракцій.

Окиснені бітуми одержують продуванням повітря через нафтові залишки відгонки з мазуту масляних фракцій, які називаються *гудроном*. Гудрон є основною сировиною для одержання нафтових бітумів. У процесі виробництва окиснених бітумів кисень повітря реагує з воднем, що міститься в залишках, утворюючи водяні пари. Втрата водню супроводжується ущільненням нафтових залишків через їх полімеризацію та згущення.

Крекінгові бітуми одержують шляхом розкладання за високої температури нафти та нафтових масел з метою збільшення виходу бензину.

Сланцеві бітуми – це органічні в'яжучі речовини, які одержують в процесі нагрівання горючих сланців без доступу повітря. Вони бувають в'язкі та рідкі.

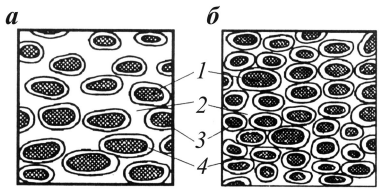


Рис. 13.1. Схема структури бітуму:
а – рідкого; *б* – твердого; *1* – міцела; *2* – розчин смол у маслах; *3* – асфальтени (ядро міцели розміром 18…28 мкм); *4* – смоли (оболонка міцели)

За складом та властивостями сланцеві бітуми дещо відрізняються від нафтових. Так, у сланцевих бітумах більше міститься асфальтенів та смол, але менше масел, тому вони мають досить високу розтяжність за 25 °С (більше 100 см). Сланцеві бітуми використовуються в тих же галузях, що й нафтові.

Склад та структура бітумів. За своєю будовою бітум – це колоїдна система, у якій дисперговані асфальтени, а дисперсійним середовищем є смоли та масла (рис. 13.1).

Тверда частина бітуму – це високомолекулярні вуглеводні та їх похідні з молекулярною масою 1 000…5 000, густиною понад 1 000 кг/м^3, об'єднані загальною назвою «асфальтени». Це

тверді неплавкі крихкі кристалічні речовини. Вміст асфальтенів у бітумах становить 50 %. Вони збільшують в'язкість бітумів, за температури 300 °С розкладаються з утворенням коксу. Асфальтени містять карбени (тверді вуглеводневі речовини), розчинні лише в чотирихлористому вуглеці CCl_4, та карбоїди, нерозчинні в маслах та летких розчинниках.

До складу бітумів можуть входити також тверді вуглеводні – парафіни, які зазвичай погіршують їх властивості, підвищуючи крихкість, особливо у разі зниження температури. Бітуми зі значною кількістю парафіну (більше 5 %) називають парафінистими. Негативний вплив парафіну на властивості бітуму послаблюється за наявності в його складі масел та смол.

Смоли – це аморфні речовини темно-коричневого кольору з молекулярною масою 500…1 000 та густиною, близькою до 1 000 кг/м^3.

Смолисті речовини – це тверді чи напівтверді продукти, які легко розчиняються в бензині, хлороформі, бензолі, маслах. У бітумах їх міститься 16…30 %.

Масляні фракції бітумів складаються з різних вуглеводнів з молекулярною масою 100…500 і густиною менше 1 000 кг/м^3.

Якщо в дисперсній системі є надлишок дисперсійного середовища, то комплексні частинки – міцели – не контактують між собою і вільно переміщуються. Така структура характерна для бітуму в рідкому стані (див. рис. 13.1, *а*). Якщо в системі бракує дисперсійного середовища, міцели контактують між собою, утворюючи міцелярну просторову сітку. Така ситуація наявна в структурі твердого бітуму (див. рис. 13.1, *б*), який відрізняється підвищеною в'язкістю порівняно з бітумом у рідкому стані.

Властивості бітуму як дисперсної системи визначаються співвідношенням його складових компонентів: масел, смол та асфальтенів. Вміст маслянистих речовин у бітумах становить 45…60 %; вони надають бітумам рухомості, оскільки смоли частково здатні в них розчинятися. Смоли зумовлюють в'яжучі властивості бітумів, надають їм пластичності, збільшують адгезійну (клеючу) здатність. Асфальтени підвищують температуру розм'якшення та твердість.

13.3. Властивості бітумів

Фізичні властивості органічних в'яжучих речовин та матеріалів на їх основі визначаються їх природою, складом та технологією отримання. Для бітумів, на відміну від мінеральних в'яжучих речовин, характерні гідрофобність, атмосферостійкість, підвищена деформативність, здатність розм'якшуватися під час нагрівання. Ці властивості зумовили застосування органічних в'яжучих речовин для виробництва покрівельних, гідроізоляційних та антикорозійних матеріалів, а також їх велике поширення в гідротехнічному та дорожньому будівництві.

Густина бітумів залежить від складу й коливається в межах від 800 до 1300 кг/м^3. Теплопровідність має значення, характерні для аморфних речовин, і становить 0,5…0,6 Вт/(м·°С), теплоємність – 1,8…1,97 кДж/(кг·°С), коефіцієнт об'ємного теплового розширення за $T = 25$ °С знаходиться у межах від $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ С$^{-1}$. Стійкість під час нагрівання характеризується втратою маси у процесі термічної обробки проби бітуму за $T = 160$ °С протягом 5 год (повинна становити не більше 1 %) та температурою спалаху. Температура спалаху – це температура, за якої газоповітряна суміш, що утворюється під час підігрівання в'яжучої речовини у відкритому тиглі, спалахує при піднесенні полум'я. Температура спалаху залежно від марки для в'язких та твердих бітумів становить не нижче 180…200 °С, а рідких – не нижче 37…60 °С.

Водостійкість характеризується вмістом водорозчинних речовин (у бітумі не більше 0,2…0,3 % за масою). Електроізоляційні властивості враховуються під час влаштування ізоляції електричних кабелів.

Фізико-хімічні властивості. Реологічні властивості бітуму залежать від його групового складу та будови. Поверхневий натяг бітумів за $T = 20…25$ °С становить $(25…35) \cdot 10^{-11}$ Дж/м^2.

Старіння – процес повільної зміни складу й властивостей бітуму, що супроводжується підвищенням крихкості й зниженням гідрофобності. Під впливом сонячної енергії, високих температур та кисню повітря склад бітумів змінюється за рахунок хімічного переходу масел у смоли, а смол – у асфальтени.

Зміна співвідношення між вуглеводневими речовинами призводить до зміни структури та властивостей бітуму. Рідкі бітуми, що мають структуру типу золь, поводяться як рідини, рух яких підпорядковується закону Ньютона. Тверді бітуми, які мають структуру типу геля, належать до в'язкопружних матеріалів, оскільки при доданні до них навантаження одночасно виникає пружна (оборотна) і пластична (необоротна) складові де-

формації. Для опису процесу деформування в'язкопружних тіл використовують реологічну модель Максвелла й ін.

Хімічні властивості. Найбільш важливою властивістю є хімічна стійкість бітумів і бітумних матеріалів до дії агресивних речовин, що викликають корозію цементних бетонів, металів та інших будівельних матеріалів. Бітумні матеріали стійкі до дії лугів (з концентрацією до 45 %), фосфорної кислоти (до 85 %), а також сірчаної (з концентрацією до 50 %), соляної (до 25 %) і оцтової (до 10 %) кислот. Менш стійкі бітуми в атмосфері, що містить оксиди азоту, а також у разі дії концентрованих розчинів кислот (особливо окислювальних). Бітум розчиняється в органічних розчинниках. Завдяки своїй хімічній стійкості та економічності бітумні матеріали широко застосовують для хімічного захисту залізобетонних конструкцій, сталевих труб й ін.

Фізико-механічні властивості. Основними якісними показниками бітумів є в'язкість (твердість), яка ще називається пенетрацією і визначається в пенетрометрі (рис. 13.2), деформативність та теплостійкість (температура розм'якшення). За цими показниками тверді та напівтверді бітуми поділяють на марки. Позначення марки бітуму складається з літер, які пов'язані з його призначенням та цифр, перша з яких відповідає температурі розм'якшення, а друга – пенетрації, наприклад БНК 90/30 – бітум нафтовий покрівельний.

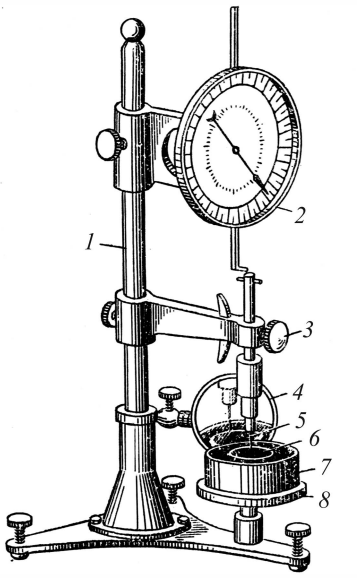


Рис. 13.2. Пенетрометр:
1 – штатив; *2* – циферблат;
3 – затискувальний пристрій;
4 – дзеркало; *5* – голка;
6 – бітум; *7* – кристалізатор;
8 – столик пенетрометра

На відміну від зазначеного, для дорожніх бітумів цифри (перша та друга) пов'язані з межами зміни пенетрації, наприклад БНД 200/300.

Тверді бітумні матеріали, як і інші речовини аморфної будови, не мають певної точки плавлення. Вони характеризуються температурою розм'якшення, яка визначається на приладі «Кільце і куля» («КіК») (рис. 13.3).

Температура розм'якшення бітумів залежить від їх складу і збільшується при підвищеному вмісті асфальтенів та смол. Наприклад, для дорожніх в'язких бітумів температура розм'якшення знаходиться в межах 33…51 °С, а для будівельних бітумів – 50…105 °С.

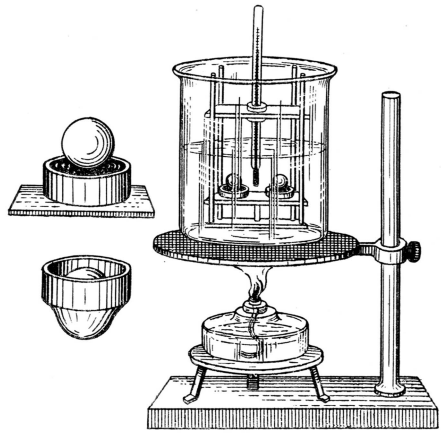


Рис. 13.3. Прилад для визначення температури розм'якшення «Кільце і куля»

За необхідності визначають також інші властивості бітумів – крихкість, розчинність тощо.

Температура крихкості пов'язана з появою перших тріщин у процесі охолодження бітуму й визначається за допомогою приладу Фракса. Наприклад, для дорожніх бітумів температура крихкості знаходиться в межах –5…–25 °С.

Основні властивості бітумів пов'язані між собою, наприклад, у разі зростання твердості (в'язкості) збільшується розтяжність та знижується температура розм'якшення, а у разі зменшення – навпаки.

Нафтопереробна промисловість випускає для застосування в будівництві тверді бітуми, а для проведення дорожньо-будівельних робіт – тверді, напівтверді та рідкі. Основні вимоги, що ставляться до бітумів різного призначення, наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Основні властивості та вимоги до нафтових бітумів різного призначення

Марка бітуму	Температура розм'якшення за «К і К», °С, не менше	Глибина проникнення голки 0,1мм за температури 25 °С, не менше (за 0 °С)	Розтяжність, см, за температури 25 °С (за 0 °С)	Температура крихкості, °С, не нижче	Температура спалаху, °С, не нижче
Бітуми нафтові будівельні (ГОСТ 6617)					
БН 50/50	50	41…60	40	Не нормується	230
БН 70/30	70	21…40	3,0	Те саме	240
БН 90/10	90	5…20	1,0	» »	
Бітуми нафтові покрівельні (ГОСТ 9548)					
БНК-40/180	37…44	160…210	Не нормується	Не нормується	60
БНК-45/190	40…50	160… 220	Те саме	Те саме	
БНК-90/30	85…95	25…35	» »	–10	70
Бітуми нафтові дорожні в'язкі (ГОСТ 22245)					
БНД 200/300	35	201…300(45)	–	–20	220
БНД 130/200	40	131…200(35)	70(6,0)	–18	220
БНД 90/1 ЗО	43	91…130(28)	65(4,0)	–17	230
БНД 60/90	47	61…90 (20)	55(3,5)	–15	
БНД 40/60	51	40…60(13)	45(–)	–12	
БН 200/300	33	201…300(24)	–	–14	220
БН 130/200	38	131…200(18)	80(–)	–12	230
БН 90/130	41	91…130(15)		–10	240
БН 60/90	45	60…90(10)	70(–)	–6	

Закінчення табл. 13.1

Марка бітуму	Температура розм'якшення за «К і К», °С, не менше	Глибина проникнення голки 0,1мм за температури 25 °С, не менше (за 0 °С)	Розтяжність, см, за температури 25 °С (за 0 °С)	Температура крихкості, °С, не нижче	Температура спалаху, °С, не нижче
Бітуми нафтові ізоляційні (ГОСТ 9812)					
БНИ-IУ-3	65…75	30…50(15)	4	Не нормується	250
БНИ-IУ	75…85	24…40(12)	3	Те саме	
БНИ-У	90…100	20…40(9)	2	» »	240

13.4. Дьогтьові в'яжучі речовини

Дьогті – це в'язкі рідини чорного чи бурого кольору, які складаються з вуглеводнів та їх сірчаних, азотних і кисневих похідних, одержаних конденсацією пароподібних продуктів, що утворюються під час розкладання органічних матеріалів в умовах високої температури без доступу повітря.

За вихідною сировиною дьогті поділяють на кам'яновугільні, торф'яні, деревні та сланцеві, залежно від методу переробки сировини – на коксові та газові, а з урахуванням технології отримання – на сирі, відігнані та складені.

Кам'яновугільний дьоготь, у свою чергу, поділяють на два види:

а) низькотемпературний первинний, одержаний у процесі напівкоксування, яке завершується за температури 500…600 °С. Це в'язка темно-бура рідина густиною 850…1000 кг/м^3, яка складається з насичених і ненасичених вуглеводнів та фенолу;

б) високотемпературний, одержаний при коксуванні, яке закінчується за температури 1000…1300 °С. Це чорна в'язка рідина або в'язкотвердий продукт густиною 1120…1280 кг/м^3 з температурою розм'якшення 40…70 °С.

Низькотемпературні дьогті за хімічним складом відрізняються від високотемпературних і складаються в основному з парафінистих і нафтено-

вих вуглеводнів та фенолів. Вони містять такі компоненти: воду – 2…3 %; леткі масла – 1…7 %; середні масла – 8…12 %; важкі масла – 5…8 %; залишок (після перегонки) – 55…70 %; вільний вуглець – 0…8 %; нафталін – 0…2 %; фенол – 30 %; твердий парафін – 3…15 %.

Кам'яновугільний дьоготь не розчиняється в жодному з відомих розчинників і відрізняється підвищеною біостійкістю.

Торф'яні дьогті одержують у спеціальних генераторах або в коксувальних печах. Вони належать до типу низькотемпературних смол і містять у своєму складі до 10…15 % фенолу, а також до 10 % твердого парафіну; густина їх за 20 °С становить 1030…1050 кг/м^3, вони мають меншу тепло- та атмосферостійкість, ніж кам'яновугільні, відрізняються кращою адгезією до кам'яних матеріалів.

Деревні дьогті виготовляють із деревних низькотемпературних смол, які одержують із хвойних та листяних порід у процесі вуглевипалювання в газогенераторних установках.

За зовнішнім виглядом сирі деревні газогенераторні смоли – це густа рідина темнокоричневого кольору із значним вмістом води, оцтової кислоти та фенолів. Фракційний склад деревних смол: вода – 8…10 %, фракції, відігнані за 100…170 °С, – 14…30 %, за 270…300 °С – 4…12 %; пек – 53 %.

Відігнаний дьоготь одержують внаслідок фракціонування сирої низькотемпературної смоли з виділенням з неї лігроїнової та гасової фракцій. Він за властивостями близький до високотемпературного дьогтю.

У процесі високотемпературної деструкції 1 т вугілля одержують 700…750 кг коксу, 300…350 м^3 газу, 12…15 л бензолу, до 3 кг аміаку та 30…40 кг кам'яновугільної сирої високотемпературної смоли. Залишковим продуктом перегонки цієї смоли є кам'яновугільний пек – продукт чорного кольору густиною 1200…1280 кг/м^3, що представлений сумішшю висококонденсованих карбо- і гетероциклічних сполук, продуктів ущільнення, що відрізняються за ступенем ароматичності та вмістом вільного вуглецю (8…30 %). Пек разом з антраценовим маслом використовують у виробництві складених дьогтів.

У дьогтях міститься велика кількість ненасичених вуглеводнів ароматичного ряду, які піддаються окиснювальній полімеризації у разі контакту з киснем та водою, впливу ультрафіолетових променів. Атмосферостійкість дьогтьових матеріалів нижча порівняно з бітумними. Нестійкість дьогтів до процесів старіння пов'язана з випаровуванням летких складових з дьогтю навіть у разі слабкого нагрівання на сонці, а також з тим, що сполуки, які містяться в ньому, є ненасиченими й тому легко вступають у хімічну взаємодію з речовинами зовнішнього середовища, змінюючи

свій склад та структуру, що призводить до появи тріщин, крихкості та втрати водовідштовхувальних властивостей.

Однак дьогті (порівняно з бітумами) внаслідок великого вмісту речовин з полярними групами, відзначаються підвищеною адгезією до інших матеріалів. Вони мають вищу біостійкість, що пояснюється токсичністю фенолу, який міститься в їх складі. Дьогті використовують у тих самих галузях будівництва, що й бітуми, але їх застосування більш доцільне там, де є загроза виникнення біокорозії.

13.5. Асфальтові та дьогтебетони

Асфальтовий бетон (асфальтобетон) – штучний будівельний матеріал, отриманий у результаті тужавіння ущільненої асфальтобетонної маси, яка складається з раціонально підібраних за якістю і кількістю та ретельно перемішаних компонентів: щебеню (гравію), піску, мінерального порошку та бітуму. Асфальтобетон без крупного заповнювача (щебеню) називають піщаним асфальтом чи асфальтовим розчином.

Асфальтобетони й розчини є різновидами штучних будівельних конгломератів, розташовуються в єдиній класифікації ШБК і належать до групи безвипалювальних матеріалів, одержаних на основі органічних в'яжучих речовин. У сучасному будівництві вони займають одне з провідних місць, оскільки є найважливішими матеріалами для виготовлення дорожніх і аеродромних покриттів, іригаційних каналів, плоских покрівель, гідротехнічних споруд, виготовлення штучних виробів.

У вивченні властивостей, розвитку теорії і практики, технології виробництва асфальтобетонів особливе значення мають дослідження радянських вчених П. В. Сахарова, М. М. Іванова, І. А. Риб'єва, М. І. Волкова та інших.

Дьогтебетон – це штучний будівельний матеріал, отриманий ущільненням суміші дьогтю, щебеню, піску та мінерального порошку. Залежно від в'язкості дьогтю дьогтебетонні суміші поділяють на гарячі та холодні. Для отримання гарячих сумішей використовують окиснені дьогті та дьогті, модифіковані полімерами (вінілхлоридом, полістиролом тощо) марок Д-6 (в'язкість $C = 10$ с) та Д-5 ($C = 150$ с), а для холодних Д-4 та Д-5 ($C < 150$ с).

Залежно від крупності зерен щебеню дьогтебетони поділяють на крупнозернисті (розмір зерен до 40 мм) та дрібнозернисті (розмір зерен менше

20 мм). Кількість щебеню визначає характер макроструктури дьогтебетону, а також його фізичні та механічні властивості, і тому в щебеневому бетоні його кількість становить 35…50 %, а в малощебеневому – 20…35 %. Збільшення в бетоні кількості щебеню сприяє підвищенню його щільності, водостійкості, корозійної стійкості та стійкості проти старіння. За пористістю дьогтебетони поділяють на щільні (загальна пористість до 5 %) та пористі (загальна пористість – 6…12 %).

13.5.1. Класифікація асфальтових бетонів

До основних класифікаційних ознак асфальтобетонів належать різновид крупного заповнювача, в'язкість бітумів, розміри зерен щебеню чи гравію, структурні параметри, виробниче призначення й ін.

Залежно від виду крупного заповнювача асфальтобетони розділяють на *щебеневі*, що складаються з щебеню, піску, мінерального порошку й бітуму; *гравійні*, до складу яких входять гравій, пісок чи гравійно-піщаний матеріал, мінеральний порошок і бітум; *піщані* – асфальтобетони, у яких відсутній крупний заповнювач (щебінь чи гравій).

За в'язкістю застосованого бітуму й температурою укладання асфальтобетонної маси в конструктивний шар вони підрозділяються на *гарячі*, одержувані на основі в'язких бітумів марок БНД-90/130, БНД-60/90 і БНД-40/60, що укладаються за температури не нижче 120 °С; *теплі*, одержувані на основі в'язких, але більш м'яких бітумів марок БНД-200/300, БНД-130/200 чи рідких бітумів марок МГ-130/200, СГ-130/200, МГО-130/200; їх укладають у дорожні покриття за температури не нижче 70 °С; *холодні*, що виготовляються на рідких бітумах марок МГ, СГ чи бітумних емульсіях і укладаються за температури навколишнього середовища, але не нижче температури +5 °С.

За найбільшим розміром зерен щебеню чи гравію гарячі й теплі асфальтобетони розділяють на *крупнозернисті* – найбільший розмір зерен до 40 мм; *дрібнозернисті* – до 20 мм; *піщані* – з найбільшим розміром зерен піску до 5 мм (іноді 3 мм). Холодні асфальтобетони можуть бути тільки дрібнозернистими чи піщаними. Крім того, гарячі й теплі асфальтобетони залежно від використання їх у дорожніх конструкціях розділяють на щільні – для верхніх шарів покриття доріг, із загальною пористістю від 2 до 7 %; *пористі* – для нижнього шару й основ дорожніх покриттів, із загальною пористістю від 7 до 12 %, *високопористі* – з пористістю 12…18 %.

Щільні дорожні асфальтобетони (гарячі й холодні) залежно від кількісного вмісту в них крупного чи дрібного заповнювача підрозділяють на п'ять типів: А, Б, В, Г, Д. Наприклад, тип А містить 50…65 % щебеню; тип Б – 35…50 % щебеню чи гравію; тип В – 20…35 % щебеню чи гравію. Крім того, щільні гарячі й теплі асфальтобетони підрозділяють на три марки – I, II, III залежно від якісних показників.

За виробничим призначенням розрізняють асфальтобетони дорожні, аеродромні, гідротехнічні, для плоскої покрівлі й підлог. За технологічними ознаками асфальтобетонної маси в процесі її укладання й ущільнення асфальтобетони й розчини розділяють на жорсткі, пластичні та литі. Для ущільнення жорстких і пластичних мас застосовують важкі й середні котки. Литу асфальтобетонну масу часто ущільнюють спеціальними валками, легкими котками або зовсім не ущільнюють.

Гарячий асфальтобетон отримують укладанням і ущільненням за температури 120 °С раціонально запроектованої маси, що складається з тих же компонентів, що і теплий асфальтобетон, але з бітумом зниженої в'язкості. Застосування рідких бітумів чи бітумів, розріджених мазутом, гасом чи лігроїном, надає деяких особливостей структуроутворенню й властивостям готового асфальтобетону – більш тривале ущільнення й більш тривалий період формування структури.

Застосування гарячих асфальтових бетонів у будівництві дозволяє проводити роботи з їх укладання й ущільнення в осінній період. Покриття з гарячого асфальтобетону влаштовують на дорогах I-III категорій, а також на міських вулицях і площах.

Холодний асфальтовий бетон («холодний асфальт») являє собою будівельний матеріал, отриманий у результаті твердіння ущільненої в холодному стані суміші, виготовленої з раціонально підібраних мінеральних матеріалів (дрібний щебінь, пісок і мінеральний тонкодисперсний порошок) з рідким бітумом чи з емульсією, що повільно розпадається. Асфальтобетонні суміші (маси) на рідких бітумах виготовляють у гарячому стані, а укладають і ущільнюють за нормальної температури навколишнього середовища. Маси, у яких використовують бітумні емульсії, виготовляють, укладають і ущільнюють у холодному стані.

Відмітною рисою холодного асфальтобетону є здатність залишатися тривалий час після приготування в пухкому стані. Приготовлені холодні маси під час транспортування і зберігання протягом 12 місяців не злежуються, не грудкуються і залишаються розсипчастими. Тому їх можна виготовляти на заводі взимку, а укладати у весняно-літній період.

Литий асфальтобетон відрізняється від звичайного гарячого асфальтобетону великим вмістом мінерального порошку, бітуму й методом укла-

дання. Він майже не потребує витрати енергії на ущільнення й унаслідок відсутності пор є практично водонепроникним. До недоліків литого асфальтобетону слід віднести можливість тріщиноутворення на покриттях при від'ємних температурах.

Кольоровий асфальтовий бетон – будівельний матеріал, що складається з дрібного щебеню (розміром зерен 5…7 мм), піску, мінерального порошку, зв'язуючого, пластифікатора та пігменту. Як щебінь застосовують подрібнені відходи білого мармуру та вапняку. Піски повинні бути чисті, світлі; мінеральний порошок готують з тонкоподрібненого білого мармуру. Як в'яжучий матеріал застосовують кумаронові, гліфталеві полімери, а також поліетилен, полівінілхлорид, полівінілацетатну емульсію й ін.

З пігментів найбільш кольоростійкими є залізний сурик, крон жовтий, оксид хрому та ін. Кольоровий асфальтобетон повинен мати необхідну пластичність, міцність, кольоростійкість і легко очищатися у випадку забруднення. Його застосовують для влаштування острівців безпеки пішохідних переходів, позначення стоянок автомобілів, зупинок міського транспорту, а також для паркових доріжок, оформлення площ і скверів, площадок перед виставковими павільйонами й ін.

13.5.2. Складові матеріали для асфальтового бетону

Для виготовлення асфальтобетонної маси використовують щебінь, гравій, пісок, мінеральний порошок і бітум.

Щебінь застосовують з вивержених і метаморфічних гірських порід з границею міцності під час стиску не менше 100,0…120,0 МПа чи порід осадового походження з границею міцності при стиску не менше 60,0…80,0 МПа (у водонасиченому стані). Для дроблення гірських порід на щебінь найчастіше використовують граніти, габро, діабази, базальти, вапняки й доломіти, а також міцні доменні шлаки.

Щебінь чи гравій повинні бути чистими, розділеними за фракціями 20…40, 10…20 і 5…10 мм із морозостійкістю не менше F 25; у м'яких кліматичних умовах – не менше F 15.

Пісок використовують природного походження чи отриманий у результаті дроблення гірських порід з міцністю не нижче міцності щебеню. Природні піски повинні бути різнозернисті, чисті, з модулем крупності більше 2,0 і вмістом пилувато-глинистих частинок не більше 3 % (за масою).

Мінеральний порошок або дисперсний мікронаповнювач виготовляють шляхом подрібнювання вапняків і доломітів з границею міцності під час стиску не менше 20,0 МПа, а також основних доменних шлаків чи асфальтових порід. Уведення мікронаповнювача сприяє підвищенню щільності, міцності, водостійкості та морозостійкості штучного каменю. Як наповнювачі також використовують ліофільні порошки, наприклад гідролізний лігнін або фталевий ангідрит.

За ступенем подрібнення необхідно, щоб порошок повністю проходив (у разі мокрого розсіву) крізь сито з отворами 1,25 мм, вміст же частинок дрібніше 0,63 мм має бути не менше 70 % за масою, а частинок дрібніше 0,315 мм – не менше 90 %.

Коефіцієнт водостійкості зразків із суміші порошку з бітумом – не менше 0,7…0,8; пористість мінерального порошку, у відсотках за об'ємом, не більше 40…45.

Бітум звичайно застосовують нафтовий дорожній в'язкий різних марок (від БНД-200/300 до БНД-40/60) чи рідкий. Вибір марки рідкого бітуму (СГ-130/200, СГ-70/130 чи МГ-70/130) обумовлюється такими факторами: різновидом асфальтобетону, районом будівництва, тривалістю сезону проведення робіт і т. ін.

Крім зазначених компонентів, у процесі приготування асфальтобетонної маси іноді додають поверхнево-активні речовини, що поліпшують якість готового асфальтобетону. Це дозволяє подовжити терміни будівельного сезону, полегшити технологічні операції й збільшити довговічність матеріалу.

13.5.3. Технологія приготування асфальтобетонної маси

Виготовлення асфальтобетонів і розчинів повністю відповідає загальним теоретичним принципам технології, властивим усім штучним будівельним конгломератам. Водночас слід вказати деякі відмінні риси переробок при одержанні різних видів асфальтобетонної маси. Так, у період підготовчих робіт щебінь (гравій) і пісок повинні бути добре просушені й нагріті до температур, що відповідають в'язкості застосованого бітуму. У свою чергу, бітум повинен бути зневоднений і нагрітий до «робочої» температури.

Об'єднання компонентів у змішувальній установці зазвичай проводять за двома стадіями. На першій стадії (період сухого перемішування) теплота щебеню й піску рівномірно розподіляється по всьому об'єму складових, оскільки мінеральний порошок, як правило, не нагрівають. На другій

стадії, після подачі бітуму в змішувач, усі віддозовані компоненти ретельно перемішуються для утворення однорідної асфальтобетонної маси. Укладання й ущільнення маси проводять на місці робіт, тому під час її транспортування необхідно зберігати задану температуру.

Для влаштування дорожніх покрить асфальтобетонну масу виготовляють на стаціонарних асфальтобетонних заводах. Нові комплекси будівельно-дорожніх машин мають пристрої для приготування асфальтобетонної суміші. Асфальтобетонний завод (АБЗ) має зазвичай чотири цехи: каменедробильний; дробильно-розмелювальний цех мінерального порошку; бітумний і змішувальний. При цьому змішувальний цех на заводі є основним, оскільки визначає кінцеву продуктивність АБЗ і якість продукції, що випускається.

Технологічна схема приготування асфальтобетонної маси АБЗ для гарячого укладання подана на рис. 13.4.

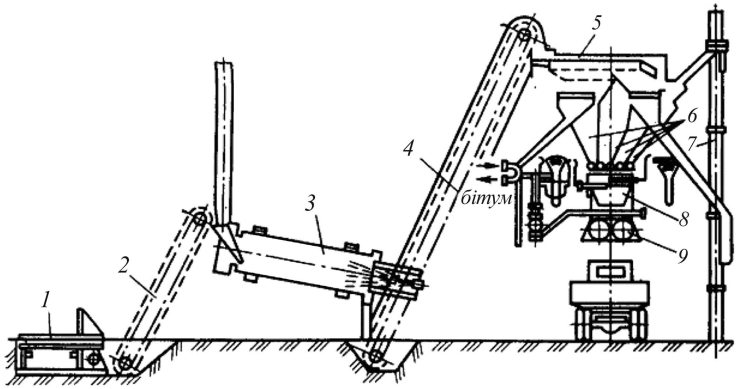


Рис. 13.4. Схема асфальтобетонної змішувальної установки:
1 – транспортний пристрій; *2* – елеватор (холодний); *3* – сушильний барабан; *4* – елеватор (гарячий); *5* – віброгрохот; *6* – відсіки бункера; *7* – елеватор для мінерального порошку; *8* – дозаторні пристрої; *9* – змішувач

Попередньо грубовіддозовані пісок і щебінь надходять на спеціальний живильник, а потім за допомогою ковшового елеватора в сушильний барабан. У сушильному барабані їх просушують, нагрівають до температури 200…220 °С і гарячим елеватором подають на горизонтальний віброгрохот. Розсортовані грохотом на відповідні фракції пісок і щебінь розподіляють по відсіках бункера. Одночасно мінеральний порошок за до-

помогою самостійного «холодного» елеватора спрямовують в окремий відсік бункера.

З відсіків мінеральні матеріали надходять у ваговий ківш; потім їх зважують шляхом підсумовування навішень у заданих кількостях на один заміс (наприклад, 600 кг) і зсипають у лопатевий змішувач. У змішувачі сухі мінеральні компоненти перемішують протягом 10…20 с, після чого вводять бітум, нагрітий до температури 150…170 °С і продовжують перемішування (60…80 с) до одержання однорідної асфальтобетонної маси. Готову масу зі змішувача вивантажують у автосамоскид і відправляють на місце укладання для ущільнення й формування асфальтобетонних покрить.

Приготування дьогтебетонної суміші має свої особливості. Під час приготування дьогтебетонної суміші дотримуються чіткого температурного режиму: дьоготь марки Д-5 нагрівають до $T = 80…100$ °С, а марок Д-6, Д-7, Д-8 – до $T = 100…130$ °С, мінеральні матеріали підігрівають до температури 110…130 °С. Внаслідок підвищеної чутливості до зміни температур готова суміш після змішування перед укладанням повинна мати температуру 100…120 °С.

13.5.4. Структура і властивості асфальтобетону

Структуроутворення асфальтобетону починається в основному в процесі взаємодії рідкої фази (бітуму) з мінеральним матеріалом у змішувальному апараті й закінчується під час ущільнення й тужавлення асфальтобетонного покриття на місці укладання маси.

За структурними ознаками асфальтобетон як штучний будівельний конгломерат складається з кам'яної суміші (щебінь чи гравій і пісок), зчепленої в моноліт асфальтов'яжучою речовиною, і бінарної системи, у якій рідка фаза – бітум – перемішаний з тонкодисперсним мінеральним порошком. Сформована мікроструктура асфальтов'яжучої речовини у вигляді просторової сітки (каркаса) є основою, чи матрицею, конгломератної макроструктури асфальтобетону.

Залежно від співвідношення складових матеріалів асфальтобетон може мати порфірову, контактну чи законтактну макроструктуру (рис. 13.5), кожна з яких може бути оптимальною чи неоптимальною. У дослідженнях І. А. Риб'єва та інших показано, що оптимальним структурам асфальтов'яжучої речовини й асфальтобетону відповідає комплекс найкращих якісних показників (закон створу). Тому необхідно здійснюва-

ти технологічний процес приготування, укладання й ущільнення асфальтобетонної маси так, щоб надати конгломерату оптимальної структури.

Утворення оптимальної структури асфальтобетону залежить не тільки від властивостей складових і технології виробництва, але й від проектування його оптимального складу. Метод проектування оптимального складу конгломерату полягає у виборі кількісних співвідношень між складовими матеріалами, за яких забезпечуються оптимальна структура і задані технічні властивості, показники яких набувають екстремальних значень. Зараз існує кілька методів проектування складу асфальтобетону (П. В. Сахарова, М. М. Іванова, СоюзДорНДІ й ін.). Велике значення має загальний метод проектування оптимального складу ШБК і асфальтобетону проф. І. А. Риб'єва. Він дозволяє забезпечувати найкращі склади й виготовляти асфальтобетони й розчини оптимальної структури із заздалегідь заданими властивостями (за їх екстремальних показників) з урахуванням вимог, запропонованих до покриття в експлуатаційний період.

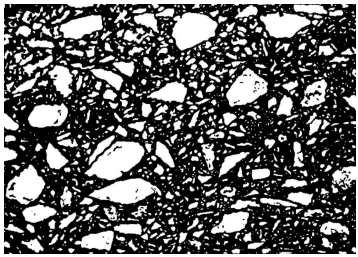


Рис. 13.5.
Макроструктура бетону

Технічні властивості асфальтобетону значно змінюються залежно від температури. За звичайної температури (20…25 °С) він має пружнопластичні властивості, за підвищених – в'язкопластичні, а за знижених температур стає крихким.

Для асфальтобетону дуже важливими є міцнісні властивості, тобто здатність за різних температур чинити опір внутрішнім напруженням без порушення структури. Механічну міцність асфальтобетону умовно характеризують границею міцності під час стиску стандартних зразків, випробуваних за заданих температур та швидкості додавання навантаження. Під час одноосьового стиску границю міцності асфальтобетону визначають на циліндричних зразках розмірами по діаметру і висоті 50,5 чи 71,4 мм (залежно від крупності мінерального заповнювача). Випробування проводять за температур 20, 50, 0 °С і швидкості додавання навантаження 3 мм/хв.

За температури 20 °С границя міцності під час стиску асфальтобетону складає близько 2,5 МПа, а під час розтягу – у 6…8 раз менше. Зі зниженням температури опір стиску різко зростає (до 15,0…20,0 МПа за –15 °С), а з підвищенням, навпаки, зменшується до 1,0…1,2 МПа (при 50 °С). Важливою характеристикою властивостей асфальтобетону є його опір

розтягувальним зусиллям. У зв'язку з цим циліндричні зразки випробують на стиск по твірній. При такому розташуванні зразка в процесі стиску асфальтобетон зазнає розтягувального напруження (рис. 13.6). Границю міцності під час розтягу $R_{\text{р}}$ у цьому випадку визначають за формулою

$$R_{\text{р}} = \frac{Fa}{dh},$$

де F – руйнівне навантаження, Н;
a – коефіцієнт (для асфальтобетону дорівнює 1);
d – діаметр циліндричного зразка, м;
h – висота (твірна), м.

Міцність асфальтобетону в умовних показниках залежить від якості та кількості асфальтової в'яжучої речовини, якості й кількості мінеральної суміші, технології ущільнення, температури, швидкості деформування.

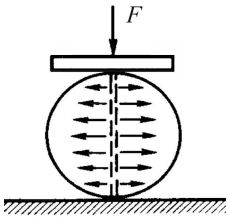


Рис. 13.6. Метод випробування асфальтобетонних зразків на розтяг

Відмітною рисою асфальтового бетону є його здатність до в'язкого опору ударним впливам і зносу. Зношується асфальтобетонне покриття дорожніх конструкцій в основному в результаті сил тертя від коліс прохідного транспорту. Тому зносостійкість асфальтобетону буде тим вище, чим більш тверді мінеральні матеріали були використані для його виготовлення і чим краще вони зчеплюються з бітумом.

Зносостійкість характеризують втратою в масі асфальтобетону з 1 см^2 поверхні стирання й визначають за різницею мас зразка до і після стирання. Більш високу зносостійкість мають зразки з мінеральними матеріалами (щебінь і пісок) з міцних і твердих порід. Гарячий асфальтовий бетон у період його експлуатації в умовах руху міського транспорту зношується в межах 0,2…1,5 мм за рік.

Водостійкість асфальтобетону залежить головним чином від мінерального складу компонентів. Вода, являючи собою полярну рідину, добре змочує гідрофільні поверхні зерен, намагаючись зміщати з них плівку бітуму, що знижує водостійкість асфальтобетону. У разі гідрофобних мінеральних матеріалів, що мають велику енергетичну спорідненість з бітумом, асфальтобетони стають досить водостійкими.

Водостійкість характеризують величиною набухання та спеціальним коефіцієнтом водостійкості. Цей коефіцієнт визначають як відношення границь міцності при стиску зразка асфальтобетону, випробуваного у во-

донасиченому і сухому станах за температури 20 °С. Показник водостійкості повинен знаходитися в межах 0,6…0,9.

Технічні властивості асфальтобетону регламентують вимогами нормативних документів. Так, границя міцності під час стиску гарячого асфальтобетону для дорожніх покриттів повинна бути не менше 2,5 МПа при 20 °С, а при 50 °С – 0,9 МПа; коефіцієнт водостійкості у разі тривалого водонасичення – не менше 0,6…0,9; набухання зразків не більше 0,5 % за об'ємом.

Технічні вимоги до гарячого дьогтебетону: границя міцності при стиску за $T = 50$ °С – не менше 0,8 МПа, за $T = 20$ °С – не менше 2 МПа, а у водонасиченому стані – не менше 1,5 МПа; коефіцієнт водостійкості – не менше 0,7; коефіцієнт теплостійкості – не більше 4. Технічні вимоги до холодного дьогтебетону: границя міцності під час стиску $T = 20$ °С – не менше 1,2 МПа, а у водонасиченому стані – не менше 0,8 МПа, коефіцієнт водостійкості – не менше 0,4. Холодний дьогтебетон використовують або без підігрівання або після підігрівання до $T = 90$ °С. Гарячий дьогтебетон рекомендується використовувати для верхнього шару покриття доріг 3-ї категорії і нижнього шару доріг 3-ї та 4-ї категорій. Влаштування таких покриттів дозволяється тільки за межами населених пунктів, оскільки під час експлуатації можливе виділення шкідливих сполук (фенолу).

13.5.5. Деструкція асфальтового бетону під час експлуатації дорожних покриттів

Яскравим проявом деструктивних процесів, що відбуваються в асфальтовому бетоні, особливо в поверхневих шарах покриттів, є поступове викришування й виривання мінеральних частинок. Це вказує на зниження адгезійних зв'язків по границях контакту мінеральних і органічних матеріалів.

Асфальтовий бетон чутливий до коливань температури зовнішнього середовища, що є джерелом невпинних структурних змін. Останні пов'язані як з підвищенням концентрації твердої фази (у разі зниження температури) за рахунок спонтанного виділення з гетерогенного середовища нових центрів структуроутворення, їх розмноження й обростання, так і зниженням концентрації твердої фази (у разі підвищення температури) за рахунок посилення теплового молекулярного руху з руйнуванням структурної міцелярної сітки у в'яжучій речовині. Під впливом цих явищ практично безперервно змінюється пластичність асфальтобетону і його в'яжучої частини, що в поєднанні з напруженим станом від механічних

зусиль призводить до порушення структури, до втрати деформаційної стійкості. Теплові флуктуації молекул разом з механічними напруженнями нерідко служать безпосередньою причиною руйнування цього матеріалу.

В асфальтовому бетоні можуть виникати залишкові деформації, що розвиваються до значних розмірів у дорожніх і аеродромних покриттях, з появою напливів, зсувів, хвиль, складок, наприклад у покрівельних і гідроізоляційних килимах. Однією з причин цих деформацій необоротного характеру є підвищена температура, і для підвищення теплостійкості важливо забезпечити оптимальний склад і оптимальну структуру асфальтового бетону стосовно конкретних умов.

За від'ємних температур, особливо у разі різких коливань температури, виникають теплові напруженняи і можливі крихкі мікро- і макророзриви, порушення цілісності асфальтобетонних покрить (рис. 13.7).

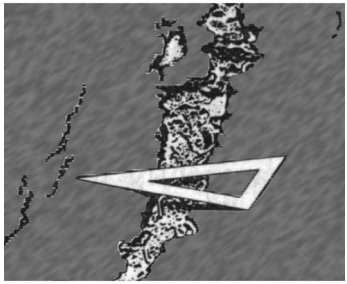


Рис. 13.7. Деструкція асфальтобетонного покриття

Асфальтобетон чутливий не тільки до теплового фактора, але й до водного середовища. Руйнування структури під впливом водного фактора відбувається в результаті порушення зчеплення бітумних плівок з мінеральними частинками, причому тим швидше, чим інтенсивніше відбувається дифузія і більше води продифундує в монолітний матеріал. Цей процес можна загальмувати, наприклад ущільненням, очищенням покриття від пилових наносів й ін., однак не можна його повністю зупинити, особливо в разі тривалого контакту покриттів, наприклад дорожніх, з водою в осінній і весняний періоди в середній кліматичній смузі. Проникнення води починається з гідрофілізації поверхні за рахунок «застрявання» в ній молекул води, поверхневої сорбції, чому сприяє тепловий рух (ентропійний фактор). Дифузії води сприяє також зменшена кількість асфальтенів у бітумі, збільшений вміст асфальтогенових кислот, водорозчинних сполук типу фенолів (наприклад, у дьогтях), підвищена гідрофільність мінеральних наповнювачів. Вода як сильно полярна рідина здатна спочатку відтискувати з поверхні мінералів менш полярні молекули, раніше адсорбовані з бітуму, а потім сильно обводнювати систему, створюючи ефект набухання. Відповідно до електрохімічної теорії набухання інтенсивна акумуляція води на поверхні мінеральних частинок зростає з підвищенням щільності заряду і, отже, зі зменшенням діаметра цих частинок.

Набухання зумовлене проникненням молекул води чи іншого середовища в об'єм тіла як дифузійним шляхом, так і за механізмом капілярного потоку, оскільки в структурі тіла практично завжди існують мікропори, субмікротріщини різних розмірів і форм.

Найбільш вразливою структурною частиною асфальтового бетону є асфальтова в'яжуча речовина, а від її стійкості до водного середовища й коливань температури залежать, відповідно до закону конгруенції, фізико-механічні показники асфальтового бетону, його міцність, теплостійкість, довговічність і т. д. В умовах теплових перепадів через 0 °С відбувається розущільнення асфальтобетону внаслідок циклічного замерзання води в порах покриття. Розущільнення пов'язане зі збільшенням пористості й зростанням припливу повітря усередину покриття, що поєднується з активізацією процесу окиснення органічної в'яжучої речовини. І хоча вода сама собою є слабким окисником бітуму чи дьогтю, вона сприяє інтенсивному їх окисненню внаслідок підвищення пористості й доступу повітря в моноліт. Вплив повітря пояснюється окиснюванням і полімеризацією вуглеводнів, зміною групового хімічного складу й властивостей бітуму чи дьогтю. Окисний процес прискорюється під комплексним впливом повітря, теплоти, сонячного світла, особливо його ультрафіолетових променів. У результаті вітрового впливу відбувається швидке виморожування води, що в остаточному підсумку призводить до зростання крихкості та кількості мікропор і тріщин в асфальтобетонних покриттях. Зі збільшенням вмісту в бітумі кисневмісних, азотистих і сірчистих сполук стабільність його зменшується. До цього ж небажаного ефекту призводить зростання пористості асфальтобетону після деструкції під впливом дифузії води.

З числа спонтанних явищ старіння бітуму, крім згаданих окиснення й полімеризації, варто ще виділити синерезис і емульгування.

Синерезис – самоущільнення внаслідок молекулярного зчеплення, а також під впливом сил тяжіння чи зовнішніх сил. З бітуму поступово виділяється рідинне середовище (олії і смоли), що надалі або сорбується мінеральними компонентами, або під зовнішнім тиском видавлюється назовні, проступаючи у вигляді «жирних» плям. У першому випадку зростає концентрація асфальтенів у бітумі й асфальтовій в'яжучій речовині зі зміцненням структури й підвищенням жорсткості матеріалу. У другому – послаблюються структурні зв'язки за високих температур і виникають пластичні деформації у верхніх шарах покрить.

Емульгування бітуму може бути викликано присутністю в навколишньому середовищі чи в компонентах суміші, наприклад у піску, емульгуючих речовин – глинистих домішок, вапна, поверхнево-активних речовин та

ін. Вимушений частковий перехід бітуму в емульгований стан призводить до зниження адгезійних властивостей, деякої втрати зв'язності в моноліті. Якщо зміни в структурі під впливом температурних факторів нерідко є тимчасовими й мають оборотний характер, то синерезис і емульгування можуть завершитися необоротним погіршенням якості асфальтобетону.

Старіння бітуму й дьогтю може викликатися ще тривалим контактом із деякими матеріалами, що містять полуторні оксиди заліза й алюмінію.

Незалежно від причин старіння бітуму й асфальтобетону завжди відбувається кількісна та якісна зміна їх складу. Інтенсивність зміни групового хімічного складу бітуму нерідко служить достатньою характеристикою старіння матеріалу. Більш точне старіння бітуму можна визначати за кінетикою зростання в'язкості в часі. За формулою

$$\eta = Ae^{\varphi\tau},$$

де φ – фактор старіння;

τ – тривалість старіння;

A – стала, можна знайти величину τ довговічності до критичного значення $\eta_{кр}$.

З цією метою в лабораторних умовах моделюють експлуатаційні умови. Замість в'язкості користуються також деякими іншими характеристиками якості, чутливими до старіння бітуму, наприклад величиною зсувостійкості.

Для гальмування деструкції асфальтового бетону вживають різних заходів на стадії виготовлення й в експлуатаційний період. Важливо забезпечувати високу щільність структури й підтримувати її на цьому рівні, вводити компоненти, що підвищують деформативність моноліту (не виходячи за припустимі межі); збільшувати гідрофобність асфальтобетону; знижувати час релаксації напружень (у припустимих межах); вчасно відновлювати поверхневі шари й надійніше ізолювати їх від зовнішнього агресивного середовища. Необхідно використовувати тільки оптимальні склади, вводити в них стабілізатори структури, що енергетично зв'язують проникну воду й т. ін.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається органічними в'яжучими речовинами? Які основні ознаки органічних в'яжучих речовин? Назвіть представників цієї групи матеріалів.
2. Наведіть класифікацію органічних в'яжучих речовин.

3. Що називається бітумом? Які види бітумів застосовують у будівництві?
4. У якому вигляді зустрічається природній бітум і де його застосовують?
5. Як отримують нафтовий бітум? Галузь застосування нафтового бітуму.
6. Назвіть особливості складу та структури нафтових бітумів.
7. Перелічіть основні властивості й вимоги до нафтових бітумів різного призначення.
8. Які показники входять у позначення марки бітуму?
9. Що називається дьогтем? Яка класифікація і властивості дьогтів.
10. Який компонент у складі дьогтю надає йому бактерицидних властивостей?
11. Дайте оцінку довговічності органічних в'яжучих речовин. Поясніть відповідь прикладами.
12. Застосування бітумів і дьогтів у дорожньому та транспортному будівництві.
13. Вкажіть різновиди асфальтових бетонів. Де застосовують холодні асфальтові бетони?
14. Структура і властивості асфальтобетону.
15. Що називається синерезисом?

Список рекомендованої літератури до розділу 13

1. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. – М: Высш. шк., 1969. – 245 с.
2. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. – М.: Хімія, 1973. – 429 с.
3. Дорожный асфальтобетон / Под ред. Л. Б. Гезенцвея. – М.: Транспорт, 1976. – 334 с.
4. Грудников И. П. Производство нефтяных битумов. – М.:Химия, 1983. – 187 с.
5. Рыбьев И. А. Технология гидроизоляционных материалов – М.: Высш. шк., 1984. – 307 с.
6. Гезенцвей Л. Б. Производство нефтяных битумов. – М.: Химия, 1985. – 446 с.
7. Братчун В. И., Золотарев В. А. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности. – Макеевка: Будівельник, 1998. – 226 с.
8. Ведь Е. И. Химия в производстве строительных материалов / Е. И. Ведь. – К.: Будівельник, 1968. – 194 с.

РОЗДІЛ 14

Полімерні будівельні матеріали і вироби

14.1. Загальні відомості

Полімерними речовинами називають високомолекулярні сполуки, які складаються з елементарних (мономерних) ланок, об'єднаних у макромолекули різної будови.

Полімерні речовини класифікують за такими ознаками.

За хімічною природою полімерні речовини поділяють на органічні та неорганічні. У неорганічних високомолекулярних сполуках (полімерах) атоми Карбону відсутні, а в органічних – макромолекули складаються переважно з атомів Карбону.

За походженням розрізняють полімерні матеріали природні та штучні. Прикладом природних полімерів є складові деревини (лігнін та целюлоза), а також бавовна, вовна, шкіра, каучук тощо. Більш поширеними є штучні полімерні матеріали, які отримують шляхом синтезу з простих низькомолекулярних речовин, відомих як мономери.

За способом синтезу та твердненння органічні полімерні речовини поділяють на полімеризаційні та поліконденсаційні.

Полімеризація – це процес об'єднання молекул низькомолекулярної речовини (мономеру) без виділення будь-яких побічних продуктів. У промисловості зазвичай використовують чотири способи полімеризації: у блоці, розчині, емульсії та суспензії. У разі синтезу та твердненння органічних полімерних речовин полімеризація відбувається з розкриттям подвійного (потрійного) зв'язку з утворенням полімеру, елементарний склад якого не відрізняється від елементарного складу мономеру. До високомолекулярних сполук полімеризаційного типу належать поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид тощо.

Поліконденсація – це процес одержання високомолекулярних сполук (поліконденсатів) з одночасним відщепленням низькомолекулярних продуктів реакції (вода, хлороводень тощо).

Полімери поліконденсаційного типу отримують внаслідок взаємодії функціональних груп, що входять до складу мономеру, причому утворення полімеру супроводжується виділенням низькомолекулярного продукту й елементарний склад полімеру відрізняється від елементарного складу вихідної речовини. Поряд з мономерами для синтезу полімерів широко використовують олігомери.

Поліконденсаційні речовини можна одержати чотирма способами: розплавленням, розчиненням, з використанням твердофазових реакцій та реакцій поліконденсації. До сполук поліконденсаційного типу відносять поліефіри, поліаміди, поліметиленфеноли, поліметиленсечовину тощо.

За складом основного ланцюга макромолекул полімерні речовини поділяють на карболанцюгові, гетероланцюгові та елементоорганічні. Карболанцюгові полімери характеризуються тим, що їх молекулярні ланцюги повністю складені з атомів Карбону. Гетероланцюгові сполуки в складі ланцюгів, крім атомів Карбону, містять атоми деяких елементів, у тому числі Гідрогену, Нітрогену, Сульфуру тощо.

Елементоорганічні полімери можуть містити в складі головного ланцюга атоми Силіцію, Алюмінію, Титану та інших елементів, які зазвичай не входять до складу органічних сполук.

За характером будови макромолекул органічні полімери можуть бути лінійними, розгалуженими та сітчастими (тривимірними або просторовими). У разі лінійної будови атоми мономеру зв'язуються між собою з утворенням витягнутого ланцюга. За розгалуженої будови утворюються макромолекули, що мають мономерні ланки, відгалужені від основного ланцюга. Сітчасті (просторові) макромолекули характеризуються хімічним «зшиттям» поперечними зв'язками окремих лінійних чи розгалужених ланцюгів полімеру.

Макромолекула є основним структурним елементом полімерних речовин, її хімічна будова практично відповідає хімічній будові головної структурної одиниці – мономеру.

Високомолекулярними сполуками вважають речовини з молекулярною масою понад 5 000. Молекулярна маса низькомолекулярних сполук зазвичай не перевищує 500, а речовини, які мають проміжні значення молекулярної маси, називають *олігомерами*.

За здатністю до пластичних деформацій у разі циклічної дії температурного фактора органічні полімери поділяють на термопластичні та термореактивні.

Термопластичні полімери (поліетилен, полістирол тощо) як полімеризаційного, так і поліконденсаційного типу здатні до пластичних деформацій в умовах підвищення температури, тобто здатні під час нагрівання

розм'якшуватися й переходити до в'язкопружного стану. Під час охолодження вони твердіють, зберігаючи надану форму. Такі перетворення можуть повторюватися неодноразово. Термопластичні властивості пояснюються лінійною або розгалуженою будовою молекул і невисокою міжмолекулярною взаємодією між ними. З цим пов'язана також здатність більшості термопластичних полімерів розчинятися у відповідних середовищах.

Термореактивні полімери (фенолформальдегідні, карбамідні та інші) проходять стадію пластичного деформування в умовах підвищення температури, але після охолодження в їх структурі відбуваються незворотні зміни, які призводять до неможливості переходу їх у пластичний стан при повторному нагріванні, тобто вони не можуть оборотно змінювати свої властивості й непридатні до повторного формування. Ці зміни структури пояснюються об'єднанням лінійних молекул у просторові сітки. З цієї ж причини термореактивні полімери переважно є більш теплостійкими, ніж термопластичні. Незворотні зміни в структурі термореактивних полімерів можуть бути викликані не тільки дією температурного фактора, але й хімічного реагента (розчинника), ультрафіолетового чи γ-випромінювання.

Ця класифікаційна ознака покладена в основу вибору методу переробки полімерів для отримання пластмасових виробів різного призначення.

Полімерними матеріалами, або *пластичними масами*, називають матеріали, які містять у своєму складі високомолекулярні органічні речовини – полімери і на певній стадії виробництва набувають пластичності, яка повністю чи частково втрачається після затвердівання полімеру.

Розрізняють пластичні маси прості, що складаються лише з полімерної речовини, і складні, до складу яких, крім полімеру, входять і інші компоненти: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, отверджувачі, барвники тощо.

Складні полімерні органічні матеріали, відомі як пластмаси, можна розглядати як композиційні, що містять у своєму складі матрицю, утворену полімерними речовинами, та армувальний компонент, представлений наповнювачами різної дисперсності та домішками, призначеними для надання спеціальних властивостей.

Будівельні матеріали та вироби на основі полімерних органічних речовин класифікують за видом основного полімеру, який входить до їх складу, за методом виробництва та галуззю застосування в будівництві.

Пластмаси, залежно від призначення їх у будівництві, поділяють на такі основні групи: матеріали огороджувальних і несучих конструкцій; покриття підлог та опорядження стін; гідроізоляційні; герметизувальні;

покрівельні; тепло- та звукоізоляційні матеріали; матеріали для труб; санітарно-технічні вироби; як складові лаків, фарб, клеїв.

Залежно від фізичного стану за нормальної температури та інших властивостей пластмаси поділяють на жорсткі (модуль пружності $E > 1$ ГПа), напівжорсткі ($1 \geq E > 0{,}4$ ГПа), м'які ($E = 0{,}02 \ldots 0{,}4$ ГПа) та еластичні ($E < 0{,}02$ ГПа).

Сировина для органічних полімерних речовин. Полімерні речовини виготовляють з простих хімічних речовин, які отримують з такої доступної сировини, як нафта, природний газ, кам'яне вугілля, некормові відходи сільськогосподарського виробництва тощо.

Першою промисловою пластмасою був ебоніт, отриманий ще в 1843 р. вулканізацією натурального каучуку сіркою. На початку XX ст. в результаті досліджень Л. Бекеленда і Г. С. Петрова було розпочато виробництво пластичних мас на основі фенолальдегідних полімерів. Потім у 40–50-х роках значного розвитку набули полімеризаційні пластмаси і розроблялися способи одержання пластмас на основі епоксидних полімерів, а також газонаповнених синтетичних матеріалів.

Зараз промисловість пластмас – одна з провідних галузей народного господарства, оскільки існує практично необмежена сировинна база. Застосування різних полімерів і наповнювачів дозволяє значно змінювати структуру й будівельно-технологічні властивості пластмас. Наприклад, склопластики й інші матеріали можуть у ряді випадків досягати міцності сталі, а піно- і пороласти, наповнені азотом, повітрям чи іншими газами, можуть мати малу середню густину, теплопровідність і хорошу звукоізоляцію.

Щорічне виробництво полімерів і пластмас перевищує обсяги виробництва міді, цинку й алюмінію. Підвищується випуск синтетичних полімерів і пластмас. При цьому велику частину в ньому становить виробництво поліолефінів і виробів на їх основі.

Розвиток виробництва пластмас найближчими роками буде продовжуватися в напрямку збільшення випуску нових видів полімерних конгломератів з поліпшеними властивостями, тобто з підвищеною термостійкістю, міцністю і негорючістю, розширюються дослідження в галузі підвищення довговічності та стабільності структури пластмас, а також створення високопродуктивних технологічних ліній і процесів з їх виробництва. При цьому споживання пластмас у будівництві росте швидко. Створюються нові види конструкцій, модернізуються і розробляються нові методи будівництва, скорочуються терміни будівельно-монтажних робіт.

14.2. Основні компоненти пластмас

Полімери, одержані методами полімеризації чи поліконденсації, звичайно в процесі нагрівання служать рідкою фазою конгломерату. Вони під час тверднення утворюють безперервну сітку – матрицю в'яжучої речовини і зчеплюють компоненти в єдиний конгломерат – пластмасу.

Найважливішими термопластичними полімерами для виготовлення пластмас є насамперед поліолефіни (поліетилен), що мають найбільшу сировинну базу й широку сферу застосування; полівінілхлорид, що дозволяє одержати пластмаси і вироби задовільних властивостей і малої вартості; полістирол й ін. З термореактивних полімерів найбільше значення у виготовленні будівельних матеріалів і виробів мають фенолформальдегідні, сечовиноформальдегідні, кремнійорганічні та епоксидні полімери.

Наповнювачі. Як наповнювачі використовують органічні чи мінеральні матеріали. Вони зменшують витрату дорогого зв'язуючого (полімеру) і впливають на властивості пластмас, надаючи їм належної міцності, тепло- і вогнестійкості, електро- і теплопровідності і т. д. За походженням наповнювачі бувають органічного та мінерального походження. За структурою органічні та мінеральні наповнювачі підрозділяють на порошкоподібні (крейда, тальк, вапняк, кварцова мука, каолін, слюда, маршаліт й ін.), волокнисті (деревинне волокно, скловолокно) і листові, або шаруваті (папір, бавовняні тканини, склотканина).

Найбільш поширені пластмаси із шаруватим наповнювачем можна розділити на декілька видів залежно від типу наповнювача:

наповнювач	*вид пластмаси*
азбестовий картон	азболіт
азбестова тканина	азботекстоліт
папір або картон	гетинакс паперовий
деревинний шпон	деревинношаруватий пластик, деревопластик, лігнофоль
скляна тканина	склотекстоліт
тканина з органічного волокна	текстоліт

Пластичні маси з волокнистим наповнювачем також розрізняються залежно від типу наповнювача:

наповнювач	*вид пластмаси*
розпушений азбест	азбоволокніт
органічне волокно	волокніт
скляне волокно	скловолокніт
текстильна кришка чи обрізки тканини	текстоволокніт

деревинна кришка . . . . . деревиннопресована кришка

Вироби із пластмас із порошковими наповнювачами характеризуються невисокою міцністю – границя міцності при розтягу коливається від 280 до 600 кгс/см^2, тому вони використовуються для роботи без високого навантаження, наприклад, як головки ручок управління різними приладами, колодки, розетки, панелі, перемикачі й інші електротехнічні деталі.

Шаруваті пластмаси мають найбільшу міцність: границя міцності при розтягу коливається від 850 до 5 000 кгс/см^2, причому найвищу міцність має склофанера. До переваг шаруватих пластиків належать також хороші діелектричні властивості, низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, здатність поглинати енергію вібрацій і легкість механічної обробки. Завдяки високим фізико-механічним і діелектричним властивостям шаруваті пластики застосовуються для виготовлення деталей, здатних витримувати значні навантаження, у тому числі й виробів електроізоляційного призначення, а також для виробництва безшумних шестерень, деталей неметалічних підшипників, деталей, що зазнають значних вібрацій та ін.

Скловолокнисті пластики відрізняються високою теплостійкістю й незначною гігроскопічністю, вони використовуються як високоефективний конструкційний матеріал у літакобудуванні й інших галузях техніки.

Отверджувачі – хімічні речовини, що вводять у композицію для твердіння (у процесі виробництва) термопластичних полімерів. До числа найбільш поширених отверджувачів належить уротропін.

Пластифікатори. Як пластифікатори застосовують не дуже леткі речовини, які молекулярно розподіляються в полімері, знижують його крихкість і дозволяють композиції добре формуватися в процесі виготовлення виробів. До пластифікаторів можна віднести камфору, олеїнову кислоту, діоктилфталат, стеарат амонію й ін.

Стабілізатори – речовини складного хімічного складу, що перешкоджають старінню пластмас, тобто зміні фізико-хімічних властивостей у часі. Вони зберігають стабільність структури в процесі переробки пластмас у виріб, а в період експлуатації захищають виріб від теплових впливів, атмосферних факторів, кисню повітря, сонячної радіації і т. ін.

Мастило вводять у композицію для запобігання приставанню виробів до стінок форми в процесі формування. Як мастило застосовують стеарин, олеїнову кислоту, солі жирних кислот й ін. До того ж стеарин, наприклад, поліпшує таблетування прес-порошків і забезпечує хороше відділення виробів від форми.

Фарбувальні речовини вводять у композицію для надання виробу необхідного кольору. У виробництві пластмас і виробів з них найчастіше застосовують такі неорганічні пігменти: вохру, мумію, сурик, умбру, ультрамарин, оксид хрому й ін. З органічних барвників використовують нігрозин, хризоїдин. Світлих тонів пластмасам надають білі пігменти: літопон, двооксид титану, оксид цинку й ін.

Пороутворювачі використовують для одержання газонаповнених пластмас. Вони являють собою рідкі, тверді чи газоподібні речовини як мінерального, так і органічного походження.

До числа найбільш поширених пороутворювачів слід віднести тверді спінювальні речовини – порофори. Уведені в композицію, при нагріванні вони розкладаються і виділяють гази, що спінюють полімер, який перебуває в розм'якшеному стані. До неорганічних порофор належать карбонат амонію, вуглекислий амоній $(NH_4)_2CO_2$ і бікарбонат натрію ($NaHCO_3$).

14.3. Загальна характеристика полімерних речовин

Властивості пластмас та специфіка використання їх у будівництві суттєво залежать від виду полімеру та його поєднання з іншими компонентами.

До полімеризаційних полімерів, широко застосовуваних для виготовлення будівельних пластмас, належать поліетилен, поліпропілен, поліізобутилен, полівінілхлорид, полівінілацетат, полістирол, поліакрилати.

Поліетилен $[–CH_2–CH_2–]_n$, поліпропілен $[–CH_3CH–CH–CH_2–]_n$, поліізобутилен $[–CH_2–C(CH_3)_2–]_n$ входять до групи поліолефінів – високомолекулярних сполук на основі ненасичених вуглеводнів. Сировиною для них є гази – етилен, пропілен та ізобутилен, які утворюються здебільшого при термічних та каталітичних процесах переробки нафти.

Поліетилен має лінійну будову молекули, його виготовляють на установках високого (150…300 МПа), середнього (3…4 МПа) та низького (0,25…0,50 МПа) тиску. Густина поліетилену 0,91…0,97 г/см^3, температура плавлення 105…135 °С, міцність на розтяг 12…40 МПа, молекулярна маса 30 000…60 000. Для поліетилену характерні низька розчинність в органічних розчинниках і стійкість до дії кислот, лугів та солей, висока водостійкість та механічна міцність.

Недоліками цього матеріалу є низька теплостійкість (80 °С), погана адгезія до клеїв, схильність до старіння та враження гризунами. На основі поліетилену виготовляють труби, фітинги, плівки, пінопласти.

Поліпропілен, не поступаючись перед поліетиленом за водо- та хімічною стійкістю, має кращі теплостійкість та механічні властивості. Поліпропілен прозорий, не має запаху. Середня густина поліпропілену становить 0,905 г/см^3, молекулярна маса – 80 000…150 000, температура розм'якшення – 160 °С.

Застосовують поліпропілен для виготовлення плівок, листових і плиткових облицювальних матеріалів, волокон для килимових матеріалів, пінопластів, погонажних, санітарно-технічних та інших виробів. Матеріали з поліетилену та поліпропілену легко зварювати й піддавати механічній обробці.

Поліізобутилен – це еластичний, каучукоподібний матеріал із молекулярною масою 300 000…500 000. На відміну від каучуків поліізобутилен не здатний до реакції вулканізації. Середня густина поліізобутилену становить 0,91…0,93 г/см^3, відносне видовження – 1 000…2 000 %. Матеріал водостійкий, на нього не діють кислоти, луги, солі галоїдів, полярні розчинники, але він розчиняється в ароматичних вуглеводнях (бензолі, толуолі тощо) та мінеральних маслах, набухає в жирах та рослинних оліях. Висока морозостійкість зумовлюється низькою температурою склування (–75 °С).

Поліізобутилен у поєднанні з наповнювачами (сажа, графіт, тальк) застосовують у різноманітних герметизувальних матеріалах, призначених для ущільнення горизонтальних та вертикальних швів у панельних будівлях. Із поліізобутилену виготовляють липкі стрічки, гідроізоляційні матеріали та клеї.

Недоліками поліізобутилену є підвищена повзучість і займистість.

Полівінілхлорид [–CH_2–$CHCl$–]$_n$ є продуктом полімеризації вінілхлориду, одержаного з ацетилену та хлороводню чи з дихлоретану. Це білий порошок аморфної будови, позбавлений запаху. Середня густина полівінілхлориду становить 1,135…1,40 г/см^3, границя міцності під час розтягу – 50…60 МПа, під час згину – 80…120 МПа, температура розм'якшення становить 80 °С, теплостійкість досягає 60 °С.

Недоліками полівінілхлориду є різке зниження міцності в умовах підвищення температури, повзучість за тривалої дії навантаження та низька морозостійкість.

Цінними властивостями полівінілхлориду можна вважати стійкість до дії кислот, лугів, спирту, бензину, мастил, а тому його широко застосовують для виробництва труб, захисних покриттів, резервуарів. Цей полімер

використовують для виготовлення лінолеумів, гідроізоляційних та декоративних матеріалів, погонажних виробів, ніздрюватих теплоізоляційних матеріалів.

Полівінілацетат $[–CH_2–CHCOCH_3–]_n$ є полімером вінілацетату, що синтезується з ацетилену та оцтової кислоти. Основний метод його одержання – емульсійний. Полівінілацетатна емульсія – це в'язка однорідна рідина білого кольору. Середня густина її становить 1,02…1,03 г/см^3, вміст твердої фази полімеру – понад 50 %. Завдяки високій адгезії, світлостійкості, еластичності та безбарвності полівінілацетат широко застосовують у виробництві водостійких шпалер, приклеювальних мастик та клеїв, безшовних мастикових підлог, а також у полімерцементних бетонах.

Полістирол – твердий, пружний, безбарвний і прозорий полімер густиною 1,04…1,10 г/см^3, молекулярною масою 50 000…300 000. Полістирол $[–C_6H_5CH–CH_2–]_n$ є полімером стиролу – безбарвної рідини, нерозчинної у воді. Границя міцності на розтяг при згині становить 90…95 МПа, при стиску – 80…110 МПа. Полістирол водостійкий, добре чинить опір дії концентрованих кислот (крім азотної та льодяної оцтової), лугів. Для полістиролу характерна висока прозорість, він пропускає до 90 % сонячних променів видимої частини спектра. Основні недоліки полістиролу – його крихкість та погана стійкість щодо дії ряду органічних розчинників.

У промисловості полістирол одержують блоковим, емульсійним та суспензійним методами, випускають у вигляді безбарвних та кольорових гранул або білого крупнозернистого порошку.

З полістиролу виготовляють пінопласти, облицювальні плитки тощо. Співполімеризацією стиролу з каучуком одержують ударостійкий полістирол.

Поліакрилати – це полімери акрилової та метакрилової кислот і їх похідних. Вони безбарвні, світло- та атмосферостійкі, прозорі, густина їх становить 1,2 г/см^3, температура розм'якшення – 80..100 °С, міцність на розтяг – до 75 МПа.

Із поліакрилатів у будівництві найбільшого поширення набув метилметакрилат – органічне скло, що пропускає понад 99 % сонячного світла й здатне пропускати до 70 % ультрафіолетових променів (на відміну від звичайного скла). Поліметилметакрилат застосовують для скління теплиць, оранжерей, басейнів, а також у вигляді емульсій для фарб, лаків тощо. Промисловість випускає багато поліконденсаційних полімерів. Деякі з них застосовують у будівництві як конструкційні та облицювальні пластмаси, ефективні теплоізоляційні матеріали, композиції для влаштування монолітних покриттів підлог, гідрофобізації тощо.

Фенольдегідні полімери – це продукти поліконденсації фенолу та альдегідів (формальдегід, фурфурол тощо). Вони бувають як термоактивними (резольними), так і термопластичними (новолаковими). Для виготовлення будівельних матеріалів широко використовують резольні фенолформальдегідні полімери, їх застосовують як зв'язувальну речовину у виробництві деревношаруватих і деревностружкових плит, сотопластів, мінерало- та шлаковатних матів, газонаповнених матеріалів, спиртових лаків, клеїв тощо. Із прес-порошків формальдегідних полімерів методом гарячого пресування виготовляють профілі, розетки, вентиляційні ґрати та інші архітектурні деталі.

Матеріали, виготовлені на основі цих полімерів, мають високу міцність, жорсткість та є важкогорючими.

Аміноальдегідні полімери – це продукти поліконденсації амінів (сечовина, меламін) з альдегідами, їх виготовляють у вигляді водних розчинів та емульсій. Отверджуються вони мінеральними та органічними кислотами.

Аміноальдегідні полімери використовують у виробництві опоряджувальних, теплоізоляційних пластмас, шаруватих пластиків та клеїв. Матеріали на їх основі характеризуються високою твердістю, міцністю, тепло- та світлостійкістю, мають відмінні естетичні властивості.

Епоксидні полімери – це продукти поліконденсації епіхлоргідрину з дифенілпропаном. Перехід в'язкорідкого полімеру в твердий стан досягається за допомогою отверджувачів за нормальної та підвищеної температур. Епоксидним полімерам властива висока адгезія до різних будівельних матеріалів, незначна усадка, високі міцнісні показники.

Епоксидні полімери використовують для виготовлення водо- та хімічностійких клеїв, для склеювання й ремонту бетонних і металевих конструкцій, як зв'язувальний компонент для склопластиків, полімербетонів та для влаштування безшовних підлог з високою зносостійкістю і хімічною стійкістю.

Поліуретани – це продукти поліконденсації ізоціанатів та багатоатомних спиртів, що містять дві та більше гідроксильних груп. Лінійні поліуретани застосовують для виготовлення пінопластів, волокон, плівок, листових матеріалів, які витримують високу вологість та температуру до 110 °С. Маючи ряд цінних властивостей, ці матеріали пожежонебезпечні, і тому їх використовують у поєднанні з неорганічними наповнювачами або в конструкціях, захищених від вогню.

Поліефіри – це група полімерів, утворених при поліконденсації багатоосновних кислот із спиртами. Поширеність сировини та її відносна дешевизна дають змогу застосовувати поліефірні полімери для виготовлення

склопластиків, світлопрозорих та кольорових покриттів, санітарно-технічних виробів, фасадних фарб та лаків. Робоча температура в умовах експлуатації поліефірних пластмас становить –30…+80 °С.

Кремнієорганічні полімери (або силікони) – це полімери, які містять кремній. Мономерами для них є сполуки, одержувані взаємодією кремнію з хлоридом метилу та етилом. Кремнієорганічні полімери характеризуються високою теплостійкістю (понад 400 °С), а також водостійкістю, гідрофобністю, хімічною стійкістю, морозостійкістю. Недоліками їх є невисока механічна міцність і слабка адгезія до інших матеріалів.

Кремнієорганічні полімери застосовують для виготовлення захисних та жаростійких покриттів, гідрофобізуючих речовин, клеїв, емалей, фарб, герметиків, пінопластів, склопластиків тощо. Порівняльну характеристику термопластичних та термореактивних полімерів наведено в табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Порівняльні властивості полімерів

Полімери	Істинна густина, г/см^3	Границя міцності при розтягу, МПа	Теплостійкість, °С	Холодостійкість, °С
Термопластичні				
Поліетилен високого тиску	0,910…0,990	12…40	60	–60
Полістирол	1,040…1,100	35…60	15	–20
Поліетилметакрилат	1,180…1,200	60…80	80	–25
Полівінілхлорид	1,135…1,400	50…60	60	–15
Термореактивні				
Фенолоформальдегідні	1,140…1,300	12…50	100	–20
Меламіноформальдегідні	1,400…1,550	56…92	120	
Поліефірні	1,200…1,250	42…48	100	–40
Епоксидні	1,100…1,200	65…80	120	
Полісилоксанові (кремнієорганічні)	1,600…2,100	40…60	350	–60

14.4. Основні властивості полімерних матеріалів (пластмас)

Порівняно з відомими традиційними будівельними матеріалами (кераміка, деревина, метали) полімерні матеріали з'явилися відносно недавно (перша чверть XX ст.), але міцно зайняли провідні позиції і досі лишаються перспективними завдяки високій економічності, технологічності та можливості суміщення в конструкціях з іншими матеріалами.

Від інших будівельних матеріалів полімерні матеріали вигідно відрізняються багатьма показниками, які визначають умови раціонального застосування їх у різних галузях будівництва. У табл. 14.2 наведені порівняльні значення основних механічних характеристик деяких типів пластиків та інших матеріалів. Принципове значення мають невичерпні можливості регулювання й програмування властивостей пластмас.

Таблиця 14.2

Порівняльні механічні властивості пластиків та інших будівельних матеріалів

Матеріал	Середня густина, г/см^3	Границя міцності під час, кг/мм^2			Питома ударна в'язкість, кг·см/см^2	Модуль пружності, кг/см^2
		розтягу	стиску	згину		
Вініпласт	1,38	–	7,2	–	100…150	300
Дельта-деревина:						
ДСП (5:4)	1,33	21	–	–	120	2 130
ДСП (10:1)	1,35	30	20	–	120	2 900
Текстоліт	1,35	17…18	16	–	40…80	1 000
Склопластик на основі поліефірної смоли та скломатів	1,80	12…15	15…25	12…20	40…150	–

Закінчення табл. 14.2

Матеріал	Середня густина, г/см^3	Границя міцності під час, кг/мм^2			Питома ударна в'язкість, кг·см/см^2	Модуль пружності, кг/см^2
		розтягу	стиску	згину		
Склопластик на основі поліефірної смоли та орієнтованого скловолокна та тканини	1,80	20…40	25…30	25…40	250…420	–
СВАМ (1:1)*	1,90	48…50	42	–	245…270	3 500
СВАМ (10:1)*	1,90	90…95	–	–	–	–
Склопластик АГ-4	1,70	20…80	13	10…20	25…100	–
Склотекстоліт	1,65	25…30	20…30	–	130…140	2 200
СКМ-1	–	–	–	14	60	–
КАСТ	1,61	32	15	12	125	1 350
Дюралюміній Д-16	2,80	42…46	44	–	300	7 200
Сталь марки Ст 5	7,85	38…47	–	–	800	21 000
Сталь марки 30ГСА	7,85	160	160	–	450	21 000
Бетон	2,20	80	80	–	–	2 000
Сосна	0,50	4	4	–	–	1 200

Загальні властивості пластмас залежать від багатьох факторів: хімічної будови полімерів, типу наповнювача, вмісту домішок (пластифікатори, барвники, стабілізатори), технології виготовлення. Різноманітність пластмас визначає й широкий діапазон зміни їх властивостей.

Середня густина пластмас становить 900…2 200 кг/м^3 і залежить від виду використаних наповнювачів, які іноді становлять значну частину їх об'єму. Середня густина пластмас, які містять важкі мінеральні наповнювачі (полімербетони), перевищує 2 000 кг/м^3. Густину пластмас можна регулювати, змінюючи їх пористість, наприклад, середня густина ніздрюватих пластмас (з пористістю до 95 %) становить 10…20 кг/м^3. Низька істин-

на та середня густина й відносно високі міцнісні показники дають змогу створювати ефективні конструкції з пластмас.

Деякі пластмаси, наприклад СВАМ (скловолокнистий анізотропний матеріал), мають *коефіцієнт конструктивної якості*, який дорівнює 225 МПа (для порівняння вироби з важкого бетону мають коефіцієнт конструктивної якості – 21).

Границя міцності під час стиску склопластиків досягає майже 350 МПа, текстоліту – до 250 МПа, а *границя міцності під час розтягу та згину* склопластиків дорівнює відповідно 450 і 550 МПа.

Властивості пластмас щодо дії води залежать від їх структури й ступеня гідрофільності. *Водопоглинання* щільних гідрофобних полімерних матеріалів становить 0,1…0,5 %, а високопористих (із гідрофільними наповнювачами чи відкритою пористістю) – 30…90 % за об'ємом.

Завдяки високій непроникності полімерні плівкові та рулонні матеріали, а також мастики, особливо на основі поліетилену, полівінілхлориду, синтетичних каучуків, широко застосовують для гідроізоляції.

Хімічна стійкість – важлива властивість пластмас, що залежить не лише від полімеру, а й від наповнювача, пластифікатора та інших компонентів. Найчастіше пластмаси використовують для захисту від корозії будівельних конструкцій у воді, розчинах солей, кислот та інших агресивних середовищах. Висока хімічна стійкість, непроникність для води зумовлюють широке застосування їх для гідроізоляції будівель та споруд, влаштування покрівель, трубопроводів, захисних покриттів.

Цінною властивістю багатьох пластмас є низька *стиранність*, яку необхідно враховувати в разі застосування пластмас для влаштування підлог.

Важливою характеристикою деяких пластмас є високий *опір удару* (ударна в'язкість).

Висока прозорість, безбарвність, здатність пропускати ультрафіолетові промені дають змогу застосовувати пластмаси у світлопрозорих огороджувальних конструкціях будівель та споруд, наприклад у куполах верхнього світла, огородженнях теплиць, оранжерей, у лікувальних закладах.

Пластмаси мають високі *декоративні якості*, що дає змогу використовувати їх для опорядження стін та покриття підлог. Пластмаси не потребують періодичного фарбування поверхні. Уведенням до складу вихідної композиції барвників чи пігментів можна одержати матеріал будь-якого забарвлення та відтінків, у тому числі багатоколірні імітації природного каменю, цінних порід дерев, шкіри, тканини, металу.

Головною перевагою пластмас порівняно з іншими матеріалами є їх висока технологічність. Вони легко піддаються механічній обробці, склеюються, а також легко зварюються.

Деякі пластмаси здатні утворювати тонкі плівки в поєднанні з високою адгезією до ряду матеріалів, тому вони є сировиною для виробництва будівельних лаків та фарб.

Перевагою є також обширна сировинна база для виробництва пластмас (природні гази, нафта та ін.)

Поряд з комплексом позитивних властивостей пластмаси мають і ряд недоліків:

– для більшості пластмас характерна низька *теплостійкість*, яка не перевищує 60…80 °С, і лише деякі види пластмас мають теплостійкість 200…350 °С;

– багато пластмас є *легкозаймистими* горючими матеріалами, виділяють отруйні гази під час горіння;

– у ході переробки пластмас та експлуатації їх всередині приміщень нерідко виділяються токсичні речовини, тому застосування полімерних матеріалів можливе лише після встановлення ступеня їх токсичності;

– пластмасам властива мала *поверхнева твердість*, яка не знаходиться в прямій залежності від міцності, як, наприклад, у металів;

– за тривалої дії напружень пластичні маси більшою мірою, ніж багато інших матеріалів, схильні до необоротних деформацій – *повзучості*. Із підвищенням температури повзучість зростає й призводить до небажаних деформацій конструкцій;

– *модуль пружності* пластмас навіть за нормальної температури значно менший, ніж модуль пружності неорганічних будівельних матеріалів. Визначаючи значення допустимих напружень у конструкціях із пластмас, поряд із міцнісними показниками треба брати до уваги й максимально допустиму залишкову деформацію;

– при дії напружень розтягування багато пластмас характеризуються значним *відносним видовженням* – 20…300 %. Цю характеристику потрібно враховувати в розрахунках гідроізоляції дахових покриттів, трубопроводів та інших елементів будівель і споруд;

– високий *температурний коефіцієнт лінійного розширення*. Наприклад, для поліетилену він дорівнює $160…230 \cdot 10^{-6}$ $С^{-1}$, що у 10 разів вище, ніж у сталі. Великі значення температурного коефіцієнта лінійного розширення пластмас у поєднанні з малою теплопровідністю зумовлюють значні залишкові внутрішні напруження, які можуть спричинити появу тріщин у будівельних виробах за різких змін температури;

– пластмаси відрізняються високими *діелектричними властивостями*. Вони здатні акумулювати статичну електрику на поверхні. Результатом електризації є притягування пилу поверхнею пластмас, а також утворення електростатичного заряду, що негативно впливає на людину. Для запобігання цьому явищу до складу пластмас вводять антистатичні домішки;

– окремі види пластмас схильні до *старіння*, тобто їх властивості під впливом теплоти, світла, кисню повітря з часом погіршуються. Для забезпечення високої стійкості пластмас до старіння важливе значення мають правильний вибір вихідної сировини, її чистота й технологічні параметри виробництва.

Спеціальні властивості полімерних матеріалів та виробів впливають на вибір галузей їх застосування. Використання полімерних матеріалів дозволяє знизити матеріалоємність будівництва, розширити архітектурні можливості, змінити вигляд інтер'єрів, широко впроваджувати індустріальні методи ведення будівельних робіт, замінювати дефіцитні традиційні будівельні матеріали.

14.5. Технологія виготовлення пластмас і полімерних матеріалів

Виготовляючи пластмаси й будівельні матеріали (вироби) з них, здійснюють ті ж технологічні операції, що й при виробництві штучних будівельних конгломератів: підготовчі роботи з активізації складових; дозування компонентів і їх перемішування в змішувальних апаратах; формування виробів (методами вальцювання (на каландрах), пресування (гарячого пресування та лиття під тиском), екструзією, термоформування, зварювання, склеювання, контактним та промазним способами тощо). Ніздрюваті теплоізоляційні матеріали виготовляють спінюванням та пороутворенням.

Технологічні процеси виробництва пластмас, як правило, механізовані та автоматизовані.

Особливості технологічних процесів виготовлення полімерних матеріалів залежать від їх складу та призначення.

Вальцювання на каландрах – це технологічна операція, при якій розм'якшена композиція формується в зазорі між обертовими валками каландрів, які утворюють стрічку виробу, товщину й ширину якого можна

регулювати. Така технологія застосовується для обробки полівінілхлоридних пластмас для виготовлення плівок, рулонних матеріалів для підлоги і т. ін. (рис. 14.1).

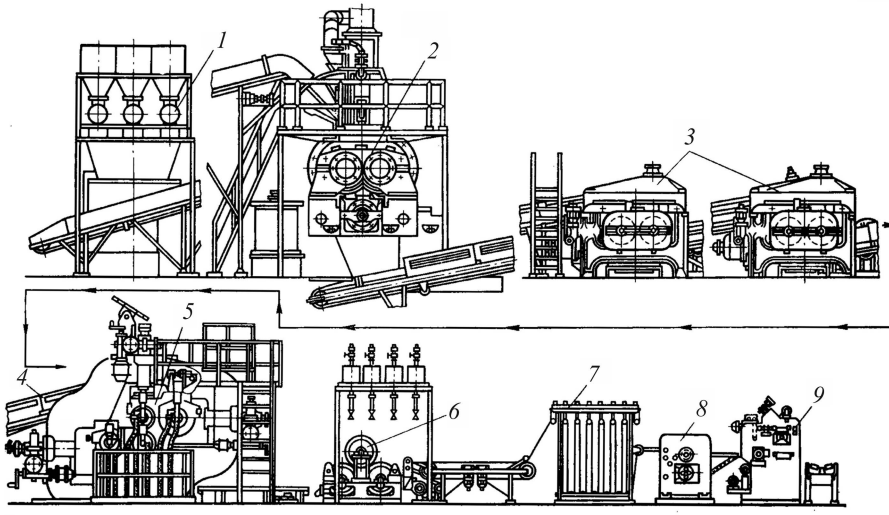


Рис. 14.1.Схема пристрою для виробництва термопластового листа (полівінілхлоридного) вальцево-каландровим способом:
1 – дозатор; *2* – роторний змішувач; *3* – двовалкові валики; *4* – конвеєр; *5* – каландр; *6* – охолоджувальний пристрій; *7* – компенсаційний пристрій; *8* – різальний пристрій; *9* – намотувально-пакувальний автомат

Крім того, для виготовлення рулонних матеріалів на тканинній підоснові використовують промазний спосіб. Основними технологічними операціями при цьому є нанесення лінолеумової маси на тканину, термообробка, ущільнення й охолодження готової лінолеумової стрічки.

Пресування – виготовлення виробів у металевих прес-формах. Матеріал (прес-порошок), що заповнив форму, під дією теплоти й тиску перетворюється в готовий виріб заданої конфігурації. При цьому розрізняють:

а) метод прямого пресування, що передбачає такі технологічні операції: завантаження готової композиції в нагріту прес-форму, власне пресування, витримка прес-матеріалу під тиском і вивантаження виробу (рис. 14.2);

б) метод лиття під тиском, за якого технологічні операції здійснюють у такій послідовності: закриття прес-форми, установка на ній завантажувальної камери з гарячим прес-матеріалом (на один цикл роботи), створення тиску на поршень завантажувальної камери для заповнення прес-форми в'язкотекучим прес-матеріалом, підняття завантажувальної камери й рознімання прес-форми з витягуванням готового виробу (рис. 14.3).

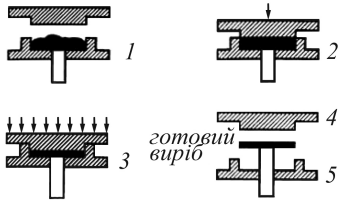


Рис. 14.2. Схема прямого пресування:
1 – завантаження прес-матеріалу; *2* – замикання форми; *3* – формування під тиском; *4* – розмикання форми; *5* – готовий виріб

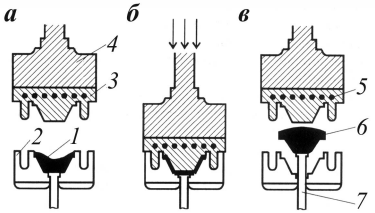


Рис. 14.3. Схема ливарного пресування:
а – прес-форма нагріта й закрита; *б* – подача розплавленого матеріалу в прес-форму; *в* – рознімання прес-форми; *1* – прес-матеріал; *2* – прес-форма; *3* – пуансон; *4* – завантажувальна камера; *5* – електропідігрівач; *6* – готовий виріб; *7* – виштовхувач

Екструзія – процес, за якого певний профіль виробам надається продавлюванням розм'якшеної вихідної пластмаси через формотвірний пристрій – екструзійну головку (рис. 14.4). За допомогою таких шнекових екструзійних машин виготовляють погонажні вироби, труби, плівки, лінолеум для підлоги й ін.

Термоформуванням називають переробку листових, плівкових, трубчастих пластмасових заготовок з метою надання їм більш складної форми й отримання готових виробів. До головних методів термоформування відносять штампування, пневмоформування й вакуум-формування.

У разі штампування з листів вирізають заготовки, їх нагрівають, розміщують у прес-формі між матрицею та пуансоном та формують під тиском до 1 МПа. Так виготовляють деталі каналізаційних систем з вінілпласту, деталі покриття промислових будівель, профільні деталі з текстолітів тощо.

У випадку пневмоформування лист закріплюють по контуру матриці й нагрівають до слабкого провисання, потім нагрітим повітрям, стисненим до 7…8 МПа, притискають лист до поверхні матриці.

Різновидом цього способу є вільне видування. Такими способами виготовляють ковпаки освітлення, деталі вентиляційних систем з поліакрилатів, полівінілхлориду.

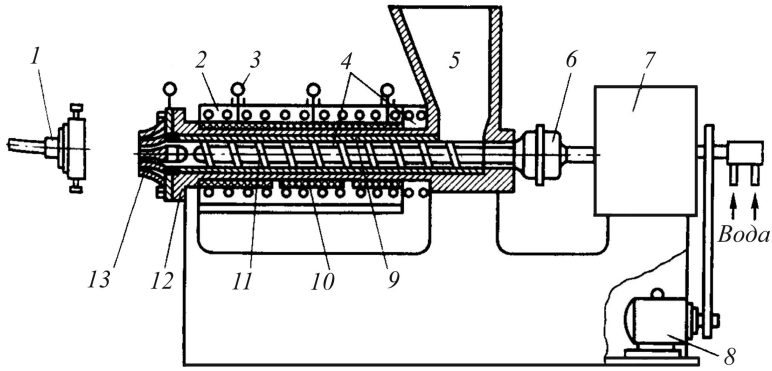


Рис. 14.4. Схема одночерв'ячного екструдера:
1 – змінний мундштук; *2* – електронагрівач; *3* – термопари; *4* – канали охолодження; *5* – завантажувальний бункер; *6* – еластична муфта; *7* – редуктор; *8* – електродвигун; *9* – втулка циліндра; *10* – корпус екструдера; *11* – черв'як; *12* – ґратчастий дорн; *13* – екструзійна головка

У разі вакуумного формування лист закріплюють по контуру порожнистої форми, нагрівають і утворюють розрідження в пустоті. Під впливом атмосферного тиску лист притискується до поверхні форми. Таким способом виготовляють деталі санітарно-технічного обладнання з ударостійкого полістиролу, поліакрилатів, вінілових полімерів.

Різновидом термоформування є контактне формування, яке використовують для виготовлення великогабаритних нестандартних виробів складної конфігурації.

Зварювання та склеювання застосовують для з'єднування між собою окремих заготовок пластмас для виготовлення виробів необхідної форми. Зварювання використовують для з'єднування термопластичних (поліетилену, полівінілхлориду, поліізобутилену тощо), а також термореактивних пластмас. За способом нагрівання з'єднуваних деталей зварювання може бути повітряним (нагрітим повітрям), високочастотним, ультразвуковим, радіаційним, контактним.

Склеювання застосовують для з'єднування як термопластичних, так і термореактивних пластмас. У найпростішому випадку клеєм для тер-

мопластичних пластмас може бути органічний розчинник або спеціальні клеї. Залежно від умов виробництва та необхідної швидкості процесу застосовують клеї холодного чи гарячого тверднення.

Напилення – це спосіб нанесення на поверхню будівельних виробів та конструкцій порошкоподібних полімерів, які, розплавляючись, прилипають до неї, а при охолодженні утворюють міцне покриття. Розрізняють газополум'яне, вихрове та псевдорідке напилення. Напилення використовують для отримання декоративних, антикорозійних та антифрикційних покриттів.

Крім наведених застосовують багато інших високопродуктивних механізованих та автоматизованих методів переробки пластмас.

На основі цих і деяких інших технологічних операцій виробництво будівельних матеріалів і виробів із пластмас розвивається в напрямку випуску матеріалів для підлоги, санітарно-технічного устаткування, тепло- і звукоізоляційних матеріалів і великої номенклатури оздоблювальних матеріалів.

14.6. Характеристика матеріалів на основі полімерних речовин

14.6.1. Матеріали для підлоги

Синтетичні матеріали для влаштування підлог широко застосовуються в будівництві та розділяються за структурою, сировиною, жорсткістю та зовнішнім виглядом.

За структурою розрізняють матеріали з підосновою (тканинною, картонною, теплоізоляційною) і без підоснови (одно- і багатошарові).

За зовнішнім виглядом виділяють рулонні матеріали і плиткові вироби, які мають певний колір, форму та фактуру. Крім того, виготовляють склади для влаштування безшовних полімерних підлог.

Залежно від основної сировини (полімеру) рулонні матеріали підрозділяють на полівінілхлоридні, алкідні, колоксилінові, гумові, а також кумаронові, фенолітові й полімербетонні.

За жорсткістю плиткові вироби розділяють на жорсткі, які утворюють тріщини при згині зразка навколо стержня діаметром 100 мм; напівжорсткі – не утворюють тріщин під час згину зразка; гнучкі – не утворюють тріщин під час згину зразка навколо стержня діаметром менше 100 мм.

Найбільш ефективними матеріалами для покриття підлоги є полівінілхлоридні лінолеуми, виготовлені трьома основними способами: промазним, вальцьово-каландровим і екструзійним.

Рулонні матеріали. *Лінолеуми* (ДСТУ Б А.1.1.-18-94) – це рулонні матеріали, які виготовляють на основі полівінілхлоридних, алкідних, гумових та інших полімерів. Вони призначаються для влаштування покриттів підлог у житлових, громадських та деяких промислових будівлях. Лінолеуми випускають без підоснови, а також на тканинній, повстяній та інших видах підоснови. Безосновні лінолеуми випускають одношаровими та багатошаровими. Вони можуть мати різну поверхню: кольорову, гладеньку, з візерунком, блискучу, матову та тиснену.

Сировиною для виготовлення лінолеуму крім зв'язуючого полівінілхлориду є наповнювачі: тальк, барит, крейда гідрофобізована, деревинне борошно й ін., пластифікатор – діоктилфталат, а також різні домішки. Для фарбування лінолеуму застосовують мумію, сурик залізний, літопон, ультрамарин, зелень хромову і т. ін.

Лінолеум без підоснови формують каландровим та екструзійним способами.

За каландровим способом після змішування компонентів виконують пластифікацію маси переробкою на вальцях, а далі здійснюють формування полотна на каландрах.

До складу маси одношарового лінолеуму входять: суспензійний полівінілхлорид – 40…45 %; пластифікатор дибутилфталат – 17…23 %; стабілізатор – 0,5…1,0 %; наповнювачі – 19…35 %; пігменти – 5…15 %. Стабілізують полімер стеаратами кальцію та барію. Віддозовані компоненти перемішують у лопатевих змішувачах за температури 60…80 °С. Пластифікацію виконують за температури 130…150 °С з активним перемішуванням маси на вальцьових змішувачах з двома паралельними парами вальців. Полотно формують на багатовальцьових каландрах.

Багатошаровий лінолеум одержують дублюванням плівок різного наповнення та забарвлення за температури 1 700 °С.

Екструзійний спосіб виготовлення безосновного лінолеуму передбачає нагрівання лінолеумної маси, пластифікацію та формування полотна безперервним видавлюванням крізь формувальну головку екструдера.

Лінолеум на підоснові виготовляють п'яти типів: А – з лицьовим шаром із прозорої плівки з друкованим малюнком; Б – з малюнком, захищеним від стирання полівінілхлоридним шаром; В – одноколірний; Г – двоколірний, Д – мармуроподібний. Лінолеум на тканинній підоснові випускають у рулонах довжиною 12 м, шириною полотнища до 2,0 м і товщи-

ною 1,6…2,0 мм. Він призначається для підлог житлових і громадських будівель.

Лінолеуми на підоснові виготовляють промазним способом. Лінолеумну пасту наносять на рухому підоснову з подальшою термообробкою (желіруванням у камерах та ущільненням на каландрах). Для виготовлення промазного лінолеуму використовують емульсійний полівінілхлорид, здатний до пастоутворення. Як підоснову застосовують лляні, джутові тканини та неткану повстяну підкладку.

До сучасних різновидів утеплених лінолеумів на звукоізоляційній основі можна віднести полівінілхлоридні багатошарові покриття, які складаються з шару полівінілхлоридної плівки, зміцненого армувальним прошарком склополотна на голкопробивній волокнистій основі. Іноді використовують додаткові шари каландрових плівок з багатобарвним друкованим візерунком. Такі рулони випускають шириною 1,5 та 2 м, довжиною 25 і 30 м. Вони мають стираність не більше 60 мкм, індекс поліпшення звукоізоляції від ударного шуму 19…20 дБ, показник теплозасвоєння 10,0…10,5 Вт/м^2. Такі рулонні покриття можуть бути застосовані в приміщеннях житлових і громадських будівель без обмежень, крім шляхів евакуації. Розглянемо деякі типи лінолеумів.

Полівінілхлоридний лінолеум на теплозвукоізоляційній підоснові являє собою двошаровий рулонний матеріал. Верхній лицьовий шар виготовляють з полівінілхлоридної композиції, нижній є неткано-голкопробивною підосновою. Крім того, на верхній лицьовий шар наносять полівінілхлоридну плівку з друкованим малюнком. Такий лінолеум виготовляють промазним, вальцьово-каландровим або екструзійним способами і призначається для приміщень житлових будівель. Залежно від структури верхнього шару й способів виробництва випускають п’ять видів лінолеуму: промазний – (ПР); вальцово-каландровий – (ВК); вальцьово-каландровий із прозорою полівінілхлоридною плівкою (ВКП); екструзійний – (ЕК) і екструзійний із прозорою плівкою (ЕКП).

Відмітна риса такого лінолеуму – він укладається безпосередньо на залізобетонне перекриття без приклеювання. Покладений на міжповерхове перекриття лінолеум виключає необхідність влаштування звукоізоляційного прошарку і теплоізоляційного шару, тобто одночасно є теплою підлогою і виконує функції звукоізоляційного матеріалу. Теплозвукоізоляційний лінолеум випускають у вигляді рулонів довжиною 12 м, шириною 1,8 м і товщиною 3,6 мм, а також у вигляді «зварених килимів» на кімнату, що особливо широко застосовують в цивільному будівництві.

Полівінілхлоридний лінолеум зі спіненим шаром являє собою рулонний матеріал, що складається з каркаса (склополотно, азбестова тканина й ін.),

покритого шаром спіненого полівінілхлориду. На лицьовий шар наносять друкований малюнок, захищений прозорою полівінілхлоридною плівкою. Такий лінолеум виготовляють промазним способом і призначають для приміщень житлових і громадських будівель. Його випускають у рулонах довжиною не менш 12 м, шириною до 2,0 м, товщиною 1,8 мм таких типів: І-Т, ІІ-Т, ІІІ-Т, що відповідає одному, двом чи трьом шарам спіненого полівінілхлориду із тисненням лицьового шару; І-Н, П-Н, ІІІ-Н, тобто з одним, двома чи трьома шарами спіненого полівінілхлориду, але без тиснення лицьового шару.

Одно- і багатошаровий полівінілхлоридній лінолеум без підоснови – один з економічних матеріалів для підлоги; виготовляють з полівінілхлоридної композиції вальцьовим, каландровим чи екструзійним способами. Залежно від структури випускають три типи лінолеуму: МП – багатошаровий, з лицьовим шаром, що має друкований малюнок: М – багатошаровий, одноколірний чи мармуроподібний і О – одношаровий, одноколірний чи мармуроподібний. Верхній, робочий і декоративний, шар лінолеуму (товщиною звичайно в межах 0,6…0,8 мм) внаслідок малого вмісту наповнювача чи зовсім без нього має дуже високий опір стиранню. Нижній завдяки наявності великої кількості наповнювача дозволяє заощаджувати полімер і барвники, що здешевлює вартість матеріалу.

Лицьовий шар виготовляють різних кольорів з однорідним чи мармуроподібним фарбуванням. Для кращого приклеювання лінолеуму до основи підлоги нижня сторона його робиться звичайно рифленою. Безпідосновний полівінілхлоридний лінолеум відрізняється високою гігієнічністю, що дозволяє застосовувати його для покриття підлоги в медичних закладах і лабораторіях. Цей лінолеум випускають у рулонах довжиною до 12 м, шириною 1,2…1,4 м і товщиною 1,5…1,8 мм.

Полівінілхлоридний лінолеум (важкозаймистий) без підоснови марки ТТН виготовляють з полівінілхлоридної композиції, що складається з полімеру, наповнювача, пластифікатора й різних домішок, вальцьово-каландровим способом. Залежно від зносостійкості випускають два види такого лінолеуму в рулонах довжиною не менше 12 м при ширині полотнища 1,5…1,6 м, товщині 1,8…2,0 мм. Призначається для покриття підлоги внутрішніх палуб кораблів.

Нітролінолеум марки НЛГ, або колоксиліновий лінолеум, являє собою безпідосновний рулонний матеріал, до складу якого входять зв'язуюче, наповнювач, пластифікатор, барвник і антипірен. Зв'язувальним компонентом такого лінолеуму є колоксилін (нітроцелюлоза). Як наповнювач використовують дешеві мінеральні матеріали: гіпс, глину чи піритні недогарки.

Нітролінолеум марки НЛГ випускають марок А і Б, в основному червоних і коричневих тонів у рулонах довжиною 12 м, шириною 1…1,4 м і товщиною 2 мм. Колоксиліновий лінолеум має обмежене застосування в приміщеннях житлових і громадських будівель.

Алкідний лінолеум – рулонний матеріал для підлоги, що складається з модифікованого гліфталевого полімеру, наповнювачів і барвників, нанесених на джутову основу. Його випускають у рулонах довжиною 15…30 м, шириною 2,0 м при товщині 2,5…5,0 мм марок А і Б. У разі виготовлення лінолеуму з малюнком вводять додаткові операції – приготування друкованих фарб, нанесення малюнка на поверхню лінолеумної стрічки і вторинне сушіння лінолеуму. Алкідний лінолеум виготовляють з одночи багатобарвним друкованим малюнком чи пофарбованим по всій товщині. Він призначається для покриття підлоги житлових і громадських будівель, вагонів залізничного транспорту й метрополітену.

Алкідний лінолеум укладають на холодну бітумну, каніфольну чи казеїноцементну мастику.

Гумовий лінолеум (релін) (ГОСТ 16914) – двошаровий матеріал для покриття підлоги. Верхній лицьовий зносостійкий шар (товщиною не менше 0,8 мм) виготовляють із синтетичних каучуків, наповнювачів і барвників (з додаванням сірки й інших компонентів). Як наповнювач застосовують білу сажу – силікагель, каолін, деревинне борошно. Нижній, підкладковий шар найчастіше роблять з дробленої гуми й нафтового бітуму, які вже були у використанні. Крім цих продуктів до складу нижнього шару входять речовини для вулканізації гуми (сірка), парафін і деякі інші компоненти.

Кожен шар виготовляється окремо, а потім для одержання готового реліну їх з'єднують разом (дублюють) з одночасною вулканізацією гуми.

Релін випускають одно- і багатобарвним у вигляді рулонів довжиною 12 м, шириною 1,0…1,6 м і товщиною 3 мм. Він підрозділяється на такі типи: А – для підлог у приміщеннях громадських, виробничих будівель і вагонах наземного транспорту; Б – використовують у приміщеннях, обладнаних примусовою вентиляцією, і В – антистатичний лінолеум, що призначається для підлог у хірургічних приміщеннях і спеціальних лабораторіях. Крім того, релін рекомендують для покриття підлоги в приміщеннях з підвищеним вологісним режимом (лазні, пральні й т. ін.).

Стираність реліну не більше 0,05 г/см^2 (втрата в масі), водопоглинання за 24 год не більше 1 %, твердість за кульковим твердоміром ТШР-2 – не більше 1 мм, пружність – не менше 75 %. Релін характеризується високою кольоростійкістю: після перебування у воді протягом 30 хв за температури 50 °С колір його практично не змінюється. Він має також

підвищені водостійкість і зносостійкість, високі діелектричні властивості, малу звукопоглинальність і підвищену хімічну стійкість.

Рулонні лінолеумні покриття, що випускаються вітчизняними заводами, досить гігієнічні, зносостійкі й довговічні (рис. 14.5).

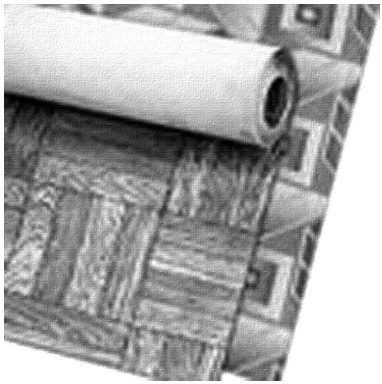


Рис. 14.5. Лінолеумне покриття підлоги

Перспективними для покриття підлог у житлових та громадських будівлях є синтетичні *килимові матеріали* (ГОСТ 28415; ГОСТ 28867). Це, як правило, неткані матеріали ворсової чи повстяної структури (ворсолін та ворсоніт). Для приготування килимових покриттів окремі полотнища матеріалу склеюють чи зварюють у килими розміром на «кімнату» і приклеюють до основи підлоги мастиками «Сінтелакс» та ін. Синтетичні килимові покриття застосовують для покриття підлог студій, санаторно-курортних і дитячих приміщень.

За способом виробництва існує багато різновидів нетканих килимових матеріалів. Основні з них – ворсово-прошивні (тафтингові) з розрізним або петельним ворсом різної висоти; голкопробивні (або повстяні) безворсові матеріали, промазні килимові покриття з петельним ворсом та полівінілхлоридною плівковою основою; електростатичні (або флоковані) килими з оксамитовою ворсовою структурою.

Килимові матеріали для покриття підлог виготовляють у вигляді рулонів, довжина яких становить не менш як 10 м, ширина – 1…3 м (максимальну ширину мають тафтингові та ворсові килими), товщина – 3…8 мм. Тафтингові килими можуть мати ворс завдовжки кілька сантиметрів. Більшість килимових матеріалів дублюють з пористою латексною основою, яка поліпшує їх акустичні та теплотехнічні властивості. Рулонні килимові матеріали, виготовлені із зносостійких синтетичних (поліамідних, поліпропіленових) чи змішаних волокон, застосовують як покриття для підлог з високими діелектричними та комфортними характеристиками.

Килимові матеріали можуть бути однотонними або мати багатоколірний малюнок.

Ворсове рулонне покриття із синтетичних волокон виготовляють нанесенням синтетичного ворсу в електричному полі на різні підоснови. Килимове покриття випускають у рулонах довжиною не менше 12 м, шири-

ною 1,1; 1,2 і 1,3 м при товщині не менше 5 мм. Покриття призначається для підлог житлових і громадських будівель.

Покриття для підлог «Ворсолін» – рулонний матеріал, отриманий шляхом закріплення ворсової пряжі в полівінілхлоридному полімері. «Ворсолін» складається з двох шарів. Верхній, лицьовий шар являє собою ворс із пряжі, виготовленої із синтетичних волокон; нижній – полівінілхлоридна підоснова. Килимовий матеріал «Ворсолін» випускають у рулонах довжиною 6 м, шириною 0,7 м і товщиною 5 мм товщиною підоснови 0,5 мм. Він призначається для покриття підлог житлових і громадських будівель (дитячі заклади, бібліотеки, читальні зали, театри і т. ін.).

Килимове полівінілхлоридне покриття «Ковроплен» – рулонний дубльований матеріал. Він складається з двошарової нетканої підоснови із друкованим малюнком і прозорої полівінілхлоридної плівки. «Ковроплен» випускають у рулонах розміром по довжині полотнища 15 м, ширині 1,2 і 1,5 м при товщині килима 4,5 мм і застосовують для покриття підлог у житлових приміщеннях, а також для настилу доріжок у холах і коридорах громадських будівель.

Плиткові матеріали. Плиткові матеріали, виготовлені на основі полімерів з наповнювачами, пластифікаторами й барвниками, набули широкого застосування в будівництві. Плитки в порівнянні з рулонними матеріалами мають ряд декоративних переваг. Вони можуть бути квадратними, прямокутними і фігурними. Різноманіття форм і кольору плиток створюють можливість для художньої обробки підлоги. До недоліків плиток слід віднести знижену гігієнічність і довговічність унаслідок великої кількості швів.

Серед плиткових полімерних матеріалів для підлог виділяють плитки полівінілхлоридні, кумароно-полівінілхлоридні, кумароно-бітумні, фенолітові, гумові, деревностружкові й ін.

Полівінілхлоридні плитки вирубують металевим штампом з полотнищ полімерної композиції. Їх застосовують для покриття підлог у приміщеннях житлових, виробничих і громадських будівель, де потрібна архітектурна обробка підлоги (рис. 14.6). Плитки можуть бути одно- і багатобарвними з гладкою чи тисненою лицьовою поверхнею. Найбільш ходовий розмір квадратних плиток 300×300 мм при товщині 1,5; 2,0 і 2,5 мм. Вони характеризуються такими фізико-механічними властивостями: стираність – не більше 120 мкм (втрата в масі при стиранні не більше 0,05 г/см^2), водопоглинання – не більше 1,0 %, твердість за кульковим твердоміром – не більше 0,3 мм. Полівінілхлоридні плитки можуть бути також

пресованими («Превініл»); вони використовуються для покриття підлог у громадських будівлях, магазинах і фойє видовищних закладів.

Кумароно-полівінілхлоридні й *кумароно-бітумні* плитки виготовляють на основі полівінілхлоридного й кумаронового полімерів. За властивостями й застосуванням вони мало відрізняються від звичайних полівінілхлоридних плиток. Покриття підлог досить гігієнічне, хімічно- і водостійке і широко використовується в приміщеннях з підвищеним режимом вологості.

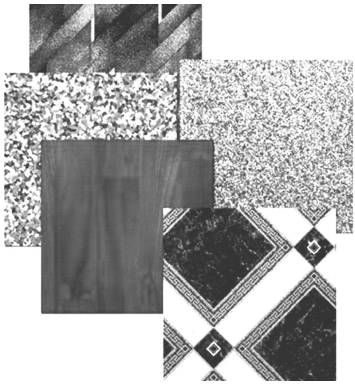


Рис. 14.6. Фрагмент підлоги з покриттям полівінілхлоридними плитками

Фенолітові плитки виготовляють на основі фенолформальдегідного полімеру, отверджувача й порошкоподібних наповнювачів – тальку, каоліну, слюди, деревного борошна й ін. Зі складових компонентів одержують прес-порошок, який потім ущільнюють на спеціальних пресах у плитки розміром 150×150 мм при товщині 4…6 мм. Вони можуть бути використані як для покриття підлоги, так і для облицювання стін.

Фенолітові плитки мають високу механічну міцність і стійкість до впливів більшості мінеральних і органічних кислот. Ці плитки відрізняються підвищеною теплостійкістю, малим водопоглинанням. Втрата в масі при стиранні таких плиток не перевищує 0,03 г/см^2, а водопоглинання через 24 год становить не більше 0,1 %.

Гумові плитки для підлог виготовляють методом пресування гумових сумішей на основі каучуків і гумової кришки. Вони можуть бути одноколірними з рифленнями на лицьовій стороні й ребристою зворотною поверхнею. Плитки випускають розмірами 510×510×26 мм і призначаються для підлог виробничих будівель.

Матеріали для монолітних (безшовних) підлог. Крім рулонних, плиткових і килимових матеріалів для влаштування підлог з використанням полімерів застосовують безшовні монолітні покриття або мастики (ГОСТ 4.54), які наносять поливанням чи розпилюванням на різні основи, переважно бетонні, з подальшим твердінням за кімнатної температури. Наливні підлоги з мастикових матеріалів гігієнічні та зручні в експлуатації, технологічні. Як полімерні в'яжучі, вміст яких у мастикових покрит-

тях підлог не менше як 50 %, застосовують водні дисперсії полімерів – полівінілацетату та латексів, співполімери вінілацетату з етиленом, поліакрилонітрилу. Використовують також рідкі термореактивні олігомери: фенолформальдегідні, карбамідні, поліефірні, епоксидні, фуранові та їх модифікації.

Залежно від якості підготовки основи підлоги можуть бути одно- чи двошаровими, а за зовнішньою обробкою – одно- чи багатобарвними різного кольору. Товщина одношарових покриттів 1,5…2 мм, двошарових – 3…4 мм. Одношарове покриття підлоги полівінілацетатними мастиками рекомендують для житлових і громадських будівель. Його влаштовують на добре підготовленій основі. Для підвищення терміну служби й надання підлозі більш гарного зовнішнього вигляду її покривають спеціальним лаком.

З уведенням у пасти спеціальних наповнювачів або інших домішок можна створювати теплоізоляційні, пиловідштовхувальні, бактерицидні, діелектричні, рентгенонепроникні та інші підлоги.

Прикладом безшовних мастикових підлог є підлоги на основі епоксидно-сланцевих композицій. У затверділому стані така композиція, укладена шаром 0,2…4 мм, має середню густину 1200 кг/м^3, границю міцності під час стиску – 85 МПа, границю міцності під час згину – 39 МПа, стираність – 1,15 мкм, твердість за Брінелем не нижче 108 МПа, водопоглинання за масою – 0,01 %. Така підлога стійка до дії води, лугів, кислот, органічних розчинників, атмосферних факторів, а також водонепроникна. Крім того, епоксидно-сланцева композиція може бути застосована для влаштування антикорозійних покриттів для захисту металевих, бетонних та інших поверхонь; при виконанні внутрішньої і зовнішньої гідроізоляції бетонних і металевих конструкцій та герметизації швів і стиків.

Полівінілацетатна мастика для безшовних підлог виготовляється з полівінілацетатної емульсії, тонкомолотого піску й мінеральних пігментів (сурику, мумії, вохри, кобальту й ін.).

Мастичні, полівінілацетатні покриття підлоги мають такі характеристики: втрата в масі – не більше 0,004 г/см^2, водопоглинаня за 24 год – не більше 6 %, твердість за кульковим твердоміром – не більше 0,3 мм.

14.6.2. Матеріали для санітарно-технічного устаткування і труб

Санітарно-технічні вироби з пластмас у порівнянні з металевими дешевші й легші за масою. При відносно малій середній густині вони відрізняються високою механічною міцністю та корозійною стійкістю.

Для виготовлення санітарно-технічного устаткування використовують в основному пластмаси, отримані із застосуванням ПВХ, поліетилену й інших термопластів, карбамідних та інших полімерів. Слід зауважити, що вироби на основі сечовиноформальдегідних (карбамідних) полімерів можуть бути світлих тонів, у тому числі й білого кольору.

З пластмас виготовляють ванни, умивальники, раковини, душові кабіни, вентиляційні й радіаторні ґрати, а також дрібні деталі для устаткування кухонь, мийних та інших приміщень.

Труби з пластичних мас завдяки ряду переваг набули широкого застосування в будівництві. Вони укладаються для спорудження водопровідних і каналізаційних мереж, іригації і т. ін. Завдяки високій еластичності вони не руйнуються під час удару і розширенні транспортованої рідини і при її замерзанні. Можливість виготовлення багаторозмірних труб дозволяє скоротити кількість стиків, спростити з'єднання й здешевити монтаж трубопроводу.

Досить велике поширення мають труби з поліетилену й полівінілхлориду, а також склопластикові.

Поліетиленові труби виготовляють методом екструзії з поліетилену високого і низького тиску. Вони мають незначне вологовбирання, високу стійкість до кислих і лужних середовищ, до впливу масел і багатьох розчинників. Їх відмітною рисою є висока морозостійкість, що дозволяє експлуатувати їх в інтервалі температур від –80 до +60 °С.

Пластичні властивості поліетилену дають можливість виготовляти труби великої довжини (до 300 м) і намотувати їх на спеціальні барабани для транспортування й укладання. Поліетиленові труби випускають різних діаметрів – від 13 до 150 мм, розраховують на робочий тиск до 1,2 МПа. Вони легко зварюються в струмені гарячого повітря.

Полівінілхлоридні труби виготовляють з полівінілхлориду (вініпласту й стабілізатора).

Труби з вініпласту випускають з внутрішнім діаметром 6…160 мм із товщиною стінок 2…8 мм і розраховані на робочий тиск до 0,6 МПа. Довжина таких труб від 1,5 до 3,0 м. Їх властивості великою мірою визначаються вихідним вініпластом. Вініпластові ланки в трубопроводі легко з'єднуються за допомогою фланців і накидних гайок, а також шляхом зва-

рювання в струмені гарячого повітря. Однак найбільш надійні з'єднання труб роблять шляхом склеювання. На відміну від поліетиленових (які практично не склеюються) вінілпластові труби міцно склеюються різними клеями, з яких найбільш поширеним є 15…20 %-ний розчин перхлорвінілу в ацетоні чи метиленхлориді.

Трубопроводи з вінілпластових труб широко використовують для транспортування агресивних рідин і газів, а також для монтажу водопровідних і каналізаційних мереж.

Склопластикові труби виготовляють з поліефірних полімерів зі скловолокнистим наповнювачем. Такі труби в порівнянні з іншими видами труб із пластичних мас відрізняються більш високою корозійною стійкістю і підвищеною механічною міцністю.

14.6.3. Оздоблювальні полімерні матеріали й вироби

Номенклатура полімерних оздоблювальних матеріалів велика й може бути розділена на такі групи: матеріали для оздоблення й облицювання стін, стель і вбудованих меблів; погонажні архітектурно-будівельні вироби; конструкційно-оздоблювальні матеріали; допоміжні матеріали (клеї, мастики і т. ін.).

Матеріали для оздоблення й облицювання стін. Для облицювання стін і стель виготовляють полімерні матеріали у вигляді рулонів, плит, плиток і листів. До рулонних матеріалів належать лінкруст, вологостійкі шпалери, полівінілхлоридні, декоративні плівки «Ізоплен», «Тексоплен» та ін. Листовими й плитковими матеріалами служать декоративний паперово-шаруватий пластик, деревно-стружкові й деревно-волокнисті плити, листи з жорсткого полівінілхлориду й органічного скла, акустичні плити, облицювальні плитки й т. ін.

Лінкруст – оздоблювальний матеріал, одержуваний шляхом нанесення тонкого шару пасти, що складається з полімеру, наповнювача, пластифікатора й барвника, на щільну паперову підоснову. Як полімер для виробництва лінкрусту звичайно використовують полівінілхлорид; наповнювачем служать коркове або деревне борошно; пластифікатором – діоктилфталат.

Лінкруст незабарвлений чи пофарбований по всій масі, гладкий чи тиснений з лицьової сторони (рифлений малюнок) випускають у рулонах довжиною не менше 12 м, шириною 0,50; 0,60; 0,75; 0,90 м при товщині по рельєфу не більше 1,2 мм. Він досить водо- і гнилостійкий, не жолобиться

при зберіганні й не вицвітає на сонці. Його широко застосовують для опорядження стін і перегородок у приміщеннях житлових і громадських будівель.

Вологостійкі шпалери (шпалери, що миються) – оздоблювальний матеріал з лицьовою поверхнею, стійкою до дії води. Водостійкі шпалери випускаються друковані, з одно- і багатобарвним фоном, з рельєфним друком, тиснені, із клейовим шаром. Ширина усіх видів виготовлених шпалер, що миються, 500, 600 і 760 мм при довжині рулону 12 м.

Полівінілхлоридна декоративна плівка – тонкий, прозорий чи пофарбований по всій товщі рулонний матеріал. Такі плівки виготовляють вальцово-каландровим способом і випускають двох типів: ПДО – без клейового шару і ПДСО – із клейовим шаром. Плівки з клейовим шаром отримують шляхом нанесення на внутрішню сторону клею, що прикривається антиадгезійним папером. Перед використанням плівки папір, що захищає клейовий шар, знімається і плівка приклеюється до оброблюваної поверхні.

Полівінілхлоридні плівки призначені для опорядження добре підготовлених поверхонь – стін житлових і громадських будівель, дверних полотен та інших елементів інтер'єру.

Полівінілхлоридні плівки на паперовій підоснові «Ізоплен» виготовляють промазним способом з полівінілхлоридної композиції, до складу якої, крім полімеру, входять наповнювачі, пластифікатори, барвники й різні домішки. Залежно від виду лицьової поверхні, плівки випускають трьох типів: А – одноколірні, Б – багатобарвні з друкованим малюнком, захищеним прозорою плівкою, В – із друкованим малюнком, нанесеним на лицьову поверхню полівінілхлоридної плівки. «Ізоплен» призначається для внутрішнього опорядження стін і вбудованих меблів житлових приміщень. Його випускають у рулонах довжиною 10,5; 12,0; 18,0 і 25,0 м, шириною 0,47 м при товщині 0,45 мм.

На паперовій підоснові випускають також спінені полівінілхлоридні плівки «*Піноплен*». Це двошаровий матеріал, верхній шар якого складається з полівінілхлоридної композиції і нанесений на паперову підоснову. Вона призначається для внутрішнього оздоблення житлових приміщень і громадських будівель (кухні, коридори квартир і готелів, передпокої й т. ін.).

Крім того, на паперовій підоснові випускають полівінілхлоридний оздоблювальний матеріал «Поліплен», який виготовляють шляхом послідовного нанесення двох-трьох друкованих шарів з полівінілхлоридної композиції. Він призначається для оздоблення стін приміщень житлових і громадських будівель.

Тканинний оздоблювальний матеріал «Тексоплен» – пофарбована в полотні чи набивна тканина, просочена полімерним складом. Крім того, на виворіт тканини наносять нетверднучий клейовий шар, захищений антиадгезійним папером. Для виготовлення «Тексоплену» використовують віскозні, змішані пряжі чи бавовняні тканини різного переплетення. Цей рулонний матеріал призначається для оздоблення стін, перегородок і вбудованих меблів у житлових і громадських будівлях. Рулони «Тексоплену» мають довжину 6 і 12 м, ширину 0,7…0,9 м при товщині не менше 0,2 мм.

«*Віністін*» – оздоблювальний рулонний матеріал з рельєфною поверхнею, виготовлений на основі полівінілхлориду методом екструзії. Довжина рулонів 12 м і ширина 1,2 м при товщині менше 1,2 мм. Його відносне видовження під час розриву становить не менше 120…140 %, а руйнівне навантаження не менше 8…9 МПа. Для приклеювання використовують мастики, наприклад КН-3. Не допускається обробляти поверхні з прихованим нагріванням.

Паперово-шаруватий пластик – декоративний паперово-шаруватий облицювальний матеріал, отриманий шляхом пресування декількох шарів спеціальних видів паперу, попередньо просочених спиртовими розчинами термореактивних полімерів. Для нижнього й середнього шару застосовують крафт-папір. Для лицьового шару використовують папір одноколірний чи з надрукуваним малюнком. Як зв'язуючу речовину застосовують сечовино- й меламіноформальдегідні полімери. Тверда й блискуча поверхня лицьового шару паперово-шаруватого пластика (папірпласта) може бути однотонною, а найчастіше являє собою імітацію дорогих порід дерев (горіха, дуба й ін.) чи каменю (малахіту, мармуру й ін.).

Залежно від фізико-механічних властивостей і якості лицьової поверхні паперово-шаруватий пластик підрозділяють на марки: А – для умов підвищеної зносостійкості; Б – для звичайних умов експлуатації й В – застосовується як виробний матеріал.

Пластик випускають у вигляді листів довжиною 3 м, шириною 0,4…1,6 м і товщиною від 1,0 до 3,0 мм. Він має середню густину – 1 400 кг/м^3, границя міцності під час згину 100 МПа, твердість за Брінелем – 25 МПа, водопоглинання за 24 год – не більше 4 %. Декоративно-шаруватий пластик гігієнічний, досить світло- і водостійкий, стійкий до впливу бензину, масел, витримує нагрівання до 130 °С. Унаслідок високих декоративних якостей цей матеріал широко використовують для облицювання стінових панелей приміщень громадських будівель, а також для виготовлення дверних полотен, побутових кухонних і медичних меблів.

Полістирольні облицювальні плитки виготовляють з полістиролу способом лиття під тиском на спеціальних ливарних машинах. Найбільше

ходовий розмір полістирольних плиток, що випускаються, 100×100, 150×150 мм при товщині відповідно 1,25 і 1,35 мм.

Колір плиток може бути будь-яким – від пастельних до насичених, яскраво виражених тонів. Лицьова сторона звичайно глянсова гладка, тильна має бортик товщиною 6…8 мм і рифлену поверхню. Застосування таких плиток забороняється в приміщеннях з нагрівальними приладами відкритого вогню (кухні й т. д.).

Усе більшого застосування в будівництві набувають матеріали, одержані на основі термопластів, – полістирольні панелі «Поліформ», полівінілхлоридні панелі «Полідекор».

Панелі «Поліформ» (розмір 500 × 500 мм при товщині 10 мм) із декоративною обробкою, що імітує текстуру деревних порід, одержують на основі полістиролу. Істинна густина не більше 1 г/см^3, водопоглинання не більше 0,65 %. Панелі кріплять цвяхами або шурупами при обробці стін і стель приміщень культурно-побутових і адміністративних будівель.

Панелі «Полідекор» виготовляють з полівінілхлориду методом вакуум-формування й випускають розмірами 1850×995 і 1810×915 мм при товщині 6,0 мм. Використовують для обробки стін приміщень культурно-побутового призначення (зали, холи і т. ін.).

Погонажні архітектурно-будівельні вироби. Являють собою довгомірні елементи різноманітних профілів, забарвлення й призначення, що випускаються в повній заводській готовності.

До таких матеріалів належать плінтуси, поручні для сходового поручня, балконів та інших огороджень, захисні й декоративні накладки на проступи сходових маршів, розкладки для кріплення листових матеріалів й ін. За показниками фізико-механічних властивостей ці матеріали можуть бути м'якими, напівжорсткими й жорсткими. Їх випускають різних кольорів із глянсовою чи матовою лицьовою поверхнею. Велике значення для обробки будівель великозбірного будівництва мають профільні погонажні вироби, одержані методом екструзії на основі полівінілхлориду.

Плінтуси – елементи оформлення приміщення, призначені для перекриття стикових щілин між підлогою і стінами. На основі полівінілхлориду випускаються два види плінтусів: м'які й напівжорсткі суцільного профілю або з каналами для прихованої слабкострумової електропроводки.

Плінтуси на основі полівінілхлориду застосовують замість дерев'яних, перед якими мають ряд переваг: не вимагають фарбування, більш гігієнічні, кріпляться до підлоги й стіни спеціальними клеями чи мастиками.

Поручні виготовляють на основі полівінілхлориду методом екструзії і застосовують замість дерев'яних. Полівінілхлоридні поручні можуть бути будь-якого кольору і двох профі- лів. На виході з екструдера їх скручують у бухти довжиною 12 м (рис. 14.7).

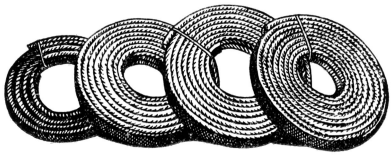


Рис. 14.7. Бухта поручня з полівінілхлориду

Полівінілхлоридні поручні широко застосовують для оформлення сходового поруччя житлових і промислових будівель. Кріпити поручні з пластмас просто. Перед натягом поручня на сталеву стрічку сходового поруччя бухта поручня розмотується і прогрівається за температури 70…80 °С. За цієї температури поручень розм'якшується і легко надівається на смугу поруччя. Після охолодження до температури навколишнього повітря поручень міцно закріплюється, щільно обтискаючи поручневу стрічку.

Накладки для східців – полівінілхлоридні вироби, призначені для захисту від стирання й інших механічних пошкоджень граней бетонних східців сходових маршів. Випускаються накладки трьох видів: смугові, кутові й накладки для покриття кутів і проступів.

Забарвлення накладок може бути різним залежно від вимог замовника. Захисні кутики й проступи кріпляться за допомогою клею № 88 чи кумаронокаучукової мастики. Для кріплення проступів часто використовують і гумобітумну мастику.

Конструкційно-оздоблювальні матеріали. До цієї групи належать склопластики, деревношаруваті пластики, деревноволокнисті й стружкові плити.

Склопластики – група полімерних матеріалів, у яких наповнювачем служить скловолокно. Як зв'язуюча речовина для виробництва склопластиків застосовують ненасичені поліефіри, епоксидні, кремнійорганічні та фенолоформальдегідні полімери. Ці полімери мають високу адгезію до скловолокна, хорошу змочувальну здатність й досить швидко тверднуть без виділення летких продуктів. Випускають три різновиди склопластиків: листові матеріали з орієнтованим скловолокном, рубаним волокном і на основі склотканини чи матів.

Великий інтерес становлять склопластики з орієнтованим волокном типу СВАМ (скловолокнистий анізотропний матеріал). Його одержують шляхом гарячого пресування пакета з листів склошпону.

Склошпон являє собою тонкі полотна односпрямованих скляних ниток, склеєних спиртовими розчинами карбамідних, бутваро-фенольних чи епоксидних полімерів. Склеювання скляних волокон проводиться в момент витягування їх через фільєри скловарної печі. Полімер, обволікаючи скляні волокна на виході з фільєр, сприяє збереженню їх первісних високих механічних властивостей.

Відмітною рисою СВАМ є його висока механічна міцність, що залежить від виду й кількості в'яжучого, товщини волокон, їх розташування.

Найбільшу міцність має СВАМ, виготовлений з волокон діаметром 14…16 мкм, покладених в одному напрямку. За такого розташування волокон межа міцності СВАМ під час розтягу досягає 950 МПа, а середня густина становить 1800…2000 кг/м^3.

Склопластики можуть бути прозорими, напівпрозорими та непрозорими. Прозорі й напівпрозорі склопластики у вигляді плоских і хвилястих листів використовують для огороджень сходів, балконів, влаштування прозорих перегородок, навісів і оформлення малих архітектурних форм (рис. 14.8).

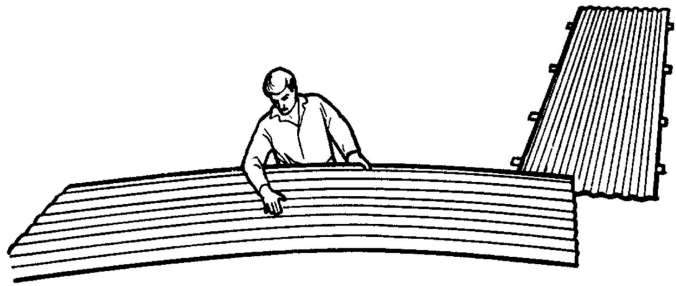


Рис. 14.8. Хвилястий склопластик

Деревношаруваті пластики (ДШП) – листовий чи плитковий матеріал, отриманий шляхом гарячого пресування лущеної деревної шпони, просоченої полімерами (фенолформальдегідний полімер, бакелітовий лак й ін.). Деревну шпону у вигляді листів товщиною 0,3…1,5 мм отримують лущенням попередньо розпарених кругляків берези, бука, вільхи.

Деревношаруваті пластики залежно від порядку укладання шпони випускають чотирьох марок: ДШП-А, ДШП-Б, ДШП-В і ДШП-Г. Розміри листів ДШП знаходяться в межах: по довжині 0,7…5,6 м, по ширині

0,95…1,2 м при товщині 1…12 мм. Плити ДШП мають такі розміри: довжина 0,7…5,6 м, ширина 0,7…1,5 м при товщині 35…60 мм.

Деревношаруваті пластики мають досить високу теплостійкість, малу теплопровідність 0,15…0,25 Вт/(м·К) і легко піддаються механічній обробці. Їх застосовують як оздоблювальний і конструкційно-оздоблювальний матеріал в житлових і громадських будівлях для облицювання стін, перегородок і підшивки стель.

Деревностружкові й деревноволокнисті плити використовують не тільки для покриття підлог, але і як конструкційно-оздоблювальний матеріал. Такі плити застосовують для влаштування й опорядження стін, перегородок, вбудованих меблів, дверних панелей і підшивки стель житлових і громадських будівель. Так, для облицювання стін використовують деревностружкові плити марок ПН-1 і ПН-2 довжиною від 2,44 до 5,50 м, шириною 1,2…2,4 м і товщиною 10…25 мм. Плити ПН-1 часто оздоблюють лакофарбовими матеріалами чи полімерними плівками.

Деревноволокнисті плити з лакофарбовим покриттям застосовують для облицювання стін житлових, виробничих і громадських будівель, а також для виготовлення меблів і дверних полотен. За зовнішнім виглядом лицьової поверхні плити поділяють на два типи: А – із друкованим малюнком і Б – одноколірні плити. Залежно від лакофарбових матеріалів плити можуть мати матову чи глянсову лицьову поверхню. Деревноволокнисті тверді плити з лакофарбовим покриттям випускають довжиною 1,2…2,7 м, шириною 1,0…1,7 м і товщиною 2,5…6,0 мм.

Полімербетони – це композиційні матеріали, які одержують внаслідок затвердіння суміші, що складається з полімерної зв'язувальної речовини, мінеральних заповнювачів та наповнювачів. Як полімерний компонент застосовують фуранові, епоксидні, фенолоформальдегідні та поліефірні смоли. До мінеральних наповнювачів належать порошки з розміром частинок менше як 0,16 мм, до заповнювачів – пісок з розміром зерен до 5 мм і щебінь з розміром зерен до 50 мм. Полімеррозчини не мають у своєму складі крупного заповнювача – щебеню.

Основні властивості полімербетонів визначаються хімічною природою полімерного компонента, видом і вмістом наповнювачів та заповнювачів.

Найвищі фізико-механічні властивості мають полімербетони, отримані на основі епоксидних смол. Однак висока вартість і дефіцитність епоксидних полімерів обмежує їх застосування. Звичайна витрата зв'язуючої речовини 100…200 кг на 1 $м^3$ бетону при відношенні зв'язуючої речовини до мінеральної частини бетону 1:5…1:12 за масою.

Найбільш поширені полімербетони на фуранових смолах, що отверджуються додаванням сульфокислот.

Границя міцності полімербетонів під час стиску становить 60…120 МПа, згину – 12…40 МПа. Морозостійкість полімербетонів 200…300 циклів. Водостійкість залежить від виду зв'язуючої речовини. Найбільш водостійкі полімерні бетони отримують з використанням епоксидних смол.

Полімербетони мають високу зносостійкість, кавітаційну та хімічну стійкість. Ударна міцність полімербетону на фуранових смолах в 4…6 разів вища, ніж у цементних бетонів.

Полімербетони добре склеюються з цементним бетоном, міцність зчеплення (адгезія) наближається до міцності на розтяг цементного бетону. Полімербетони можна підсилювати армуванням.

Полімери та мономери використовуються для модифікації властивостей бетонів за допомогою їх просочування. Щоб змінити структуру й властивості бетонів, застосовують рідкі мономери (метилметакрилат чи стирол) і полімери (епоксидні й поліефірні смоли) та різні композиції на їх основі. Глибина просочування 1…20 см. Для повного просочування щільного бетону потрібно 2…5 % мономеру за масою (4…10 % за об'ємом). Просочені бетони називають *бетонополімерами*.

Полімерні бетони та бетонополімери слід розглядати як бетони спеціального призначення, що відрізняються підвищеною корозійною стійкістю, морозостійкістю, міцністю та зносостійкістю.

14.6.4. Гідроізоляційні та герметизувальні полімерні матеріали

Поліізобутиленова плівка ПСГ – рулонний гідроізоляційний матеріал, отриманий з поліізобутиленового каучуку, газової сажі та графіту. Випускають також поліізобутиленову гідроізоляційну плівку УП-50, яку виготовляють з високомолекулярного поліізобутилену, поліетилену високого тиску, парафіну та наповнювачів (сажа, подрібнене кам'яне вугілля). Поліізобутиленові покриття відрізняються високими гідроізоляційними властивостями, тріщиностійкістю та хорошою адгезією до основи. Висока водонепроникність, біостійкість і атмосферостійкість цих покрить дозволяють рекомендувати їх для влаштування обклеювальної гідроізоляції. Фізико-механічні властивості покрить: середня густина – 1300 кг/м^3, межа міцності під час розриву – 0,1 МПа. Крім того, для гідроізоляції застосовують поліетиленові та полівінілхлоридні плівки.

Гідроізоляційний матеріал ГМП випускають у вигляді рулонів. Площа ГМП у рулоні 5 м^2, товщина полотнища 1,5 мм, ширина 0,8…1,0 м. Виробництво ГМП базується на змішуванні й гарячому (150 °С) вальцюванні компонентів (поліізобутилен, нафтовий бітум і азбест 6…7-го сорту) з подальшою обробкою на каландрах до товщини полотнища 1,5…2,0 мм. Межа міцності полотнища під час розриву 0,12 МПа, розтяжність 30…50 %. ГМП застосовують для гідроізоляції підземних споруд, влаштування плоских покрівель промислових і цивільних будівель і гідроізоляційних робіт.

Герметизувальні матеріали (герметики) застосовують для ущільнення швів між панелями й блоками збірних конструкцій, закладення стиків трубопроводів і т. ін. Зараз для цього використовують герметизувальні мастики й еластичні прокладки, виготовлені на основі полісульфідних каучуків (тіоколів), гумобітумного в'яжучого й інших полімерів.

Полісульфідні (тіоколові) герметики випускають у вигляді двокомпонентних сумішей з тіоколовою герметизувальною і вулканізуючою пастами. Герметики виготовляють на місці проведення робіт шляхом змішування тіоколової і вулканізуючої паст із додаванням прискорювача вулканізації і розріджувача. У процесі вулканізації суміш твердне й утворює еластичний гумоподібний герметик, що добре ущільнює шов або стик.

Мастика «Ізол» – суміш, що складається з гумової кришки, бітуму, кумаронового полімеру, наповнювача (азбестового волокна) і антраценової олії (антисептика). Мастику застосовують для різних герметизувальних робіт як у підігрітому до температури 80…100 °С, так і в холодному стані з додаванням розріджувача (бензин, лігроїн і т. ін.).

Нетверднуча мастика – герметизувальний матеріал на основі поліізобутилену з пом'якшувачем і наповнювачем у вигляді тонкодисперсного мінерального порошку. Цю мастику застосовують для ущільнення швів між панелями великого домобудівництва за допомогою спеціального шприца. Крім мастик для герметизації швів застосовують еластичні промурування у вигляді пористих чи щільних джгутів (пороізол, герніт та ін.).

Пороізол – еластичні пористі джгути чи смуги прямокутного перерізу, виготовлені з гумової кришки, пом'якшувача, порофору й антисептика.

Прокладки випускають у вигляді джгутів діаметром 10…60 мм чи смуг прямокутного перерізу 40 × 40 мм. Пороізол застосовують для герметизації швів між панелями зовнішніх стін будівель і ущільнення зазорів у віконних коробках і між панелями стін.

Герніт – пориста еластична прокладка, виготовлена на основі поліхлоропренового каучуку з водонепроникною плівкою на поверхні. Його випускають у вигляді джгута довжиною до 3,0 м і діаметром 20, 40 і 60 мм.

Щільна водонепроникна плівка на поверхні герніту забезпечує його мале водопоглинання (за 48 год не більше 0,4 %) і велику довговічність у порівнянні з пороізолом.

Клеючі синтетичні мастики при оптимальному складі мають підвищену клеючу (адгезійну) здатність, біостійкість і водостійкість. При кріпленні полімерних матеріалів до тих чи інших основ найширше застосовують мастики КН-2 і КН-3, «Пермінід», «Сінтелакс» й ін.

Клеючі каучукові мастики КН-2 і КН-3 являють собою пастоподібну однорідну масу. Мастики виготовляють із хлоропренового каучуку, інденкумаронового полімеру, наповнювачів і розчинників. Мастику КН-2 з вмістом каучуку 18…22 % за масою використовують для приклеювання гумового лінолеуму, плиток і герметизувальних прокладок; мастику КН-3 з вмістом каучуку 11…14 % – для приклеювання полівінілхлоридного лінолеуму, нітролінолеуму, профільних погонажних виробів і паркету. Клеючі каучукові мастики є вогне- і вибухонебезпечними і токсичними матеріалами.

Мастика «Пермінід» являє собою в'язку пастоподібну масу темно-жовтого кольору. Її виготовляють з композиції перхлорвінілового полімеру, пластифікатора, розчинника й різних домішок. Вона призначається для приклеювання рулонних і плиткових полівінілхлоридних матеріалів до різних основ. Мастика «Пермінід» – вогне- і вибухонебезпечний матеріал, як і КН-3.

Мастика «Сінтелакс» – в'язка, пастоподібна маса білого кольору, виготовлена із синтетичного латексу, наповнювачів і різних домішок. Мастика призначається для приклеювання рулонних полімерних матеріалів, полівінілхлоридних і полістирольних плиток, а також полімерних матеріалів під час облицювання стін житлових і громадських будівель.

Гума – еластичний продукт вулканізації каучуку з наповнювачами, пом'якшувачами й іншими компонентами. Вулканізація – процес перетворення каучуку в гуму, найчастіше здійснюваний за допомогою сірки при нагріванні до 130…160 °С (гаряча вулканізація). Зараз шляхом уведення активаторів (прискорювачів вулканізації) можна протягом декількох хвилин отримати вулканізати з необхідними властивостями.

При вулканізації каучуку сіркою його властивості поступово змінюються: значно підвищуються еластичність і міцність під час розтягу, стійкість до старіння, каучук втрачає здатність розчинятися в розчинниках, а лише набухає. Зміна властивостей каучуку в процесі вулканізації пов'язана з утворенням складної просторової сітчастої структури вулканізату. Під впливом нагрівання, дії сірки й інших структуризувальних

речовин відбувається ускладнення молекулярної структури вулканізату, тобто між молекулами виникають поперечні хімічні зв'язки (зшивки).

Найважливішими властивостями гуми (вулканізату) є: велике відносне подовження під час розриву, зменшення модуля еластичності, корисна пружність під час розриву й ін. Відповідно до кінетичної теорії пружності каучуку й гум під час розтягу відбувається ніби розпрямлення й зближення ланцюгів макромолекул. Однак внутрішній тепловий рух молекул протидіє цим змінам, тому після припинення дії сил розтягу зразок гуми повертається в первісний стан. Механічні властивості гуми визначити дуже складно, оскільки вони залежать від тривалості дії деформувальної сили, температури випробування та інших факторів. Звичайно межа міцності гум під час розриву становить 5…30 МПа.

У будівництві гуми використовують для влаштування чистих підлог, а відходи гуми (гумова кришка) – для виготовлення гумових матеріалів, бризолу, бітумогумових мастик та ін.

Полімерні клеї. Застосування синтетичних клеїв у будівництві є вигідним з багатьох позицій, при цьому не лише знижуються витрати традиційних матеріалів та витрати на будівництво, а й підвищуються техніко-економічні показники споруд.

Синтетичні клеї (ГОСТ 28780; ГОСТ 4.228) – це розчини, розплави чи дисперсії полімерів, а також оліго- та мономерів, здатних прилипати до поверхонь різних матеріалів і під час твердіння з'єднувати ці матеріали.

Розрізняють клеї термопластичні та термореактивні, а також холодного і гарячого твердіння. Механізм отвердження може бути пов'язаний з охолодженням розплаву, випаровуванням розчинника, реакціями поліконденсації олігомерів та полімеризації мономерів.

На основі *термопластичних полімерів* виготовляють полівінілацетатні, перхлорвінілові, поліамідні, поліакрилові, каучукові клеї (ДСТУ Б В.2.7-103-2000; ГОСТ 12172; ГОСТ 22345; ГОСТ 24064). Їх використовують для кріплення опоряджувальних матеріалів, вбудованих меблів, склеювання піно- та пороплastів.

Для силового склеювання (міцність при рівномірному відриванні понад 0,7 МПа) застосовують клеї на основі *термореактивних полімерів*: епоксидних, фенолоформальдегідних, карбамідних, поліефірних та поліуретанових. Ці клеї відрізняються високою адгезією, водостійкістю, стійкістю до вібраційних навантажень та теплостійкістю. Їх застосовують для склеювання алюмінію, сталі та інших металів, кераміки, скла, бетону, деревини. Недоліками деяких полімерних клеїв є висока токсичність у період виготовлення та склеювання (епоксидні клеї), а також під час експлуатації (фенолоформальдегідні клеї).

14.7. Вироби та матеріали з пластмас для залізничного транспорту

Вироби з пластмас використовують у авіабудуванні, автобудуванні, суднобудуванні, електротехніці, хімічній, оптичній та інших галузях промисловості. На залізничному транспорті вироби з пластмас застосовують у колійному господарстві, системах сигналізації та зв'язку, вагонобудуванні. Крім того, використовуються пластмасові підшипники, безшумні шестерні, фрикційні й інші деталі.

У колійному господарстві застосовуються, наприклад, накладки й прокладки. Накладками користуються для електроізоляції суміжних ділянок перегону залізниці, обладнаної автоблокуванням. Їх виготовляють із просоченого фенолоформальдегідною смолою березового шпону шляхом гарячого пресування. Таким же способом із просоченого зазначеною смолою шпону або заготівок (осикових, тополевих) виготовляють амортизаційні прокладки, які укладають під рейку на металеву підкладку або залізобетонну шпалу для зм'якшення ударів та інших цілей.

У системах сигналізації та зв'язку пластмасові вироби набули великого поширення. Вони застосовуються у вигляді різних електроізоляційних деталей – панелей, контактних колодок, клем, котушок електромеханізмів та ін. Із пластмас виготовляють деталі блок-апарата системи Наталевича, автостопа інженера Танцюри, прожекторного світлофора й ін.

У вагонобудуванні з пластмас можуть виготовлятися різноманітні деталі вагонного устаткування, наприклад попільниці, кільця і кришки унітазів, підвіконні столики, дверні і диванні ручки, короби стоп-кранів, вхідні поручні й ін., а також готові стінові конструкції. Суцільнопресовані віконні рами із шаруватих пластиків у порівнянні з дубовими відрізняються великою міцністю й відсутністю схильності до розбухання, що затрудняє їх переміщення у віконних прорізах.

Теплоізоляція пасажирських та ізотермічних вагонів здійснюється зараз пористими пластмасами (пороласти, пінопласти), що мають завдяки пористій структурі низьку середню густину (0,01…0,25 кг/м^3), малу теплопровідність (0,025…0,046 Вт/м·°С) і гарні звукоізоляційні властивості. До переваг пористих пластмас також відносять нездатність їх піддаватися гниттю й руйнуванню бактеріями й комахами, а також водостійкість.

Верхній дерев'яний настил підлоги пасажирських вагонів, що піддається найбільшому зношуванню, покривають рулонним матеріалом – лінолеумом. Замінниками цього виду лінолеуму є гліфталевий і полі-

хлорвініловий лінолеум. Вони є водостійкими й не піддаються руйнувальній дії бактерій і грибів.

Шляхом нанесення лінолеумового цементу або пластмаси на папір і подальшого видавлювання на її поверхні різних малюнків одержують лінкруст, який застосовують для обклеювання пасажирських суцільнометалевих вагонів.

Для обклеювання стель у пасажирських вагонах використовують клейонку білих кольорів, а також дерматин-папір з нанесеною тонкою плівкою з нітроцелюлози.

Замінники м'якої шкіри застосовують для оббивання меблів і стін (замість лінкрусту) вагонів. Із числа різноманітних замінників м'якої шкіри на транспорті найчастіше використовують текстовініт, що являє собою бавовняну тканину з пористою або непористою плівкою із хлорвінілової смоли. Для виготовлення текстовініту з пористою плівкою до складу маси, застосовуваної для покриття тканини, вводять пороутворювальні речовини, наприклад хлористий калій, який потім вимивають із готового текстовініту водою. Оббивний текстовініт використовується для покриття сидінь вагонів метро й стін пасажирських вагонів. Межа міцності по основі під час розтягу оббивного текстовініту коливається від 16 до 28 кгс/см^2 (при випробуванні смужки шириною 20 мм), а вага – від 470 до 780 г/м^3.

Поліхлорвінілова плівка текстовініту повинна бути стійкою в межах від +60 до –35 °С для непористої й до –25 °С для пористої.

До фрикційних і антифрикційних виробів із пластмас належать гальмові колодки й неметалічні підшипники.

Гальмові колодки із пластмас у порівнянні з чавунними відрізняються великою зносостійкістю, високим коефіцієнтом тертя та іншими позитивними властивостями. Їх застосовують для обладнання вагонів метрополітену.

Для залізничного рухомого складу запропонована спеціальна гальмова колодка із пластмаси. Випробування таких колодок показали їх переваги в порівнянні з чавунними. Вони характеризуються більш високою зносостійкістю й здатністю зберігати постійний коефіцієнт тертя при будь-якому режимі ходу поїзда. Строк служби пластмасових колодок майже в 3 рази більший чавунних. Довжина гальмового шляху при використанні цих колодок у порівнянні з чавунними й при швидкості 100 км/год може бути зменшена майже в 2 рази.

Неметалічні підшипники виготовляють головним чином з деревних пластмас. Вони мають високу міцність і зносостійкість, а також можуть працювати в умовах високих навантажень, причому охолоджувальна вода

служить мастилом. Строк служби неметалічних підшипників перевищує строк служби підшипників з кольорових металів в 4…5 раз. Названі позитивні властивості підшипників із пластмас і значно нижча вартість у порівнянні з металевими пояснюють широке використання їх у різних механізмах і машинах, наприклад, у буксових і дизельних механізмах, кранах та інших видах транспортувальних механізмів, для підвіски моторів вагонів, у прокатних станах і багатьох інших приладах.

Виробництво нових видів високоміцних пластиків дозволяє значно розширити використання їх на транспорті для виготовлення не тільки виробів невеликого розміру, але й великогабаритних, наприклад великих формованих секцій пасажирських вагонів з армованої пластмаси, зовнішніх сходів вагонів у вигляді однієї деталі, санітарних деталей та ін. Застосування великих збірних деталей із пластмас спрощує складання вагонів і значно зменшує вагу. Використання хімічностійких пластмас у внутрішньому облицюванні цистерн для перевезення агресивних рідин значно подовжує строк їх експлуатації.

14.8. Старіння і деструкція полімерних матеріалів

Експлуатаційні умови, у яких можуть перебувати пластмаси, полімерні вироби та конструкції, захисні покриття, не завжди бувають сприятливими для стійкого стану матеріалу. Трубопроводи в ґрунті, підлоги в цехах хімічних підприємств, антикорозійні покриття в морських гідротехнічних спорудах, плівкове екранування водоймищ, тентові конструкції, облицювання кислотних цистерн із залізобетону й т. ін. – лише окремі приклади складних умов роботи полімерних конструкцій і виробів. У таких випадках вироби й конструкції з полімерних матеріалів чи виготовлених на їх основі (пластмаси, полімеррозчини й полімербетони) вступають у контакт із газоподібними та рідкими агресивними середовищами, піддаються механічним напруженням, впливу теплової енергії, вітру, сонячної радіації, кисню й озону, вологого повітря, пари чи розчинників інших рідин. Прискорений перебіг процесів деструкції і старіння полімерів зумовлений поєднанням дії активних зовнішніх факторів з механічними напруженнями в матеріалі, особливо на розтяг.

Під впливом різних активних факторів і за високої для даного матеріалу температури в полімері можуть розвиватися процеси окислювання й деструкції з розривом макромолекул по довжині ланцюга, відривом

окремих груп чи атомів від його ланок. Наприклад, під впливом озону виникають функціональні групи – гідроксили, карбоксили. Вони є своєрідними «провісниками» хімічної деструкції, що починається:

$$–CH_2–CH.R–CH_2–CH.R–$$

Під впливом озону виникає

$$–CH_2 – CH – CH_2 – CH.K –$$
$$\quad\quad\quad

гідролізу, що підвищує пористість. Більшість полімерів (і полімербетонів) має знижену водостійкість, підвищену усадку; не завжди корисний їх високий коефіцієнт лінійного температурного розширення.

Деструктивні явища і процеси старіння розглянемо стосовно ряду термопластичних і термореактивних полімерів.

Поліетилен високого і низького тиску широко вживається у будівництві, характеризується в цілому високою стійкістю за температур до 60 °С, але він не стійкий до дії окислювачів за підвищених температур. Вода не вступає з цим аполярним полімером у хімічну взаємодію і не пластифікує його, але в середовищі ПАР (наприклад, емульгатора ОП-10) спостерігається значне збільшення поглинання водного середовища. Поліетилен піддається старінню й окисному руйнуванню під дією активної частини сонячної радіації, що іонізує випромінювання. Після опромінення цей полімер повністю втрачає здатність розчинятися в органічних розчинниках, набуває пружності, причому модуль пружності може збільшитися на 200…250 % з наростанням крихкості матеріалу. Ці зміни властивостей можуть відображати утворення поперечних зв'язків («зшивання»), хоча в кристалізованому поліетилені між ланцюгами молекул завжди діють слабкі ван-дер-ваальсові сили.

Поліізобутилен стійкий до дії мінеральних кислот, концентрованих їдких лугів. Однак під впливом ароматичних і хлорованих вуглеводнів він порівняно легко розчиняється з втратою вихідних фізико-механічних властивостей.

Полівінілхлорид і його співполімери з вінілацетатом характеризуються високою стійкістю до кислих і лужних середовищ. Труби з полівінілхлориду успішно використовують для транспортування агресивних рідин за температури від –15 до +60 °С. Але цей полімер, а також полістирол з його високою здатністю зберігати твердість за підвищених температур (температура плавлення його 230 °С) не виявляють стійкості під час дії сонячного опромінення, швидко старіють і набувають крихкості.

Поліефірні полімери мають високу стійкість до більшості кислот будь-якої концентрації до температури 80 °С, до сульфатів, хлоридів, спиртів, нафтопродуктів. Але вони піддаються корозійному впливу азотної, оцтової і мурашиної кислот. Вони не виявляють достатньої стійкості до їдких лугів, стосовно деяких середніх і особливо кислих солей, наприклад вуглекислого калію, сірчанокислого натрію.

Епоксидні й фуранові полімери не відрізняються високою хімічною стійкістю до впливу сильних окиснювачів. Похідні від них, наприклад епоксидно-фуранові матеріали, мають слабку хімічну опірність оцтовій і молочній кислотам.

Дуже складними умовами для більшості полімерів залишаються: робота за температур нижче їх температури крихкості, коли руйнування матеріалу може настати миттєво.

Стабілізації структури, підвищення стійкості полімерів до деструкції і старіння досягають різними технологічними й експлуатаційними заходами загального й специфічного характеру. Загальним способом гальмування деструкції полімерів за умов впливу світла й опромінень є уведення хімічних реагентів (сполук), здатних поглинати ультрафіолетові й інші промені. Самі вони не піддаються фотосинтезу чи змінам. Серед таких реагентів можна назвати, наприклад, бензотриазол, тінувін, хлористий марганець та ін.

Інший спосіб стабілізації структури полімерів, застосованих у покриттях, – уведення світловідбиваючих домішок, наприклад алюмінієвої пудри. У полімери для стабілізації уводять також антиоксиданти, наповнювачі, особливі різновиди стабілізаторів тощо.

В експлуатаційний період відповідальні конструкції і конструкції, що знаходяться в умовах підвищеної активності зовнішнього середовища, виготовлені з матеріалів на основі полімерів, ізолюють за допомогою мастик, емалей і паст на ліофобній основі.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається полімерними речовинами? За якими ознаками класифікують полімерні речовини?
2. Яка сировина для отримання полімерних речовин?
3. Що називається полімеризацією? Наведіть приклади полімеризаційних речовин.
4. Що називається поліконденсацією? Наведіть приклади полімерних матеріалів поліконденсаційного типу.
5. Як будова полімерних речовин впливає на їх теплостійкість?
6. Як розділяють полімерні речовини за здатністю до пластичних деформацій при циклічній дії температури? Наведіть приклади.
7. Що називається пластмасами? Назвіть основні аспекти застосування пластмас у будівництві.
8. Назвіть основні компоненти пластмас. Вкажіть вплив кожного з компонентів на фізико-механічні властивості пластмас.
9. Дайте загальну характеристику полімерних речовин.
10. Які основні властивості полімерних матеріалів, що застосовують у будівництві? Вкажіть позитивні властивості й недоліки полімерних матеріалів.

11. Вкажіть властивості полімерних матеріалів, які виділяють їх серед інших будівельних матеріалів.
12. Які особливості технологічних процесів виготовлення полімерних матеріалів залежно від їх складу та призначення?
13. Як поділяються полімерні матеріали залежно від галузі застосування?
14. Назвіть полімерні рулонні матеріали, які застосовуються для покриття підлог.
15. Які матеріали санітарно-технічного устаткування випускає наша промисловість?
16. Якими полімерними матеріалами облицьовують стіни?
17. Що таке склопластики і які їх властивості? Галузь застосування склопластиків.
18. Особливості застосування полімербетонів для будівництва і ремонту транспортних штучних споруд.
19. Які види клеїв і мастик на основі синтетичних смол застосовують для приклеювання оздоблювальних матеріалів?
20. Стійкість полімерних матеріалів до старіння і деструкції.

Список рекомендованої літератури

1. Гекель С. В. Применение полимерных материалов в качестве покрытий / С. В. Гекель. – М.: Химия, 1968. – 238 с.
2. Гапль Л. Пластмассы в строительстве. – М.: Стройиздат, 1969. – 280 с.
3. Губенко А. Б. Строительные конструкции с применением пластмасс. – М.: Стройиздат, 1970. – 328 с.
4. Воробьев В. А. Технология полимеров / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов .– М.: Высш. шк., 1971. – 360 с.
5. Хрулев В. М. Основы технологии полимерных строительных материалов. – Минск: Высш. шк., 1975. – 303 с.
6. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
7. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений. – М.: Химия, 1981. – 270 с.
8. Соломатов В. И. Технология полимербетонов и армополимербетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1984. – 142 с.
9. Тутов И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тутов, Г. И. Кострыкина . – М.: Химия, 1989. – 431 с.
10. Брык М. Т. Деструкция наполненных полимеров. – М.: Химия, 1989. – 191 с.
11. Михайлов К. В. Полимербетоны и конструкции на их основе / К. В. Михайлов, В. В. Патуроев, Р. Крайс. – М.: Стройиздат, 1989. – 302 с.

12. Шевченко А. М. Гігієна праці / А. М. Шевченко, О. П. Яворовський. – К.: Інфотекс, 2000. – 607 с.
13. Головко О. Н. Новые поливинилхлоридные покрытия пола «Новоплан» / О. Н. Головко, А. И. Михайлов, С. В. Горшков // Строительные материалы. – 2000. – № 3. – С. 34–35.
14. Ситковский И. П. Полимерные материалы и их применение в железнодорожной технике. – М.: Транспорт, 1968. – 256 с.
15. Веденкин С. Г. Полимеры железнодорожному транспорту / С. Г. Веденкин, Л. Е. Виницкий, И. К. Лукьянчиков, З. А. Рыжова и др. – М.: Транспорт. – 1964.

РОЗДІЛ 15

Теплоізоляційні матеріали і вироби

15.1. Загальні відомості

Теплоізоляційними називають будівельні матеріали, які мають малу теплопровідність і призначені для теплової ізоляції будівельних конструкцій житлових, виробничих і сільськогосподарських споруд, поверхонь виробничого обладнання й агрегатів (промислових печей, турбін, трубопроводів, камер холодильників та ін.).

Ці матеріали мають невелику середню густину – не вище 600 кг/м^3, що досягається за допомогою підвищення їх пористості.

У цивільному та транспортному будівництві теплова ізоляція дозволяє зменшувати товщину огороджувальних конструкцій (стін, покрівлі), витрату палива в експлуатаційний період, знижувати витрату основних будівельних матеріалів (цегли, бетону, деревини), полегшувати конструкції і знижувати їх вартість. У технологічному й енергетичному обладнанні за рахунок теплової ізоляції зменшують втрату теплоти (наприклад, теплоізоляція паровозів дає економію до 10 %), забезпечують необхідний технологічний температурний режим, знижують питому витрату палива на одиницю продукції, оздоровлюють умови праці. Щоб одержати достатній ефект від застосування теплової ізоляції, в інженерних проектах проводяться відповідні теплові розрахунки, у яких приймаються конкретні різновиди теплоізоляційних матеріалів і враховуються їх теплофізичні характеристики. На транспорті паровози ізолюють азбестовою мастичною обмазкою, влаштуванням вулканітових плит чи заливанням ізоляційної маси в простір між обшивкою та котлом. Останній спосіб найбільш зручний та раціональний. Сутність його полягає в тому, що вихідні матеріали для виготовлення вулканіту витримуються добу, потім змішуються в розчинозмішувачі й подаються в заповнювальний простір. Щоб отримати хороші результати, важливо раціонально підібрати

необхідну кількість води (з урахуванням води, яка поглинається азбестом), а також використовувати діатоміт та вапно.

Для теплоізоляції вагонів застосовують шевелін. Пасажирські суцільнометалеві вагони ізолюють пористою пластмасою – міпорою, а для ізоляції ізотермічних вагонів, крім того, використовують скловолокно та піноскло.

За основними теплофізичними характеристиками теплоізоляційні матеріали поділяють на три класи: А – малотеплопровідні, Б – средньотеплопровідні й В – підвищеної теплопровідності. Класи відрізняються величиною теплопровідності матеріалу, а саме: за середньою температурою 25 °С матеріали класу А мають теплопровідність до 0,06 Вт/(м·К), Б – від 0,06 до 0,115 Вт/(м·К), класу В – від 0,115 до 0,175 Вт/(м·К). За інших середніх температур величина теплопровідності матеріалу зростає. Є винятки з цієї прямолінійної залежності, коли з підвищенням температури матеріалу його теплопровідність не підвищується, а знижується, наприклад у магнезитових вогнетривів.

Найхарактернішою ознакою теплоізоляційних матеріалів є їх *висока пористість*, оскільки повітря в порах має меншу теплопровідність, ніж оточуюча його речовина в конденсованому стані (твердому чи рідкому). Якщо величина пор 0,1…2,0 мм повітря в них має теплопровідність, рівну 0,023…0,030 Вт/(м·К). Пористість теплоізоляційних матеріалів становить до 90 % і навіть до 98 %, а найтонше скловолокно має пористість до 99,5 %. Тим часом такий конструкційний матеріал, як важкий цементний бетон має пористість до 9…15 %, граніт, мармур – 0,2…0,8 %, керамічна цегла – 25…35 %, сталь – 0, деревина – до 70 % . Оскільки пористість безпосередньо впливає на величину середньої густини, звичайно теплоізоляційні матеріали розрізняють не за пористістю, а за середньою густиною. Їх поділяють на три групи: особливо легкі (ОЛ, вони є і найбільш пористими), що мають марку за середньою густиною (у кг/м^3) у сухому стані 15, 25, 35, 50, 75 і 100, легкі (Л) – 125, 150, 175, 200, 225, 300 і 350, важкі (Т) – 400, 450, 500 і 600. Матеріали, що мають середню густину між зазначеними марками, відносять до найближчої більшої марки. Матеріали з середньою густиною 500…700 кг/м^3 використовують з урахуванням їх несучої здатності в конструкціях, тобто як конструкційно-теплоізоляційні.

Теплопровідність різко зростає за умов зволоження теплоізоляційних матеріалів, тому що теплопровідність води дорівнює 0,58 Вт/(м·К), тобто приблизно в 25 разів вища, ніж у повітря. При замерзанні зволоженого теплоізоляційного матеріалу відбувається подальше збільшення його теплопровідності, оскільки теплопровідність льоду становить 2,32 Вт/(м·К), тобто в 100 разів більша, ніж повітря в тонких порах. Очевидно, що дуже

важливо зберігати тепло у конструкціях і на устаткуванні від зволоження, тим більше якщо можливе подальше замерзання вологи.

Крім розподілу теплоізоляційних матеріалів за теплопровідністю й середньою густиною, вони підрозділяються також за такими ознаками:

– за *видом вихідної сировини* – на неорганічні й органічні. До неорганічних відносять мінеральну і скляну вату й вироби з них; спучений перліт і вермикуліт, вироби з них; ніздрюваті бетони; керамічні теплоізоляційні вироби й ін. До органічних – деревноволокнисті й деревностружкові плити, комишит, теплоізоляційні пластмаси й ін.;

– за *формою матеріалів* розрізняють штучні (плити, блоки, цегла, циліндри, сегменти), рулонні (мати, смуги, картон, матраци), шнурові (шнури, джгути) і сипучі матеріали (мінераловатна суміш, спучений перліт та ін.);

– за *здатністю до стиску під навантаженням* (відносною деформацією стиску) теплоізоляційні матеріали поділяють на три види: м'які (М), що мають стискальність понад 30 % під питомим навантаженням $2 \cdot 10^3$ Па, напівжорсткі (НЖ) – відповідно 6…30 %, жорсткі (Ж) – до 6 %, підвищеної жорсткості – до 10 % під питомим навантаженням $4 \cdot 10^3$ Па і жорсткі – до 10 % під питомим навантаженням 10 кПа.

Теплоізоляційні матеріали, застосовувані в холодильних камерах, холодильниках, рефрижераторах, а також у вологих умовах, повинні мати підвищену *біо- і водостійкість*. До цих важливих матеріалів ставляться і деякі інші технічні вимоги: стабільність фізико-механічних і теплотехнічних властивостей, гранично припустима кількість виділення токсичних речовин, вимоги стосовно займистості, економічності. Теплоізоляція повинна витримувати дію високої температури й відкритого полум'я протягом визначеного часу. Важливо визначити граничну температуру застосування матеріалу, а також строго дотримувати її під час призначення теплоізоляційних виробів: керамічних – до 1200…1300 °С, трепельної цегли – до 900 °С, з ніздрюватого бетону й піноскла – до 400 °С, органічних – 75…100 °С.

Структура теплоізоляційних матеріалів характеризується наявністю твердої і газоподібної фаз; нерідко наявна і рідка фаза, наприклад, вода у вільному стані. Ці фази беруть участь у передачі теплоти, а також передача теплоти відбувається через границі пор із твердою речовиною.

Теплопровідність твердої речовини полягає в передачі теплоти шляхом ангармонічних коливань, що квантуються з тим меншою інтенсивністю, чим складніше будова кристалічних ґрат, і отже, з тим меншою теплопровідністю. Наприклад, теплопровідність шпінелі ($MgOAl_2O_4$) менше, ніж оксиду магнію (MgO) і оксиду алюмінію ($A1_2O_3$) окремо. Ще

менші значення теплопровідності мають аморфні тіла, причому залежні від температури. Теплопровідність твердої фази залежить не тільки від ангармонічних коливань атомів ґрат зі зпусканням і поглинанням теплоти квантами, але й від теплового випромінювання, особливо за високих температур.

Теплопровідність пор складається з теплопровідності газу в порах, конвективної теплопровідності й теплопровідності випромінювання газу. Як відзначалося вище, теплопровідність повітря при атмосферному тиску становить за 25 °С близько 0,025, за температури 100 °С дорівнює 0,031, за 1000 °С – 0,079 Вт/(м·К). Такі ж приблизно значення теплопровідності мають азот, кисень, а водень – 0,20 Вт/(м·К). Ці значення враховуються у разі роботи теплоізоляційного матеріалу у відповідному газовому середовищі.

Друга складова загальної теплопровідності пор – конвекція – у порах менше 5 мм практично відсутня й тому не враховується. Але за більшої величини пор чи їх безперервності конвекція зростає.

Третя адитивна складова теплопровідності – випромінювання – залежить від чорноти стінок пор, форми й розміру пор, температури. Величина випромінювання має велике значення в процесі передачі теплоти в порах, особливо за високих температур, тому що вона пропорційна кубу температури. У результаті може виявитися, що за високої температури теплопровідність високопористих виробів буде вище, ніж менш пористих.

У структурі теплоізоляційних матеріалів може бути безперервною як тверда фаза, так і пори за рівної величини пористості. Тверда фаза має велику теплопровідність і тому, коли вона в структурі безперервна, то теплопровідність матеріалу виявляється в 2,0…2,5 рази вищою, ніж за безперервності пор. У волокнистих теплоізоляційних матеріалах безперервними в структурі є як тверді фази, так і пори, тому їх теплопровідність дуже залежить від променистої складової теплопровідності.

Крім згаданих вище (теплопровідність, міцність, середня густина), слід назвати ще ряд властивостей теплоізоляційних матеріалів, що зумовлюють їх якість.

Температуростійкість і стійкість до термічної деструкції характеризують здатність матеріалу витримувати тривале нагрівання за високої температури без зміни свого стану. Від цієї властивості залежить максимальна температура застосованого матеріалу, наприклад мінеральної вати каолінового складу – до 1150 °С, спученого перліту – до 900 °С, звичайної мінеральної вати – до 600 °С і т. ін.

Вологовбирання – здатність поглинати, а *водоутримувальна здатність* – утримувати вологу при контакті з нею, разом з іншими властивостями –

водостійкістю, гігроскопічністю, водопроникністю – відображають важливі сторони якості теплоізоляційних матеріалів і виробів.

Вода негативно впливає і на теплозахисні властивості матеріалів, і на його довговічність у конструкціях. Захисні покриття по теплоізоляції влаштовують зі склопластиків, алюмінієвої фольги й ін.

З урахуванням фізичних факторів, що впливають на загальну чи ефективну теплопровідність у гетерогенних пористих тілах, на практиці й у теорії були запропоновані основні способи одержання теплоізоляційних матеріалів: пористо-волокнистих (мінеральної і скляної вати, деревноволокнистих матеріалів із застосуванням азбесту й ін.); пористо-зернистих (перлітових, вермикулітових, вапняно-кремнеземистих та ін.); ніздрюватих (газобетонів, пінобетонів, піноскла, пінопластів та ін.). Вони відрізняються не тільки за складом і структурою кінцевого продукту, але й за технологічним способом поризації.

15.2. Способи поризації матеріалів

До найголовніших штучних способів поризації матеріалів з наданням їм теплозахисних властивостей належать такі.

Спосіб газоутворення базується на уведенні в сировинну суміш компонентів, що здатні викликати хімічні реакції з виділенням у великих кількостях газової фази. Гази, які прагнуть вийти з пластичної маси, що твердне, утворюють пористу структуру матеріалу – газобетону, газосилікату, газокераміки, ніздрюватого скла, газонаповненої пластмаси тощо.

Як хімічні газоутворювачі використовують алюмінієву пудру і технічний пероксид водню (пергідроль). Алюмінієва пудра в результаті реакції з гідроксидом кальцію сприяє виділенню великої кількості молекулярного водню. Пергідроль легко розкладається в лужному середовищі з утворенням молекулярного кисню. В обох випадках цементне тісто спучується. Аналогічним шляхом у розплавлені скло й смоли уводяться реагенти, що сприяють утворенню газів CO_2, NO_2 та ін.

Спосіб піноутворення базується на уведенні у воду замішування в'яжучих піноутворювальних речовин. Стабілізовані пухирці піни являють собою повітряні пори пінобетону, піносилікату, пінокерамики й ін. Як стабілізатори піни для підвищення її стійкості до моменту отвердіння в'яжучого використовують столярний клей, сірчанокислий глинозем, смоли

тощо. Піноутворювачами служать солі жирних кислот – натрієві й калієві мила; мильний корінь і одержуваний з нього сапонін; клеєканіфольний піноутворювач, одержуваний з каніфольного мила (сіль абієтинової кислоти $C_{19}H_{39}COOH$); алюмосульфонафтеновий піноутворювач, одержуваний з гасового контакту й сірчанокислого глинозему; гідролізована кров (ГК), одержувана шляхом обробки відходів м'ясокомбінатів за схемою «технічна кров + їдкий натр + залізний купорос + хлористий амоній».

Спосіб підвищеного водозамішування полягає в застосуванні великої кількості води у процесі приготування формувальних мас (наприклад, із трепелу, діатоміту) і подальшого її випарювання зі збереженням пор під час висушування. Цей спосіб застосовується у виробництві деревноволокнистих плит, торф'яних, азбестотрепельних та інших матеріалів.

Спосіб спучування деяких гірських порід і шлаків при нагріванні до високих температур полягає в такому. Із сировини, якою служать перліт і обсидіан, вермикуліт, деякі різновиди глин, особливо ті, які містять легкоплавкий закис заліза (Fe), виділяються гази чи водяні пари головним чином у зв'язку з відділенням хімічно зв'язаної чи цеолітної води. Ці та деякі інші сировинні матеріали після спучування утворюють відповідні високопористі теплоізоляційні матеріали – спучений перліт і вермикуліт, керамзит, шлакову пемзу й ін. Так, при швидкому нагріванні вермикуліт (високогідратований алюмосилікат магнію) розщеплюється на окремі слюдяні пластинки, яких у 1 см нараховується до 200 тис. шт. (рис. 15.1). У результаті такого розщеплення зерна вермикуліту сильно спучуються внаслідок рясного виділення з мінералу хімічно зв'язаної води. Розсуваючи пластинки, пари збільшують об'єм зерен у 20…30 разів і більше. Спучений вермикуліт характеризується малою насипною густиною (80…150 кг/м^3), низькою теплопровідністю $\lambda = 0{,}09…0{,}12$ Вт/(м·К). Випал проводиться в обертових і шахтних печах в умовах швидкого підвищення температури до 800…1000 °С і подальшого охолодження. Аналогічне збільшення об'єму при спучуванні відбувається і в разі швидкого нагрівання в печах перліту (висококремнеземистої породи). Насипна густина спученого перлітового щебеню становить 160…500 кг/м^3, а спученого перлітового піску – 70…500 кг/м^3. Пористість спученого перліту може досягати 88…90 % і більше.



Рис. 15.1. Вермикуліт зернистий випалений

Спосіб розпушування полягає у виготовленні з порівняно щільної мінеральної сировини волокнистого матеріалу у вигляді безформної маси з можливим подальшим наданням їй форми виробів. Найбільшого поширення набуло виробництво мінеральної вати, скляної вати і виробів з них. Сировиною для мінеральної вати служать пегматити, туфи й інші гірські породи та металургійні шлаки, а для виготовлення скляної вати використовують скляний бій і відходи скла на скляних заводах. Способом розпушування одержують також органічні теплоізоляційні матеріали – бавовняну й вовняну вату, ватяні вироби (ватин, повсть), деревні волокна й ін.

У нашій країні в будівництві найчастіше застосовується мінеральна вата у зв'язку з доступністю місцевої сировини. Для оцінки придатності сировини визначають її хімічний склад і модуль кислотності. У загальному випадку оптимальний хімічний склад шихти: SiO_2 – 40…42 %, Al_2O_3 – 12 %, Fe_2O_3 – 3…4 %, CaO – 30 %, MgO – 10…12 % при модулі кислотності М=55/45=1,22. Рекомендовані межі модуля кислотності 0,6…1,5, при значеннях якого товщина волокон вати становить 2…10 мкм, тоді як при його збільшенні погіршується якість вати і волокна досягають товщини до 10…40 мкм. Найпоширенішим способом плавки шихти є вагранковий. Застосування ванних полум'яних і електричних печей обмежено. Вагранка – шахтна циліндрична піч з листової сталі, футерована зсередини шамотною цеглою. Охолодження шахти в зоні плавлення проводиться за допомогою водяної сорочки. Максимальна температура газів у вагранці становить 1 700 °С і вище, що залежить від інтенсивності горіння коксу. В'язкість витікаючого розплаву становить не більше 2,0…2,5 Па·с, що регулюється за допомогою плавнів, які додаються в шихту.

Зараз відомо кілька способів переробки розплавів у мінеральну вату, але до основних належать дуттьовий і відцентровий.

При дуттьовому способі розплав потрапляє на жолоб і розсікачі. Вертикальний струмінь розплаву розбивається струменем пари чи повітря, що надходять до сопла під тиском 6…8 атм (0,6…0,8 МПа) і виходять із сопла зі швидкістю 700…800 м/с. При зустрічі зі струменем розплаву утворюються краплі, що витягаються в циліндрики й грушоподібні тіла, зв'язані ниткою. Подальше подовження грушоподібних тіл приводить до утворення ниток з розплаву при роздмухуванні. Частина волокон не встигає оформитися і залишається близькою за формою до крапель-кульок, що називаються корольками. Із збільшенням тиску і швидкості витікання зменшується кількість небажаних корольків у ваті. Волокна, що утворилися при роздмухуванні, захоплюються в спеціальну камеру і там осаджуються. Внизу камери встановлений сітчастий транспортер, що закінчується

валиками для підпресовки вати. Для надання еластичності волокна обприскують олією чи бітумом, завдяки чому вата набуває форми матів, плит та ін.

В процесі переробки розплаву відцентровим способом струмінь спрямовується на горизонтально розташований диск із радіальними насічками (канавками). Диск насаджений на вертикальний вал, що від мотора передає обертальний рух диску зі швидкістю 3 500…4 000 об/хв. Під впливом відцентрової сили струмінь, що стікає по канавках з диска, розкидається у вигляді найтонших ниток, що притискаються стисненим повітрям до корпусу установки. Волокно з відцентрової установки переносять до преса і пресують його разом чи направляють на формування виробів.

Якість мінеральної вати характеризується: середньою густиною – від 50 до 125 кг/м^3, пористістю – до 90 %, теплопровідністю – 0,038…0,043 Вт/(м·К) за температури 25 ± 5 °С.

Дуттьовим і відцентровим способами одержують також скловату, а спрямоване скловолокно виготовляють способом безупинного витягування нитки з отвору (фільєр) жаротривкої пластини (фільєрний спосіб). Одержувані нитки відрізняються високою міцністю під час розтягу: при діаметрі 4…5 мкм міцність становить до 50 МПа.

Способом розпушування одержують азбест, а потім азбестовий матеріал, що є хорошим теплоізолятором, особливо у вигляді азбестового паперу, картону, повсті, а також пластичних сумішей і виробів на основі в'яжучих.

Відомий ще один спосіб поризації теплоізоляційних матеріалів – *спосіб вигоряючих органічних речовин*, що уводяться в сировину як пороутворювальні домішки, зокрема, для виробництва керамічних теплоізоляційних виробів. До керамічної сировини – діатоміту, трепелу, глини і т. ін. – додають тирсу, дроблене вугілля, торф, лігнін тощо, а для дрібної і рівномірної пористості – нафталін, що під час нагрівання повністю випаровується. На вигорянні органічного «ядра» зі сферичної мінеральної оболонки базується виробництво порожнистого кулястого заповнювача – керамічного вакуліту (рис. 15.2).

Перевага цього способу полягає в тому, щоб використовувати сировину, що неспучується, з огляду на дефіцитність глин, що спучуються. Насипна густина вакуліту, використовуваного в теплоізоляційному та конструкційно-теплоізоляційному легкому бетонах, до 300 кг/м^3.

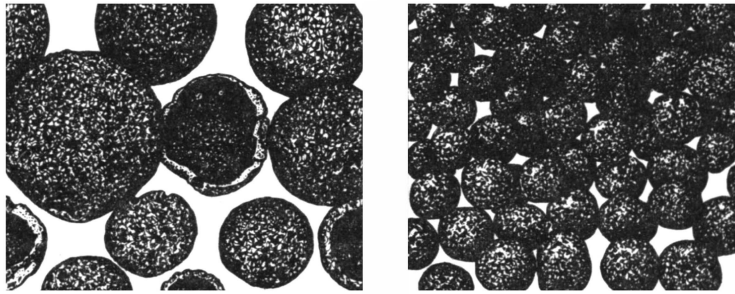


Рис. 15.2. Вакуліт різного розміру

15.3. Неорганічні теплоізоляційні матеріали і вироби

До групи неорганічних теплоізоляційних матеріалів належать: мінеральна й скляна вата і вироби з них; ніздрювате скло (піноскло); легкі бетони із застосуванням спучених перліту та вермикуліту; ніздрюваті теплоізоляційні бетони; азбестові й азбестовмісні матеріали; керамічні теплоізоляційні вироби й вогнетривкі пористі матеріали. Відмітною рисою неорганічних теплоізоляційних матеріалів є їх достатня вогнестійкість, мала гігроскопічність, несхильність до загнивання, низька теплопровідність.

Мінеральна вата застосовується для теплоізоляції холодних (до –200 °С) і гарячих (до 600 °С) поверхонь. Укладання вати шаром – порівняно трудомісткий процес, тому її частіше у разі засипної ізоляції перетворюють у гранули в обертовому дірчастому барабані. Однак основними видами виробів із застосуванням мінеральної вати є плити напівжорсткі й жорсткі на бітумному й синтетичному (полімерному) в'яжучому (рис. 15.3). Бітуми для плит напівжорстких, м'яких і повсті застосовуються з температурою розм'якшення 50 °С і вище, із синтетичних смол найбільше застосування має фенолоформальдегідна водоемульсійна чи сечовиноформальдегідна смола. Волокна мінеральної вати змішують із в'яжучим і з отриманої маси під стиском і нагріванням формують вироби.

З мінеральної вати виготовляють плити теплоізоляційні (рис. 15.3) на зв'язувальній речовині марок 50, 75, 125, 175, 200, 300 (за середньою гус-

тиною). Довжина плит 1000 мм, ширина 500; 1000 мм; товщина від 60 до 100 мм. Межа міцності під час стиску (при 10 %-вій деформації) повинна бути не менше 0,04 МПа для марки 300; межа міцності під час розтягу – не менше 0,01 МПа для марок 50 і 75; межа міцності під час вигину – не менше 2 і 4 МПа відповідно для марок 200 і 300. Вміст синтетичного в'яжучого від 1,5 до 8 % для плит різних марок.

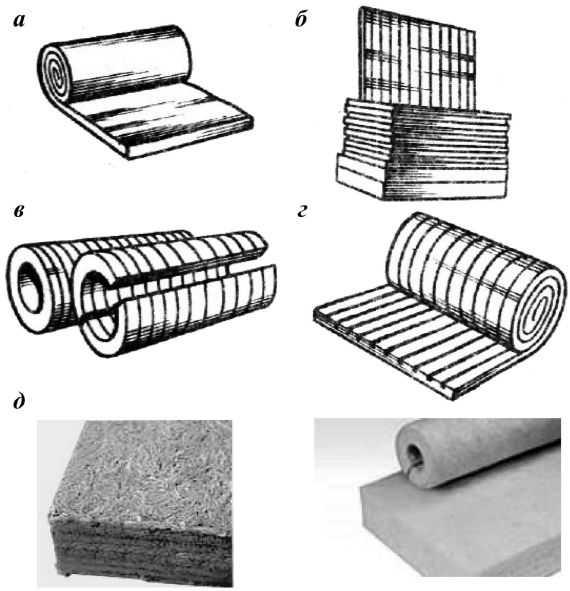


Рис. 15.3. Мінеральна вата та готові елементи теплоізоляції з неї, скляна вата:
а – мінеральний войлок; *б* – напівжорсткі плити; *в* – напівциліндри; *г* – прошивний мат; *д* – скляна вата та вироби з неї

Теплоізоляційні плити з мінеральної вати на бітумній зв'язувальній речовині випускають марок 75, 100, 150, 200, 250. Теплопровідність плит першої категорії якості за температури 25 ± 5 °С повинна бути не більше 0,046…0,064 Вт/(м·К). Межа міцності на розтяг при згині для плит марок 200 і 250 першої категорії якості відповідно не менше 0,10 і 0,12 МПа, а межа міцності на розтяг при згині для плит марок 75 і 100 відповідно не менше 0,075 і 0,08 МПа. Вміст бітумної зв'язувальної речовини в плитах різних марок 5…18 %.

Плити мінераловатні підвищеної жорсткості, виготовлені за технологією мокрого формування гідромаси чи пульпи, повинні мати середню густину не більше 200 кг/м^3, теплопровідність – не більше 0,052 Вт/(м·К) при витраті синтетичного зв'язуючого не більше 10 %, межа міцності при стиску (при 10%-вій деформації) – не менше 0,1 МПа.

До напівжорстких, гнучких мінераловатних виробів відносять плити і шкарлупи, мати і повстяні вироби, одержувані ущільненням вати, обробленої бітумом чи синтетичною зв'язувальною речовиною. Прошивні мати випускають довжиною до 2 500 мм, шириною до 1 000 мм і товщиною 40…120 мм. За середньою густиною вони поділяються на марки 75, 100, 125, 150, а прошивають їх суровими нитками, шпагатом, скляними нитками або дротом. Ці мати випускають з обкладинами з однієї чи двох сторін або без обкладин. Обгорткові матеріали: пакувальний папір, металеві сітки, тканини азбестові, склосітки й ін. Як і інші вироби, теплоізоляційні матеріали повинні мати певну міцність, хоча і не високу, але достатню для монтажних робіт і збереження форми виробів.

З мінеральної вати на синтетичній зв'язувальній речовині виготовляють циліндри й напівциліндри для теплоізоляції трубопроводів з температурою поверхні від –180 до +400 °С. За середньою густиною вони підрозділяються на марки: 100, 150, 200. Довжина їх 500,1 000 мм, товщина 40…80 мм, внутрішній діаметр 18…219 мм. Теплопровідність при 25 °С – 0,041…0,045 Вт/(м·К), а при 125 °С – 0,058 Вт/(м·К). Межа міцності при розтягу для виробів різних марок не менше 0,015…0,025 МПа.

Скляна вата (див. рис. 15.3, *б*) і вироби з неї мають приблизно ті ж властивості, що і мінеральні. Цей різновид вати застосовують для теплоізоляції поверхонь промислового устаткування, трубопроводів з температурою до 450 °С; вироби у вигляді плит, матів, шкарлуп – для теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівель і поверхонь промислового устаткування за температури до 200…450 °С залежно від в'яжучого. За призначенням і середньою густиною вони підрозділяються на марки: ПЖС-175 і ПЖС-200 (плити жорсткі будівельні); ППС-50 і ППС-75 (плити напівжорсткі будівельні); ППТ-40; ППТ-50; ППТ-75 (плити напівжорсткі технічні); МС-35, МС-50 (мати будівельні); МТ-35 і МТ-50 (мати технічні). За згодою зі споживачем вироби можуть бути обклеєні з одного чи двох боків склотканиною, алюмінієвою фольгою, синтетичною плівкою й іншими матеріалами. Вони можуть використовуватися також у звукоізоляційних і звуковбирних конструкціях.

Ніздрювате скло – блоки і плити одержують із подрібненого в порошок скла (скляного бою, ерклезу) у суміші з газоутворювачем (вапняком, антрацитом) при випалюванні (900…1 000 °С). Марки за середньою густи-

ною 200 і 300, теплопровідність при 25 °С – 0,09…0,10 Вт/(м·К), границя міцності при стиску 0,5…3,0 МПа. Плити мають пористість до 85…95 %, довжину 500 мм, ширину 400 мм, товщину 80…140 мм. Їх застосовують як теплоізоляцію огороджувальних будівель (вкладиші в стінових панелях). Вони поглинають не тільки теплоту, але й звукові хвилі.

Спучені перліт і вермикуліт є ефективними сипучими теплоізоляційними матеріалами для засипання і набивання пустот, але особливо часто використовуються як заповнювачі легких бетонів і розчинів, застосовуваних у монолітному й збірному будівництві. Зі спученого перліту із застосуванням мінеральних чи органічних зв'язувальних речовин одержують жаротривкий перлітобетон з частковим уведенням в нього меленого перліту за температур 500…700 °С; перлітобетон – без додавання перлітового меленого борошна; полівінілацетатоперліт; сечовиноформальдегідоперліт та ін.; вироби з керамзитоперлітобетону, силікатоперліту, гіпсоперліту, перлітоцементу, перлітобітуму. Зі спученого вермикуліту в нашій країні виготовляють азбестовермикулітоперлітові плити й сегменти й азбестовермикулітові плити, шкарлупи й сегменти на основі в'яжучих речовин, азбесту й інших домішок. Вермикулітобетон марки 50 застосовують для виготовлення тришарових панелей. Із застосуванням спучених перліту й вермикуліту можна одержувати штучні будівельні конгломерати будь-якого складу й за в'яжучою речовиною, і за додаванням інших видів заповнюючих компонентів. Однак дослідження показують, що загальні закономірності при оптимальних структурах поширюються на всі виготовлені композиції.

Ніздрюваті бетони й силікати застосовують як теплоізоляційні матеріали і вироби при середній густині нижче 400 кг/м^3. За видом використаного пороутворювача і в'яжучої речовини ці ШБК називають газобетонами, газосилікатами, пінобетонами, піносилікатами. Ці бетони можуть бути зі змішаним пороутворювачем – піногазобетон, піногазосилікати, керамзитопінобетони та ін. З ніздрюватих бетонів звичайно виготовляють плити довжиною до 1000 мм, шириною 400, 500, 600 мм, товщиною 80…240 мм. Їх марки за середньою густиною 350 і 400 кг/м^3, а границя міцності під час стиску для виробів першої категорії якості не менше 0,7…1 МПа і ≥ 0,8 МПа для виробів вищої категорії якості, теплопровідність у сухому стані за температури 25°С становить 0,093…0,104 Вт/(м·К) і менше. Плити з ніздрюватих бетонів застосовують для теплоізоляції стін і перекриттів, вкриття поверхонь заводського устаткування й трубопроводів (пластичні бетони й розчини).

Азбестові й азбестовмісні теплоізоляційні матеріали представлені азбестовим папером, картоном, шнурами різного діаметра й ін., плитами,

шкарлупами, сегментами й ін., мастичними ізоляціями із застосуванням порошків.

Штучні азбестоцементні теплоізоляційні вироби виготовляють із суміші розпушеного азбесту і цементу не нижче марки 300 за допомогою пресування й сушіння. Допускається часткова заміна азбесту мінеральною ватою, а цементу – вапняно-трепельною в'яжучою речовиною. Вироби у вигляді плит (1 000 × 500 × 30 мм), шкарлуп (довжиною 500 мм при товщині 30…40 мм) і сегментів (довжиною 500 мм при товщині 50…80 мм) виготовляються за середньою густиною марок 400 і 450, міцністю під час згину відповідно 0,2 і 0,25 МПа і теплопровідністю 0,08…0,09 Вт/(м·К). Використовуються для теплової ізоляції поверхонь промислового устаткування і трубопроводів за температури до 450 °С (рис. 15.4).

З меншою середньою густиною одержують азбестовермикулітові вироби шляхом пресування й сушіння гідромаси, що складається з азбесту, спученого вермикуліту і зв'язувальних речовин. За середньою густиною (кг/м^3) передбачено три марки азбестовермикуліту – 250, 300 і 350 . Довжина плит 500 і 1 000 мм, ширина 500, товщина 40… 100 мм, шкарлупи й сегменти мають довжину 500 мм, товщину 40 і 50 мм. Їх застосовують за температури ізолюючих поверхонь до 600 °С (рис. 15.5). Границя міцності під час згину – не менше 0,18…0,25 МПа (для різних марок), вологість – не більше 5 %.

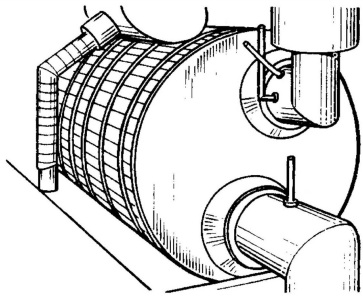


Рис. 15.4. Теплова ізоляція промислового устаткування за допомогою азбестоцементу

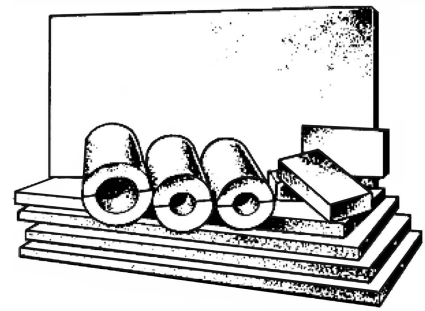


Рис. 15.5. Вироби з азбестовермикуліту

Багато азбестовмісних теплоізоляційних матеріалів, крім азбестового волокна, містять 70…85 % наповнювача – діатоміту, трепелу, магнезиту й ін. Доцільною домішкою в таких сумішах служать відходи азбошифер-

ного виробництва. Представниками цієї групи матеріалів є азбестотрепельні (азбозурит, азботерміт), азбестовапнянодіатомітові (вулканіт), іноді з частковою заміною азбесту гіпсом, азбестомагнезіальні (ньювель), азбестодоломітові (совеліт) й ін. Із застосуванням цих матеріалів виготовляють головним чином мастичну ізоляцію, рідше – вироби. Свіжовідформовані вироби направляють у сушильні камери, у яких вони висихають за температури 200°С. Плити маркують залежно від середньої густини, визначають їх міцність і теплопровідність.

Особливо часто совелітові плити (рис. 15.6), шкарлупи й сегменти використовують за температур не вище 550 °С (початок розкладання вуглекислого кальцію, що міститься у висушеному совеліті). Широко застосовують також інші різновиди азбестовмісних матеріалів.

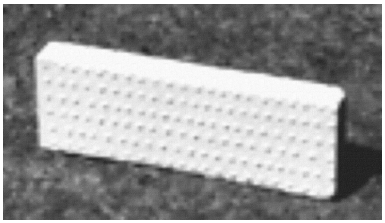


Рис. 15.6. Азбестовмісні (совелітові) плити

15.4. Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби

Органічні теплоізоляційні матеріали виготовляють із застосуванням рослинної сировини і відходів (побічних продуктів) лісового й сільського господарства. Для цього ефективно використовуються деревна стружка, обаполи, рейки, тирса, очерет, костриця, торф, пачоси льону, коноплі й ін.

До основних теплоізоляційних матеріалів із застосуванням рослинної сировини належать деревностружкові, деревноволокнисті, фіброліт, арболіт, комишит, торф'яні, повстяні (повсть, клоччя, шевелін та ін.).

Деревностружкові плити (ГОСТ 10632) – штучний будівельний конгломерат у формі плит, виготовлений гарячим пресуванням із суміші подрібненої деревної стружки з полімерними речовинами, що виконують функції зв'язувального компонента. Як в'яжуче застосовують термореактивні смоли: сечовиноформальдегідні, фенолоформальдегідні й ін. Для поліпшення властивостей плит у них уводять гідрофобізуючі (парафінова емульсія), антисептуючі й інші домішки. Кількісні співвідношення компонентів встановлюють з тим розрахунком, щоб у даних технологічних умовах отримувати плити оптимальної структури, але звичайно вміст

органічної сировини – до 85…90 % за масою. Деревностружкові плити розрізняють за середньою густиною на легкі – із середньою густиною 250…400 кг/м^3, напівважкі – з середньою густиною 400…800 кг/м^3 і важкі – 800 до 1 200 кг/м^3. Зрозуміло, що з теплоізоляційною метою використовують легкі плити, їх коефіцієнт теплопровідності від 0,046 до 0,093 Вт/(м·К). Більш важкі деревностружкові плити міцністю під час згину від 5 до 35 МПа застосовують як оздоблювальний матеріал. Плити кріплять до конструкцій на цвяхах і за допомогою спеціальних мастик. На відміну від ділової деревини для одержуваних плит характерна ізотропність за властивостями і структурою, що полегшує їх використання в будівництві.

Деревноволокнисті плити (ГОСТ 87400) – різновид ШБК, виготовляються з відходів деревини шляхом її подрібнення в рубильній (січній) машині й розщеплення в дефібраторі у волокнисту масу. До деревної маси додаються поліпшувальні, наприклад гідрофобізуючі (парафінова емульсія), чи антисептуючі речовини, і з неї відливаються плити. Їх пресують і сушать за температури до 165…180 °С.

Залежно від границі міцності при згині і технологічних особливостей виготовлення деревноволокнисті плити розділяють на надтверді (НТ), тверді (Т), напівтверді та м'які, а також тверді плити оздоблювальні, що мають різне призначення. Тверді плити мають середню густину не менше 850 кг/м^3, а міцність під час згину – не менше 3,5…4 МПа. Для теплоізоляції використовуються м'які плити із середньою густиною не більше 150…350 кг/м^3 з теплопровідністю не більше 0,064…0,1 Вт/(м·К) (у сухому стані). Розмір м'яких плит: довжина 1200…3 000 мм, ширина 1 200…1 700 мм, товщина 8, 12, 16 і 28 мм, границя міцності під час згину не менше 0,4; 1,2; 2,0 МПа (відповідно для марок М-4, М-12, М-20).

Деревноволокнисті плити використовують в будівництві як ізоляційний матеріал, який не вражається домовим грибком, для обшивання стін і стель (називається суха штукатурка з оргаліту), утеплення покрівельних покрить, дверних прорізів і т. ін. Вони кріпляться до конструкцій за допомогою спеціальних мастик, цвяхів або шурупів. За необхідності їх розмір може бути збільшений, наприклад до 3 × 1,6 м, що прискорює будівельні роботи на об'єкті (рис. 15.7). Деревноволокнисті плити тверді з лакофарбовим покриттям (декоративні з друкованим малюнком або одноколірні) застосовують для оздоблення житлових, громадських, промислових будівель, транспорту, меблів, дверних полотен.

Фіброліт є ШБК, виготовленим на основі неорганічних в'яжучих речовин (портландцементу, магнезіальних в'яжучих) із застосуванням як армувального заповнювача деревної шерсті. Так називають тонку деревну

стрічкоподібну стружку спеціального призначення, одержувану на верстатах з коротких відрізків сосни, ялини, липи, берези чи осики. Деревну шерсть піддають «мінералізації», тобто обробці хімічними речовинами (хлористим кальцієм, рідким склом, сірчанокислим глиноземом та ін.). Мінералізатори, проникаючи в деревну вовну, зменшують шкідливу дію цукрів, що містяться в деревині. Після мінералізації деревну шерсть змішують з певною кількістю в'яжучої речовини і води і під тиском до 0,5 МПа формують із суміші плити. Відформовані плити протягом доби тверднуть у пропарювальних камерах при нормальному тиску і температурі 30…35 °С з подальшим їх сушінням до вологості не більш 20 %.

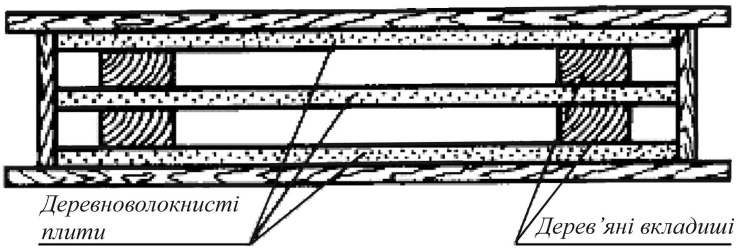


Рис. 15.7. Розріз стіни, утепленої деревноволокнистими плитами

У нашій країні щорічно випускається до 3 млн м^3 фіброліту, тому велику увагу приділяють поліпшенню його якості. Дослідженнями встановлено, що цементний камінь у фіброліті оптимальної структури, особливо в контактних зонах, має підвищений вміст гідратних новоутворень $Ca(OH)_2$, $2CaO{\cdot}SiO_2{\cdot}2H_2O$, $3CaO{\cdot}AlO_3{\cdot}3CaSO_4{\cdot}31H_2O$, $CaCO_3$, $3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}CaCl{\cdot}10H_2O$ у порівнянні з цементним каменем при неоптимальній структурі фіброліту. У зв'язку з цим забезпечується підвищення міцності цементного каменю як каркаса фіброліту. Так, за даними М. М. Чернова, щільність, міцність, модуль пружності фіброліту оптимальних структур як при короткочасному, так і при тривалому впливі навантаження в 1,2…1,4 разу перевищують показники цього матеріалу, що не має оптимальної структури.

Звичайна довжина плит 3 000 і 2 400 мм, ширина 600 і 1 200 мм при товщині від 30 до 150 мм. Плити розділяють за середньою густиною (у кг/м^3) на марки 300 (тобто теплоізоляційний фіброліт), 400 і 500 (теплоізоляційно-конструкційний фіброліт) з межею міцності під час згину не менше 0,35…1,3 МПа залежно від марки й товщини плити й теплопровідністю не більше 0,08…0,10 Вт/(м·К).

Використовується фіброліт для утеплення стін і покрить. Стіна з фібролітових плит товщиною 15 см рівноцінна за термічним опором цегляній стіні з двох цеглин.

Арболіт – ШБК, одержаний із правильно підібраної суміші цементу, деревного заповнювача, хімічних домішок і води. За своєю структурою він являє собою різновид легкого бетону, матричною частиною у якому є цементний камінь. Існують обґрунтовані пропозиції про заміну портладцементу, який піддається корозії в результаті дії екстрактивних речовин і целюлози з утворенням водорозчинних цукратів кальцію, на високоміцний гіпс (α-модифікація гіпсу). У цьому випадку в окремих районах може знадобитися штукатурний шар по арболітовій огороджувальній конструкції, тому що гіпс не водостійкий матеріал. Водночас практично відпадає необхідність у замочуванні деревної дробленки й тріски в мінералізаторах – водних розчинах хлористого кальцію чи розчинного силікатного скла. Приклад технологічної схеми виготовлення арболітових виробів способом силового вібропрокату наведений на рис. 15.8. Потужність заводу з такою технологією становить до 40 тис. $м^3$ за рік.

Виготовляєть арболіт теплоізоляційний із середньою густиною до 500 $кг/м^3$ і конструкційним із середньою густиною 500…850 $кг/м^3$. Марки теплоізоляційного арболіту М5, М10, М15. Марки конструкційного арболіту М25, М35, М50. Теплопровідність арболіту коливається в межах 0,07…0,17 Вт/(м·К) залежно від виду заповнювача (деревний, стебла бавовнику, солома й ін.), а міцність під час згину – від 0,4 до 1,0 МПа. Цей матеріал застосовується в стінових конструкціях і як теплоізоляція в стінах, перегородках і покриттях будівель, особливо малоповерхових сільськогосподарського призначення.

Комишит і комишитові плити одержують зі стебел очерету й тростини шляхом пресування і скріплення сталевим дротом поперек стебел. Застосовуються для заповнення каркасних стін і перегородок.

Очерет є рослинною речовиною, за хімічним складом він близький до деревини. Стебла очерету містять до 43 % целюлози, 24 % лігніну і понад 20 % пентазанів, тому комишит піддається загниванню в умовах підвищеної вологості. Можлива і корозія дроту, що скріплює плити.

Комишитові плити виготовляють довжиною 2 400…2 600 мм, шириною 550…1 500 мм, товщиною 30…100 мм. Залежно від ступеня підпресування середня густина плит коливається в межах 175…250 $кг/м^3$ при теплопровідності від 0,055 до 0,095 Вт/(м·К). З теплоізоляційних матеріалів комишит найдешевший, але менш вогнестійкий: зпресований, він не горить відкритим полум'ям, але може тривалий час жевріти.

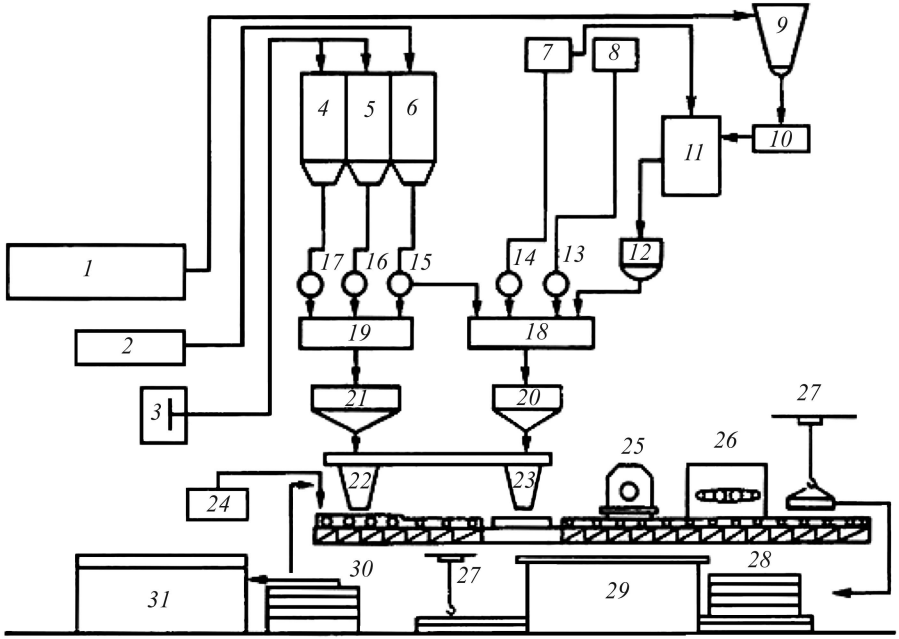


Рис. 15.8. Технологічна схема виготовлення арболітових виробів способом силового вібропрокату:

1 – цех підготовки деревної дробленки; *2* – склад цементу; *3* – склади щебеню і піску; *4* – бункер для щебеню; *5* – бункер для піску; *6* – бункер для цементу; *7* – бак для води; *8* – бак для розчину хлористого кальцію; *9* – бункер деревної дробленки; *10* – ваги; *11* – ванна для замочування дробленки; *12* – пересипний бункер; *13* – дозатор для розчину хлористого кальцію; *14* – дозатор води; *15* – дозатор цементу; *16* – дозатор піску; *17* – дозатор щебеню; *18* – змішувач для арболітової суміші; *19* – бетонозмішувач; *20* – бункер для арболітової суміші; *21* – бункер для бетонної чи розчинної суміші; *22* – бетоно- чи розчиноукладальник; *23* – арболітоукладальник; *24* – арматурне відділення; *25* – вібровалок; *26* – прокатна секція; *27* – кран-балка; *28* – стопа арболітових виробів; *29* – камера термообробки; *30* – пост розпалубки; *31* – склад готової продукції, тобто плит арболіту, оздоблених по обидва боки шарами бетону чи розчину

Його істотні недоліки – схильність до псування гризунами, загнивання і погана пробійність. Необхідно оштукатурення комишитових стін і перегородок по обидва боки. У сухих умовах ці плити в конструкціях вважаються довговічним матеріалом. Як антисептуючі речовини використовуються фтористий натрій, кремнефтористий амоній та ін. Транспортують плити у критих вагонах чи під брезентом плиском і без звисання кінців.

Торф'яні теплоізоляційні плити, *шкарлупи і сегменти* роблять з малорозкладеного торфу, що зберіг волокнисту будову. З цією метою торф'яну масу доводять змішуванням до однорідного стану з додаванням (чи без додавання) антисептиків, антипіренів, гідрофобізаторів і використовують шляхом заповнення металевих форм і подальшого пресування. Відпресовані вироби піддають тепловій обробці за температури 120…150 °С. У процесі теплової обробки з торфу виділяються смолисті речовини, що склеюють волокна без уведення будь-яких додаткових в'яжучих речовин. Розміри плит 1 000 × 500 × 30 мм (випускаються плити і шириною 1 000 мм), марки за середньою густиною: 170, 200, 230, 260, що забезпечує величину теплопровідності в межах 0,052…0,075 Вт/(м·К), а границя міцності під час згину – не менше 0,4 МПа.

Торф'яні плити застосовують для утеплення стін і перегородок у будівлях III класу, а також для ізоляції поверхонь промислового устаткування і трубопроводів за температур у межах від –60 до +100 °С, однак варто враховувати їх високу гігроскопічність і водопоглинання.

Повстяні матеріали виготовляють із грубої кінської чи коров'ячої шерсті з домішкою льняного клоччя. Клоччя являє собою зплутане волокно, одержане як відхід при митті («тіпанні») льону. У м'якому клоччі допускається невеликий вміст костриці, але не повинно бути гнильного запаху. Вовняну повсть випускають у вигляді прямокутних полотнищ довжиною 1 і 2 м, шириною 1 м при товщині 10 і 15 мм. Їх середня густина 100…300 кг/м^3, теплопровідність 0,045…0,065 Вт/(м·К). Повсть використовують для утеплення стін і стель, поміщаючи її під штукатурку, яку влаштовують по деревній драні, для утеплення віконних і дверних коробок, зовнішніх дверей і кутів у рубаних будівлях.

Повсть не гниє і не горить, але вона може жевріти, має значне водопоглинання, служить середовищем для розмноження молі. Використовують клоччя просмолене (ущільнення пазів водогосподарських споруд) і непросмолене (для конопачення брусованих стін).

Найпростішим теплоізоляційним матеріалом із льняного клоччя служить шевелін: між двома листами безпокривного толю чи пергаміну міститься шар клоччя. Шевелін прошивають по довжині міцними круче-

ними нитками. Довжина полотнища становить 25 м, ширина 1 м, товщина 12,5 і 25 мм; полотнища скручують у рулони. Середня густина шевеліну 100…150 кг/м^3, теплопровідність – близько 0,05 Вт/(м·К). Використовується цей найпростіший теплоізоляційний матеріал для утеплення стін і перекриттів у полегшеному будівництві.

15.5. Полімерні теплоізоляційні матеріали

Полімерні теплоізоляційні матеріали класифікують за структурою, формою, видом основної сировини, середньою густиною, теплопровідністю та стискуваністю (ГОСТ 16381).

Полімерні матеріали, що мають ніздрювату структуру, яка може бути представлена системою ізольованих пор, називають *пінопластами*, сполучених пор – *поропластами*, а регулярно повторюваних порожнин – *сотопластами*. Такий поділ пористих пластмас є умовним, оскільки зазвичай не вдається одержати матеріали з одним типом пор.

Промисловість випускає різноманітні за формою теплоізоляційні матеріали: рулонні, штучні, сипкі та шнурові.

Полімерні теплоізоляційні матеріали поділяють також за жорсткістю (за стискуваністю під навантаженням 0,002 МПа) на м'які (понад 30 %), напівжорсткі (6…30 %) та жорсткі (до 6 %).

Для будівельної теплоізоляції застосовують жорсткі пластмаси, які мають границю міцності при 50 %-ній деформації понад 0,15 МПа. Їх одержують з термопластичних та термореактивних полімерів хімічними та фізичними способами (ДСТУ Б В.2.7-8-94).

З жорстких пластмас виготовляють теплоізоляційні плити. Наприклад, плити «Піноплекс» довжиною від 1 200 до 4 500 мм та шириною 600 мм виготовлені методом екструзії з пінополістиролу. Залежно від середньої густини, яка змінюється від 30 до 50 кг/м^3, матеріал має міцність під час стиску 0,25…0,5 МПа, водопоглинання 0,4…0,1 %, коефіцієнт теплопровідності 0,028…0,03 Вт/(м·К), діапазон робочих температур –50…+75 °С. Застосовують плити «Піноплекс» для теплоізоляції підлог, стін громадських, житлових і промислових будівель.

За хімічним способом поризації структура ніздрюватого матеріалу утворюється в процесі термічного розкладання газоутворювачів або взаємодії компонентів композиції, за фізичним – внаслідок інтенсивного

розширення розчинних газів зі зниженням тиску чи підвищенням температури, а також їх механічного диспергування.

Без спінювання одержують сотопласти. Їх виготовляють, склеюючи в блоки гофровані аркуші паперу чи шматки тканини, просочені полімером.

Густина ніздрюватих пластмас залежить від виду полімеру та вмісту газоутворювача. Середня густина теплоізоляційних пластмас становить 10…200 кг/м^3. Теплопровідність пластмас, застосовуваних для теплоізоляції, нижча, ніж теплопровідність інших неорганічних та органічних теплоізоляційних матеріалів. Вона становить 0,026…0,045 Вт/(м·К). За однакової структури матеріалу теплопровідність певною мірою залежить від величини пор.

Особливістю теплоізоляційних полімерних матеріалів є обмежена температуростійкість (60…70 °С), яку потрібно враховувати для визначення можливості їх застосування.

Теплоізоляційні матеріали, одержувані на основі полімерів, характеризуються значною легкістю, малою теплопровідністю і достатньою механічною міцністю. Зараз особливий інтерес становлять «заливальні» піно- і пороласти на основі фенолформальдегідних і поліуретанових полімерів. Утворення теплоізолюючого прошарку піно- чи пороласту безпосередньо у ході виготовлення стінових панелей значно спрощує й здешевлює проведення робіт.

Пінополістирол має пористу структуру із замкнутими осередками, заповненими повітрям чи газом (азот та ін.). Сировиною для виготовлення пінополістиролу служить суспензійний полістирол і порофор як спінювальний компонент.

Цей різновид пінопласту випускають у вигляді плит, виготовлених безпресовим способом, марок ПСБ-С (з антипіреном) і ПСБ (без нього) чи фасонних виробів трьох марок: ПС-1, ПС-4 і ПС-6. Пінополістирол характеризується такими значеннями фізико-механічних властивостей: середня густина плит знаходиться в межах 20…40 кг/м^3, теплопровідність 0,035…0,04 Вт/(м·К), границя міцності під час згину до 0,18 МПа, водопоглинання за об'ємом – не більше 2…5 % за 24 год. Пінополістирол не піддається гниттю, легко пробивається і склеюється з багатьма будівельними матеріалами (рис. 15.9). Він використовується в конструкціях сполучених покрівель, у будівництві холодильників, для улаштування внутрішніх перегородок, міжповерхових перекриттів і вентиляційних каналів.

Пінополівінілхлорид – жорсткий, еластичний чи напівеластичний пінопласт. Плитковий жорсткий пінопласт ПХВ-1 – легка газонаповнена

пластмаса рівномірної замкнутопористої будови. Довжина й ширина плит 500 мм при товщині не менше 45 мм. Ці плити стійкі до дії кислот, лугів, води й можуть бути використані в інтервалі температур від –60 до +60 °С. Середня густина ПХВ-1 70…130 кг/м^3, границя міцності під час стиску (перпендикулярно площині плити) 0,4…7 МПа, водопоглинання за 24 год не більше 0,3 %, теплопровідність – 0,04 Вт/(м·К).

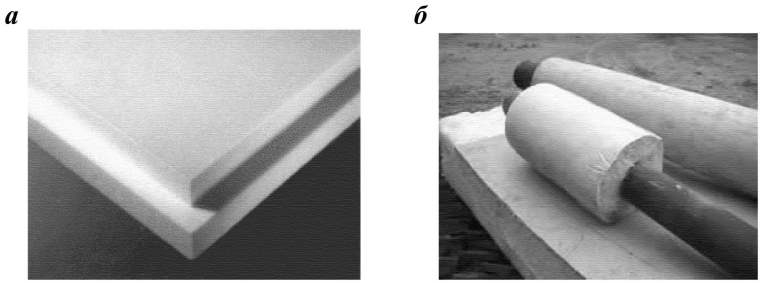


Рис. 15.9. Вироби з пінополістирола:
а – плити; *б* – циліндри для ізоляції труб

Пінополівінілхлорид широко застосовується для термоізоляції холодильників, рефрижераторів, а також із звукоізоляційною метою нарівні з пінополістиролом.

Пінополіуретани – газонаповнені пінопласти, які отримують на основі поліефірів і дизоціанатів. Випускають їх у вигляді плит розміром 500 × 500 × 50 мм. Такі пінопласти можуть бути застосовані в інтервалі температур від –60 до +170 °С. Пінополіуретани мають середню густину 100…200 кг/м^3, теплопровідність – 0,06 Вт/(м·К); границя міцності їх під час стиску становить від 0,55 до 2,2 МПа.

Жорсткі пінополіуретани можна обробляти на токарських верстатах, пиляти, свердлити, пробивати. Пінополіуретан застосовують як тепло- і звукоізоляційний матеріал у вигляді шкарлуп і сегментів.

Плити теплоізоляційні з пінопласту на основі резольних фенолоформальдегідних смол застосовують у огороджувальних конструкціях, за температури поверхонь, які ізолюються, не більше 130 °С. Це важкоспалимі вироби марки за середньою густиною 50, 75, 100. Розміри плит: довжина – від 600 до 3 000 мм, ширина – 500…1 200 мм, товщина – 50…150 мм. Границя міцності під час згину – не менше 0,08…0,26 МПа (залежно від марки), теплопровідність – не більше 0,038…0,043 Вт/(м·К), вологість при відвантаженні плит усіх марок – не більше 20 % за масою.

Вироби теплоізоляційні з пінопласту марок ФРП-І і резонен застосовують у вигляді циліндрів, напівциліндрів, сегментів і відводів. Вони мають середню густину в сухому стані 65…110 кг/м^3. Внутрішній діаметр циліндрів 47…221 мм, номінальна товщина 30, 40, 50, 60 мм і довжина 1 000 і 1 500 мм.

Циліндри застосовують для теплоізоляції трубопроводів діаметром 45…219 мм, напівциліндри – для ізоляції трубопроводів діаметром 45…273 мм, сегменти – для трубопроводів діаметром 325…1 020 мм.

Стільникопласти – тепло- і звукоізоляційні матеріали, одержані шляхом гарячого формування гофрованих листів паперу, тканини чи деревної шпони, попередньо просочених фенолформальдегідним резольним полімером (рис. 15.10).

Фізико-механічні властивості стільникопластів залежать в основному від форми й розмірів стільників і від природи матеріалу, що утворює стінки порожнин. Завдяки невисокій вартості й малій теплопровідності найбільш широкого застосування в будівництві набули стільникопласти з наповнювачем з бавовняних тканин і паперу. Для поліпшення теплотехнічних показників матеріалу комірки-стільники заповнюють подрібненим пінопластом чи скловатою. Стільникопласти застосовують найчастіше як проміжний шар при виготовленні тришарових високоміцних панелей.

Міпора – легкий, тепло- і звукоізоляційний матеріал у вигляді затверділої піни чисто-білого кольору (рис. 15.11). Сировиною для міпори служать сечовиноформальдегідні полімери, 10 %-вий розчин сульфанафтенових кислот і деякі домішки.

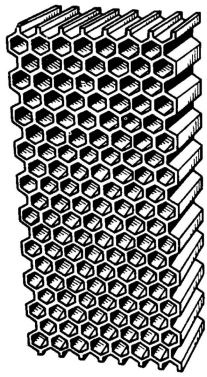


Рис. 15.10. Стільникопласт

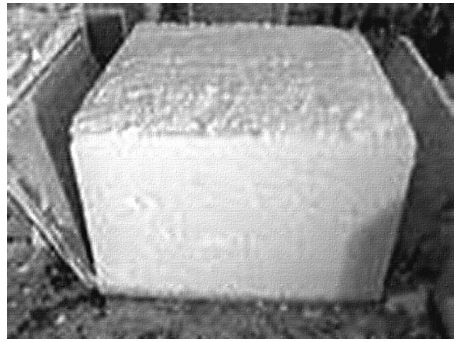


Рис. 15.11. Міпора

Міпору випускають блоками об'ємом від 0,005 до 0,100 $м^3$ (при товщині 10 і 20 см) чи у вигляді плиток.

Основні фізико-механічні властивості міпори: середня густина 10…20 $кг/м^3$, коефіцієнт теплопровідності 0,03 Вт/(м·К). Міпору найчастіше використовують як теплоізоляційний заповнювач і звуковбирний матеріал у каркасних конструкціях.

Для підвищення водостійкості міпору обклеюють вологонепроникними пластмасовими плівками, які захищають міпору від руйнування.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які матеріали належать до теплоізоляційних? Застосування теплоізоляційних матеріалів у транспортному і цивільному будівництві.
2. За якими ознаками класифікують теплоізоляційні матеріали?
3. Яка залежність між структурою будівельних матеріалів і їх теплопровідністю?
4. Які властивості характерні для теплоізоляційних матеріалів?
5. Які існують способи надання матеріалам теплозахисних властивостей?
6. Які матеріали належать до групи неорганічних теплоізоляційних матеріалів?
7. Що називається мінеральною ватою? Які способи виробництва мінеральної вати?
8. Які матеріали належать до групи органічних теплоізоляційних матеріалів? Перелічите органічні теплоізоляційні матеріали.
9. Які особливості складу і технології виробництва органічних теплоізоляційних матеріалів?
10. Які матеріали застосовуються для ізоляції гарячих поверхонь?
11. Що називається арболітом? Комишитом?
12. Які теплоізоляційні матеріали виготовляються на основі полімерів? Які в них властивості й галузь застосування?
13. Критерії вибору теплоізоляційних матеріалів для тепло- і холодоізоляції.

Список рекомендованої літератури

1. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М.: Высш. шк., 1989. – 317 С.
2. Тепловая изоляция: Справочник строителя. – М.: Стройиздат, 1985. – 530 С.
3. Горяйнов К. Э. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов / К. Э. Горяйнов и др. – М.: Стройиздат, 1966.
4. Кривицкая М. Я. Ячеистые бетоны / М. Я. Кривицкая и др. – М.: Стройиздат, 1972. – 270 С.
5. Назвіть полімерні теплоізоляційні матеріали. За якими ознаками їх класифікують? Технічні властивості полімерних теплоізоляційних матеріалів.
6. Які полімерні матеріали використовуються для гідроізоляції і як герметизувальні матеріали?

РОЗДІЛ 16

Акустичні матеріали та вироби

16.1. Загальні відомості

Акустичними називаються матеріали, здатні зменшувати енергію звукової хвилі, знижувати рівень гучності внутрішнього чи зовнішнього звуку.

Звук – це сприйняття вухом пружних механічних коливань і хвиль, що виникають у середовищі під дією примусових впливів. Частоти коливань, які виражаються в герцах (Гц), можуть бути низькими, середніми та високими, що зумовлено кількістю коливань за 1 с: при низькій частотності – 16…500 Гц, середній – 500…2 000 Гц, високій – 2 000…15 000 Гц і вище (1 Гц = 1 коливання за 1 с). Кількість енергії, перенесеної звуковою хвилею за 1 с через площадку 1 см^2, перпендикулярну напрямку руху хвилі, називають *силою звуку* й виражають у ватах на 1 см^2 (Вт/см^2). Людське вухо сприймає звук лише при його силі не нижче деякої мінімальної величини, названої порогом чутності. Поріг чутності різний для низьких, середніх і високих частот. Найбільше людське вухо чутливе до коливань з частотами в межах 1 000…3 000 Гц, коли поріг чутності досягає інтенсивності звуку до 10^{-16} Вт/см^2. Болючі відчуття у вусі виникають при порозі 10^{-2} Вт/см^2, названому больовим порогом. Він більший у 10^{14} разів за силою звуку, ніж поріг чутності. Останню силу звуку приймають за нульовий рівень. За реальний рівень гучності вважають величину, пропорційну логарифму відношення сили даного звуку до сили звуку на нульовому рівні, що виражається в белах (Б) чи децибелах (дБ). Наприклад, шепіт – 10 дБ, тиха розмова – 40 дБ, вулиця з нормальним рухом – 60 дБ, а з гучним – 70 дБ, вантажний автомобіль – 90 дБ, авіаційний мотор – 120 дБ, больовий поріг – 140 дБ. Ці та інші дані враховуються в розрахунках звукоізоляції.

У більшості випадків задача акустики, акустичного упорядкування полягає в зниженні рівнів зовнішніх шумів до припустимого за відносного

режиму тиші в приміщеннях виробничих, навчальних, житлових, культурно-побутових та інших будівель. Для будівель громадського призначення важливо також забезпечити в основних приміщеннях гарну чутність і розбірливість, а в приміщеннях музичних закладів – ще й природність звучання інструментів і голосу. Вирішуються ці задачі за допомогою комплексу конструктивних, планувальних і запобіжних заходів. Головним із них є правильне призначення будівельних матеріалів у конструкціях, особливо в огороджувальних (стіни, перегородки), міжповерхових і покрівельних покриттях. Вибір матеріалів базується на їх різній здатності до затримання (поглинання) звукової хвилі, що може поширюватися як у повітрі, так і у твердих тілах і рідинах. Швидкість звуку в повітрі приблизно дорівнює 340 м/с, у воді – 1 450 м/с, а у твердих тілах ще вище: у цегляній кладці – 2 000 м/с, бетоні – 4 000 м/с, металі – понад 5 000 м/с. На шляху повітряного перенесення звуку встановлюються перешкоди зі звуковбирних матеріалів і конструкцій. Складніше перешкоди установити на шляху матеріального (ударного) перенесення звуку, наприклад при влаштуванні міжповерхових перекриттів. Найчастіше повітряні й ударні переноси шумів з'єднуються, особливо в сучасних будівлях, виконуваних зі збірного залізобетону, який характеризується малим звукопоглинанням і має щілини, нещільності й отвори, а при тонких конструкціях здатний ще й до згинальних коливань. Зі збільшенням маси огородження поліпшується поглинання звуку, тому що масивне огородження важче перевести в згинальне коливання під впливом хвильового звукового тиску. Але зі збільшенням маси огородження покращення звукової ізоляції відбувається повільно. Так, якщо при масі перегородки 100 кг звукоізоляція становить 40 дБ, то при масі 200 кг – 44 Б, при 300 кг – 48 дБ. Для подальшого зниження шуму потрібно влаштовувати або дуже важкі однорідні огородження, або заміняти їх огородженнями з двох стінок із суцільними повітряними прошарками (без жорстких зв'язків між стінками), або переходити до шаруватих конструкцій і т. ін.

Для боротьби з шумом і перенесенням звуку використовують звуковбирні (активно поглинають звук) і звукоізоляційні (знижують рівень шуму) матеріали. Нижче розглянуті основні різновиди цих матеріалів. Вони можуть бути оздоблювальними й прокладальними.

Оздоблювальні матеріали частково поглинають звук всередині приміщень, наприклад промислових цехів чи технічних пристроїв, наприклад вентиляційних повітроводів та ін. Оздоблювальні звуковбирні матеріали також оптимізують умови чутності в приміщеннях, наприклад у глядацьких залах, лекційних аудиторіях, радіомовних студіях і т. ін. Більша чи менша частина звукових хвиль звичайно відбивається від

конструкцій, виконаних з оздоблювальних звуковбирних матеріалів. У результаті в приміщенні зберігається звучання навіть після припинення дії джерела звуку. Таке явище називається *реверберацією*.

Прокладальні матеріали використовують під пружними підлогами міжповерхових перекриттів, захищаючи тим самим приміщення від поширення матеріального (ударного) перенесення звуку. Нерідко ці матеріали комбінують з оздоблювальними.

Числову величину поглинання звуку оцінюють коефіцієнтом, який показує частку енергії звукової хвилі, що поглинається 1 $м^2$ поверхні матеріалу у відкритому прорізі. Чим більша величина коефіцієнта звукопоглинання, тим вища відповідна ефективність будівельного матеріалу в конструкції. При цьому враховується також частотність звучання, від якої істотно залежить величина коефіцієнта звукопоглинання.

16.2. Звуковбирні матеріали

Звуковбирні матеріали розділяють за різними ознаками. Найчастіше враховують характер поглинання звуку, вид і технологію виготовлення, характер поверхні виробів. Усі ці матеріали звичайно є також оздоблювальними, оскільки сприяють створенню зовнішньої архітектурної виразності приміщень.

За характером поглинання звуку матеріали розділяють на пористі, мембранні та перфоровані. Найбільш поширеними є пористі. Звукова енергія поглинається в цих матеріалах в основному за рахунок тертя частинок повітря в порах і капілярах, дуже розвинутих і різних за діаметром. З підвищенням пористості збільшується звукопоглинання, хоча є деяка межа пористості (близько 80 %), вище якої звукопоглинання не зростає і навіть існує тенденція до його зниження. Важливий також розмір діаметра пор. При малих розмірах пор проникнення звукової енергії в товщу матеріалу обмежується, а звукопоглинання виявляється незначним. Оптимальним може бути прийнятий діаметр пор до 1 мм. При мембранному типі матеріалу сила звуку знижується внаслідок витрати енергії на змушене коливання досить масивних і жорстких мембран (плити, фанерні листи, щільний картон, деякі тканини й ін.). Перфоровані панелі й інші матеріали мають отвори, у яких затримується повітря. Це створює гальмо на шляху повітряного перенесення звуку, що сприяє кращому звукопоглинанню.

До звуковбирних матеріалів належать плитні, рулонні й комбіновані. Вони відрізняються між собою зовнішнім виглядом і технологією виготовлення. За характером поверхні виробів ці матеріали розділяються на плити з природною фактурою, з порами й раковинами, з рифленою поверхнею, з перфорованою поверхнею, тобто з отворами одного чи різного діаметрів, розташованих симетрично чи безсистемно.

Незалежно від різновидів звуковбирного матеріалу вони мають деякі загальні ознаки: їх коефіцієнт звукопоглинання повинний бути нижче 0,20 при низьких частотах звуку і не нижче 0,40 при середніх частотах. Вони мають бути досить вогнестійкими, протистояти гниттю і не виділяти хімічних речовин і неприємного запаху. Їх середня густина не повинна бути вище за 300…400 кг/м^3. Немаловажне значення мають декоративні властивості й колір звуковбирних матеріалів, оскільки вони, як правило, служать і для архітектурного оздоблення приміщень (чим, до речі, істотно відрізняються від інших пористих матеріалів – теплоізоляційних). Ці матеріали, виконуючи свою основну функцію – поглинання звуку, реагують на частотність його коливання. Зі збільшенням частотності звукопоглинання пористим матеріалом збільшується, а при низьких частотах підвищений ефект приносять суцільні повітряні прошарки (зазори) розміром 7…10 см між стінками.

До порівняно ефективних належать акустичні плити на основі синтетичних зв'язувальних речовин із застосуванням волокнистих заповнювачів – скляної і мінеральної вати. Ці плити мають розміри 500 × 500 × 20 мм і середню густину до 140 кг/м^3. Вони покриті зверху декоративним покривним шаром і мають гарні декоративні якості. Їх використовують для облицювання стель, вестибулів, театрів, концертних залів, радіостудій і приміщень з великим шумовиділенням. Коефіцієнт звукопоглинання в інтервалі частот від 500 до 2 000 Гц становить 0,40…0,47, а границя міцності під час розриву – 0,3…0,4 МПа.

Іншим різновидом акустичних виробів є: плити з легких бетонів на основі неорганічних в'яжучих речовин із застосуванням пемзи, керамзиту, спученого перліту чи вермикуліту й ін.; плити з фіброліту середньою густиною до 300 кг/м^3, особливо при ширині стружки 2…3 мм; деревноволокнисті плити двошарові перфоровані при повітряному зазорі в конструкції 5 см і більше; гіпсові плити (перфоровані й суцільні), армовані склоджгутом чи полівінілхлоридним шнуром; деревностружкові плити, виготовлені з дрібної стружки на основі синтетичних смол, і деякі інші. Практичну користь приносять акустичні звуковбирні штукатурки (у 3…4 шари) на основі білого портландцементу із заповнювачами у вигляді обпаленої каолінової кришки з розміром зерен 1…3 мм, чи тонко-гранульованої

мінеральної вати з гранулами 2…3 мм, чи перлітового піску з розміром зерен до 5 мм і насипною густиною 80…200 кг/м^3. Ефективно виконують звуковбирні функції конструкції з пористих волокнистих матеріалів, покритих різними тонкими перфорованими листами й сітками. Перфорація в плитах і листах може бути наскрізною залежно від типу й призначення конструкцій.

Широку гаму кольорів мають плити «Сілакпор», що вносить розмаїтість в інтер'єри приміщень. Ці плити виготовляють з легкого ніздрюватого бетону (газо- і пінобетону) спеціальної структури. Вони можуть бути з подовжньою щілинною перфорацією і без перфорації. Їх середня густина 300…500 кг/м^3, а коефіцієнт звукопоглинання в діапазоні 200…400 Гц становить від 0,3 до 0,8.

Хорошими експлуатаційними й архітектурними властивостями характеризуються плити з газосилікату. В процесі їх виготовлення компоненти (вапно, пісок, вода і барвники) змішують, розчин заливають у форми, вироби запарюють у автоклавах, після чого їх фрезерують і калібрують; розміри – $750 \times 350 \times 25$ мм. Слід зауважити, що ефективність звуковбирних матеріалів стає високою, якщо коефіцієнт звукопоглинання більше 0,6, і середньою, якщо цей коефіцієнт знаходиться в межах 0,4…0,6.

Високою ефективністю відрізняються акустичні плити, що випускаються нашою промисловістю за назвою «Акмігран» і «Акмініт» з середньою густиною 350…400 кг/м^3, а також гіпсові перфоровані плити (з наскрізною перфорацією) для підвісних стель.

«Акмігран» виготовляють з мінеральної чи скляної вати (гранульованої) на зв'язці із суміші крохмалю, бентоніту й карбоксилметилцелюлози. Після формування й сушіння плити обробляються з поверхні (рис. 16.1).

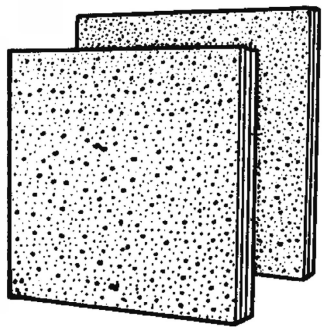


Рис. 16.1. Звуковбирний матеріал «Акмігран»

«Акмініт» має той же склад, що і «Акмігран», але замість бентоніту використовують каолін, літопон (суміш сірчанокислого барію і сірчанокислого цинку як пігментуюча домішка) і полівінілацетатну емульсію. Плити виготовляють методом виливання суміші у форми, у яких є гранульована мінеральна вата й розчин крохмальної зв'язувальної речовини. Форми висушуються у поєднанні з вакуумуванням, механічно обробляються й фарбуються.

Плити «Акмігран» і «Акмініт» мають коефіцієнт звукопоглинання в інтервалі 200…2 000 Гц від 0,4 до 0,8. Перфорація плит збільшує звукопоглинання на 10…20 % при частотах 200…1 000 Гц. Слід зауважити, що застосування «Акміграну» і «Акмініту» можливо тільки при вологості до 70 %, інакше крохмальна зв'язувальна речовина набухає. Полімерні домішки підвищують повітростійкість, але не роблять його водостійким. Зволоження цих матеріалів знижує показники звуковбирних властивостей. Габарити плит – 300 × 300 × 20 мм. Лицьова сторона (пофарбована) плит має фактуру, тобто обробку у вигляді неправильних тріщин, чи каверн, що імітують поверхню вивітреного вапняку. Плити кріплять за допомогою металевих профілів чи спеціальної мастики.

Велику звуковбирну здатність мають азбестоцементні акустичні екрани, перфоровані круглими чи щілинними наскрізними отворами, для підвісних стель чи стін у приміщеннях з великою гучністю. Вони мають високу механічну міцність, вогнестійкість, довговічність, гігієнічність, економічність.

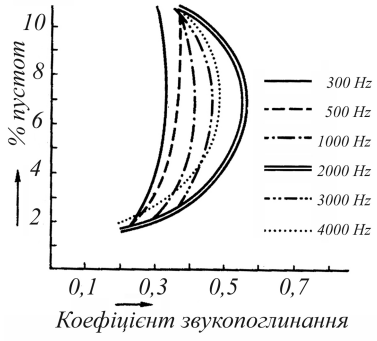


Рис. 16.2. Графік звуковбирної здатності асфальтобетону

При особливій формі пустот у вигляді резонаторів (порожнини з вузькою горловиною) роль звуковбирного й водночас конструкційного матеріалу може виконувати порожниста керамічна цегла, коефіцієнт звукопоглинання якої може становити до 0,8. Слід сказати також про хороші звуковбирні властивості асфальтобетону (рис. 16.2), особливо з пористою структурою, що важливо враховувати при боротьбі з міським шумом, у цехах заводів і т. ін.

16.3. Звукоізоляційні матеріали

Звукоізоляційні матеріали застосовують для ізоляції приміщень від поширення матеріального (ударного) перенесення звуку. На відміну від звуковбирних, ці матеріали практично сховані від нашого погляду. Їх поміщають звичайно в конструкціях внутрішніх стін (перегородок) і міжповерхових перекриттів будівель. Їх розташовують між зовнішніми оболонками

(панелей, щитів й ін.) у вільному (не стиснутому) чи навіть підвішеному стані (наприклад, підвішені мати). Можливе й деяке обтиснення звукоізоляційного прошарку, наприклад, між несучими панелями стелі й конструкцією підлоги на пружній основі.

Звукоізоляція завжди пов'язана з характером конструкції, а не тільки зі структурою і властивостями матеріалу, як у випадку звукопоглинання. Вона не залишається постійною і залежно від зміни структури конструкції, її розмірів і маси, жорсткості зв'язків у конструкції, характеру контакту, обпирання елементів конструкції і т. ін. Якщо конструкції однорідні, наприклад, у вигляді суцільної плити, здатної під впливом звукового тиску й коливань звуку робити коливальні рухи усією своєю масою, то, як відзначалося вище, звукова ізоляція зростає зі збільшенням маси однорідної конструкції. Це зростання відбувається повільно, пропорційно десятковому логарифму її маси. Якщо конструкції неоднорідні, складаються з двох чи більше оболонок зі сторонніми прошарками між ними, то коливання кожної оболонки під впливом звукової хвилі відрізняються і вони поступово «гаситься» у конструкції. Гасінню звуку й шуму сприяють прошарки зі стороннього матеріалу у вигляді зернистих засипань, волокнистих і пористих плит чи повітряних суцільних прошарків. Важливо також, щоб були відсутні жорсткі зв'язки між стінками, розділеними прошарками, тому що вони коливаються як одне ціле й ефекту гасіння звуку не відбудеться. Саме тому застосування огороджувальних конструкцій з плит чи блоків зі звичайними пустотами (а не у формі резонаторів) не збільшує звукоізоляцію, яка, як і в інших жорстких конструкціях, визначається тільки масою огородження. Хороший ефект звукоізоляції дають шаруваті конструкції, сформовані з декількох шарів різних матеріалів, що значно відрізняються між собою щільністю і жорсткістю. Важливою характеристикою якості прокладального матеріалу є його жорсткість, яка сприяє, по-перше, компенсації відсутності жорстких зв'язків між стінками в неоднорідних конструкціях, а по-друге, більшому гасінню ударних звукових коливань. Але і жорсткість, зумовлена динамічним модулем пружності, не повинна бути надмірно високою, тому що чим нижче динамічний модуль пружності, тим більше ударних шумів поглинає прокладальний матеріал. За величиною модуля пружності розрізняють три класи звукоізоляційних матеріалів: I – до 1 МПа, II – від 1 до 5 МПа і III – від 5 до 15 МПа.

Іншою характеристикою звукоізоляційного матеріалу є деформативність – здатність стискатися під певним навантаженням, звичайно прийнятим 1 МПа. За цією характеристикою матеріали можуть бути розділені на м'які, коли відносна деформація більше 15 %, напівжорсткі, якщо вона

в межах 5…15 %, і жорсткі – менше 5 %. Ще менша деформативність у твердих матеріалів – від 0 до 5 %.

Звукоізолююча здатность конструкції обчислюється $R = 10 \lg(1/\delta)$, де δ – коефіцієнт проникності (відношення звукової потужності, що пройшла через огородження, до звукової потужності, що припадає на це огородження).

Звукоізоляційними акустичними матеріалами є: напівжорсткі мінераловатні й скловатні мати й плити на синтетичній зв'язувальній речовині, деревноволокнисті ізоляційні й азбестоцементні ізоляційні плити (останні використовують в місцях обпирання конструктивних елементів перекриттів на стіни будівель). Для звукоізоляції застосовують також плити з полістирольного пінопласту, а із засипних матеріалів – кварцовий пісок, керамзит, шлак. У цілому варто враховувати, що звукоізоляція приміщень досягається не тільки в результаті влаштування огороджувальних конструкцій, але й з допомогою комплексу заходів, наприклад, планувального характеру – з правильним розміщенням устаткування і ретельним закладенням швів і нещільностей.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які матеріали називаються звукоізоляційними? Які характеристики звуку?
2. Які задачі вирішуються будівельниками при влаштуванні звукоізоляційних і звуковбирних матеріалів?
3. Назвіть спеціальні акустичні матеріали й дайте їм коротку характеристику.
4. Назвіть основні характеристики звуковбирних матеріалів. За якими ознаками класифікують звуковбирні матеріали?
5. Назвіть основі характеристики звукоізоляційних матеріалів. За якими ознаками класифікують звукоізоляційні матеріали?

Список рекомендованої літератури

1. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М.: Высш. шк., 1989. – 275 с.
2. Шебалин О. Д. Физические основы механики и акустики. – М.: Высш. шк., 1981. – 318 с.
3. Тепловая изоляция: Справочник строителя. – М.: Стройиздат, 1985. – 257 с.
4. Защита от шума в градостроительстве: Справочник проектировщика / Под ред. Г. Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1994. – 350 с.

РОЗДІЛ 17

Покрівельні гідроізоляційні та герметизувальні матеріали

17.1. Характеристика матеріалів на основі бітумних та дьогтьових в'яжучих речовин

На основі бітумних та дьогтьових в'яжучих речовин виготовляють велику кількість виробів: рулонні покрівельні та гідроізоляційні матеріали, штучні вироби, мастики, емульсії та пасти.

Покрівельні гідроізоляційні та герметизувальні матеріали, особливо рулонні, листові й штучні вироби, призначені для того, щоб забезпечувати повну ізоляцію будівельних конструкцій, будівель і споруд від впливу агресивного зовнішнього середовища, особливо води, вологого повітря й інших атмосферних факторів. У зв'язку з цим матеріали даної групи повинні бути, по-перше, водонепроникними, а по-друге, задовольняти умови міцності, деформативності, хімічної стійкості, водостійкості та довговічності.

Галузі застосування цих матеріалів різноманітні. Вони необхідні для зовнішнього та внутрішнього захисту підземних споруд – котлованів, фундаментів, труб під насипами й трубопроводами, колекторами, тунелями, склепінь траншей і т. ін. – від впливу ґрунтових вод з розчиненими в них агресивними солями, кислотами й лугами, а також іншими хімічними реагентами; для ізоляції водоймищ, басейнів тощо; для захисту мостів (конструкцій проїжджої частини, опор й ін.); для влаштування протифільтраційних екранів і укріпних покриттів у гідротехнічному будівництві; для ізоляції дна й укосів каналів в іригаційному будівництві; для заповнення пустот у гірських породах, при влаштуванні основ і фундаментів; для захисту міжповерхових перекриттів у виробничих приміщеннях і санвузлах; для влаштування плоскої водонаповненої покрівлі; для герметизації стиків, температурних швів, отворів у великопанельному будівництві тощо.

Гідроізоляція не тільки захищає поверхню від контакту з водним середовищем, але й сприяє паро- та газоізоляції, підвищенню стійкості конструкційного матеріалу проти корозії.

Застосовують гідроізоляційні матеріали здавна. За даними розкопок встановлено, що ще 4 500…5 000 років до н. е. природний бітум і смолу використовували як в'яжучі й гідроізоляційні матеріали під час будівництва єгипетських і вавілонських споруд, ізоляції каналів і водостоків, фундаментів палаців і храмів. Стіни й підлоги в коморах і зерносховищах захищали бітумною обмазкою, що забезпечувало тривале зберігання зерна й інших сільськогосподарських продуктів. Для підвищення міцності й теплової стійкості в бітуми нерідко додавалися порошкоподібні матеріали (мінеральні порошки).

Слід зауважити, що природний бітум дотепер є одним з найбільш надійних гідроізоляційних матеріалів. Високоякісні лаки, мастики, фарби й емалі виготовляють із його застосуванням. Однак у набагато більших масштабах для гідроізоляційних і покрівельних матеріалів у наш час використовують штучні бітуми (з нафти) і дьогтьові в'яжучі речовини. Серйозним конкурентом бітумів і дьогтів став гідроізоляційний матеріал, одержаний на основі синтетичних смол і полімерів. За якістю він перевершує бітуми й дьогті, і тому полімери широко використовують у гідроізоляційних пластмасах. Однак для гідроізоляції ще частіше використовують компаундовані в'яжучі речовини.

За видом застосованої зв'язувальної речовини покрівельні й гідроізоляційні матеріали класифікують на бітумні, дьогтьові, бітумнодьогтьові, бітумнополімерні, бітумногумові й ін.

За ознакою фізичного стану й зовнішнього вигляду покрівельні й гідроізоляційні матеріали розділяють на рулонні й листові, штучні вироби, мастики, пасти й емульсії, лакофарбові матеріали. Кожен з цих різновидів має свої специфічні особливості щодо складу, структури та властивостей. При оптимальних структурах завжди існує тісний взаємозв'язок між основними властивостями, що виражається загальними закономірностями, викладеними в теорії ШБК.

17.2. Рулонні гідроізоляційні матеріали

Рулонні гідроізоляційні матеріали поділяють на основні й безосновні.

Руберойд (ДСТУ Б А. 1.1-15-94, ГОСТ 10923 – покрівельний гідроізоляційний матеріал, одержаний шляхом просочування покрівельного картону м'яким нафтовим бітумом з подальшим покриттям з однієї чи двох сторін тугоплавким бітумом і мінеральною посипкою.

Для поліпшення якості руберойду в бітум покривного шару іноді вводять наповнювач у вигляді тонкодисперсного порошку (вапняк, доломіт, тальк й ін.). З метою підвищення атмосферостійкості руберойду, запобігання злипанню рулону й надання поверхні декоративного зовнішнього вигляду на лицьову поверхню наносять мінеральну посипку. Як посипку використовують подрібнені мінеральні матеріали: слюду, тальк, азбест, часто кольорові мінеральні порошки й ін.

Покрівельний картон для виготовлення руберойду одержують із суміші бавовняного і льняного ганчір'я, паперової макулатури й целюлози. Такий картон добре просочується органічними в'яжучими речовинами й має достатню міцність на розрив. Залежно від маси 1 $м^2$ картону (у грамах) його поділяють на марки: А-350, А-420 і Б-350, Б-420. Чим вище марка картону, тим вище його міцність та інші якісні показники.

За призначенням руберойд підрозділяють на покрівельний і підкладковий (гідроізоляційний), а за різновидом посипного матеріалу – на руберойд із крупнозернистою, лускатою чи пилуватою посипкою. Крім того, залежно від виду посипки і маси 1 $м^2$ основи (покрівельного картону) руберойд підрозділяють на марки. У марках руберойду перша літера «Р» означає «руберойд», другі літери – К, П і Э – перші літери російських слів: «кровельный», «подкладочный», «эластичный» матеріал і, нарешті, треті літери К, П і Ч – перші літери російських слів, які вказують на різновид посипки: «крупнозернистая», «пылеватая» і «чешуйчатая». Руберойд марок РКК 420-А, РКЧ застосовують для верхнього шару покрівель як на гарячій, так і на холодній мастиці, а руберойд марок РПК і РПП – для підкладкових шарів покрівельного килима. Так, руберойд покрівельний із крупнозернистою посипкою марок РКК 420-А і РКК 350-Б рекомендують для влаштування верхнього шару покрівельного килима. Руберойд покрівельний з пилоподібною підсипкою РКП 350-Б використовують для верхнього і нижнього шарів і, нарешті, руберойд підкладковий із дрібнозернистою і пилуватою посипкою відповідно РПП-300А і РПЭ-300А застосовують для нижніх шарів покрівельного килима й рулонної гідроізоляції.

Руберойд випускають у рулонах по ширині полотна покрівельного картону 1 000, 1 025 і 1 050 мм із площею полотна від 10,0 м^2 до 20,0 м^2. Виробництво руберойду включає такі основні операції: приготування просочувальної та покривної маси, підготовка посипних матеріалів, просочення полотна покрівельного картону, нанесення покривних шарів тугоплавкого бітуму чи бітуму з наповнювчем, нанесення посипного шару, охолодження, а потім різання матеріалу на полотнища заданої довжини й згортання в рулони (рис. 17.1).

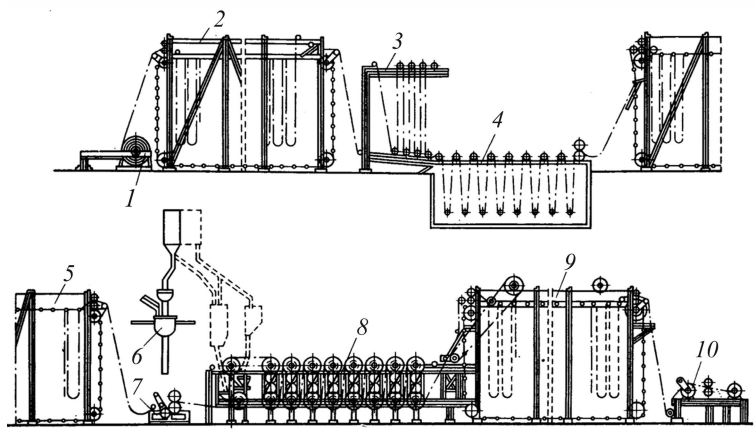


Рис. 17.1. Технологічна схема роботи просочувального агрегата безперервної дії:

1 – верстат для розмотування картону; *2* – магазин запасу картону; *3* – установка попереднього поливу картону; *4* – просочувальна ванна; *5* – збагачувальна камера допросочування; *6* – змішувач; *7* – покривний лоток; *8* – посипно-холодильна секція агрегата; *9* – магазин запасу готового матеріалу; *10* – змотувальний станок

Руберойд покрівельний наплавлений виготовляють у заводських умовах шляхом просочення покрівельного картону нафтобітумом малої в'язкості з подальшим нанесенням по обидва боки шарів мастики (покривної маси), що складається з бітуму марки БНК-5 з мінеральним наповнювачем і пластифікатором (циліндрове мастило, вапор та ін.) у певних співвідношеннях мас.

На відміну від звичайного наплавлений руберойд має знизу збільшену товщину покривної маси. Так, якщо у звичайному руберойді кількість покривної маси дорівнює близько 200…300 г/м^2, то в наплавленому –

1 000…2 000 г/м^2 і більше. Такий руберойд не приклеюють до основи за допомогою спеціальних мастик, а укладають шляхом розплавлення нижнього покривного шару пальниками (гарячий спосіб) чи пластифікацією цього шару розчинником (холодний спосіб). На рис. 17.2 показане укладання наплавленого руберойду гарячим способом.



Рис. 17.2. Наклеювання наплавленого руберойду гарячим способом

Виробництво наплавленого руберойду здійснюється двома способами: наливним (рис. 17.3, *а*) і способом занурення (рис. 17.3, *б*). В обох способах передбачена витрата мастики зверху полотна 600 г/м^2, знизу – від 600 до 2 000 г/м^2. Чим товще нижній шар, тим надійніше працює руберойд як гідроізоляція, хоча вартість його зростає. Цей руберойд випускається шести марок: РК-420-1,0; РК-500-2,0; РЧ-350-1,0 – для верхнього шару покрівельного килима і РМ-350-1,0; РМ-420-1,0; РМ-500-2,0 – для нижніх шарів покрівельного килима. У цих марках перша цифра означає масу картону (у грамах на квадратний метр), друга – масу наплавленої частини мастики нижнього шару руберойду (у кілограмах).

Перфорований руберойд на відміну від наплавленого має в картоні отвори діаметром 20 мм (перфорація), розташовані в шаховому порядку на відстані 100 мм один від одного. Покрівлі з його застосуванням «дихають», тому що на їх поверхні не виникає здуттів від тиску пари знизу, а у разі деформацій основи не спостерігається розривів покрівельного килима.

Склоруберойд (ГОСТ 15879) – рулонний покрівельний й гідроізоляційний матеріал, його виготовляють шляхом нанесення на скловолокнисту основу бітумної в'яжучої речовини з двох сторін. Лицьову сторону покрівельного склоруберойду покривають грубозернистою чи лускатою посипкою, а внутрішню – тонкодисперсними мінеральними порошками. На відміну від покрівельного, гідроізоляційний склоруберойд по обидва боки посипається тільки тонкомолотим і мінеральним порошками. Перевагою склоруберойду в порівнянні зі звичайним є велика міцність і стабільність скловолокнистої основи, що сприяє збільшенню протигнильної стійкості й опору руйнуванню в умовах підвищеної вологості.

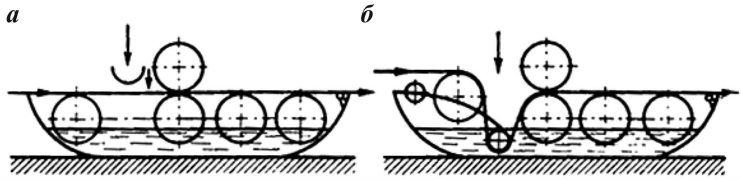


Рис. 17.3. Схема виготовлення наплавленого руберойду:
а – спосіб наливу; *б* – спосіб занурення

Склоруберойд залежно від виду посипки й призначення матеріалу випускають у вигляді рулонів із площею полотна 10 м^2 трьох марок: С-РК – склоруберойд покрівельний з крупною посипкою на лицьовій стороні, С-РЧ – покрівельний матеріал з лускатою посипкою на лицьовій стороні і, нарешті, С-РМ – склоруберойд гідроізоляційний із дрібною чи пилуватою мінеральною посипкою із двох сторін.

До рулонних покрівельних і гідроізоляційних матеріалів на склооснові також відносяться гідросклоізол, склоізол, склобіт і армобітеп.

Гідросклоізол (ТУ 400-255-16-77) – покрівельний і підкладковий матеріал. Він складається зі склотканини, обробленої по обидва боки бітумною в'яжучою речовиною. Покрівельний гідросклоізол застосовують для влаштування плоских покрівель будівель і випускають у рулонах шириною полотна 850…1150 мм, довжиною 10 м при товщині 4…6 м. Рулони намотують звичайно на паперову втулку.

Підкладковий гідросклоізол використовують для гідроізоляції прогонів мостів, тунелів, метрополітену й т. ін.

Склоізол виготовляють шляхом покриття склополотна бітумно-гумовою мастикою. У випадку заміни склополотна склосіткою отримують гідроізоляційний матеріал під назвою «*склобіт*».

Армобітеп – матеріал, одержуваний на основі склополотна, склотканини чи склосітки, зі стовщеною покривною масою з бітумно-каучукових мастик. Його випускають із дрібно- і крупнозернистою посипкою. Армобітеп із крупнозернистою посипкою призначається для влаштування верхнього шару покрівельного килима; із дрібнозернистою посипкою використовують для влаштування гідроізоляції і підстильних шарів покрівлі. Цей матеріал відрізняється високою температуростійкістю, морозостійкістю, водостійкістю і достатньою гнучкістю.

До рулонних покрівельних і гідроізоляційних матеріалів на основі, яка не загниває, відносять також металоізол, фольгоізол і фольгобітеп.

Металоізол являє собою гідроізоляційний матеріал, одержуваний на основі випаленої алюмінієвої фольги, покритої по обидва боки нафтовим бітумом марки БН-90/10. Металоізол випускають у вигляді стрічок довжиною до 20 м, шириною до 460 мм при товщині фольги від 0,2 до 0,5 мм.

Фольгоізол (ГОСТ 20429) – рулонний покрівельний і гідроізоляційний матеріал, що складається з тонкої рифленої чи гладкої алюмінієвої фольги, покритої з однієї сторони бітумно-гумовою чи бітумно-полімерною в'яжучою речовиною, змішаною з яким-небудь мінеральним наповнювачем і антисептиком. Промисловість випускає покрівельний фольгоізол, призначений для влаштування верхнього шару покрівлі, і гідроізоляційний – для виконання гідроізоляційних робіт. Фольгоізол виготовляють у рулонах довжиною 10 м, шириною полотна 950…1000 ± 2 мм при товщині фольги до 0,3 мм. Цей матеріал відрізняється довговічністю і не дає відходів під час експлуатації.

Крім того, фольгоізол має високу міцність під час розриву, гнучкість і водонепроникність. Його застосовують для влаштування покрівель і гідроізоляції відповідальних будівель. Внаслідок здатності фольги відбивати сонячні промені, покрівля із застосуванням цього матеріалу нагрівається менше, ніж покрівля чорного кольору.

Фольгобітеп – гідроізоляційний матеріал, який складається з тонкої рифленої фольги, покритої по обидва боки бітумно-полімернов'яжучою речовиною у суміші з мінеральним наповнювачем і антисептиком.

При просоченні покрівельного картону або іншої основи кам'яновугільним дьогтем одержують дьогтьові покрівельні й гідроізоляційні матеріали (толь покрівельний і гідроізоляційний).

Толь покрівельний (ГОСТ 10996) виготовляють шляхом просочення покрівельного картону кам'яновугільним чи сланцевим дьогтем з подальшою пісковою чи крупнозернистою посипкою. Його випускають у рулонах із шириною полотна 1000, 1025 і 1050 мм. За видом посипкового матеріалу і маси 1 м^2 покрівельного картону (у грамах) толь поділяють на

марки: ТКП-350 і ТКП-400, тобто толь покрівельний з пісковою посипкою. При цьому величина зерен кварцового піску повинна бути в межах 0,15…2,0 мм. ТКК-350 і ТКК-400 – толь із крупнозернистою посипкою; величина зерен крупної посипки – більше 2 мм.

Толь з крупною посипкою виготовляють шляхом нанесення на обидві сторони полотна покривного шару з тугоплавких дьогтів з наповнювачами. На лицьову сторону рулона напресовують шар крупнозернистої посипки, а на нижню наносять пилувату чи дрібнозернисту посипку. Такий матеріал більш довговічний, ніж толь з пісковою посипкою, у якого просочувальний і покривний шари з однакових дьогтів. Толь з пісковою посипкою застосовують для влаштування покрівель тимчасових споруд і гідроізоляції кам'яних і дерев'яних частин будівель. Толь із крупнозернистою посипкою використовують для покриття верхнього шару положистих і плоских покрівель і укладають звичайно на гарячих дьогтьових мастиках.

Крім того, для гідроізоляційних робіт використовують толь гідроізоляційний з покривною плівкою ТГ-300 і ТГ-350, толь гідроізоляційний антраценовий ТАГ-350.

У результаті просочення покрівельного картону дьогтем з подальшим покриттям по обидва боки бітумом і мінеральною посипкою отримують *дьогтебітумні матеріали*. Їх застосовують для влаштування багатошарових і водоналивних покрівель і укладають на холодних чи гарячих бітумних і дьогтьових мастиках. Крім того, ці матеріали використовують для влаштування обклеювальної гідроізоляції чи пароізоляції конструкцій і споруд. Для цих робіт часто застосовують і *гудрокамові матеріали***,** одержувані шляхом просочення картону гудрокамом, що відрізняється підвищеною біо- і атмосферостійкістю. До матеріалів для влаштування м'якої покрівлі та гідроізоляції без покривного шару належать пергамін, толь (як основу використовують покрівельний картон) і гідроізол на азбестовій чи азбестоцелюлозній основі.

Пергамін (ГОСТ 2697) – рулонний покрівельний матеріал, виготовлений шляхом просочення покрівельного картону м'якими нафтовими бітумами (з температурою розм'якшення за «К і К» не нижче 42 °С). За своєю конгломератною структурою він подібний до руберойду. Однак основною відмінністю пергаміну від руберойду є відсутність на його поверхні покривних шарів і посипки. Пергамін використовують головним чином як підкладковий матеріал під руберойд. Негативною властивістю пергаміну є його займистість і мала біостійкість. Зараз промисловість випускає пергамін двох марок – П-300 і П-350. Різновидом пергаміну є фольгопергамін.

Фольгопергамін – рулонний двошаровий матеріал, який складається з рифленої фольги і пергаміну, наклеєного на неї спеціальною бітумною в'яжучою речовиною. Його застосовують для гідроізоляційного захисту трубопроводів.

Толь безпокривний (толь-шкіра) – рулонний покрівельний і гідроізоляційний матеріал, виготовлений шляхом просочення покрівельного картону дьогтем чи різними дьогтепродуктами. Його випускають двох марок ТГ-300 і ТГ-350 (толь гідроізоляційний).

Безпокривний толь у порівнянні з пергаміном має підвищену гнилостійкість і велику водонепроникність. Його використовують як підкладковий матеріал під толь з посипкою для влаштування покрівель, а також для обклеювальної гідроізоляції і пароізоляції. У багатошарових плоских покрівлях його укладають на гарячих дьогтьових мастиках.

Гідроізол (ГОСТ 7415) – безпокривний гідроізоляційний матеріал, виготовлений шляхом просочення азбестового чи азбестоцелюлозного картону нафтовим бітумом з температурою розм'якшення за «К і К» не нижче 50 °С.

Гідроізол відрізняється значною гнилостійкістю і довговічністю. Він набув широкого застосування для обклеювальної гідроізоляції підземних споруд, гідроізоляції плоских покрівель, а також для влаштування протикорозійного покриття металевих трубопроводів. Гідроізол випускають у рулонах із шириною полотна 950 ± 5 мм двох марок: ГИ-Г і ГИ-К. При цьому гідроізол марки ГИ-Г має кращі показники за міцністю, водопоглинанням і водонепроникністю, ніж матеріал марки ГИ-К. Рулонні матеріали без основи можуть бути виготовлені з різних в'яжучих: гумобітумних, гумодьогтьових, бітумнополімерних, гудрокамових і гудрокамополімерних. До таких матеріалів, що набули застосування в будівництві, відносять ізол, бризол і бітумнополімерний матеріал – БМП.

Ізол (ГОСТ 10296) – покрівельний і гідроізоляційний безосновний матеріал із мікроконгломератним типом структури. Його виготовляють на вальцях і каландрах шляхом прокатування суміші гумобітумного в'яжучої речовини, подрібненого азбестового волокна, антисептика, пластифікатора й інших домішок. Товщина ізолу в рулоні ±0,2 мм. За технічними властивостями ізол значно перевершує рулонні матеріали, виготовлені на основі покрівельного картону. Він має гарну гнучкість за від'ємних температур, міцність під час розтягу не менше 0,4 МПа, незначне водопоглинання (за 24 год до 1 %), достатню гнилостійкість і довговічність.

Рулонний ізол застосовують як обклеювальну гідроізоляцію підвалів, фундаментів, тунелів, басейнів, мостів та інших конструкцій будівель

і споруд, для антикорозійного захисту трубопроводів, влаштування положистих і плоских покрівель і т. ін.

Бризол – ізоляційний матеріал, за структурою подібний до ізолу. Його виготовляють шляхом прокатування на каландрах гумобітумної маси, яка складається із суміші нафтового бітуму, дробленої гуми, азбестового волокна й пластифікатора.

Відмітною рисою бризолу є підвищена стійкість до води й деяких агресивних середовищ. Крім того, він характеризується підвищеною гнилостійкістю, морозостійкістю, значною атмосферостійкістю й еластичністю. Він широко застосовується для антикорозійного захисту металевих трубопроводів, а також підземних споруд від впливу ґрунтових вод.

З рулонних безосновних матеріалів, виготовлених з гумобітумових і гумогудрокамових композицій, перспективним є «Біогімас». Цей рулонний матеріал виготовляють із суміші гудрокамобітуму й азбесту 6-го чи 7-го сорту. «Біогімас» характеризується високою біостійкістю і може використовуватися для гідроізоляції підземних споруд (тунелі, гідроізоляція трубопроводів, обклеювальна гідроізоляція, плоскі покрівлі та ін.).

Бітумно-полімерний матеріал БМП – високоякісний гідроізоляційний матеріал, одержуваний шляхом змішування нафтового бітуму БН-70/30 чи БН-90/10, поліізобутилену й фенолоформальдегідного полімеру з подальшою мінеральною посипкою. БМП випускають трьох марок у рулонах із шириною полотна 800…1000 мм при товщині 1…1,5мм і загальній площі полотна рулону 10 $м^2$.

БМП використовують у будівництві для влаштування гідроізоляції, пароізоляції і багатошарових покрівельних килимів. Останні застосовуються для антикорозійного та гідроізоляційного захисту споруд, які зазнають механічних ударів і впливу мінеральних вод.

Застосування рулонних покрівельних і гідроізоляційних матеріалів дозволяє влаштовувати м'яку покрівлю з малим уклоном і складною конфігурацією даху; скорочує витрати на експлуатацію покрівлі в умовах хімічної агресії; підвищує продуктивність і умови праці щодо влаштування покрівлі й гідроізоляції.

Виготовляючі рулонні матеріали, слід приділяти особливу увагу якості складових і готової продукції. Під час випробуваннь рулонних матеріалів у лабораторії завода-виготівника з метою встановлення відповідності їх властивостей ДСТУ чи ТУ визначають міцнісні показники під час розриву, водонепроникність, водопоглинання, теплостійкість та інші властивості.

Для влаштування м'якої покрівлі високої якості рулонні матеріали повинні зберігатися в затемненому приміщенні, в місцях захищених від дже-

рела теплоти. Матеріали з основою повинні транспортуватися у вертикальному положенні (два ряди) і зверху один ряд у горизонтальному. Матеріали без основи можуть транспортуватися в горизонтальному положенні, але не більше п'яти рядів по висоті.

17.3. Листові та штучні вироби

З листових і штучних виробів з органічними в'яжучими найбільш широкого застосування набули покрівельні бітумні листи, асфальтові плити й камені.

Покрівельні бітумні листи виготовляють шляхом просочення щільної картонної основи бітумом і нанесення покривного шару. Покривний шар складається з тугоплавкого бітуму і з 30 % наповнювача. Температура розм'якшення просочувального бітуму за «К і К» повинна бути не менше 60 °С. Відповідно до маси 1 м^2 картону (у грамах) листи випускають двох марок: ЛБ-500 і ЛБ-650 із грубозернистою кольоровою посипкою. Фасонні бітумні покрівельні листи виготовляють як прямокутної, так і шестигранної форми на руберойдному агрегаті. Їх укладають у верхні шари покрівлі.

Плити гідроізоляційні (асфальтові) можуть бути армовані й неармовані. Неармовані плити виготовляють пресуванням гарячої мастики чи асфальтобетонної маси у виріб заданих розмірів (100 × 60 × 2 см).

Армовані плити одержують шляхом пресування асфальтобетонної маси разом з попередньо покритою бітумом склотканиною чи металевою сіткою. Армовані плити мають розміри (120…200) × (75…120) × (2…4) см. Асфальтові плити іноді застосовують для влаштування обклеювальної гідроізоляції і заповнення деформаційних швів.

Асфальтові армовані мати виготовляють на основі склотканини, попередньо просоченої бітумом, з подальшим покриттям по обидва боки шаром бітуму чи гідроізоляційної мастики. Залежно від виду просочувального матеріалу й покривного шару такі мати розділяють на звичайні та з підвищеною теплостійкістю. Їх виготовляють у вигляді плит довжиною 3…10 м, шириною до 1 м при товщині 4…6 мм.

Асфальтові армовані мати застосовуються в основному для влаштування обклеювальної гідроізоляції.

Гідроізоляційні камені можуть бути отримані шляхом просочення штучних виробів з пористих матеріалів (цегла, бетон, туф, опока, крейда

і т. ін.) бітумом, дьогтем, петролатумом та іншими органічними гідрофобізуючими речовинами. Легше інших одержувати цегли (глиняну чи силікатну), просочену бітумом при 180…220 °С на глибину 10…20 мм. Застосовують бітумовану цеглу для влаштування гідроізоляції у вигляді мурування й футерування на цементному чи асфальтовому розчині.

М'яка бітумна черепиця – плитка «Шанглс» – листи з целюлозного або азбестового картону, просоченого бітумом і покритого кольоровою мінеральною посипкою. Одна плитка імітує (заміняє) 3…4 штуки черепиці. Найбільш відомі такі типи м'якої черепиці.

Бардолін (Франція) – хвилясті листи на основі скловолокна, покриті з обох боків бітумом, розміром 100 × 35 см і товщиною 3 мм;

Катепал (Фінляндія) – листи розміром 100 × 31,7 см товщиною 3,8 мм, на основі склоповсті, просоченої окисненим бітумом;

«Моравія» та *«Делта»* (Чехія) – листи розміром 330 × 1000 мм та 278 × 955 мм товщиною 3,5 мм, міцність під час розтягування 4,8 та 4,6 МПа відповідно;

«Флоренція», *«Рим»* (Італія) – листи розміром 100 × 32; 100 × 33 мм на основі склоповсті, просоченої бітумом, модифікованим атактичним поліпропіленом (АПП). Листи покриті мінеральною посипкою різних кольорів та відтінків. Черепиця є водонепроникною, добре поглинає звукову енергію, стійка до зміни температур в інтервалі –45…+150 °С, міцність зразків при розтягу становить 8…10 МПа, термін експлуатації – більше 50 років.

Єврошифер – хвилясті (гофровані) листи, відомі як *гутаніт*, розміром 2 000 × 1060 мм на основі целюлозного волокна, просоченого бітумною в'яжучою речовиною за технологією гарячого пресування. Вони мають високу луго-, кислотостійкість, строк експлуатації до 50 років з гарантованою водонепроникністю не менше 10 років. За рахунок горизонтального напряму ниток можна вкладати листи на криволінійній поверхні з радіусом кривизни більше 6 м , несуча здатність їх до 650 кг/м^2, маса 1 м^2 – 3 кг, середня густина 950…1250 кг/м^3, міцність під час згину до 8 МПа. У процесі експлуатації ці вироби не потребують технічного обслуговування.

Збірні гідроізоляційні залізобетонні вироби одержують просочуванням збірних залізобетонних елементів (паль, плит, секцій труб, тюбінгів тощо) органічними в'яжучими речовинами на глибину 10…15 мм.

Гідрофобний газоасфальт – теплогідроізоляційний матеріал, виготовляють з бітумовапняної пасти з додаванням 10…50 % за масою портландцементу й газоутворювача (алюмінієва пудра). Його використовують для покрівельних панелей і теплогідроізоляції трубопроводів.

17.4. Мастики й допоміжні матеріали

Емульсії – це дисперсні системи, які складаються з двох рідин, що не змішуються між собою, причому одна рідина є диспергованою у другій. Стійкість утвореної емульсії досягається уведенням до її складу емульгаторів – поверхнево-активних речовин (ПАР) або тонкодисперсних твердих порошків, які, з одного боку, знижують поверхневий натяг між бітумом та водою, а з іншого – надають частинкам певного заряду, який перешкоджає їх злипанню.

Емульгаторами є мила органічних кислот (нафтенових, сульфонафтенових), лігносульфонат технічний (ЛСТ), асидол, олеїнова кислота. До твердих емульгаторів належать тонкі порошки глин, вапна, цементу, кам'яного вугілля та сажі. Тверді емульгатори адсорбуються на поверхні бітуму та дьогтю, утворюючи захисний шар, що перешкоджає злипанню окремих глобул, диспергованих у воді.

Емульсію готують у спеціальних машинах: диспергаторах, гомогенізаторах, установках із використанням ультразвукових коливань. Технологічний процес отримання емульсії передбачає розігрівання бітуму чи дьогтю до 50…120 °С, приготування емульгатора, диспергування в'яжучої речовини у воді з додаванням водного розчину емульгатора. Вміст бітуму (дьогтю) у звичайних емульсіях становить 50…60 %, у пастах – 60…70 %. Вміст водорозчинних емульгаторів у складі емульсії звичайно не перевищує 3 %, твердих емульгаторів – 5… 15 % залежно від їх виду й дисперсності бітумної чи дьогтьової фази.

Емульсії застосовують для влаштування захисного гідро- та пароізоляційного покриття, ґрунтування основи під гідроізоляцію, приклеювання штучних та рулонних матеріалів, а також гідрофобізації поверхонь виробів. Зберігають емульсію в металевій тарі в закритих приміщеннях за температури не нижче 0 °С.

Бітумні пасти готують з бітуму, води та емульгатора. Як емульгатори використовують неорганічні тонкодисперсні мінеральні порошки (вапно, глина, мелений трепел), що містять активні колоїдні частинки розміром менше за 0,005 мм. Пасти застосовують для влаштування захисного гідроізоляційного покриття, ґрунтування поверхні, яка ізолюється, ущільнення стиків у покрівлі, а також як в'яжучу суміш для виготовлення холодних мастик.

Мастики – це клейові суміші, якими не тільки з'єднують різні матеріали між собою, але й покривають поверхні деталей та конструкцій відносно товстим шаром для запобігання корозії, заповнюють щілини,

раковини, отвори та інші заглиблення, щоб одержати однорідну гладку поверхню чи забезпечити герметичність швів.

Для приготування мастик використовують органічні в'яжучі речовини, мінеральні тонкодисперсні наповнювачі (тальк, магнезит, вапняк, доломіт, крейда, цемент, зола), волокнисті заповнювачі (азбест, мінеральна вата), емульгатори та домішки-антисептики. Наповнювачі адсорбують на своїй поверхні масла, що сприяє підвищенню теплостійкості та твердості мастики, крім того, зменшується витрата бітуму та дьогтю. Волокнисті наповнювачі армують матеріал, збільшуючи опір під час згину.

За видом в'яжучої речовини розділяються на бітумні, дьогтьові, дьогтебітумні, бітумно-гумові, бітумно-полімерні й гудрокамові. За умовами застосування виділяють мастики гарячі й холодні. Гарячі мастики використовують з попереднім підігріванням до 130…150 °С для гудрокамових і дьогтьових і 160…180 °С – для бітумних. Холодні застосовують за температури повітря з незначним підігріванням (до 70 °С).

Залежно від умов експлуатації до гарячих мастик ставляться певні технічні вимоги щодо тепло- і тріщиностійкості. Теплостійкість оцінюють граничною температурою, за якої шар мастики товщиною 2 мм, що склеює дві смужки пергаміну, не випливає із шару склейки при витримуванні зразків протягом 5 год під кутом 45 °. Тріщиностійкість характеризують діаметром стержня, при згинанні якого шар мастики в 1 мм, нанесений на смужку пергаміну, не утворить тріщин за температури випробування 18 ± 2 °С. Необхідні тепло- (температура розм'якшення) і тріщиностійкість мастик досягаються шляхом вибору відповідної марки бітуму з уведенням належного наповнювача й домішок (табл. 17.1).

Бітумна – являє собою суміш тугоплавкого бітуму (БНК-90/40), вапна-пушонки, азбесту 6-7-го сорту і солярової олії. Така мастика використовується для приклеювання рулонних матеріалів в разі виготовлення м'якої багатошарової покрівлі.

Найбільш широко використовують бітумні мастики, одержувані змішуванням в'язких бітумів з дисперсними наповнювачами й добавками.

За теплостійкістю бітумні мастики розділяють на марки. Наприклад, у марці мастики МБК-Г-55 літери «М, Б, К і Г» позначають вид матеріалу: «мастика бітумна покрівельна (рос. «кровельная») гаряча», цифри вказують на величину теплостійкості мастики (у градусах Цельсія).

Бітумні мастики застосовують для склеювання руберойду і пергаміну, дьогтьові – для приклеювання толю, толю-шкіри й інших дьогтекартонів.

Гарячі мастики за призначенням підрозділяють на приклеювальні, покрівельно-гідроізоляційні, асфальтові й антикорозійні.

Таблиця 17.1

Фізико-механічні показники гарячих бітумних і дьогтьових приклеювальних мастик

Мастики	Склад	Марка	Тріщино-стійкість, °С	Теплостій-кість, °С, на уклоні 45°
Бітумні	Нафтовий бітум, наповнювач, антисептик	МБК-Г-55	10	55
		МБК-Г-65	15	65
		МБК-Г-75	20	75
		МБК-Г-85	30	85
		МБК-Г-90	35	90
Дьогтьові	Кам'яновугільні дьогтьопродукти, наповнювач	МДК-Г-50	25	50
		МДК-Г-60	30	60
		МДК-Г-70	40	70

Приклеювальні мастики використовують для склеювання рулонних матеріалів при влаштуванні багатошарових покрівель.

Холодні мастики являють собою суміші органічних в'яжучих з наповнювачами, розріджувачами й домішками (пластифікаторами).

Як розріджувачі для одержання холодних мастик застосовують різні органічні речовини: бензин, лігроїн, гас (леткі розчинники), солярова олія, мазут, нафти (нелеткі розчинники).

Холодні мастики підрозділяють на бітумні, гумобітумні, гудрокамові й полімерні. Виготовляють їх шляхом змішування компонентів у змішувачах із пропелерною мішалкою. Зараз промисловість випускає холодну мастику марки МБК-Х-І з теплостійкістю 70 °С.

Холодні мастики застосовують для склеювання покрівельних матеріалів і приклеювання їх до основи при влаштуванні багатошарової покрівлі. Застосування холодних мастик дозволяє подовжити будівельний сезон і поліпшити умови праці робітників. Внаслідок пластичності холодних мастик за знижених температур можливе зменшення товщини шару і витрат бітуму (у порівнянні з гарячими мастиками) приблизно на

1…1,5 кг на 1 м^2 поверхні килима. До недоліків холодних бітумних мастик варто віднести необхідність багаторазового прикочування рулонного килима для усунення здуттів на його поверхні.

Покрівельно-ізоляційні мастики застосовують для влаштування безрулонної покрівлі, гідроізоляції, а також як приклеювальний матеріал.

Гідроізоляційні асфальтові мастики використовують для влаштування литої і штукатурної гідроізоляції, а також як в'яжуче під час виготовлення штучних гідроізоляційних каменів і виробів.

Антикорозійні бітумні мастики рекомендують для захисту матеріалу чи конструкцій трубопроводів від впливу агресивних середовищ. Вони досить надійно протистоять впливу розведених розчинів кислот і лугів за температур 20…60 °С, а також впливу оксидів азоту, парів аміаку і т. ін.

Ізол – гумобітумна мастика для приготування якої використовують ті ж вихідні матеріали, що і для рулонного ізолу – відходи гуми, бітум, наповнювач, антисептик і кам'яновугільну смолу.

Основними процесами в технології приготування цієї мастики є девулканізація гуми й пластифікація маси на вальцях з подальшим формуванням джгутів (гаряча мастика) чи змішування маси в змішувачі з бензином (холодна мастика).

Мастику «Ізол» застосовують для приклеювання рулонних покрівельних матеріалів, паркету, керамічних плиток, влаштування обмащувальної гідроізоляції, герметизації швів між панелями збірних будинків та ін.

Гудрокамову мастику виготовляють із застосуванням біостійкого бітуму – гудрокаму. Вона має високі адгезійні властивості і підвищену біостійкість порівняно зі звичайною бітумною мастикою.

Використовують гудрокамову мастику для приклеювання рулонних покрівельних матеріалів, а також для влаштування гідро- і пароізоляції.

Гудрокам – полімерна мастика МП-70 – в'язка чорно-бура суміш (температура розм'якшення 120…140 °С за «К і К») нафтового бітуму БН-60/90 і полімерної домішки (окиснений каучук ОКС-30 АМ). Вона характеризується високою приклеювальною здатністю, значною водостійкістю, еластичністю і температурною стійкістю.

Полімерні мастики МГЛС-20 і МГЛС-20м являють собою в'язку темно-буру рідину. Їх використовують для приклеювання полімерних та інших рулонних матеріалів для влаштування покрівельних і гідроізоляційних килимів, а виготовляють із суміші гудрокаму, нафтового бітуму БН-50/50 і піролізної смоли.

Мастика кровеліт – однорідна маса, одержувана шляхом змішування хлорсульфополіетилену (у вигляді розчину в толуолі) і наповнювача – крейди чи гумової кришки, розчинника й компонента, що вулканізує (три-

етаноламіну). Мастику випускають двох видів: покрівельну (МКВК) і гідроізоляційну (МКВГ). Покрівельна мастика МКВК використовується для влаштування безрулонних покрівель по бетонній основі, а гідроізоляційна – для гідроізоляції стиків різних споруд і конструкцій. Поряд з цим для влаштування безрулонних покрівель часто використовують *бітумно-полімерну емульсію*.

Гідробутив – новий гідроізоляційний матеріал, одержуваний з використанням полімерів, характеризується високим відносним видовженням (до 500 %), межею міцності під час розтягу до 0,35 МПа, високою стійкістю до дії кислот і лугів. Його використовують головним чином для влаштування гідроізоляції.

Мастики транспортують на місце робіт у холодному вигляді в закритій тарі, що добре захищає їх від впливу вологи й сонячної радіації. На малі відстані гарячі мастики перевозять у гудронаторах, тобто спеціально обладнаних автомашинах. Мастики всіх різновидів повинні зберігатися на складах у спеціальному упакуванні.

Герметизувальні матеріали (герметики) виготовляють для закладення температурних швів, стиків стінових панелей і швів, що утворюються в результаті монтажу збірних елементів конструкцій. Їх застосовують також при спряженні елементів тунелів, резервуарів, колекторів і гідротехнічних споруд.

Герметизувальні й ущільнювальні матеріали можуть виготовлятися у вигляді вулканізуючих паст, мастик чи еластичних прокладок. Вони повинні бути волого- і газонепроникними, тепло- й морозостійкими, добре зберігати первісні властивості протягом часу.

До пластично-в'язких герметиків на органічній (бітумній) основі належать гумобітумна мастика «Ізол Г-М» і ущільнювальні мастики марок РОЗУМ-50, РОЗУМ-60 (літери в марках мастик вказують на різновид мастики « ущільнювальна мастика», а цифри відповідають мінімальній температурі їх використання (у градусах Цельсія).

Мастику «Ізол Г-М» виготовляють шляхом змішування гумобітумного в'яжучого, поліізобутилену, азбесту 7-го сорту, антисептика й інших домішок. Її застосовують як у гарячому (до 100 °С), так і в холодному стані.

Ущільнювальна мастика (РОЗУМ) являє собою гідрофобну суміш поліізобутилену, наповнювача й розчину девулканізованої старої гуми. Ця мастика характеризується значним відносним видовженням, дуже малим водопоглинанням, абсолютною повітронепроникністю і високою адгезією до бетону, металу й інших матеріалів.

Введення цих мастик (РОЗУМ і «Ізол Г-М») у стики швів проводиться звичайно методом ін'єктування за допомогою стиснутого повітря.

Герметизація стиків у великопанельному будівництві проводиться часто за допомогою *тіоколової мастики,* що виготовляється на основі полісульфідного каучуку (тіоколу). Цей різновид герметиків випускається у вигляді паст. Недоліком тіоколових мастик є їх швидке старіння під впливом ультрафіолетових променів.

Поряд із в'язкопластичними матеріалами використовують і еластичні прокладки, пористі чи монолітні джгути заданої конфігурації і розмірів.

Пороізол – гнилостійкий довговічний матеріал, який одержують шляхом вулканізації газонаповненої гуми, модифікованої нафтовими дистилятами. Добре перемішану масу із зазначених компонентів формують у джгути чи стрічки на стрічковому пресі й піддають вулканізації за температури 150…160 °С. Пороізол випускають у вигляді прямокутних смуг розміром 20 × 40 і 30 × 40 м чи джгутів діаметром 10…60 мм. Він буває двох марок: М – з незакритими порами й водопоглинанням 5 % і П – із захисним покриттям з озоностійкої плівки й водопоглинанням 1 %. У разі укладання в стик пороізолу-М необхідно закрити пори на поверхні матеріалу мастикою ізол. Перед застосуванням пороізолу марки П не потрібна ніяка попередня обробка.

Для того щоб пороізол виявив герметизувальні властивості, його попередньо обтискають на 15…50 % від первісного об'єму й в обтиснутому стані встановлюють у шов, що зашпаровується. Закладення шва пороізолом часто проводять за допомогою приклеювальних мастик.

Пороізол не втрачає еластичності у широкому інтервалі температур (від –80 до +50 °С), тому його застосовують для герметизації горизонтальних і вертикальних стиків панелей зовнішніх стін будинків у різних кліматичних зонах.

Герніт – пористий еластичний матеріал, являє собою герметизувальну прокладку з газо- і водонепроникною плівкою на поверхні. Цей герметик виготовляють на основі негорючого поліхлорпренового каучуку (наіриту) у вигляді прокладок довжиною 3 м і діаметром 20, 40, 60 мм. Він відрізняється високим ступенем еластичності й зберігає свої технічні властивості при використанні в інтервалі температур від –40 до +70 °С.

Зараз промисловість випускає пористий герніт (П) і щільний (Щ), з підвищеною міцністю під час розриву й еластичністю за від'ємних температур. Герметизація стиків між стіновими панелями за допомогою герніту проводиться за умови обтиснення прокладки в стику до 30…40 % від первісного об'єму герметика. Цей матеріал має приблизно однакові

властивості з пороізолом при трохи більшому відносному видовженні й довговічності.

Герніт-П застосовується для герметизації стиків у великопанельному будівництві й будівництві тунелів метро.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Яке призначення покрівельних, гідроізоляційних і герметизувальних матеріалів? Назвіть ознаки, за якими класифікують ці матеріали.
2. Дайте характеристику матеріалам для виробництва покрівельних, гідроізоляційних і герметизувальних матеріалів.
3. Охарактеризуйте такі гідроізоляційні матеріали: руберойд, фольгоізол, склоізол, металоізол.
4. Що таке толь і де його використовують у будівництві?
5. Перелічите покрівельні матеріали. Дайте їх загальну характеристику.
6. Які способи нанесення рулонних і листових гідроізоляційних матеріалів?
7. Які ви знаєте найбільш застосовувані листові й штучні покрівельні вироби і матеріали.
8. Що називається емульсією? Назвіть складові матеріали емульсій і галузь їх застосування.
9. Що називається пастами і мастиками?
10. Які види покрівельних мастик використовують у будівництві?
11. Що називається герметизувальними матеріалами? Склад і властивості герметизувальних матеріалів.
12. Охарактеризуйте такі герметизувальні матеріали: пороізол і гернит.

Список рекомендованої літератури

1. Рыбьев И. А. Технология гидроизоляционных материалов. – М.: Высш. шк., 1964.
2. Фрейдин А. С. Полимерные водяные клеи. – М.: Химия, 1985. – 143 с.
3. Андрианов В. И. Силиконовые композиционные материалы / В. И. Андрианов и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 223 с.
4. Воробьев В. А. Основы технологии строительных материалов из пластических масс. – М.: Высш. шк., 1965. – 324 с.
5. Воробьев В. А. Производство и применение пластмасс в строительстве. – М.: Стройиздат, 1965. – 235 с.

6. Макотинский М. П. Полимерные материалы в строительстве / М. П. Макотинский, В. О. Мунц, Ю. С. Черкинский . – М.: Стройиздат, 1959. – 132 с.
7. Бородин В. Н. Производство рулонных битумных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 278 с.
8. Бурмистров Г. Н. Кровельные материалы. – М.: Стройиздат, 1980. – 145 с.
9. Печеный Б. Г. Долговечность битумных и битумно-минеральных покрытий. – М.: Стройиздат, 1981. – 123 с.
10. Микульский В. Г. Современные кровельные материалы / В. Г. Микульский и др.; Под ред. К. Н. Попова. – М.: МГСУ, 1998. – 215 с.

РОЗДІЛ 18

Лакофарбові матеріали і шпалери

18.1. Загальні відомості

Лакофарбовими матеріалами називають природні, штучні чи синтетичні суміші, які наносять у рідкому стані тонким шаром (від 60 до 500 мкм) на поверхню, яка фарбується чи лакується. Утворені щільні тверді плівки міцно з'єднуються з поверхнею, вони повинні мати достатню міцність, високу довговічність як стосовно тривалого збереження фізико-механічних властивостей, так і декоративних якостей. Лакофарбові матеріали повинні бути нешкідливими для виробу, що фарбується, і живих організмів.

Протягом довгих років найважливішими вихідними матеріалами для фарб були натуральні оліфи, для виготовлення яких використовувалися рослинні олії, що є харчовою сировиною. Для одержання ж лаків застосовувалися переважно природні смоли, багато з яких увозилися з країн Африки та інших держав. Поступово ці природні продукти стали заміняти синтетичними полімерними, при цьому в ряді випадків підвищувалася якість лакофарбових матеріалів.

Лакофарбові матеріали можна розділити на фарби, лаки й допоміжні матеріали. Фарби (ДСТУ Б А.1.1-45-95) призначені для створення непрозорого кольорового декоративного й захисного покриття, а лаки – для прозорого покриття й остаточної декоративної обробки поверхні, що фарбується, вони не змінюють також текстуру фарбованого матеріалу. Допоміжні матеріали (шпатлівки, ґрунтовки, замазки) застосовують для підготовки поверхні під фарбування й для доведення лаків і фарб до

робочої консистенції. До них належать емульсійні розріджувачі, оліфи й розчинники, а також сикативи й змивальні матеріали.

Компоненти лакофарбових складів поділяють на пігменти, наповнювачі та зв'язувальні речовини.

18.2. Основні компоненти лакофарбових сумішей

Пігменти й наповнювачі призначені для надання малярським сумішам кольору, непрозорості, для поліпшення механічних властивостей і забезпечення довговічності в експлуатації.

Пігментами називають кольорові тонкодисперсні мінеральні чи органічні речовини, нерозчинні чи малорозчинні у воді й органічних розчинниках. Як пігменти застосовують також металеві порошки (пудри). Пігменти бувають природні та штучні, мінеральні й органічні.

Кожен пігмент має певний колір і властивості. До числа загальних властивостей пігментів відносять покривність, фарбувальну здатність, тонкість помелу, світлостійкість, вогнестійкість, стійкість проти хімічних впливів, атмосферостійкість, антикорозійну здатність.

Покривність, або покривну здатність, пігменту характеризують витратою його на 1 $м^2$ поверхні, що фарбується.

Фарбувальна здатність – це властивість пігменту передавати свій колір у суміші його з білими, чорними та синіми пігментами.

Тонкість помелу пігменту впливає як на покривність, так і на фарбувальну здатність: зі збільшенням тонкості помелу ці властивості покращуються.

Світлостійкість – здатність пігменту зберігати свій колір під дією світла. Ця властивість дуже важлива для зовнішніх фарбувань будівель і споруд.

Вогнестійкість – здатність витримувати дії високих температур без руйнування й зміни кольору. Органічні пігменти позбавлені вогнестійкості; мінеральні пігменти по-різному реагують на зміну температури.

Стійкість проти хімічних впливів – здатність деяких пігментів зберігати свій колір під дією лугів та інших реагентів.

Атмосферостійкість – здатність пігментів не змінювати кольору, протистояти спільній дії атмосферних факторів: зміні температури, зволоженню та висиханню, дії вуглекислоти й інших агентів зовнішнього середовища. Хорошу атмосферостійкість має сурик залізний.

Антикорозійна здатність – здатність у сполученні зі зв'язувальними речовинами захищати метали від корозії. Наприклад, залізний сурик і свинцеві білила мають антикорозійні властивості, а сажа, навпаки, сприяє розвитку корозії.

Мінеральні природні пігменти отримують шляхом збагачення й подрібнення на спеціальних установках природних матеріалів (руди, глини). Їх використовують для приготування вапняних і клеєвих фарб, шпаклівок і кольорових будівельних розчинів. До цієї групи пігментів відносять: крейду природну мелену білого кольору; вохру суху жовтого кольору (глина з вмістом більше 15 % окису заліза); сурик залізний (Fe_2O_3, FeO) коричнево-червоного кольору, що має високу світло- і антикорозійну стійкість; мумію природну суху (бокситну, світлу й темну), що має світло-коричнево-червоний колір; графіт сірий, глауконіт зелений і перекис марганцю чорного кольору.

Штучні мінеральні пігменти одержують шляхом хімічної переробки мінеральної сировини. Такими пігментами є:

– діоксид титану TiO_2 білого кольору, одержаний з титанових руд;

– білила цинкові, одержують сублімацією металевого цинку з подальшим окисленням пару цинку; вони мають хорошу покривність, світлостійкість, не отруйні. Маслоємність 14…22 %;

– літопон білого кольору, що являє собою суміш сірчистого цинку й сірчанокислого барію. Він недостатньо стійкий проти атмосферних впливів; застосовують його переважно для внутрішніх робіт. Маслоємність 25…35 %;

– крон цинковий малярний сухий ясно-жовтого (лимонного) кольору, що являє собою подвійну сполуку окису хромітів цинку з хромовокислим калієм чи натрієм. Він містить невелику кількість основних сірчанокислих чи хлористих солей цинку, застосовують у масляних, клейових і ґрунтових фарбах по металу. Маслоємність 35 %;

– сурик свинцевий червоного кольору, який одержують прожарюванням глету за температури 450 °С. Пігмент має стійкість до дії лугів, але розчиняється в кислотах, добре захищає сталь від корозії; застосовують в олійних фарбах, антикорозійних ґрунтовках по поверхні металу й деревини, особливо для залізничних мостів. Маслоємність 10…12 %. Отруйний, тому застосовується лише в масляних сумішах;

– ультрамарин синього кольору, що має середню світло- і лугостійкість; застосовують у масляних фарбувальних сумішах, у кольорових розчинах і вапняних фарбах. Маслоємність 30…40 %;

– оксид хрому Cr_2O_3 зеленого кольору; має стійкість до дії кислот, лугів, світла й високих температур; одержують нагріванням подрібненої

суміші $K_2Cr_2O_7$ з яким-небудь відновником (порошком деревного вугілля, сірки); застосовують у багатьох фарбах. Маслоємність 30 %;

– сажа газова – продукт спалювання газів (ацетилену), є найбільш легким пігментом, має високу покривну й фарбувальну здатність, стійка до дії кислот і лугів.

Металеві порошки застосовують поряд з мінеральними штучними пігментами. Це алюмінієва пудра – тонкий порошок металевого алюмінію – для зовнішнього фарбування металевих конструкцій і для декоративного фарбування; пудра золотиста – бронзовий порошок – застосовується для декоративного фарбування металевих поверхонь.

Органічні пігменти являють собою синтетичні барвні речовини органічного походження, вони мають високу фарбувальну здатність і чистоту кольору. Органічні пігменти нерозчинні чи малорозчинні у воді й інших розчинниках. Серед органічних пігментів, застосовуваних у фарбах, слід назвати такі: пігмент жовтий світлостійкий лимонного кольору; жовтогарячий міцний, червоний, ясно-червоний, лак рубіновий, пігмент голубий фталоціанітовий, ясно-синього кольору, пігмент зелений фталоціанітовий та ін.

Органічні пігменти використовують для надання тону фарбувальним композиціям на різних зв'язувальних речовинах. Однак лугостійкість їх порівняно низька, як і світлостійкість.

Наповнювачами називають нерозчинні мінеральні речовини, у більшості випадків вони мають білий колір і додаються в лакофарбові матеріали для економії пігментів і для надання цим матеріалам особливих властивостей, наприклад підвищеної міцності, кислотостійкості, вогнестійкості й т. ін. Як наповнювачі для приготування розчинів і вирівнювальних сумішей використовують каолін, мелений тальк, пісок, пилоподібний кварц, андезит, діабаз, азбестовий пил, волокно й інші матеріали.

Зв'язувальні (плівкоутворювальні) речовини призначені для створення основи й плівкоутворювальних лакофарбових покриттів.

Як зв'язувальні речовини у фарбувальних сумішах використовують: полімери – у полімерних фарбах, лаках, емалях; каучуки – у каучукових фарбах; похідні целюлози – у нітролаках; оліфи – в олійних фарбах; клеї тваринний і казеїновий – у клейових фарбах; неорганічні в'яжучі речовини – у цементних, вапняних і силікатних фарбах.

Зв'язувальна речовина є основним компонентом фарбувальної суміші, вона визначає консистенцію фарби, міцність, твердість, атмосферостійкість і довговічність покриття. Її вибирають з урахуванням адгезійних властивостей з основою після отвердження. Захисні властивості й довговічність лакофарбового покриття для бетону, металу чи іншого ма-

теріалу залежать не тільки від виду зв'язувальної речовини, але й від пігменту, наприклад алюмінієвий пігмент сповільнює корозію сталі, тоді як сажа її прискорює.

Полімерні зв'язувальні речовини застосовують у фарбувальних сумішах і лаках як самостійне зв'язуюче разом з розчинником, так і в композиціях, наприклад у сполученні з цементом у полімерцементних фарбувальних сумішах.

Використання синтетичних полімерів не тільки значно скоротило витрату рослинних олій на виробництво фарбувальних сумішей, але й розширило асортимент виробництва нових видів довговічних і економічних фарбувальних складів.

Застосування полімерних лаків і емалей дозволило майже повністю відмовитися від увезених дорогих природних смол (шелаку, копалу, дамару).

Як полімерні зв'язувальні речовини широко використовують синтетичні смоли й каучуки, а також похідні целюлози, що розчиняються до необхідної консистенції в органічних розчинниках. Утворення лакофарбової плівки в цьому випадку відбувається внаслідок випаровування розчинника.

Оліфами називають зв'язувальні речовини, одержані з висихаючих олій чи деяких штучних продуктів, що після твердіння в тонких шарах утворюють міцні й еластичні покривні плівки. Плівкоутворювальні суміші, що не містять висихаючих олій, але здатні замінити їх у малярних роботах, називають *штучними*, чи *синтетичними*, *оліфами*. Оліфи застосовують для розведення фарб, виготовлення ґрунтовок, шпатлівок, для покриття деревини, штукатурки й інших поверхонь. Оліфи повинні висихати в тонких шарах, не даючи відлипу за 24 год за температури 20 °С. Для прискорення висихання в оліфи уводять сикатив.

Оліфу натуральну (олійну) виготовляють двох видів: окиснену та полімеризаційну. Окиснену оліфу одержують шляхом обробки лляної чи конопельної олії продуванням повітря за температури нагрівання до 160 °С з уведенням марганцевого чи марганцево-свинцево-кобальтового сикативу. Полімеризовану оліфу одержують полімеризацією лляної олії нагріванням за температури 275 °С з уведенням марганцево-свинцево-кобальтового сикативу. Оскільки для приготування натуральних оліф витрачаються дорогі рослинні олії, застосування їх у будівництві для зовнішньої і внутрішньої обробки металу, дерева й штукатурки обмежено.

Оліфу напівнатуральну виготовляють з полімеризованих, оксидованих та інших ущільнених олій, оброблених за температури 150…300 °С в присутності сикативу й розчинених у летких розчинниках (уайт-спіриті,

скипидарі, бензолі й ін.). До напівнатуральних оліф відносять оліфу-оксоль і оксоль-суміш.

Оліфи синтетичні на відміну від натуральних чи напівнатуральних не містять рослинних олій чи містять їх не більше 35 %. З безлічі штучних оліф широко застосовують гліфталеву, сланцеву, синтолову, а також етиноль (лак) і кумароно-інденову оліфи.

Гліфталеву оліфу одержують у результаті взаємодії рослинних олій, гліцерину та фталевого ангідриту з додаванням сикативу з подальшим розведенням спеціальним бензином (розчинником для лакофарбової промисловості) до малярної консистенції. Гліфталеву оліфу застосовують для виготовлення високоякісних фарбувальних сумішей для зовнішньої і внутрішньої обробки металу, дерева і штукатурки.

Сланцева оліфа являє собою розчин дизельної і генераторної сланцевої олії в органічних розчинниках; застосовують її для виготовлення фарбувальних складів для внутрішньої обробки.

Етиноль – відходи виробництва хлорофенового каучуку; застосовують його для антикорозійних ґрунтовок і фарб.

Кумароно-інденова оліфа являє собою розчин кумароно-інденової смоли в органічних розчинниках; використовують її тільки для виготовлення шпаклівок і ґрунтовок для внутрішніх робіт.

Клеї застосовують як зв'язувальну речовину у водно-клейових фарбувальних сумішах, для клейових ґрунтовок і шпаклівок, а також як стабілізатор при виготовленні фарбувальних водних емульсій.

Розрізняють клеї тваринні (міздровий, кістковий, казеїн), рослинні (декстрин) і штучні. Міздровий, кістковий клеї, казеїн і декстрин обмежено застосовуються в будівництві, їх витісняють більш ефективні штучні клеї.

Штучний клей являє собою розчин штучних смол у воді, його виготовляють у вигляді суміші карбоксилметилцелюлози й метилцелюлози. Карбоксилметилцелюлоза є продуктом хімічної переробки деревної целюлози жовтуватого кольору, мало підданої гниттю, здатної набухати й розчинятися у воді. Карбоксилметилцелюлозу використовують у клейових і олійних фарбах. Метилцелюлоза має велику стійкість до дії кислот і лугів, чим і відрізняється від карбоксилметилцелюлози.

Полімерний клей являє собою суміш полімерних синтетичних речовин, що мають високу клеючу здатність. Для його одержання використовують полівінілацетатну смолу. Отримане зв'язуюче застосовують у вигляді емульсій для приклеювання плівкових матеріалів і шпалер, що миються, водних чи спиртових розчинів полівінілацетату.

Розріджувачі призначені для розведення густотертих чи сухих мінеральних фарб. На відміну від розчинників розріджувачі містять плівкоут-

ворювач у кількості, необхідній для одержання якісного лакофарбового покриття. Емульсійні розріджувачі являють собою емульсії системи «вода в олії». Їх застосовують для одержання ґрунтовок і розведення густотертих олійних фарб. Їх використання дозволяє більш економічно витрачати висихаючі слабкополімеризовані олії і синтетичні смоли. Емульсійні розріджувачі застосовують для розрідження цинкових і літопонних білил, деяких кольорових густотертих фарб, а також сурику залізного, мумії й вохри. Кількість розріджувача для різних фарб не повинна бути більше 22…40 %. Якщо при цьому не вийшло малярної консистенції фарбувальної суміші, то у фарбу додають розчинник. Емульсійні розріджувачі дають невисоку якість покриття, тому їх застосування обмежене.

Розчинники являють собою рідини, використовувані для доведення малярних сумішей до робочої консистенції. Залежно від призначення розчинники поділяють на три види: для масляних лаків і фарб; для гліфталевих, пентафталевих, бітумних лаків і фарб; для нітроцелюлозних, епоксидних і перхлорвінілових лаків і фарб. Розчинником для клейових водоемульсійних фарб є вода. Як розчинники застосовують скипидар, сольвент кам'яновугільний, уайт-спірит та ін.

18.3. Фарбувальні суміші та їх нанесення

Фарбувальні суміші поділяють на олійні й емалеві фарби, лаки, фарби вододисперсійні та леткосмоляні.

Олійні фарби – це суспензії пігментів і наповнювачів, перетертих у фарботерках з оліфою з рослинних олій з додаванням сикативу. Олійні фарби випускають у вигляді густотертих фарб, що перед вживанням необхідно розводити оліфою до малярної консистенції, і фарб, готових до вживання. Густотерті фарби містять оліфи 12…25 %, а фарби, готові до вживання, – 30…50 % від маси пігменту. Олійні фарби застосовують для зовнішнього і внутрішнього фарбування металу, дерева, штукатурки й бетону. За температури 18…23 °С олійні фарби повинні повністю висихати не більше ніж за 24 год, час висихання чорної олійної фарби становить близько 30 год.

У будівництві застосовують такі основні види олійних фарб: для зовнішнього фарбування – білила цинкові, зелень свинцеву й цинкову, фарбу чорну, земляні густотерті фарби (мумія, вохра), сурик залізний та ін.; для внутрішнього фарбування – білила цинкові й літопонні, зелень

цинкову густотерту, кіновар штучну світло- і темно-червону, сурик залізний та інші кольорові олійні фарби.

Фарби олійні на оліфах з рослинних олій варто застосовувати по просохлій штукатурці й отверділому бетону.

Емалеві фарби – це суспензії мінеральних чи органічних пігментів із синтетичними чи олійними лаками. Найбільш вживаними емалевими фарбами є алкідні, епоксидні та сечовиноформальдегідні. Емалеві фарби мають гарну світлостійкість, антикорозійність, швидко висихають. Їх застосовують для фарбування металу, дерева, бетону і штукатурки внутрішніх і зовнішніх поверхонь.

Алкідні фарби – це суспензії тонкодисперсних пігментів у гліфталевому, пентафталевому та інших алкідних лаках з додаванням розчинників і сикативу. До алкідних фарб відносять гліфталеві емалі загального споживання, що мають знижену й підвищену водостійкість, але нестійкі до дії лугів, і пентафталеві емалі різних марок, що характеризуються більшою довговічністю й водостійкістю, ніж гліфталеві. У групу алкідних фарб входять також алкідностирольні емалі – мають підвищену хімічну стійкість і водостійкість, високу твердість і блиск.

Емалеві епоксидні фарби являють собою суспензію пігментів у розчинах епоксидної смоли. Для них характерна підвищена хімічна стійкість і водостійкість. Застосовують їх як антикорозійні покриття по металу й дереву. Суспензія пігменту в сечовиноформальдегідних смолах утворює карбамідні емалеві фарби, які мають підвищену водостійкість; застосовують їх для покриття вбудованого устаткування.

Лаками називають розчини плівкоутворювальних речовин (природних або синтетичних смол) в органічних розчинниках або у воді, отриманих з додаванням домішок – сикативів, пластифікаторів, отверджувачів. Останній під час лакування поверхні виробів випаровується, а смола у вигляді тонкої плівки залишається, надаючи поверхні блиску і твердості. Лаки поділяють на п’ять груп.

Олійно-смоляні лаки – розчини оліфи в органічних натуральних розчинниках – алкідних чи синтетичних смолах. Застосовують їх для внутрішніх і зовнішніх покрить по дереву й олійних фарбах світлих тонів, для розведення емалей і лаків, одержання стійких антикорозійних покрить і приготування шпаклівок і ґрунтовок. Олійні лаки є найбільш атмосферостійкими й застосовуються для зовнішніх робіт та для нанесення на поверхні локомотивів, вагонів, суден та ін.

Безолійні синтетичні лаки – розчини синтетичних смол в органічних розчинниках. Широке застосування в будівництві набули лаки на основі сечовиноформальдегідних смол, використовувані для покриття паркетних

і дощатих підлог, а також підлог із деревностружкових плит. Перхлорвінілові лаки іденхлориду й перхлорвінілу застосовують для лакування олійних покрить з метою поліпшення їх антикорозійних властивостей.

Лаки на основі бітумів і асфальтів – розчини бітумів, асфальтів і рослинних олій в органічних розчинниках (бензині чи бензолі). Бітумні лаки чорного чи коричневого кольору мають стійкість проти дії кислот і лугів. Бітумні й асфальтові лаки застосовують для антикорозійних паро- і гідроізоляційних покриттів, обробки печей, фарбування газових плит і інших поверхонь.

Спиртові лаки й політури – розчини природних і штучних смол у спирті. Виготовляють їх різних кольорів (жовтий, зелений, голубий, коричневий та ін.) і застосовують для полірування дерев'яних поверхонь і покриття виробів зі скла й металу.

Нітроцелюлозні й етилцелюлозні лаки – розчини ефіроцелюлозних смол в органічних розчинниках. Для підвищення якості лаку в останній додають пластифікатори – натуральні, штучні чи синтетичні смоли. Нітроцелюлозний лак буває жовтого та коричневого кольору; застосовують його для лакування виробів з дерева та меблів. Етилцелюлозний лак безбарвний; використовують його для лакування пофарбованих і нефарбованих виробів з дерева.

Воднодисперсійні й леткосмоляні фарби бувають на мінеральній основі, полімерцементні, емульсійні (латексні) і фарби й емалі леткосмоляні.

Фарби на мінеральній основі – це суміш луго- і світлостійких пігментів і неорганічної зв'язувальної речовини з різними домішками, розведена водою до стану малярної консистенції. За видом зв'язуючої речовини на мінеральній основі бувають вапняні, силікатні та цементні.

Вапняні фарби складаються з вапна, пігменту, хлористого натрію чи хлористого кальцію, а також стіорату кальцію чи кальцієвих солей, кислот, лляної олії. Вапняні фарби застосовують для фарбування фасадів і внутрішніх приміщень по цегляних, бетонних і оштукатурених поверхнях.

Силікатні фарби виготовляють із суміші тонкоподрібнених крейди, тальку, цинкових білил і лугостійкого пігменту з подальшим замішуванням розчинів натрієвого чи калієвого рідинного скла. Силікатні фарби заводського виробництва випускають у двотарному пакуванні двох видів – для фасадної і внутрішньої обробки. Фасадні фарби, що складаються з пігменту, наповнювачів і калійного рідкого скла, застосовують для фарбування фасадів, а також для фарбування внутрішніх приміщень з нормальною і підвищеною вологістю; фарби для внутрішніх обробок, що

складаються з пігментів і наповнювачів, застосовують для фарбування внутрішніх приміщень по бетону, штукатурці та волокнистих плитах, що не містять смоли. Силікатні фарби значно економічніші й довговічніші перхлорвінілових, вапняних і казеїнових. Для захисту металу від корозії в атмосферних умовах, вологому середовищі, у помірних сольових розчинах, для обробки закладних деталей у великопанельному будівництві застосовують протекторні силікатні фарби, що являють собою суспензію цинкового пилу й пігментів у силікатно-силіконовому співполімері.

Цементні фарби заводського виготовлення під час використання змішують з водою. Застосовують їх для зовнішнього і внутрішнього фарбування приміщень з підвищеною вологістю, а також для фарбування ніздрюватого бетону та рельєфної обробки.

Полімерцементні фарби виготовляють на основі цементу, лугоі світлостійких пігментів з додаванням синтетичних смол. Полімерцементні фарби виготовляють різних кольорів для літніх і зимових робіт. Полімерцементні фарби для літніх робіт випускають у двотарному пакуванні, для використання змішують з водною дисперсією полімеру; застосовують для зовнішньої і внутрішньої обробки будівель, а також для фарбування панелей різної поверхні. Полімерцементні фарби для зимових робіт застосовують для зовнішньої обробки фасадів і будівельних конструкцій.

Емульсійні (латексні) фарби являють собою пігментовані емульсії чи дисперсії полімеру у воді. З емульсійних фарб у будівництві застосовують:

– водоемульсійні акрилові фарби – це суспензії пігментів і наповнювачів у акриловому латексі. Як основний покривний пігмент до цих фарб входить двоокис титану. Ці фарби можуть бути різними за кольором і тоном, вони не токсичні, пожежо- і вибухобезпечні, відрізняються високою світло- й атмосферостійкістю, можуть застосовуватися в приміщеннях з високою сонячною радіацією. Покриття гарно очищається, має тривалий термін служби; застосовують для зовнішніх і внутрішніх робіт з фарбування штукатурки, бетону, цегли, дерева й інших пористих матеріалів, а також по попередньо заґрунтованих металевих поверхнях;

– полівінілацетатну фарбу – водну емульсію полівінілацетату з пігментом, пластифіковану дибутилфталатом; роблять її заводським способом і поставляють у пастоподібному стані, а до малярної консистенції розводять водою. Застосовують фарбу для внутрішнього і зовнішнього фарбування бетону, штукатурки й дерева, а також листових матеріалів – лінкрусту та картону;

– стиролбутадієнову фарбу, що складається із суспензії (пігменту в латексі СКС-65) з додаванням емульгатора і загусника, виготовляють на заводі у вигляді паст і до малярної консистенції доводять водою; застосовують для внутрішнього й зовнішнього фарбування різних поверхонь;

– емульсійну фарбу СТЕМ 45 – виготовляють на заводі у вигляді паст і розбавляють до малярної консистенції водою; застосовують її для внутрішнього фарбування штукатурки, бетону, дерева і цегли по старій олійній фарбі;

– фарбу емульсійну СЕМ, що являє собою суспензію пігментів і емульсії, яка складається з гліфталевого лаку, води і емульгаторів з додаванням сикативу й розчинника. Емалі роблять різного кольору й перед вживанням розбавляють уайт-спіритом, скипидаром чи важким розчинником, одержаним у результаті піролізу нафти; застосовують для внутрішньої обробки приміщень, фарбування металевих поверхонь, дерева та штукатурки;

– воднодисперсійні гліфталеві, емульсійні фарби типу ЕМА й емульсійні акрилові фарби бувають білого, жовтого, жовтогарячого й іншого кольорів; перед вживанням розбавляють водою. Фарби стійкі в умовах підвищеної вологості, застосовують їх для зовнішнього і внутрішнього фарбування поверхонь з цегли, каменю, бетону і штукатурки.

Леткосмоляні фарби – це суспензії пігментів у лаках (леткосмоляних сумішей). Висихання таких покрить відбувається в результаті випаровування розчинника.

При великій кількості зв'язувальної речовини у фарбах покриття виходять блискучими й мають гарний розлив. Ці фарби називають *емалями*. Широкого застосування в будівництві вони ще не набули; найбільш поширені з них перхлорвінілові, вініліндехлоридні леткосмоляні емалі й ін.

Перхлорвінілові емалі – розчини сухої перхлорвінілової смоли в суміші з леткими органічними розчинниками з додаванням пігментів, пластифікаторів та інших смол, наприклад алкідної. Вони відрізняються підвищеною водо- і хімічною стійкістю, тому їх застосовують для захисту різних будівельних конструкцій і деталей від впливу хімічних агресивних середовищ. Виготовляють їх різних марок і кольору, доводять до малярної консистенції кам'яновугільним сольвентом чи спеціальними розчинниками, висихають вони при 18…23 °С протягом 2…4 год.

Вінілінхлоридні емалі та фарби випускають різних кольорів. Вони відрізняються підвищеною маслостійкістю, мають таке ж застосування, що й перхлорвінілові.

Емалі ефірцелюлозні, використовувані в будівництві, поділяють на нітрогліфталеві, нітроцелюлозні й етилцелюлозні.

Нітрогліфталеві емалі отримують розчиненням нітроцелюлози й гліфталевої смоли в органічних розчинниках з додаванням пластифікаторів і пігментів, а *нітроцелюлозні й етилцелюлозні емалі* – суспензії пігментів у нітро- чи етилцелюлозному лаках, вони мають підвищену токсичність, вогне- і водостійкість. Застосовують їх для фарбування металевих і дерев'яних конструкцій усередині приміщень. Етилцелюлозні емалі менш вогненебезпечні, ніж нітрогліфталеві й нітроцелюлозні, готують їх на менш токсичному розчиннику. Застосовують для заводського фарбування кухонних меблів і вбудованого устаткування.

Фарбувальні суміші звичайно наносяться в кілька шарів, кожний з яких має особливе призначення:

– ґрунтувальний шар поліпшує зчеплення наступних шарів з основою, зменшує її здатність усмоктувати рідку частину, робить поверхню більш однорідною; наноситься в рідкому стані. При використанні для покриття металевої поверхні він повинен бути антикорозійним. Під олійну фарбу, наприклад, основу ґрунтують тією ж фарбою, розведеною оліфою;

– підмазочний шар заповнює порівняно великі нерівності поверхні, наноситься в густому стані у вигляді пасти;

– шпаклювальний шар вирівнює поверхню й надає їй однорідність; наноситься у вигляді паст (часто механізованим способом). Для бетонної, наприклад, поверхні застосовується гіпсоцементна шпаклівка. Олійна шпаклівка складається з оліфи, сикативу, скипидару й крейди;

– фарбувальний шар дає барвисту плівку заданих кольорів; наноситься звичайно в кілька шарів.

Фарба наноситься щітками, зануренням, обливанням і розпиленням (фарбопульти й пістолети-фарборозпилювачі).

18.4. Допоміжні матеріали

Як допоміжні матеріали для фарбувальних робіт застосовують шпаклівки, замазки, ґрунтовки, а також розчинники, розріджувачі й сикативи, розглянуті раніше.

Шпаклівками називають оздоблювальні суміші, застосовувані для вирівнювання поверхонь, що підлягають фарбуванню. Шпаклівки можуть мати різний склад залежно від виду застосовуваної фарби. Під водорозведені фарби використовують купоросну чи галунову, клейову й полівінілацетатну шпаклівки.

Купоросна, або *галунова*, *шпаклівка* складається з оліфи-оксоль, тваринного клею, олії, господарського мила, мідного або цинкового купоросу й води. Купоросну шпаклівку застосовують під клейове або силікатне фарбування, її наносять щіткою або розпилювачем.

Клейова шпаклівка є 15 %-вим водним розчином тваринного клею і 75 % крейди; наноситься вона шпателем.

Шпаклівки перхлорвінілові й *полістирольні* є пастоподібними масами, наносяться на поверхню з дерева, бетону, штукатурки й металу, яка призначається для фарбування. Перхлорвінілові шпаклівки водостійкі, швидко сохнуть (не більше 2 год); деякі з них придатні для роботи за температури нижче за 0 °С. Шпатлівки полістирольні застосовують з тією ж метою, що і перхлорвінілові, проте вони менш довговічні.

Замазки – пастоподібні суміші, які призначені для промазування віконних хрестовин у випадку скління та при влаштуванні покрівлі з листової сталі. Для віконних хрестовин використовують крейдяну, білильну й нафтенову мастики, що складаються з оліфи натуральної, крейди меленої та сурику. У разі влаштування покрівлі з листової сталі застосовують спеціальну покрівельну мастику, яка складається з натуральної оліфи, крейди й сурику залізного, або мастику на кузбаському лаку – з кузбаслаку, залізного сурику й крейди меленої. Мастики характеризуються хорошою водостійкістю і пластичністю.

Останнім часом у будівництві все частіше застосовується теплопровідна кислотолугостійка самотверднуча мастика «Арзаміт універсальний». Її використовують як антикорозійний теплопровідний футерувальний матеріал, як зв'язувальний компонент під час футерування хімічного устаткування, влаштування хімічно стійкої підлоги, штукатурці будівельних конструкцій – як металевих, так і залізобетонних. Мастику випускають у вигляді двох компонентів – розчину й порошку, які змішуються перед вживанням. Вона має хорошу стійкість до дії кислот, їх розчинів, лугів, до змінних середовищ, дії органічних речовин.

Ґрунтовки – це фарбувальні суміші, які складаються з пігментів або барвників, наповнювачів і зв'язувальних речовин, після висихання вони утворюють суцільну непрозору однорідну тверду плівку (покриття). Ґрунтовки призначені для утворення нижнього захисного шару покриття, тому вони повинні мати високу адгезію до основи. Виготовляють їх двох видів: ґрунтовки під водорозведені фарби та ґрунтовки під олійні й синтетичні фарби. Під водорозведені фарби застосовують купоросну ґрунтовку, мильно-клейову, вапняну з галуном та ін.; їх застосовують під вапняне або силікатне фарбування. Ґрунтовки під олійні фарби звичайно розбавляють оліфою або розчинником. В оздоблювальних роботах ґрунтовки

використовують для зменшення пористості фарбованої поверхні, для скорочення витрати дорогих фарбувальних сумішей і поліпшення зовнішнього вигляду одержуваного покриття, для посилення захисту металевих поверхонь від корозії, для попереднього фарбування дерев'яних та інших поверхонь, призначених під лакування, а також для посилення зчеплення фарбувального шару з основою.

18.5. Застосування лакофарбових матеріалів на транспорті

Залізничний транспорт є одним із важливих споживачів лакофарбових матеріалів. Тільки на парк рухомого складу щорічно витрачаються десятки тисяч тонн лаків і фарб. Специфічні умови експлуатації залізничного рухомого складу й транспортних металевих конструкцій (вплив атмосферних явищ, клімату й т. д.) висувають особливі вимоги до застосовуваних лакофарбових матеріалів.

Для фарбування рухомого складу залізничного транспорту використовуються в основному гліфталеві й пентафталеві лаки й емалеві фарби, гліфталеві ґрунтовки й шпаклівки. Для покриття санітарно-технічного устаткування застосовують асфальтові й пекові лаки.

Гліфталеві шпаклівки АШ-1 і ґрунт № 138 застосовують для підготовки до фарбування зовнішньої поверхні кузова й деяких інших частин суцільнометалевих пасажирських вагонів, а також тепловозів і вантажних критих вагонів.

Пентафталеві емалеві фарби використовують для фарбування кузовів і дахів суцільнометалевих пасажирських вагонів, будки машиніста на паровозах, кузова й деяких інших частин тепловоза.

Зовнішня дерев'яна обшивка вантажного вагона фарбується мумією, тертою на оліфі-оксоль, а дах – залізним суриком на натуральній оліфі.

Для фарбування рами й ходових частин вагонів застосовується чорний бітумний лак № 177. Ті ж частини тепловоза фарбують чорною пентафталевою емалевою фарбою. Як антикорозійне покриття для тепловозів, використовуваних у районах з жарким кліматом, застосовується лак із клею БФ.

Для фарбування рухомого складу застосовують, крім зазначених, й інші лакофарбові матеріали, наприклад, свинцевий сурик на натуральній оліфі для ґрунтування паровозної рами, залізний сурик на нату-

ральній оліфі для фарбування паровозної рами, ґрунтування візків паровоза й буферних брусів, рами візків й інших ходових частин тепловоза.

Для шпаклівки меблів, вагонних диванів, дверей, внутрішньої обробки й інших дерев'яних поверхонь застосовуються спеціальні склади – порозаповнювачі, що являють собою суміш смол (зокрема бурштинової), наповнювачів (тальк, каолін, трепел) і деяких неорганічних барвників. Так, порозаповнювач на бурштиновому лаку ЯП-1 (25 %) містить тальку 75 %. Для покриття поверхні після нанесення порозаповнювачів застосовується лак КОД-1 – продукт конденсації фенолу з додаванням пластифікаторів і кислотного отверджувача. Він викликає корозію металу й не сполучається з олійними фарбами й рядом пігментів.

Для фарбування світлофорів застосовують нітрофарби. Металеві конструкції паровозних депо покриваються хімічно стійкими перхлорвініловими лаками й емалевими фарбами, а також свинцевим білилом і залізним суриком на натуральній оліфі або оліфі-оксоль.

Металоконструкції, що перебувають в умовах впливу агресивного середовища, фарбують перхлорвініловим лаком ХСЛ із додаванням 15 % алюмінієвої пудри, сумішшю лаку ХСЛ із кам'яновугільним лаком (розчин кам'яновугільного пеку в розчинниках) у співвідношенні 1:1, а також перхлорвініловою емалевою фарбою коричнево-червоних кольорів ХСЭ-26. Як ґрунтувальні суміші, що безпосередньо наносяться на метал, використовують гліфталевий ґрунт № 138 або перхлорвініловий ґрунт ХСГ-26 з подальшим фарбуванням перхлорвініловими фарбами та свинцевий або залізний сурик на оліфі (натуральній або оксоль) з подальшим фарбуванням олійними фарбами.

За відсутності агресивного середовища можна використовувати свинцеві білила або залізний сурик на оліфі.

18.6. Шпалери паперові

Шпалерами називають рулонний паперовий матеріал з віддрукованим на лицьовій поверхні кольоровим малюнком. Застосовують для декоративної обробки стін приміщень. За призначенням і експлуатаційним ознакам розрізняють паперові шпалери звичайні, мийні (вологісні), і звукопоглинальні (ворсові).

Малюнки й кольори шпалер дуже різні: неґрунтовані шпалери – малюнок нанесений на негрунтований папір; лепкові – фарби нанесені на папір

одночасно з малюнками; ґрунтовані – малюнок нанесений на ґрунтований і забарвлений папір; гобелени й килими – малюнок нанесений на ґрунтований і забарвлений папір й імітує килим або гобелен; фонові – поверхня має однотонне матове забарвлення; тиснені – забарвлення нанесене з одночасним тисненням малюнка; безшовні – мають будь-яку фактуру.

Залежно від характеру обробки, малюнка, кольору, розмірів шпалери ділять на основне полотно, бордюр до нього, або фриз. Шляхом комбінацій в підборі малюнків, кольорів і видів шпалерних матеріалів можуть бути одержані різноманітні композиції під час обклеювання стін. Для особливої обробки стін використовують шпалери лаковані, а також такі, що являють собою зрізи шпону цінних деревних порід, наклеєних на полотно або папір. Після обклеювання стін такими шпалерами поверхню шпону полірують, одержують стіну, ніби обклеєну деревним шпоном. Різновидом шпалер є лінкруст. Від лінолеуму він відрізняється паперовою основою, а від шпалер – наявністю покривної тонкої полімерної плівки з виділеним на ній малюнком. Ці шпалери миються, легко фарбуються олійною фарбою.

Паперові шпалери випускають завдовжки до 12 м, шириною 500, 600 і 700 мм, іноді довжина рулону буває 30 і 50 м. Бордюри випускають завдовжки до 25 м і шириною 15…100 мм. Основа шпалер повинна бути міцною, мати гладку й однорідну поверхню без плям, ґрунт – рівним, фарбувальний шар – міцним.

Шпалери звичайно застосовують для опорядження житлових кімнат і громадських приміщень; мийні – для оздоблення коридорів, передніх, готелів, ресторанів і т. д.; звукопоглинальні – для обробки приміщень з підвищеними звукоізоляційними вимогами (радіо- і телестудії та ін.).

18.7. Тенденції застосування лакофарбових матеріалів у будівництві та на транспорті

Оздоблювальні роботи є завершальним етапом будівництва й багато в чому визначають собівартість, терміни та ритмічність здачі в експлуатацію будівель і споруд.

Залежно від обсягів і організації виробництва обробних робіт, від ступеня заводської готовності оброблюваних поверхонь малярно-будівельні роботи становлять до 25 % вартості надземної частини будівель, 13…20 % трудомісткості всіх будівельно-монтажних робіт.

Проте з впровадженням індустріального житлового будівництва істотно змінюються обсяг і характер оздоблювальних робіт: велика частина їх з будівельного майданчика переноситься на заводи з виготовлення конструкцій, змінюються фасадні оздоблювальні роботи. Панелі зовнішніх стін надходять із заводу або офактурені декоративним бетоном, або фанеровані керамічними плитками й лише у виняткових випадках – з гладкою бетонною поверхнею, що вимагає фарбування на будівельному майданчику. Значно скорочує терміни і трудомісткість оздоблювальних робіт перенесення в заводські умови операцій з підготовки й фарбування поверхні столярних виробів (віконних хрестовин і дверних полотен). Перенесення робіт із заповнення й часткової обробки віконних отворів на заводи знижує трудомісткість внутрішніх обробних робіт на будівельному майданчику приблизно на 5 %. Подальше підвищення ступеня заводської готовності конструкцій і перенесення оздоблювальних робіт на завод є одним із основних шляхів зниження їх вартості й підвищення якості.

В організації оздоблювальних робіт на будівельному майданчику є значний прогрес. В процесі малярних робіт широко практикується обробка потоковим і потоково-конвеєрним методами, організована централізована заготовка малярних сумішей, роботи проводяться комплексними бригадами і спеціалізованими ланками із застосуванням ручного та механізованого інструменту.

За останні роки все ширше впроваджується фарбування фасадів перхлорвініловими фарбувальними сумішами. Це вимагає дещо більших у порівнянні з вапняним одноразових витрат, але воно економічніше у зв'язку зі значним терміном служби. У перспективі й цей вид обробки витіснятиметься довговічнішими й економічнішими заводськими фактурами деталей в повнозбірному будівництві, а також лицьовою кладкою при зведенні цегляних будівель.

У вітчизняній практиці разом з клейовими й олійними фарбами все ширше застосовують синтетичні водорозведені фарби, емульсійні (латексні), емалеві на різних смолах та ін. Синтетичні лаки й фарби дозволяють підвищити довговічність обробки будівель в 1,5…2 рази, знизити витрати праці на оздоблювальні роботи й підвищити захисні й декоративні властивості будівельних конструкцій.

У будівельній практиці використовують до 40 різновидів лакофарбових покриттів. Але не всі види обробки рівноцінні під час експлуатації будівель, різні і їх техніко-економічні показники.

Лакофарбові покриття повинні створюватися в строгій відповідності з функціональними вимогами до обробки, практично необхідними термінами служби. Здешевлення оздоблювання не повинне відбуватися за

рахунок скорочення терміну служби, так само як і подорожчання не виправдане без продовження міжремонтного періоду.

Фарбування столярних виробів здійснюють найсучаснішим методом електростатичного фарбування.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що називається лакофарбовими матеріалами? Вкажіть призначення лакофарбових матеріалів.
2. Назвіть компоненти лакофарбових матеріалів і охарактеризуйте їх вплив на якість матеріалу.
3. Що називається пігментом? Назвіть властивості пігментів і їх класифікацію.
4. Що називається зв'язувальними речовинами? Які вимоги ставляться до них?
5. Як вибирають зв'язувальні речовини для лакофарбових матеріалів різного призначення? Наведіть приклади.
6. Які різниця між розріджувачами й розчинниками?
7. Які бувають фарбові суміші й галузь їх застосування у будівництві?
8. Що називається лаками? Емалями? Застосування лаків і емалей для транспортного будівництва.
9. Де застосовуються фарби на мінеральній основі?
10. Що являють собою масляні фарби і де вони застосовуються?
11. Що являють собою полімерні фарби і де вони застосовуються?
12. Які матеріали належать до допоміжних?
13. Що називається шпаклівками? Яке призначення шпаклівок?
14. Що називається замазками і ґрунтовками? Яке їх функціональне призначення?
15. Яка послідовність нанесення лакофарбових складів? Яку функцію виконують шари у покритті?
16. Особливості застосування лакофарбових матеріалів на транспорті.
17. Що називається шпалерами? Які бувають шпалери?

Список рекомендованої літератури до розділу 18

1. Орлова О. В. Технология лаков и красок / О. В. Орлова, Т. М. Фомичева, А. З. Окунчиков и др. – М.: Химия, 1980. – 392 с.
2. Рейтман А. И. Защитные лакокрасочные покрытия. – М.: Химия, 1982. – 320 с.
3. Калаус Э. Э, Рыжов Д. А Новые водоэмульсионные лакокрасочные материалы. – М.: Химия, 1983. – 315 с.

4. Лакокрасочные материалы: Технические требования и контроль качества: Справочное пособие / Сост. М. И. Карякина, Н. В. Майорова, М. И. Викторова. – М.: Химия, 1984. – 352 с.
5. Онищенко А. Г. Отделочные работы в строительстве. – М.: Высш. шк., 1989. – 280 с.
6. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покритий. – Л.: Химия, 1989. – 350 с.
7. Орентлихер Л. П. Защитно-декоративные покрытия бетонних и каменных стен зданий: Справочное пособие / Л. П. Орентлихер, В. И. Поганина. – М.: Стройиздат, 1993. – 452 с.
8. Поганина В. И., Орентлихер Л. П. Прогнозирование стойкости защитно-декоративных покритий цементних бетонов / В. И. Поганина, Л. П. Орентлихер. – Пенза, 1995. – 150 с.
9. Карасев К. И. Синтетические лаки и краски, применяемые в строительстве. – М.: Госстройиздат, 1962. – 268 с.

РОЗДІЛ 19

Лісові матеріали

19.1. Загальні відомості

Деревина як будівельний матеріал має такі позитивні властивості: відносно високу міцність, невелику щільність, низьку теплопровідність, легко піддається механічній обробці.

Водночас деревина має і ряд недоліків: анізотропність деревини зумовлює різні показники міцності й теплопровідності уздовж і впоперек волокон, гігроскопічність призводить до зміни властивостей; деревина піддається загниванню й легко займається. Сучасна технологія обробки деревини дозволяє значною мірою знизити зазначені недоліки.

Зараз ефективно використовуються і відходи деревини: з тирси і стружок поряд з фібролітовими й ксилолітовими виробами виготовляють із застосуванням різних органічних клеїв пресовані плити, дошки і т. д. Крім того, деревину використовують для виробництва целюлози, етилового й бутилового спиртів, паперу, картону, органічних кислот, каніфолі й інших продуктів для народного господарства. Тому ощадлива витрата деревини в будівництві є дуже важливим завданням.

19.2. Будова деревини

Дерево складається зі стовбура, крони й коріння. Коріння призначене для зміцнення дерева в ґрунті, для всмоктування вологи й розчинених у ній мінеральних речовин і подачі їх до стовбура. Стовбур утримує крону й служить для переміщення води і поживних речовин від коріння через гілки до листя, а від листя назад до коріння. Будова деревини, видима неозброєним оком чи при невеликому збільшенні, називається *макро-*

структурою, а видима з сильним збільшенням (мікроскопом) – *мікроструктурою*.

Макроструктуру деревини вивчають за трьома розрізами стовбура дерева (рис. 19.1): поперечним, радіальним поздовжнім (по діаметру чи радіусу) і тангенціальним поздовжнім (по хорді). У поперечному й радіальному розрізах стовбура розрізняють такі основні частини (рис. 19.2): кору, луб, камбій, деревину й стрижень.

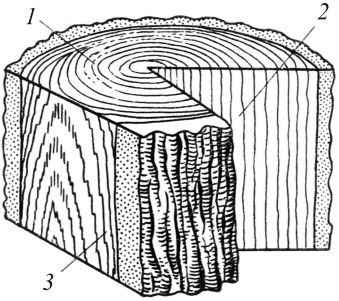


Рис. 19.1. Основні розрізи стовбура: *1* – торцевий; *2* – радіальний (поздовжній); *3* – тангенціальний (по хорді)

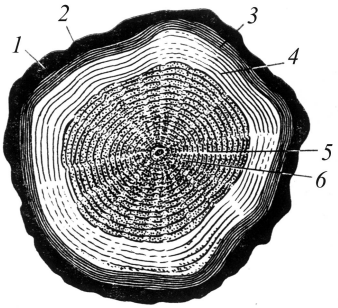


Рис. 19.2. Торцевий розріз стовбура: *1* – кора; *2* – луб; *3* – камбій; *4* – заболонь; *5* – ядро; *6* – стрижень

Кора захищає дерево від механічних пошкоджень. Вона складається із зовнішнього шару – кірки і внутрішнього – лубу.

Луб – тонкий внутрішній шар кори, призначений для передачі поживних речовин із крони деревини вниз; у ньому відкладаються запаси цих речовин.

Камбій – тонкий життєдіяльний шар тканини, що розташовується за лубом. У шарі камбію до центру деревини відкладаються клітки деревини, а убік лубу – луб'яні клітки. Кожна клітка камбію під час розмноження поділяється на дві, одна з яких, більш тонкостінна, відкладається до зовнішньої сторони стовбура, інша, товстостінна, задерев'яніла клітка розташовується в напрямку до стрижня.

Навесні камбій утворює широкі клітини з тонкою оболонкою, так звану весняну деревину. У другій половині вегетаційного періоду, коли дерево навантажене пагонами, що розвиваються, і листям, камбій утворює товстостінні сплюснені клітини, що виконують механічні функції і становлять головну частину літньої деревини. Шари, що утворилися під час

вегетаційного періоду, називають річними. У деяких порід, наприклад дуба, вони добре видимі на торцевому розрізі. Товстий шар деревини, що знаходиться за камбієм, складається з ряду тонких концентричних шарів.

Деревина звичайно має світле забарвлення, але в деяких порід безпосередньо до серцевинної трубки прилягає більш темна деревина, що називається *ядром* чи мертвою деревиною. Від ядра до зовнішньої частини стовбура розташовується світлозабарвлена деревина – *заболонь*. Деревні породи з темною центральною частиною називають *ядровими* (дуб, кедр, сосна), а деревні породи, у яких центральна частина має властивості ядра, але за кольором не відрізняється від периферійної частини, називають *стиглою деревиною* (ялина, ялиця, бук). Якщо в деревної породи ядро відсутнє, то її називають *заболонною* (береза, клен, вільха). У дерева, що росте, заболонь складається переважно з живих клітин.

Стрижень розташований вздовж усього стовбура в його центральній частині. Він складається з клітин з тонкими стінками. Стрижень і пагони, що утворилися в перший рік росту, утворюють стрижневу трубку. Ця частина стовбура є найбільш слабкою, вона погано чинить опір загниванню. Поживні речовини в поперечному напрямку – від кори до стрижня – проходять по стрижневих променях.

Залежно від умов росту річні шари бувають різної ширини навіть у дерев однієї і тієї ж породи. Однак ширина річного шару не так істотно відображається на властивостях деревини, як процентний вміст у ній пізньої деревини – із його збільшенням міцність деревини зростає.

Переміщення вологи в деревині листяних порід відбувається по судинах, розташованих уздовж стовбура. Деякі листяні породи (дуб, ясень, в'яз) мають великі й дрібні судини. Великі судини розташовуються в ранній частині річного шару, а дрібні зібрані в групи чи розподілені рівномірно по всій площі пізньої деревини. Такі породи називають *кільцесудинними* (рис. 19.3).

У деяких листяних породах (береза, осика, липа) великих судин немає, і розходження між ранньою і пізньою частинами річного шару не спостерігається. Ці породи називають *розсіяносудинними* (рис. 19.4).

Дерева хвойних порід судин не мають, вони складаються із замкнутих подовжених клітин – трахеїд (рис. 19.5). У більшості хвойних порід між трахеїдами в пізній частині річного шару знаходяться смоляні ходи – міжклітинні пустоти, заповнені смолою. Крім річних кілець на поперечному розрізі спостерігаються вузькі смуги, спрямовані по радіусах, які називаються стрижневими променями. На радіальному розрізі дуба вони мають вигляд широких стрічок.

Мікроструктура деревини складається з великої кількості живих і відмерлих клітин різних розмірів і форм. Жива клітина має протоплазму, ядро, оболонку й клітинний сік.

Протоплазма являє собою зернистий, прозорий, тягучий слиз (рослинний білок), що складається з вуглецю, водню, кисню, азоту й сірки.

Ядро від протоплазми відрізняється лише наявністю фосфору, воно звичайно має овальну форму.

Оболонка клітини складається в основному з целюлози чи клітковини ($(C_6H_{10}O_5)_n$. У міру росту клітини оболонка зазнає різних змін у будові й складі, у результаті чого відбувається її одерев'яніння, окиркування чи ослизнення. У процесі одерев'яніння в оболонці клітини утворюється речовина лігнін, як результат чого збільшуються твердість і міцність клітини. У разі окиркування в оболонці клітини утворюються речовини з меншим вмістом кисню, ніж лігнін, у зв'язку з чим клітина добре протистоїть гниттю і стає непроникною для води й газів. Ослизнення супроводжується перетворенням усієї оболонки чи частини її в слиз, що розчиняється у воді. Якщо ослизнеться частина оболонки, утворюються отвори, якими клітини з'єднуються між собою, утворюючи судини.

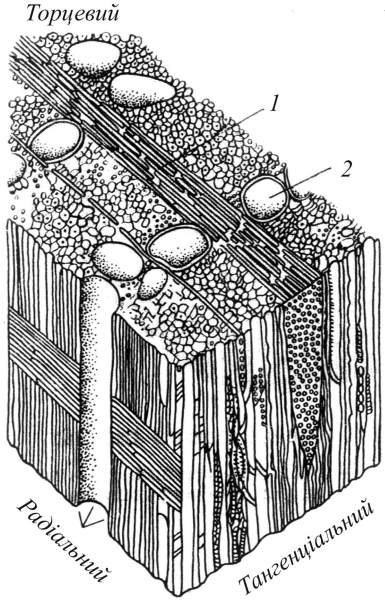


Рис. 19.3. Схема анатомічної будови дуба (порода кільцесудинна):
1 – стрижневі промені; *2* – судини

За призначенням розрізняють клітини провідні, механічні і клітини, що запасають поживні речовини. Провідні клітини служать в основному для передачі поживних речовин від коріння до гілок і листя. Механічні клітини мають витягнуту форму, товсті стінки й вузькі внутрішні пустоти, що щільно з'єднані між собою. Ці клітини в основному надають деревині високої міцності. Клітини, що запасають поживні речовини, знаходяться здебільшого в стрижневих променях і служать для збереження й передачі поживних речовин живим клітинам у горизонтальному напрямку.

Таким чином, деревина – це природний органічний композиційний матеріал із конгломератним типом структури, у якому матриця подана просторовою сіткою з лігніну, а армувальний компонент (наповнювач) – волокнами у вигляді целюлози. Характер структури деревини, у тому числі її кори, визначає експлуатаційні властивості отриманих виробів.

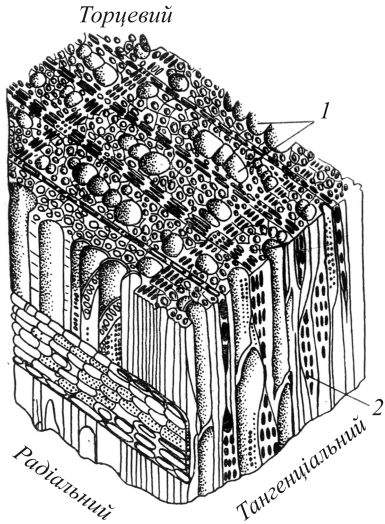


Рис. 19.4. Схема анатомічної будови берези (порода розсіяносудинна):
1 – судини; *2* – стрижневі промені

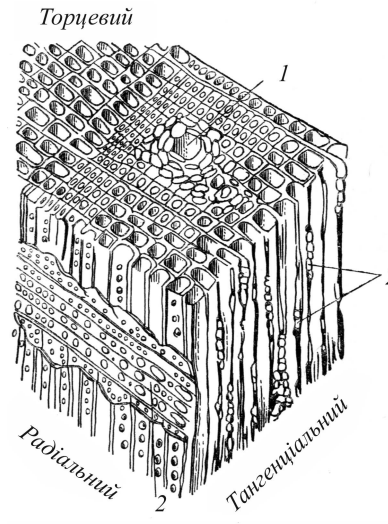


Рис. 19.5. Схема анатомічної будови сосни (хвойна порода):
1 – смоляний хід; *2* – стрижневі промені

19.3. Властивості деревини

Деревина має дуже різноманітні технічні властивості. Найбільш повно вони розкриваються при вивченні її фізичних і механічних властивостей.

Фізичні властивості деревини. На властивості деревини дуже впливає вологість, яка визначає гігроскопічність деревини. *Гігроскопічністю* деревини називають її властивість поглинати з повітря пароподібну воду.

Ступінь поглинання залежить від температури повітря і його відносної вологості. Воду, що знаходиться в деревині, поділяють на три види – капілярну (чи вільну), гігроскопічну й хімічно зв'язану. Капілярна вода заповнює в деревині порожнини клітин, міжклітинні простори й судини. Гігроскопічна вода знаходиться в стінках клітин. Хімічно зв'язана вода входить у хімічний склад речовин, що утворюють деревину.

Основну масу води в дереві, що росте, становить капілярна й гігроскопічна вода чи тільки гігроскопічна вода. Стан деревини, у якій відсутня капілярна вода і міститься тільки гігроскопічна, називається точкою насичення волокон. У деревині різних порід вона становить 23…35 %. Під час висихання деревини волога поступово випаровується з поверхні зовнішніх шарів, а волога, що залишилася в деревині, пересувається від внутрішніх шарів до зовнішнього.

За ступенем вологості розрізняють деревину: мокру, свіжезрубану (вологість 35 % і вище), повітряно-суху (вологість 15…20 %) і кімнатно-суху або рівноважну (вологість 8…12 %).

Рівноважною називають вологість, що має деревина при тривалому перебуванні на повітрі з постійною відносною вологістю і температурою. Рівноважна вологість кімнатно-сухої деревини становить 8…12 %, тому до такої вологості висушують паркетну клепку й деревину, яка використовується в приміщеннях. Волога деревина віддає вологу навколишньому повітрю, а суха поглинає її. Оскільки вологість повітря не постійна, то вологість деревини також змінюється. Зміна вологості деревини від нуля до точки насичення волокон викликає зміну об'єму деревини. Останнє призводить до розбухання й усихання, короблення деревини й до появи тріщин. Для зменшення гігроскопічності й водопоглинання деревину покривають лакофарбовими матеріалами чи насичують різними речовинами.

Щільність деревини залежить від об'єму пор і вологості й характеризує її фізико-механічні властивості (міцність, теплопровідність, водопоглинання). Показник щільності використовують для визначення коефіцієнта якості, який знаходять як відношення границі міцності під час стиску до щільності. У сосни він дорівнює 0,6, у дуба – 0,57.

Пористість деревини хвойних порід коливається від 46 до 85 %, листяних – від 32 до 80 %.

Усиханням деревини називають зменшення її лінійних розмірів і об'єму у результаті висихання. Випаровування капілярної води не супроводжується усиханням. Останнє відбувається тільки в результаті випаровування гігроскопічної вологи. При цьому зменшується товщина водних оболонок, міцели зближаються одна з одною і зменшуються розміри

деревини. Через неоднорідність будови деревина усихає чи розбухає в різних напрямках неоднаково. Лінійне усихання вздовж волокон становить 0,1…0,3 %, у радіальному напрямку – 3…6 %, а в тангенціальному – 7…12 %.

Усихання деревини (%) у поздовжньому $У_{п}$, радіальному $У_{р}$ і в тангенціальному $У_{т}$ напрямках обчислюють за формулами:

$$У_{п} = \frac{a - a_1}{a_1} 100,$$

$$У_{р} = \frac{b - b_1}{b_1} 100,$$

$$У_{т} = \frac{c - c_1}{c_1} 100,$$

де a, b, c – розміри зразка в поздовжньому, радіальному й тангенціальному напрямках до висушування відповідно;

a_1, b_1, c_1 – те ж після висушування до абсолютно сухого стану.

Ступінь об'ємного усихання $У_{об}$ (%) характеризують коефіцієнтом об'ємного усихання й обчислюють з точністю до 0,1 за формулою

$$У_{об} = \frac{V - V_1}{V_1} 100,$$

де V, V_1 – об'єм зразка до і після висушування відповідно.

Коефіцієнт об'ємного усихання $K_{об}$ для різних порід становить 0,2…0,75 % і визначається з точністю до 0,01 % за формулою

$$K_{об} = У_{об} / W,$$

де W – вологість зразка, %; вона не повинна перевищувати точки насичення волокон.

Властивість нерівномірної зміни лінійних розмірів у різних напрямках є однією з негативних властивостей дерева як будівельного матеріалу. Повільне висихання деревини забезпечує більш рівномірне усихання й дає менше тріщин. Нерівномірне усихання деревини в різних напрямках викликає різні напруження, у зв'язку з чим деревина жолобиться і покри-

ється тріщинами. У круглій колоді тріщини розташовуються радіально. Дошки, вирізані ближче до стрижня стовбура, пожолобляться менше, ніж дошки, випиляні ближче до поверхні колоди.

Разбуханням називають здатність деревини збільшувати свої розміри й об'єм в результаті поглинання води, що насичує оболонки клітин. Деревина розбухає в результаті поглинання вологи до точки насичення волокон. Разбухання, як і усихання, неоднакове в різних напрямках. Разбухання деревини вздовж волокон становить 0,1…0,8 %, у радіальному напрямку – 3…5 % і в тангенціальному – 6…12 %.

Теплопровідність деревини низька, вона залежить від характеру пористості, вологості, напрямку волокон, породи й щільності дерева, а також від температури. Теплопровідність деревини уздовж волокон приблизно в 1,8 разу більша, ніж впоперек волокон. У середньому вона дорівнює 0,16…0,30 Вт/(м·К). Зі збільшенням щільності й вологості зменшується кількість повітря, що знаходиться в порожнинах, у зв'язку з чим теплопровідність деревини збільшується.

Звукопровідність деревини в 2…17 разів вище звукопровідності повітря. Швидше всього повітря поширюється уздовж волокон, далі в радіальному напрямку і повільніше в тангенціальному напрямку.

Водопроникність деревини залежить від породи дерева, первісної вологості, характеру розрізу (торцевий, радіальний, тангенціальний), місця розташування деревини в стовбурі (ядро, заболонь), ширини річних шарів, віку деревини. Водопроникність уздовж волокон більша, ніж через радіальну й тангенціальну поверхні. Характеризується водопроникність деревини кількістю води, що профільтрувалася через поверхню зразка (г/см^2).

Стійкість деревини до дії кислот, лугів і води. Тривала дія кислот і лугів руйнує деревину, і чим вище концентрація, тим сильніше їх руйнівна дія. Слаболужні розчини не руйнують деревину. У кислому середовищі деревина починає руйнуватися при pH ≤ 2, тоді як руйнування бетону і сталі починається при pH ≤ 4. За дослідженнями С. І. Ваніна, хвойні породи більш стійкі до дії сірчаної, азотної, соляної й оцтової кислот і їдкого натру, ніж листяні, а найбільшу стійкість має модрина. У морській воді деревина зберігається гірше, ніж у річковій. У воді великої бактеріологічної агресивності стійкість деревини низька, тому її не застосовують у мережах каналізації.

Механічні властивості деревини як анізотропного матеріалу неоднакові в різних напрямках. Вони залежать від багатьох факторів – зі збільшенням вологості міцність деревини знижується; деревина високої

щільності має більш високу міцність. На міцність деревини впливає відсоток пізньої деревини, наявність пороків, гнилизни, будова.

Міцність деревини під час стиску. Зусилля до конструктивного елемента можуть бути прикладені з урахуванням будови деревини уздовж чи впоперек волокон, тому розрізняють стиск вздовж і впоперек волокон. Для випробувань під час стиску вздовж волокон беруть зразки деревини без сучків у вигляді прямокутної призми розміром $20 \times 20 \times 30$ мм при розмірі деревини не менше 30 мм вздовж волокон і випробують на пресі. Міцність (Па) визначають за формулою

$$R_w = \frac{F_{\max}}{ab},$$

де $F_{\max}$ – максимальне навантаження, Н;
a і b – розміри поперечного перерізу зразка, м.

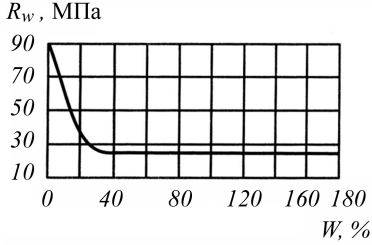


Рис. 19.6. Залежність границі міцності під час стиску від вологості деревини

У зв'язку з тим що механічні властивості деревини залежать від вологості (рис. 19.6), для порівняння результатів випробувань границя міцності під час стиску (Па) вздовж волокон деревини даної вологості приводиться до границі міцності деревини при 12 %-ій вологості за формулою:

$$R_{12} = R_w \left[1 + \alpha \left(w - 12\right)\right],$$

де α – поправковий коефіцієнт на вологість, що показує, на скільки відсотків змінюється міцність деревини у разі зміни вологості на 1 %.

Границя міцності деревини під час стиску вздовж волокон з вологістю 12 % залежно від породи дерева змінюється в широких межах – від 30 до 80 МПа, під час стиску впоперек волокон цей показник значно менший і становить: у радіальному напрямку для ялиці – 4,1 МПа, граба – 25,6 МПа, а в тангенціальному для ялиці – 7,1 МПа, граба – 15,6 МПа.

Міцність деревини під час розтягу. Деревина має високий показник міцності під час розтягу вздовж волокон. Для основних порід ця величина змінюється від 80 до 190. Однак труднощі передачі зусиль, які полягають в тому, що в закріплених кінцях дерев'яної деталі виникають напруження зминання і сколювання, яким деревина погано чинить опір, не дозволяють

широко використовувати деревину в конструкціях, які працюють на розтяг.

Міцність деревини під час статичного згину. Деревина чинить великий опір статичному згину, завдяки чому її широко застосовують для елементів будівель і споруд, що працюють на згин (балки, бруски, крокви, ферми і т. д.). Границя міцності деревини під час згину визначається на зразках-призмах розміром $20 \times 20 \times 300$ мм. Для різних порід вона становить 50…100 МПа (за вологості 12 %).

Випробування зразків виконують за схемою балки, що вільно лежить на двох опорах із прогоном 240 мм і навантажена двома зосередженими вантажами на відстані 80 мм:

$$R_{u(w)} = \frac{2F_{\max} l}{3bh^2},$$

де $F_{\max}$ – руйнівна вага вантажу, Н;
l – відстань між опорами, м;
b, h – відповідно ширина й висота перерізу зразка, м.

Границя міцності деревини під час згину повинна бути зведена до вологості 12 %. У листяних порід міцність під час згину в радіальному й тангенціальному напрямках практично однакова, а у хвойних міцність у тангенціальному напрямку небагато більша, ніж у радіальному. Міцність під час статичного згину залежить від тих же факторів, що й міцність під час стиску.

Міцність деревини при сколюванні уздовж волокон невисока – 6,5…14,5 МПа. Опір деревини впоперек волокон у 3…4 рази вище опору сколюванню вздовж волокон, але чистий зріз звичайно не спостерігається, тому що одночасно відбувається зминання й згин волокон. У будівельних конструкціях деревина часто працює на сколювання вздовж волокон, наприклад у кроквяних фермах та інших елементах конструкцій.

19.4. Дефекти деревини

Дефектами (вадами) деревини називають відхилення від нормальної будови, а також пошкодження, що впливають на її технічні властивості. Дефекти з'являються як під час росту дерева, так і у процесі його зберігання на складах і експлуатації. Залежно від причин їх появи дефекти

поділяють на такі групи: дефекти, що залежать від неправильної будови; утворені від механічного пошкодження; від грибкових захворювань; від пошкодження комахами.

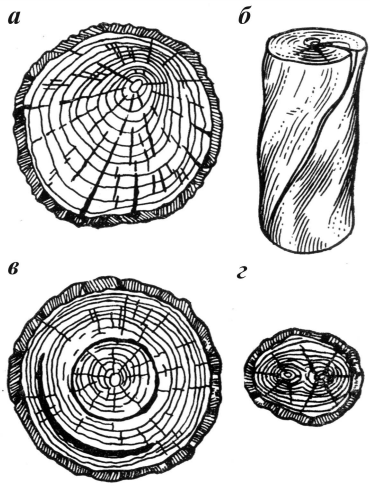


Рис. 19.7. Дефекти, викликані неправильним ростом деревини:
а – крень; *б* – нахил волокон; *в* – відлупина; *г* – подвійний стержень

Дефекти, що залежать від *неправильної будови деревини*, такі:

– штучний нахил волокон деревини в гвинтоподібному напрямку (рис. 19.7, *б*) – значно погіршує фізико-механічні властивості деревини. Деревина з нахилом волокон має підвищене усихання, поздовжнє короблення і знижує міцність деревини під час згину;

– крень однобокий і місцевий (рис. 19.7, *а*) – зустрічається у хвойних порід і являє собою стовщення пізньої частини річних шарів;

– кривизна – являє собою скривлення стовбура за довжиною, буває однобічною і різнобічною, причому стовбур може бути скривлений у одній чи різних площинах. Кривизна зменшує корисний вихід продукції і є причиною штучного нахилу волокон;

– збіжистість – являє собою зменшення діаметра стовбура від коріння до вершини, що перевищує норму; збіжистість є причиною штучного нахилу волокон і зменшує корисний вихід продукції;

– подвійний стрижень – характеризується наявністю двох стрижнів у торцевому перерізі стовбура, зустрічається у випадку двоверхів'я дерева (рис. 19.7, *г*), що знижує якість сортаменту;

– сучкуватість – виражається кількістю сучків на 1 м, величиною і видами самих сучків; сучки бувають зрощені, крихкі, рогові, тютюнові й ін., а також здорові та загнивші (так, тютюнові є осередками загнивання здорової деревини);

– тріщини утворюються не тільки в процесі висихання зрубаного дерева, але і за життя його від різних причин (усихання ядра, розгойдування вітром, дія морозу і т. д.). Тріщини бувають таких видів: метикові, відлупні, морозні й тріщини усихання.

Мітик – це внутрішні радіально-поздовжні тріщини, які проходять через стрижень, але не доходять до лубу. Розрізняють мітик простий і хрестовий (рис. 19.8). Простий мітик складається з однієї чи двох тріщин на торці, розташованих по одному діаметру; хрестовий мітик утворюється двома чи декількома тріщинами на торці, розташованими під кутом одна до іншої. Мітик буває згідний, якщо тріщина йде по стовбуру в одній площині, і незгідний, якщо тріщина йде гвинтоподібно.

Відлупиною називають внутрішню тріщину, що йде по річному шару вздовж стовбура (див. рис. 19.7, *в*). Відлупина може бути дугоподібною чи кільцеподібною.

Морозною називають зовнішню відкриту подовжню тріщину, більш широку із зовнішньої сторони стовбура і звужену до центру стовбура.

Тріщини усихання зустрічаються дуже часто в деревині майже всіх порід (рис. 19.9). Вони утворюються в результаті висихання деревини нижче точки насичення волокон і поширюються від поверхні всередину. Тріщини усихання знижують якість деревини, зменшують кількість корисної деревини й сприяють її загниванню.

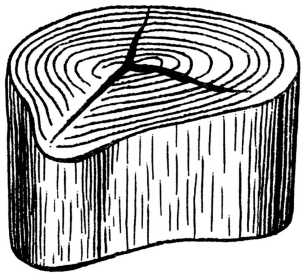


Рис. 19.8. Мітик хрестовий

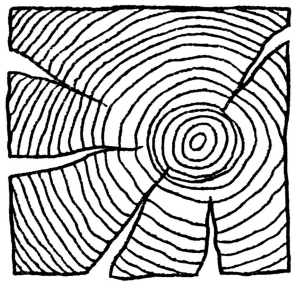


Рис. 19.9. Тріщини усихання

Пошкодження деревини грибками дуже численні. Ненормальні забарвлення й гнилизна деревини викликаються головним чином грибками, а іноді фізико-хімічними факторами. Грибки – найпростіші рослинні організми, що харчуються за рахунок клітин деревини. Грибки розвиваються за наявності кисню, вологи й сприятливої температури. Деревина з вологістю 20 % і менше, а також деревина, поміщена в воду чи на морозі, не загниває.

Деякі грибки можуть розвиватися лише на дереві, що росте, інші – тільки на зрубаному, а деякі розвиваються як на зростаючому, так і на зрубаному дереві. Одні грибки тільки змінюють забарвлення деревини

й майже не впливають на фізико-механічні властивості, інші змінюють колір і фізико-механічні властивості деревини, руйнують її, утворюючи гнилизну.

До групи грибків, що вражають дерево, що росте, і продовжують руйнувати його в конструкціях, належать: гнилизна дуба біла чи бура, гнилизна листяних порід біла і т. ін. Грибки, що розвиваються на деревині в будівлях і спорудах, називають домовими грибками. Найбільш небезпечними, що швидко руйнують деревину, є гриб білий домовий (рис. 19.10) і гриб домовий плівковий (рис. 19.11). До групи грибків, що повільно руйнують деревину, належать цвілі, кольорове забарвлення й синява. Під час її висихання процес гниття деревини припиняється, і всі гриби гинуть.

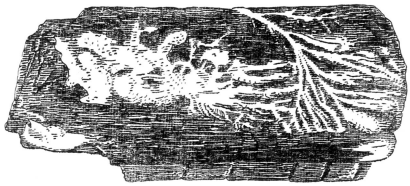


Рис. 9.10. Грибок домовий білий

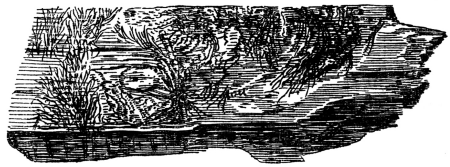


Рис. 9.11. Грибок домовий плівковий

Пошкодження деревини комахами відбувається як на дереві, що росте, так і на зрубаному. Комахи розселяються переважно на свіжозрубаних, а також на корінні сухостійких і ослаблених дерев. Зростаючому дереву найбільшу шкоду завдають короїди, вусачі й інші комахи. Червоточина – це глибоке пошкодження деревини комахами і їх личинками. Деревина, уражена глибокою червоточиною, має низькі механічні властивості й сортність аж до переходу в розряд дров'яної. Глибока червоточина зустрічається на всіх деревних породах.

Короїд – поверхневе пошкодження деревини у вигляді неглибоких звивистих борозенок, викликане жуками-короїдами, лубоїдами та їх личинками. Використовуючи деревину, уражену короїдом, для розпилювання на дошки і тес, пошкоджені місця зрізають, що не чинить шкідливого впливу на матеріал, але при використанні колод, пошкоджених короїдом, можливе швидке їх загнивання, тому що жуки часто заносять спори грибів, що викликають гниття.

Дуже швидко руйнують деревину морських підводних споруд молюски (морський хробак – шашень).

19.5. Запобігання руйнуванню та займанню деревини

Деревина, яка знаходиться в споруді й на складі, може піддаватися руйнуванню, викликаному грибками й комахами. Неоднакові деревні породи мають різну стійкість до руйнівної діяльності грибів і комах. Більш стійкою є щільна деревина зі значним вмістом літньої деревини з дубильними речовинами. Суха окиркована (без лубу) деревина зберігається досить довго в сухих провітрюваних приміщеннях. Деякі деревні породи, що розташовані у воді, не тільки не руйнуються, але й збільшують свою міцність, наприклад дуб.

Запобігання загниванню деревини й продовження терміну служби в споруді досягається шляхом захисту деревини від зволоження конструктивними заходами – фарбуванням чи обмазкою, вилуговуванням й просоченням деревини антисептиками.

Фарбування, обмазка і вилуговування. Термін служби деревини збільшується при суцільному покритті її в сухому стані олійною фарбою, лаком чи оліфою. Значно подовжується термін служби сухої деревини, обмазаної смолою. У цьому випадку смола виконує функції не тільки барвника, але й антисептика, хоча і слабкого. Вилуговуванням деревини в холодній воді або в процесі сплаву лісу можна видалити рослинні соки. Вилуговування роблять також у гарячій воді шляхом виварювання.

Антисептиками називають речовини, що отруюють грибки, які викликають гниття деревини. Антисептики повинні мати високу токсичність до грибків, бути стійкими, не повинні поглинати вологу й вимиватися водою. У той же час вони повинні бути нешкідливими для людини й домашніх тварин, добре проникати в деревину і не руйнувати її і метал, не мати неприємного запаху. Антисептики бувають водорозчинні, олійні й пасти.

Водорозчинні антисептики використовують для обробки деревини, яка в процесі експлуатації не буде піддаватися впливу вологи. З водорозчинних антисептиків найширше застосовують фтористий і кремнефтористий натрій, мідний купорос, динітрофенолят натрію.

Фтористий натрій NaF – білий порошок, малорозчинний у воді, не має запаху, не руйнує деревину й залізо. Застосовують фтористий натрій для просочення й обмазки деревини у вигляді 3 %-го розчину за температури 15 °С. Фтористий натрій не можна використовувати в суміші з вапном, крейдою і гіпсом.

Кремнефтористий натрій Na_2SiF_6 – порошок, погано розчинний у воді, за антисептичними властивостями близький до фтористого натрію.

Застосовують його у вигляді гарячого розчину в суміші з фтористим натрієм у співвідношенні 1:3, а також як компонент у силікатних пастах чи після обробки лугом.

Динітрофенолят натрію роблять з динітрофенолу під дією вуглекислої соди. Динітрофенолят натрію не леткий, не гігроскопічний, не руйнує металів, у сухому вигляді вибухонебезпечний. Використовують його у водних розчинах для поверхневої обробки виробів з дерева, які не будуть знаходитися поблизу поверхонь, що нагріваються.

Олійні антисептики внаслідок горючості й різкого запаху застосовують обмежено, тільки для просочення чи обмазки деревини, що знаходиться на відкритому повітрі, у ґрунті чи воді. До них належать кам'яновугільна креозотова й антраценова олії, торф'яний креозот, кам'яновугільний дьоготь і сланцева олія.

Креозотова олія – чорна чи коричнева рідина – є одним із найкращих антисептиків, слабко вимивається водою, не гігроскопічна, не летка, не руйнує деревину і метал; недоліками є горючість, мала проникністю в деревину (1…2 мм), має неприємний запах, на поверхні деревини утворює щільний шар, що зменшує її висихання. Креозотову олію застосовують підігрітою до 50…60 °С. Вона забарвлює деревину в темний колір, у зв'язку з чим її не можна фарбувати. Креозотову олію не слід застосовувати для внутрішнього фарбування житлових будівель і складів харчових продуктів, підземних споруд і поверхонь.

Антраценова олія – зеленувато-жовта рідина, яка характеризується сильною антисептичною дією, помірно легка, слабко вилуговується водою і не руйнує дерева і металів. Антраценову олію одержують з кам'яновугільного дьогтю. Вона має такі ж властивості, як і креозотова олія, і застосовується в тих же випадках.

Антисептичні пасти за виглядом в'яжучих речовин бувають бітумні, силікатні й ін. Бітумні антисептичні пасти складаються з 30…50 % фтористого натрію, 5…7 % торф'яного порошку, до 30 % нафтобітуму марки III чи IV і до 30 % зеленої нафтової олії. Ці пасти вогненебезпечні під час приготування, мають різкий запах, водостійкі. Застосовують їх для покриття елементів, що знаходяться в умовах зволоження, стикаються із землею і відкриті для атмосферного впливу. Силікатні антисептичні пасти містять 15…20 % кремнефтористого натрію, 65…80 % розчинного скла, 1…2 % креозотової олії і до 20 % води. Ці пасти не водостійкі і не горючі. Застосовують їх у промисловому й житловому будівництві в місцях, захищених від води.

Способи антисептування деревини такі: поверхневе антисептування, просочення в гаряче-холодній чи у високотемпературній ваннах, просочення під тиском і т. д.

Поверхневе антисептування полягає в промазуванні чи обприскуванні деревини розчином антисептика.

Просочення деревини в гаряче-холодній ванні проводять водорозчинними й олійними антисептиками. При цьому деревину спочатку завантажують у ванну з гарячим антисептиком з температурою до 98 °С і витримують 3…5 год, а потім поміщають у ванну з холодним антисептиком на 1…3 год з температурою водорозчинних антисептиків 15…20 °С і олійних 40…60 °С. Цей спосіб ефективний для просочення підсушеної деревини, що має вологість заболоні не більше 30 %.

Просочення деревини у високотемпературних ваннах (з петролатумом) застосовують для антисептування сирої деревини. Деревину завантажують у ванну з розплавленим рідким петролатумом, що має температуру 120…140 °С, і витримують у ній якийсь час для нагрівання і сушіння, потім деревину переміщають у холодну ванну з олійним антисептиком з температурою 65…75 °С на 24…48 год. У цьому способі поєднується сушіння й антисептування деревини.

Просочення деревини під тиском роблять водними й масляними антисептиками в спеціальних сталевих циліндричних казанах – ретортах з робочим тиском 0,6…0,8 МПа. Для цього лісоматеріал завантажують у просочувальний бак і герметично закривають, тобто створюють вакуум. Потім бак наповняють антисептиком і підвищують тиск до 0,6…0,8 МПа, після чого тиск доводять до нормального, видаляють антисептики і виймають лісоматеріал.

У разі просочення деревини олійними антисептиками їх попередньо підігрівають, щоб температура в баці під час просочення не була нижче встановленої межі.

Запобігання займанню деревини. Легка займистість деревини – один з істотних її недоліків. Захистити деревину від займання можна шляхом покриття штукатуркою, гіпсовими чи азбестоцементними листами, обробкою вогнезахисними речовинами. Застосовують два способи обробки покриттям – фарбами й антипіренами – спеціальними хімічними речовинами.

Вогнезахисті фарби за складом бувають силікатні, казеїнові, олійні та хлорвінілові. Силікатні фарби виготовляють на розчинному склі, вони мають високі вогнезахисні властивості. Під час фарбування деревину покривають шаром вогнезахисної фарби, що сама собою не горить, довго не руйнується від вогню й погано проводить тепло. Антипірени являють собою

більш надійний засіб боротьби із займистістю деревини. Вони за високої температури або плавляться, або виділяють гази, що перешкоджають горінню. Рівномірно просочене антипіреном сухе дерево за високої температури не займається, а тільки жевріє. Кращими вогнезахисними властивостями характеризуються антипірени, що містять солі амонію чи борної і фосфорної кислот. Просочення деревини антипіренами виконують так само, як і просочення водорозчинними антисептиками. Це дає кращі результати, ніж покриття її вогнезахисними фарбами.

19.6. Породи деревини і їх застосування в будівництві та на транспорті

На залізничному транспорті для верхньої будови, а також у вагонобудуванні й для ремонту вагонів широко застосовують хвойні та листяні породи деревини.

Представники хвойних порід – це сосна, ялина, модрина, ялиця.

Сосна залежно від умов виростання буває двох видів: рудова і мяндова. Рудова сосна росте на високих піщаних ґрунтах і має дрібношарову щільну смолисту деревину, велике ядро й вузьку заболонь. Мяндова сосна зростає в низинах на піщаних чи глинистих ґрунтах і має більш слабку, ніж рудова, широкошарову деревину, мале ядро й широку заболонь. Сосну застосовують для зведення стін житлових будівель, мостів, естакад, стовпів, для виготовлення віконних хрестовин, дверей, підлог. Сосна є основною деревною породою, яка застосовується для обшивання кузовів, влаштування підлог та для деталей внутрішнього устаткування пасажирських вагонів, фарбується олійними фарбами.

Ялина – порода зі стиглою без'ядровою деревиною, має білий колір, іноді з жовтуватим чи рожевим відтінком. Вона має меншу смолистість, ніж сосна, тому швидше загниває. Ялину широко використовують у будівництві, хоча за фізико-механічними властивостями вона поступається сосні. Застосовується як заміна сосни у менш відповідальних випадках у вагонобудуванні, водних та підземних спорудах, житлових та службових будівлях. Ялина погано піддається просочуванню антисептиками.

Модрина – ядрова хвойна порода з червонувато-бурим ядром і вузькою заболонню білого кольору. Деревина модрини має високі фізико-механічні властивості, її щільність і міцність на 30 % вище, ніж у сосни.

Стійка проти загнивання, має високу твердість, що ускладнює обробку. До недоліків модрини варто віднести велику різницю між радіальним і тангенціальним усиханням, у зв'язку з чим вона має схильність до розтріскування. Застосовують модрину для виготовлення стовпів і балок в основному в гідротехнічному будівництві, а також для виготовлення шпал, водопровідних труб та для всіх споруд, які експлуатуються у вологих умовах. Застосовується у вагонобудуванні.

Ялиця – порода без'ядрова зі стиглою деревиною білого кольору. У ялиці відсутні смоляні ходи; за технічними властивостями вона близька до деревини ялини й застосовується з тією ж метою, але менш стійка у вологих умовах.

Листяні породи дуже численні й мають різноманітні властивості. Найбільшого застосування в будівництві та на транспорті набули дуб, береза, вільха, осика, бук, липа, клен.

Дуб – ядрова кільцесудинна порода із заболонню жовтуватого кольору з добре вираженими стрижневими променями. Деревина дуба щільна, міцна і пружна, стійка проти гниття, має красивий малюнок і колір, але схильна до розтріскування. Деревина дуба є надійним будівельним матеріалом, але через дефіцитність її застосовують тільки для паркету, столярних і опоряджувальних робіт у суднобудуванні. Дуб застосовується для деталей внутрішнього оздоблення пасажирських вагонів, до яких ставляться вимоги щодо декоративності.

Береза – заболонна порода з твердою і важкою деревиною білого чи жовтуватого кольорів. Береза досить міцна, але мало стійка проти гниття, в процесі висихання жолобиться. Застосовують березу для виготовлення фанери, токарських виробів, меблів.

Вільха – заболонна порода, легка, м'яка, ламка, сильно жолобиться. На повітрі деревина вільхи швидко псується, але якщо вона у свіжозрубаному стані застосовується для підводних споруд, то досить міцна і зберігається довго.

Осика – заболонна порода, легка, м'яка, білого кольору. У сухому середовищі осика міцна, добре колеться й оброблюється на токарському верстаті, мало коробиться і мало тріскається в результаті висихання. Застосовують осику для одержання фанери, покрівлі й т. д.

Бук – важка тверда деревина білого кольору з червонуватим відтінком. В процесі висихання коробиться і тріскається, схильна до загнивання, особливо в місцях зі змінною вологістю.

19.7. Зберігання та сушіння лісових матеріалів

Свіжозрубана деревина має вологість значно більшу, ніж допускається під час її використання. В процесі швидкого висихання деревини можливе короблення й розтріскування. Тому перед використанням деревини в будівництві її сушать, що захищає від загнивання, збільшує міцність, зменшує щільність і схильність до зміни форми й розмірів. Зараз застосовують такі способи сушіння деревини: повітряне (природне), камерне, електросушіння, сушіння в гарячих рідинах. Основними є повітряне й камерне сушіння.

Повітряне сушіння відбувається на відкритому повітрі, під навісом чи у закритих складах. Тривалість сушіння деревини з вологістю 60 % до вологості 20 % залежно від пори року – 15…60 діб. Повітряне сушіння вимагає великих площ, залежить від кліматичних умов і пори року, не виключає загнивання деревини, а висушування її можливе тільки до повітряно-сухого стану.

Камерне сушіння здійснюють у спеціальних камерах-сушильнях за допомогою нагрітого і зволоженого повітря чи топкових газів з температурою 40…105 °С. В разі камерного сушіння витримується певний режим, тобто співвідношення між температурою і вологістю повітря. Порушення режиму сушіння призведе до розтріскування й короблення деревини, до збільшення браку й подовження термінів сушіння. Штучне сушіння не тільки скорочує терміни сушіння, але й дозволяє висушувати вироби до вологості нижче 16 %, одержувати деревину високої якості, без жолоблення і тріщин. Серед недоліків камерного сушіння слід виділити необхідність мати устаткування й приміщення, а також значну витрату палива, електроенергії і робочої сили.

19.8. Матеріали, вироби й конструкції з деревини

У будівництві застосовують такі види лісових матеріалів і виробів: лісоматеріали круглі (колоди), пиломатеріали й заготовки, вироби стругані погонажні, матеріали для підлог, плити столярні, матеріали для покрівель тимчасових будівель, фанеру, драньштукатурну й столярні вироби. До дерев'яних конструкцій належать: несучі конструкції, виготовлені з природної (неклеєної) деревини; комплекти виробів і деталей для будинків заводського виготовлення і клеєні конструкції.

19.8.1. Лісоматеріали круглі й пиломатеріали

Круглі будівельні лісоматеріали (колоди) з хвойних і листяних порід повинні мати товщину на верхньому торці не менше 14 см і довжину 4…6,5 м. Для гідротехнічних споруд і елементів мостів застосовують колоди з хвойних порід товщиною 22…34 см, довжиною 6,5…8,5 м; для ліній електропередач і зв'язку – колоди хвойних порід товщиною 20…32 см і довжиною 6,5…18 м, а для шпал залізниць – колоди хвойних і листяних порід товщиною не менше 24 см і довжиною 2,7…5,4 м. Колоди повинні бути очищені від сучків урівень з поверхнею й обкоровані з повним видаленням лубу.

Для несучих конструкцій будівель і прогінних будов мостів вологість круглих лісоматеріалів не повинна перевищувати 25 %, а для конструкцій, що знаходяться постійно у воді (палі, шпунти), може бути будь-якою.

Для елементів несучих конструкцій постійного призначення за якістю деревини колоди поділяють на три категорії. До першої і другої категорій відносять колоди, у яких не допускаються пошкодження деревини гнилизною і червоточиною. Кількість інших видів пошкоджень (тріщини, нахил волокон, кількість і розміри сучків) обмежується для першої категорії колод більше, ніж для другої. До третьої категорії відносять колоди з дефектами всіх різновидів, за винятком гнилі. Обмежена також кількість гнилих і тютюнових сучків. Допускають тільки поверхневу (пошкодження короїдом) червоточину.

Зберігають круглі лісоматеріали у штабелях залежно від породи, категорії і довжини.

Пиломатеріали одержують поздовжнім розпилюванням деревини: на дошки товщиною 100 мм і менше при співвідношенні ширини до товщини більше 2; бруски товщиною 100 мм і менше при відношенні ширини до товщини 2 і менше; бруси (чотири- і двокантові) товщиною й шириною більше 100 мм.

Пиломатеріали можуть застосовуватися для будівництва чи є напівфабрикатами для виготовлення різних конструкцій та виробів, наприклад вагонів, меблів та ін. Серед пиломатеріалів є значна група спеціально залізничного призначення – матеріали верхньої будови колії, матеріали для снігозахисту, для вагонобудування та ремонту вагонів.

За характером обробки пиломатеріали поділяють на обрізні, у яких обидві крайки пропиляні по всій довжині, і необрізні, у яких крайки не пропиляні чи пропиляні менше, ніж на половину довжини.

Із хвойних порід виготовляють пиломатеріали трьох видів: дошки, бруски і бруси. Дошки роблять товщиною 13…40 мм і шириною

80…250 мм; бруски – товщиною 50…100 мм і шириною 80…200 мм; бруси – товщиною 130…250 мм і шириною 130…250 мм. Пиломатеріали з хвойних порід мають довжину до 6,5 м із градацією 0,25 м. З листяних порід пиломатеріали виготовляють довжиною 1,0…6,5 м із градацією 0,25 м, товщиною 13…75 мм і шириною 80…200 мм. Пиломатеріали для клеєних конструкцій повинні мати вологість не більше 15 %, а для прогінних будов мостів та інших несучих конструкцій – не більше 25 %.

Мостові бруси мають прямокутний переріз і призначені для укладання впоперек на залізничних мостах під рельси нормальної колії. Виготовляють їх із сосни, модрини, кедра та дуба. Довжина їх коливається від 3,5 до 5,2 м, переріз – від 20×24 до 22×28 см.

Перевідні бруси являють собою відрізки круглого лісу, пропиляні чи обрізані з двох чи чотирьох сторін. Вони призначені для укладання упоперек під рельси залізничних стрілочних переводів. Виготовляють із сосни, кедра, модрини чи ялиці. Під час ремонту суцільнометалевих вагонів використовують деревину, фанеру, столярні та фанерні плити.

Деревина, застосована для пиломатеріалів, має бути високої якості й не містити гнилизни, а для пиломатеріалів першої і другої категорій – також червоточини, пасинків, гнилих і тютюнових сучків.

Дерев'яні шпали. Підрейкові основи можуть виконуватися у вигляді окремих опор (шпал) (рис. 19.12), поздовжніх лежнів, рам і плит. Матеріалом для шпал служать дерево, залізобетон і метал. На мережі залізниць світу переважають дерев'яні шпали (80…85 %). Наприклад, у СНД дерев'яні шпали становлять близько 79 %, у США – понад 99 %, в Австрії – 80 %, в Угорщині – 60 %, у ФРН – 49 % загальної кількості шпал, покладених у колії. Останнім часом великого поширення набули залізобетонні шпали, особливо в поєднанні з безстиковими рейковими плітями. Ще збереглися в деякій кількості металеві шпали коритоподібної форми (Німеччина, Індія й ін.). Вони мають ряд істотних недоліків (здатність до корозії, електропровідність, підвищені динамічні впливи на баласт, важкість ущільнення баласту під шпалами). У субтропічних і тропічних країнах на лініях з відносно слабким рухом можна зустріти штучні металеві опори під кожною рейковою ниткою, іноді з поперечним зв'язком один з одним.

Дерев'яні шпали мають ряд переваг. Вони пружні, глибоко й стійко розташовуються в баласті, легко піддаються обробці. Їх проста форма забезпечує легкість підбиття або підсипання баласту під шпали.

Основними породами лісу для шпал є сосна, модрина, дуб і бук. Крім того, використовують кедр, ялину, ялицю, березу й інші породи.

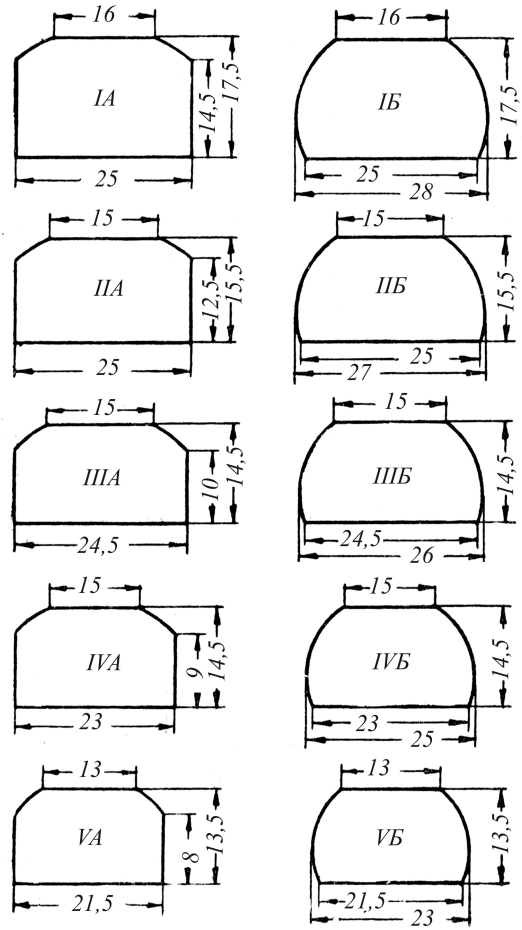


Рис. 19. 12. Форми поперечного перерізу та розміри дерев'яних шпал, см

Бук належить до твердих порід, часто має так зване хибне ядро, забарвлене в червоний або червонясто-бурий кольори; без просочення антисептиками (протигнильними речовинами) загниває через 1…3 роки; сильно тріскається під безпосередньою дією сонячних променів. У процесі

просочення олійним антисептиком і запобіганні від розтріскування служить понад 40 років. Букова шпала просочується наскрізь по всьому перерізу, за винятком хибного ядра, у яке антисептик майже не проникає. Хибне ядро допускається розміром не більше 1/3 площі перерізу в шпалах першого сорту й 1/2 – другого сорту. Вихід його на верхню постіль шпали не допускається.

Дуб, що має тверду деревину, має схильність до розтріскування й часто зустрічається зі значною кривизною. У дубових шпал, як і в букових, опір висмикуванню й стискуванню прикріплювачів вище, ніж у шпал з більш м'яких порід. Навіть непросочені дубові шпали служать довше, ніж шпали з інших порід. Дубові шпали, як і букові, поширені на ряді доріг заходу й південного заходу СНД. Зараз шпали з дуба як особливо дорогої породи в нас не виготовляються.

Сосна значно м'якше дуба й швидше загниває, але соснові шпали більш пружні й менше піддаються розтріскуванню. Сосна прямостовбурна. Соснові шпали найбільше поширені на дорогах СНД.

Модрина має тверду деревину, що погано просочується. В процесі сушіння шпал у штабелях вони розтріскуються, а при перешиваннях колії розколюються. Щоб уникнути цього, слід вживати спеціальних заходів. Модрина дуже поширена в азіатській частині СНД, займає до 40 % всієї площі лісових масивів, але із зазначених причин її використання для заготівки шпал обмежено.

У ялини, ялиці й кедра деревина більш слабка, ніж у сосни, і важче піддається просоченню. До 30 % загальної кількості шпал на дорогах СНД виготовляються з ялини. СНД має значні масиви ялиці й кедра. При цьому необхідно шпали із зазначених порід піддавати просоченню високої якості й армуванню твердими елементами.

Береза має тверду й некілку деревину; механічна міцність її значно вище, ніж у сосни; застосовується з успіхом у ряді країн (Данія, США й ін.). У СНД є потужні масиви березового лісу, придатного для шпал, зокрема на Далекому Сході. Березові шпали можуть набути в нас широкого застосування.

Крім зазначених порід, у ряді країн застосовують ще й інші (ясен, клен, в'яз, тополя, каштан, кипарис і т.д.)

Шпали з твердих порід (дуб, бук й ін.) становлять близько 52 % загальної кількості шпал на залізницях світу.

Деревина, вживана на шпали, повинна бути міцною і здоровою, мати обмежену кількість дефектів, не повинна бути занадто косошарою.

Шпали за чинним стандартом діляться на обрізні, у яких пропиляні всі чотири сторони, і необрізні, у яких пропиляні тільки постелі. Ті й інші за-

лежно від розмірів поділяються на три типи. Шпали I типу призначені для головних колій, II типу – для станційних і під'їзних колій і III типу – для малоактивних колій промислових підприємств. За якістю деревини шпали діляться на два сорти.

Найкращою формою дерев'яних шпал є прямокутна.

Для виготовлення шпал використовують найцінніший повномірний ліс. Шпали, що укладають на магістральних лініях, виготовляють із лісу діаметром від 26…28 до 40 см і більше у віці 80…100 років. Зі зрубаного стовбура на виготовлення шпал іде лише нижня частина. Для економії корисної деревини варто застосовувати складені шпали, поєднані болтами, із двох брусків. Клеєні шпали з дощок, рейок не вигідні, тому що строк їх служби близько 10 років, а вартість в 2…3 рази вище, ніж у суцільнобрускових. Клеєні шпали й різного роду бруси були випробувані в ряді країн (Чехія, Польща, Німеччина, Венгрія, Франція й ін.). У СНД на виготовлення клеєних мостових та перевідних брусів (для стрілочних переводів) є рекомендації ВНІІЖТа, згідно з якими строк служби клеєних перевідних брусів близький до терміну служби суцільнобрускових, але вони значно дорожче.

Шпали знімають із колії через гниття або механічне зношування. Фактично обидва процеси відбуваються одночасно й взаємно впливають один на одного.

Деревина з вологістю нижче 23 % не гниє; деревина з вологістю понад 80 % майже не гниє; у зв'язку із цим процеси гниття шпал у різних районах нашої країни різні. У районах зі значним випадінням опадів (північна й середня смуги України) нижня частина шпал звичайно має вологість понад 60 %, а в багатьох випадках – і понад 80 %. Шпали загнивають в основному у верхній частині. У посушливих районах з різко континентальним кліматом, характерним для південного сходу, у верхній частині шпал звичайно вологість не перевищує 20 % і шпали загнивають знизу. У районах півдня країни, де кількість опадів велика, при високій вологості повітря шпали звичайно загнивають зверху й частково знизу. Як правило, шпали гниють інтенсивно у зонах костильних отворів, якщо ці зони не антисептують. На сьогоднішній день через гниття виходить з експлуатації 40…60 % загальної кількості змінюваних шпал.

Механічне зношування (змочалювання деревини, поява тріщин і т. ін.) підсилює й прискорює процес загнивання, останній у свою чергу прискорює механічне зношування шпал. Збільшення вологості деревини на 1 % зменшує її міцність приблизно на 3 % (в інтервалі вологості від 20 до 40 %). Наприклад, у разі збільшення вологості ялинової деревини з 10 до 30…40 % тимчасовий опір стиску вздовж волокон знижується з 88,2 до

24,5 МПа, залишаючись у випадку подальшого збільшення вологості майже незмінним. Опірність стиску під підкладкою деревини, що перебуває у повітряно-сухому (наприклад, наприкінці сухого літа) або замороженому (узимку) стані, приблизно у 2 рази більше, ніж у випадку насичення шпал вологою дощовою весною або восени.

Без вживання спеціальних заходів проти гниття букові шпали можуть виходити з ладу через 1…3 роки, дубові – через 8 років; шпали з інших порід мають проміжні строки служби. Такі малі строки неприпустимі в умовах звичайної експлуатації. Для запобігання гниттю шпал їх просочують антисептиками. На дорогах України заборонене укладання в колію непросочених шпал.

Для просочення шпал можуть застосовуватися мінеральні антисептики, наприклад хлористий цинк і фтористий натрій, і органічні – кам'яновугільне, сланцеве й інше масла. У СНД застосовують олійні антисептики.

Важливе значення для якісного просочення має невисока вологість деревини (не більше 25 %).

Просочення шпал здійснюється тільки з однією метою – боротьба із гниттям, хоча, звичайно, не можна виключати підвищення механічної міцності деревини на стиск в процесі просочення її олійними, тобто гідрофобними антисептиками. У цей час завдання ставиться значно ширше – просоченням потрібно надати деревині нових технічних характеристик, підвищити твердість, міцність і діелектричні властивості, якщо не в цілому, то в потрібних місцях (наприклад, у місцях розташування підкладок і прикріплювачів).

Шпали зберігають у штабелях, між якими залишають необхідні просвіти. У всіх випадках шпали укладають на здорових просочених підкладках на каменях. Під час зберігання шпал вживають заходів для запобігання їх розтріскуванню. В разі використання непросочених або просочених водними розчинами шпалах доцільна обмазка торців шпал розчином крейди або гашеного вапна в суміші з глиною.

Для забезпечення найбільших строків служби шпал, крім антисептування, повинна проводитися боротьба з їх механічним зношуванням.

Основними видами механічного зношування шпал є:

– зминання й перетирання деревини підкладками або підошвами рейок;

– розробка отворів для прикріплювачів;

– розтріскування шпал.

Для боротьби з механічним зношуванням шпал вживаються такі заходи:

– збільшення площі підкладок;

– закруглення переходів від вертикальних граней підкладок до їх нижніх постелей, здійснюване лише по двох сторонах, і влаштування підкладок трохи більшої ширини, ніж ширина верхньої постелі шпал;

– перехід на змішані або роздільні скріплення для зменшення вібрації підкладок;

– застосування пружинних проміжних скріплень (костилів і шурупів із пружинною головкою у випадку нероздільного й змішаного скріплення; пружинних клем, шайб і шурупів при роздільному скріпленні) для пружної переробки й зниження бічних і вертикальних ударно-динамічних впливів коліс на рейки без твердої передачі їх на шпали;

– свердлення отворів у шпалах перед забиванням костилів;

– укладання під рейками прокладок для рівномірності передачі тиску від рейок до шпал;

– укладання між колійними підкладками й шпалами прокладок для запобігання шкідливій дії вібрації підкладок. Для прокладок використовують синтетичні матеріали: гумовий регенерат, корд, багатошарову парусину або плетене рядно, просочені вологостійкими заповнювачами, і т. ін. Ці прокладки повинні бути менш твердими, ніж деревина шпали. Прокладки із твердих матеріалів (деревопластик, бакелізована фанера тощо) при вібраціях перетирають деревину шпал, врізаючись у неї своїми ребрами. Зараз у СНД поширені гумовокордові прокладки з відходів шинного виробництва (гума з вмістом приблизно 50 % корду);

– закріплення колії від угону;

– зведення перешивань колії до мінімуму й застосування для перешивання антисептованих дерев'яних пластинок-закріплювачів, що лише частково заповнюють костильні отвори (шириною 15 мм і товщиною 2,4 й 6 мм). Це створює міцне положення костиля в шпалі й захищає шпали від розколювання через уведення в них пробок, особливо у разі частих перешивань;

– заповнення при кожному перешиванні костильних отворів строго необхідною кількістю антисептичної пасти.

Для запобігання утворенню тріщин або за наявності в нових шпалах лише незначних тріщин (щоб уникнути їх збільшення) тріщини прочищають, потім шпалу спеціальним приладом стискають й обв'язують із досить щільним обляганням і більшим натягом сталевою смугою перерізом не менше $20 \times 2\,мм^2$ або дротом діаметром 5…7 мм. У випадку застосування дроту на ребра шпали під дріт доцільно укладати зігнуті сталеві смужки для недопущення його врізання в шпалу. Обв'язку накладають на кінці шпал на відстані 150 мм від підкладок. Досвід показав, що смугова

обв'язка протягом декількох років (при щебеневому баласті) перетирається й розривається.

Проти розтріскування забивають також П-подібні скоби у верхні й нижні постелі шпал на відстані 10…15 см від їх торців. Товщина скоби приймається 2 мм, ширина – 10…12 мм, висота ніжок скоби – 40…50 см. Крім того, застосовують стяжні металеві болти із шайбами або дерев'яні гвинти (букові, березові), що мають зовнішній діаметр 25 мм, внутрішній – 19 мм і крок трапецеїдальної нарізки 12 мм. Встановлюють звичайно по одному гвинту на кожному кінці шпали на відстані 10…15 см від торців. У випадку вже просочених шпал стінки отворів із гвинтовою нарізкою, зроблених у шпалі, обмазують антисептиком і в отвори вгвинчують попередньо наскрізь просочені гвинти.

Після просочення всіх наявних тріщин антисептичною пастою й покриття шпал гідроізоляцією їх шпаклюють, щоб не допустити розвитку наявних або утворення нових тріщин й оголення непросоченої частини деревини, підданої загниванню. Гідроізоляція сама може служити шпаклівкою, якщо нею будуть заповнені всі тріщини. Гідроізоляція у випадку пошкодження негайно відновлюється в ході поточного утримання.

В разі розробки отворів для прикріплювачів у шпалах встановлюють в них втулки. Ремонт шпал може виконуватися як у колії, так і у майстернях.

Строк служби шпал залежить від навантажень колісних пар на рейки, швидкостей руху й особливо вантажонапруженості лінії, а також від кліматичних умов.

Зараз строк служби дерев'яних шпал у СНД у середньому 15 років, що значною мірою пояснюється високою вантажонапруженістю наших доріг і застосуванням шпал з м'якої деревини.

19.8.2. Заготовки, стругані погонажні матеріали з деревини хвойних і листяних порід

Заготовками називають пиломатеріали, заготовлені за габаритними розмірами виробів з деревини з припусками на усихання й обробку, передбаченими чинними стандартами.

Залежно від виду обробки заготовки поділяють на пиляні, клеєні й калібровані (попередньо стругані); залежно від розміру – на тонкі (товщиною до 32 мм), товсті (товщиною більше 32 мм), дошкові (товщиною 7…100 мм і шириною більше подвійної товщини) і брускові (товщиною 22…100 мм і шириною не більше подвійної товщини). Довжину заготовок

із хвойних і листяних порід установлюють 0,3…1 м із градацією 50 мм і понад 1 м – із градацією 100 мм.

Вологість пиляних заготовок не повинна перевищувати 18…22 %, а клеєних і каліброваних – повинна відповідати вологості готових виробів.

До струганих погонажних деталей відносять лиштви, розкладки, плінтуси, дошки для настилу чистих підлог, поручні для поруччя, проступи, дошки підвіконні й зовнішнє обшивання.

Стругані погонажні матеріали виготовляють з деревини хвойних і листяних порід. Погонажні вироби виготовляють довжиною 2,1 м і більше із градацією через 100 мм. Погонажні стругані вироби можуть бути не тільки суцільними, але й складеними як по перерізу, так і по довжині. В усіх випадках з'єднання виконують на клею.

Матеріали для підлог бувають таких видів: штучний паркет, наклеєний на папір; паркетні дошки; дошки для чистих підлог, шашка торцева і плити деревноволокнисті. Для виготовлення паркету застосовують дуб, бук, березу, сосну, модрину, ясен, клен, берест, в'яз, ільм, каштан, граб, білу акацію. Дошки для настилу чистих підлог виготовляють із сосни, ялини, модрини, ялиці, кедра, берези, бука й вільхи, а шашку торцеву – з деревини хвойних і твердих листяних порід, крім ялиці, дуба, бука та берези. Вологість деревини дощок для чистої підлоги не повинна перевищувати 12 %, для паркету і паркетних дощок – 6…10 %, для шашки торцевої – не більше 28 %. Дошки для підлоги й торцева шашка до їх укладання повинні антисептуватися.

Столярні плити складаються з рейкових щитів, обклеєних сорочками зі шпону. Плити столярні залежно від виду матеріалу поділяють на облицьовані струганою фанерою з однієї чи обох сторін і необлицьовані; за видом обробки поверхні сорочок – на шліфовані з однієї чи обох сторін і нешліфовані, за видом клею, застосованого для склеювання сорочок із щитом, – на склеєні синтетичними смолами і склеєні білковими клеями. Щити плит виготовляють з однієї породи дерева хвойних чи м'яких листяних порід, а також з берези. Сорочки для необлицьованих плит роблять з березової, вільхової, букової і соснової шпони і для облицьованих плит – зі струганої фанери не нижче другого сорту. Плити столярні виготовляють шириною 1 220, 1 270 і 1 525 мм, довжиною 1 800, 2 120 і 2 500 мм і товщиною від 16 до 50 мм (дев'ять типорозмірів). Вологість столярних плит не повинна перевищувати 8 %.

19.8.3. Фанера й матеріали для покрівель тимчасових будівель

Покрівельні матеріали для тимчасових будівель роблять таких видів: стружка, драньплитки дерев'яні і ґонт. Матеріали для покрівель виготовляють із сосни, ялини, ялиці й осики; дрань можна також виготовляти з модрини; плитки – з кедра.

Стружку роблять довжиною вздовж волокна 400…500 мм, шириною 70…120 мм і товщиною 3 мм; дрань – довжиною 400…1000 мм, шириною 90…130 мм і товщиною 3…5 мм; плитки – довжиною 400…600 мм із градацією через 50 мм, шириною – не менше 70 мм і товщиною – 13 мм, ґонт – довжиною 500…700 мм із градацією через 100 мм, шириною – 70…120 мм із градацією через 10 мм і товщиною з боку шпунта – 15 мм, з боку пера – 3 мм. Вологість деревини, застосовуваної для стружки й драні, становить 40 %, а для плиток і ґонту – до 25 %.

Фанеру виготовляють склеюванням тонких шарів (шпону) деревини. У будівництві застосовують фанеру трьох видів: клеєну, бакелізовану та декоративну.

Клеєну фанеру поділяють на фанеру підвищеної водостійкості, склеєну клеями типу фенолоформальдегідних марки ФСФ; середньої водостійкості, склеєну карбамідними чи альбуміно-казеїновими клеями (марок ФК і ФБА); обмеженої водостійкості, склеєну білковими клеями марки ФБ. Залежно від виду обробки поверхонь сорочок фанеру поділяють на шліфовану та нешліфовану. Клеєну фанеру виготовляють з берези, бука, осики, ясена, ільма, дуба, липи, вільхи, сосни, ялини, кедра і ялиці довжиною і шириною 725…1230 мм і товщиною 1,5…12 мм. Клеєну фанеру підвищеної водостійкості застосовують для несучих конструкцій (балок, арок, рам і т. ін.) у відкритих спорудах із захистом від зволоження фарбуванням, у приміщеннях з вологістю повітря до 70 % – без фарбування. Фанеру середньої водостійкості застосовують для перегородок і внутрішнього обшивання будівель.

Бакелізовану фанеру виготовляють з березового шпону товщиною не більше 1,5 мм. Сорочки фанери збирають з цілих листів шпону по ширині. Залежно від застосованого виду смоли бакелізовану фанеру поділяють на три марки: БФС, БФВ-1 і БФВ-2. Сорочки марки БФС просочують, а середні намазують спирторозчинними смолами, марки БФВ-1 – відповідно спирторозчинними й водорозчинними смолами, а марки БФВ-2 – тільки водорозчинними смолами. Бакелізовану фанеру випускають розміром від 770×2000 до 1580×1200 мм товщиною 5…16 мм. Во-

логість фанери не повинна перевищувати 8 %. Застосовують бакелізовану фанеру там же, де і клеєну, але без фарбування поверхні.

Декоративну фанеру виготовляють з березового, вільхового і липового шпону. За видом облицювання декоративну фанеру поділяють на два види: фанеру, поверхня якої облицьована безбарвною клеєфарбованою плівкою, і фанеру, поверхня якої облицьована плівкою і декоративним папером. Декоративна фанера може бути облицьована з однієї чи двох сторін і мати глянсову чи напівматову поверхню. Декоративну фанеру випускають таких розмірів: довжина 1220…1830 мм, ширина 725…1220 мм і товщина 1,5…12 мм. Вологість фанери не повинна перевищувати 10 %. У будівництві декоративну фанеру застосовують для внутрішньої обробки стін, перегородок, панелей, дверних полотен і вбудованих меблів.

19.8.4. Столярні вироби

З деревини виготовляють такі основні види столярних виробів: елементи дверей, вікон, перегородки й панелі (щитові, фільонкові, глухі й засклені) для житлових будівель і ворота для промислових будівель (розчинні, відкриті, підвісні й непідвісні, утеплені й неутеплені). З деревини хвойних порід виготовляють столярні вироби, а з листяних (бука, берези й ін.) – тільки внутрішні двері й фрамуги для приміщень з відносною вологістю повітря не більше 70 %. Для щитових дверей, столярних перегородок і панелей (внутрішнього заповнення) використовують відходи лісопильного, деревообробного й фанерного виробництва. Віконні хрестовини можна також виготовляти з клеєних заготовок на водостійких клеях.

Останнім часом для виготовлення порожнистих щитових дверей як заповнювачі застосовують відходи ізоляційних деревноволокнистих плит (рис. 19.13, *а*). Два обрізки таких плит попередньо склеюють між собою, після чого їх розрізають на смуги довжиною близько 40 мм і шириною на 2…3 мм більше товщини рами каркаса дверей. Смужки розташовують у вигляді ґрат. У поперечних брусків ґрати розділяють прокладками з тих же деревно-волокнистих плит. В процесі склеювання дверей смужки запресовують і, оскільки їх ширина більше товщини рами каркаса дверей, вони утворюють щільний заповнювач облицювання.

Двері з більш рівними лицьовими поверхнями одержують у результаті використання комбінованого заповнювача з твердих і крихких матеріалів (рис. 19.13, *б*). Як твердий матеріал використовують дерев'яні бруски, як крихкий – смужки з ізоляційної деревноволокнистої плити, ширина яких на 3…4 мм більше ширини заповнювача з твердих матеріалів. Клей

наносять тільки на тверді заповнювачі. Відпресований крихкий матеріал перешкоджає прогинанню облицювального шару й дозволяє одержати рівні лицьові поверхні порожнистих щитових дверей.

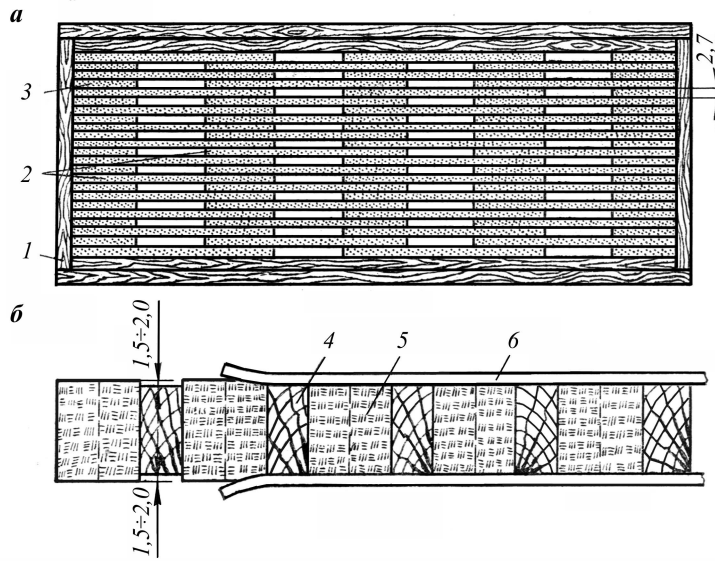


Рис. 19.13. Заповнювачі для порожнистих щитових дверей:
а – з ізоляційних плит; *б* – комбіновані; *1* – дерев'яна рама; *2* – склеєні смуги з ізоляційних плит; *3* – прокладки; *4* – твердий матеріал; *5* – крихкий матеріал; *6* – облицювальний шар

Поряд з однотонним фарбуванням щитових дверей виготовляють також двері з обробкою імітаційним текстурним папером. Для виготовлення останніх на гладку поверхню деревноволокнистої плити наклеюють лист паперу, на якому надрукований малюнок, що відтворює текстуру натуральної деревини коштовних порід. Для запобігання просвічуванню текстури плити й створення необхідного тону фарбування під текстурний папір кладуть тонувальний папір. Між деревноволокнистою плитою і прокладним папером, а також між останнім і текстурним папером для їх склеювання поміщають смоляні плівки. Такою ж оздоблювальною плівкою покривають текстурний папір зверху. Оздоблювальна плівка необхідна для одержання міцної і блискучої поверхні виробу. Зібраний пакет (рис. 19.14) укладають на поліровану прокладку з дзеркальною поверхнею і запресо-

вують у гарячому пресі, де під дією високої температури плівки плавляться, а потім твердіють. Така плита має високу твердість і стійкість.

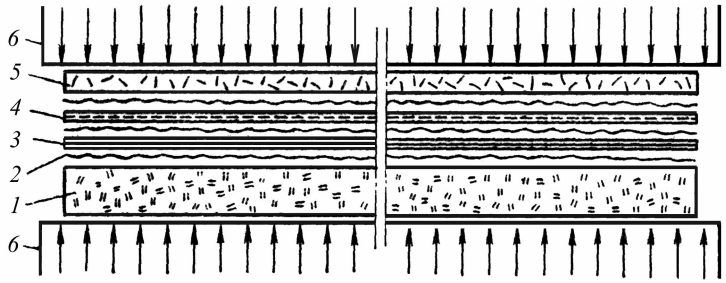


Рис. 19.14. Схема складання пакета для імітаційної обробки дверей:
1 – імітована деревноволокниста плита; *2* – смоляні плівки; *3* – папір, що покриває чи тонує; *4* – текстурний папір; *5* – сталева полірована прокладка; *6* – гарячі плити преса

Вітчизняна промисловість виготовляє велику розмаїтість дверних блоків для житлових і громадських будівель. Дверні внутрішньоквартирні блоки типів Д2 і Д4 (щитової конструкції) складаються з дверного полотна й коробки. Полотно являє собою щитову конструкцію, що складається з рамки, зібраної з брусків, і стільникового паперового заповнювача. Полотно облицьоване з двох сторін твердими деревноволокнистими плитами й може бути пофарбоване різними емалями чи облицьована струганою фанерою твердолистяних порід з обробкою лаком. Деталі коробки й рамки полотна виготовляють з деревини хвойних порід.

Дверний внутрішньоквартирний блок типу ДЗ являє собою засклений блок щитової конструкції. Як заповнювач застосовують тверду деревноволокнисту плиту, у якій вирізають проріз під скло.

Виготовляють також вхідні двері (зі сходової клітки), зовнішні дверні блоки й інші вироби для житлових і громадських будівель.

Однопільний глухий дверний блок призначений для заповнення дверного прорізу всередині будівель громадського призначення. Дверне полотно виготовляють із деревини хвойних порід, обклеюють клеєною фанерою, фанерують березовим шпоном і покривають поліефірною емаллю. Дверні крайки облицьовують розкладкою твердолистяних порід. Дверну коробку фанерують березовим пшоном й обробляють нітроемаллю.

Широкого застосування в житловому будівництві набувають паркетні дошки для настилу підлог. Паркетна дошка складається з нижньої

рейкової основи і верхнього лицьового покриття. Матеріалом для основи служать рейки з низькосортних пиломатеріалів хвойних порід, для лицьового покриття – тонкі планки твердих листяних порід (дуб, ясень, бук).

Щитовий художній паркет застосовують для настилу підлог у громадських будівлях. Розміри щитів – від 750 × 750 до 1200 × 1200 мм. Для лицьового покриття використовують ясень, граб, дуб, червоне дерево. Основу для щитового паркету виготовляють з деревини хвойних порід. З лицьової сторони паркет обробляють спеціальним лаком.

19.8.5. Конструкції з деревини

Конструкції з деревини й індустріальні будівельні деталі виготовляють на спеціальних будівельних заводах.

Комплекти дерев'яних виробів і деталей для будинків заводського виготовлення поділяють на такі групи: комплекти для брущатих будинків; для каркасних будівель з несучими стінами з дерев'яного чи залізобетонного каркаса з різними заповнювачами; для панельних будинків зі стінами з несучих панелей – дерев'яних (щитів), залізобетонних чи інших матеріалів; для будинків зі стінами з місцевих кам'яних та інших будівельних матеріалів. Комплекти дерев'яних виробів і деталей виготовляють з деревини хвойних (сосна, ялина, модрина, кедр, ялиця) і листяних порід (бук, береза, тополя, вільха, осика, липа).

Вироби й деталі поставляють на будівництво в готовому вигляді, що виключає їх припасування; деталі й вироби, що стикаються із землею, антисептують.

Клеєні конструкції застосовують у покриттях, перекриттях, мостах як балки прямокутного і двотаврового перерізу, а також у вигляді арок і частин металево-дерев'яних ферм – криволінійних і прямолінійних блоків верхніх поясів ферм і елементів грат, рам і стійок, паль і шпунта, мостових брусів, шпал, клеєфанерних щитів (покрить, стін і перекриттів), а також інвентарної опалубки. Клеєні конструкції виготовляють шляхом склеювання з дощок (брусків) чи з дощок (брусків) і фанери. Для виготовлення прямолінійних клеєних конструкцій застосовують дошки і бруски товщиною не більше 50 мм і шириною не більше 100 мм для дощок, що склеюються під кутом 90°, і не більше 150 мм для дощок, що склеюються під кутом 4°. Залежно від виду роботи елементи дерев'яних клеєних несучих конструкцій поділяють на п'ять категорій (I, II, Ia, III і IIIa).

Вологість деревини для виготовлення клеєних конструкцій не повинна перевищувати 12 %. Елементи конструкцій, що піддаються зволоженню, виготовляють на водостійких клеях типу фенолоформальдегідного.

19.8.6. Приймання, транспортування і зберігання

Під час приймання лісоматеріалів, виробів і конструкцій з деревини на будівництві повинна перевірятися відповідність їх якості з урахуванням припустимих дефектів, розмірів і вологості чинним стандартам і технічним умовам.

Вироби з дерева, що поставляються з обмеженою вологістю, під час перевезення і зберігання захищають від зволоження й пошкоджень. Круглі колоди з обмеженою вологістю зберігають у штабелях, що забезпечують природне сушіння деревини. Пиломатеріали, що надходять з вологістю до 25 %, зберігають у штабелях із щільним укладанням, а з вологістю більше 25 % – у штабелях, що забезпечують природне сушіння матеріалів; над штабелем влаштовують щільний дах.

Деталі, погонажні матеріали для підлог, покрівель, драпь штукатурну зберігають у закритих складах, де конструкції укладаються на прокладки, чим захищаються від скривлення, поломок і ґрунтової вологи.

Під час перевезення і короткочасного зберігання в штабелях деталі й вироби варто накривати брезентом, толем та іншими матеріалами. Блоки й коробки вікон і дверей під час перевезення повинні додатково розширюватися горизонтальними планками.

19.9. Економіка застосування матеріалів і виробів з деревини

У сучасному будівництві деревину широко використовують як елемент конструкцій для стін і перекриттів будівель, столярних і погонажних виробів, а також для спорудження стандартних дерев'яних будинків заводського виготовлення. У процесі зведення будівель і споруд велика кількість дерева витрачається на влаштування паль, стовпів, опор різного призначення, опалубки, будівельних риштувань і т. д.

Дуже ефективне використання в будівництві клеєних дерев'яних конструкцій у вигляді балок, ферм, арок, рам, у покриттях будівель і споруд,

експлуатованих у хімічно агресивних середовищах. У цих умовах дерев'яні конструкції забезпечують у 1,5 разу більший термін служби в порівнянні зі сталевими чи залізобетонними.

Застосування деревини повинне бути економічно обґрунтоване з урахуванням можливої заміни дерева збірним залізобетоном, азбоцементними, гіпсовими, пластмасовими й іншими виробами.

У табл. 19.1 наведені перспективні техніко-економічні показники застосування деревини в будівництві в порівнянні з залізобетоном, гіпсобетоном. Як випливає з цих даних, застосування деревини в сільськогосподарських і промислових будівлях (у несучих конструкціях) забезпечує економію в розмірі 20…25 % у порівнянні з залізобетонними шарнірними рамами.

Економічні дослідження підтверджують високу ефективність розвитку виробництва клеєних дерев'яних конструкцій (балок, рам, арок, ферм, стінових і покрівельних клеєфанерних панелей).

Застосування удосконаленої технології виробництва дерев'яних клеєних конструкцій з використанням автоматизованих ліній, прискорених способів склеювання, автоматизованих систем контролю і відбраковування сировини й продукції дозволяє підвищити якість і знизити собівартість виготовлення конструкції.

Використання дерев'яних клеєних конструкцій особливо ефективне в сільських виробничих будівлях, промислових будівлях з агресивними середовищами, у цивільних спорудах – спортивних і виставочних залах, клубах і т. ін., у транспортному й іншому видах будівництва.

Ощадлива витрата деревини може бути досягнута за рахунок удосконалення застосовуваних конструкцій, заміни деревини іншими, більш економічними для даного регіону матеріалами.

Великий економічний ефект дає застосування в масовому житловому будівництві деревностружкових плит і арболіту (табл. 19.1). Зараз із відходів деревини одержують деревноволокнисті й деревностружкові плити на базі полімерних матеріалів і цементу. Це дозволяє не тільки найбільшою мірою використовувати відходи деревини, але й одержувати матеріал більш високої якості, ніж деревина, із кращими фізико-механічними властивостями й естетичними показниками.

Використання в будівництві деревноволокнистих плит і арболіту, що базуються на відходах деревини, дає значну економію як за одноразовими, так і за експлуатаційними витратами.

Одним з основних шляхів економії деревини в народному господарстві є економія її на всіх стадіях обробки й переробки, у лісозаготівельній промисловості при заготівлі й вирубі лісу, перевезеннях, при транспортуванні

деревини до місць споживання (особливо сплавом), тривалому зберіганні її на складах і т. ін.

Основними заходами, що сприяють підвищенню довговічності деревини, є: належні температурно-вологісні умови зберігання деревини, відповідна обробка деревини залежно від її використання, захист антисептиками й антипіренами, створення сприятливих умов експлуатації дерев'яних конструкцій.

Таблиця 19.1

Ефективність застосування деяких видів конструкцій з дерева

Конструкції, що рекомендуються	Замінні конструкції	Економія зведених витрат, грн
1	2	1–2
Несучі дерев'яні клеєні конструкції для сільгоспбудівель прогоном 12 м, м^2 (площі підлоги)	Залізобетонні тришарнірні рами масового застосування прогоном 12 м, м^2 (площі підлоги)	0,8
Підлога з деревностружкової плити, м^2	Дощата підлога, м^2	1,5
	Паркетна підлога, м^2	3,0
Блок дверний з деревностружкової плити, м^2	Блок дверний з дверима дерев'яними фільонковими, м^2	4,3
Арболітова стінова несуча панель товщиною 22 см, м^2	Цегляна стіна товщиною 66 см	10,5
	Стіна з ефективної цегли товщиною 52 см	5,8
	Одношарова керамзитобетонна панель товщиною 30 см	3,2

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть структурні елементи деревини, які видимі неозброєним оком і під мікроскопом.
2. Які функції виконують структурні елементи деревини?
3. За якими розрізами вивчають макроструктуру деревини?
4. Яка деревина називається заболонною і чим вона відрізняється від ядрової деревини?

5. Чим мікроструктура хвойних порід відрізняється від листяних?
6. Який вплив має вологість на фізико-механічні властивості деревини?
7. У якому вигляді знаходиться волога в деревині? Що називається точкою насичення волокна?
8. Які лісоматеріали називаються повітряно-сухими, напівсухими й сирими?
9. Що називається усушкою деревини?
10. Якими теплофізичними властивостями характеризується деревина?
11. Як змінюються властивості деревини залежно від напрямку волокон?
12. Якими механічними властивостями характеризується деревина залежно від напрямку прикладення навантаження?
13. Що називається дефектами деревини? Які дефекти деревини ви знаєте?
14. Які способи антисептування ви знаєте?
15. Які речовини застосовують для антисептування?
16. Які заходи застосовують для запобігання займанню деревини?
17. Які породи деревини застосовують у транспортному і цивільному будівництві?
18. Як відбувається зберігання і сушіння лісових матеріалів?
19. Які види пиломатеріалів застосовують у будівництві?
20. Перелічіть основні вироби, деталі й конструкції з деревини, які застосовуються в будівництві?
21. Які вимоги ставляться до дерев'янних шпал?
22. Що називається фанерою? Які бувають види, типорозміри фанери?
23. Як використовують відходи деревообробки в промисловості будівельних матеріалів?
24. Проаналізуйте ефективність використання виробів, деталей і конструкцій з деревини в будівництві.

Список рекомендованої літератури

1. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Леспром, 1978. – 224 с.
2. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин, А. В. Оболенская, В. П. Щеголев. – М.: Леспром, 1978. – 368 с.
3. Деревянные конструкции и детали / Под ред. В. М. Хрулева – М.: Стройиздат, 1983. – 288 с.
4. Буглай Б. М. Технология изделий из древесины / Б. М. Буглай, Н. А. Гончаров. – М.: Леспром, 1990. – 588 с.
5. Соломатов В. И. Строительные биотехнологии и биокомпозиты. – М.: МИИТ, 1998. – С. 268.
6. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесотовароведения. – М.: МГУП Экология, 2001. – 340 с.
7. Дерево в строительстве. Тематическая подборка // Строительные материалы.– 2003. – № 5. – 63 с.

ЗМІСТ

ВСТУП 3

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА. СТРУКТУРА МАТЕРІАЛУ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ ВИЗНАЧАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 5

1.1. Поняття про структуру фізичного об'єкта 5
1.2. Елементи структур матеріальних тіл 7
1.3. Загальні закономірності формування структур дисперсних матеріалів 10
1.4. Агрегатні стани речовин 11
1.4.1. Кристалічний стан 15
1.4.2. Аморфний стан 18
1.4.3. Загальні принципи систематизації агрегатних станів [2] 20
1.5. Структура і міцність 26
1.5.1. Взаємодія частинок. Адгезія і когезія 27
1.5.2. Міцність під час структуроутворення 30
1.5.3. Контакти в дисперсних системах 31
1.5.4. Основні різновиди структур будівельних матеріалів 33
1.5.5. Механізм руйнування. Тріщиноутворення 39

ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 43

2.1. Загальні відомості 43
2.2. Властивості, будова і склад будівельних матеріалів 44
2.3. Фізичні властивості та структурні характеристики будівельних матеріалів 46
2.3.1. Гідрофізичні свойства 51
2.3.2. Теплофізичні властивості 57
2.3.3. Експлуатаційні властивості 60
2.4. Механічні властивості 61

ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ 69

3.1. Загальні відомості 69
3.2. Породотвірні мінерали 70
3.3. Класифікація гірських порід 73
3.3.1. Виверженні гірські породи 75
3.3.2. Осадові гірські породи 78
3.3.3. Метаморфічні (видозмінені) гірські породи 81
3.4. Розробка й обробка природних кам'яних матеріалів 82
3.5. Матеріали й вироби з природного каменю 85

МЕТАЛИ І МЕТАЛОЗНАВСТВО 97

4.1. Загальні відомості 97
4.2. Будова металів 98
4.3. Структура металів 99
4.4. Дефекти кристалічної будови металів 103
4.5. Кристалізація металів 114
4.6. Металеві сплави 120
4.7. Класифікація та характеристика чавунів 127
4.8. Класифікація сталей 129
4.8.1. Вуглецеві сталі 129
4.8.2. Модифікування структури та властивостей сталі. Леговані сталі 140
4.9. Вироби зі сталі 141
4.9.1. Сталь гарячекатана для армування залізобетонних конструкцій 146
4.9.2. Сталь арматурна термомеханічно зміцнена для ЗБК ГОСТ 10884 149
4.9.3. Арматурний дріт 150
4.10. Кольорові метали та сплави й матеріали на їх основі 150
4.11. Проблеми довговічності та захист металевих виробів від корозії 155

КЕРАМІЧНІ ВИРОБИ 158

5.1. Загальні відомості 158
5.2. Сировина для виготовлення керамічних виробів 159
5.3. Технологічні основи виробництва керамічних виробів 164
5.4. Характеристика керамічних виробів і матеріалів 168
5.4.1. Стінові вироби 170
5.4.2. Облицювальні вироби 179
5.4.3. Інші керамічні вироби 187
5.5. Перспективи розвитку виробництва керамічних будівельних виробів 202

НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ 205

6.1. Загальні відомості 205
6.2. Повітряні в'яжучі речовини 208
6.2.1. Повітряне вапно 208
6.2.2. Гіпсові в'яжучі речовини 214
6.2.3. Магнезіальні в'яжучі речовини 220
6.3. Гідравлічні в'яжучі речовини 221
6.3.1. Гідравлічне вапно. Романцемент 221
6.3.2. Портландцемент і його різновиди 224
6.3.2.1. Характеристика складових портландцементного клінкеру 231

6.3.2.2. Взаємодія мінералів портландцементного клінкеру з водою 235
6.3.2.3. Прискорення й сповільнення твердіння портландцементу 238
6.3.2.4. Корозія портландцементного каменю 240
6.3.2.5. Спеціальні види портландцементів 243
6.4. Кислототривкі в'яжучі речовини. Рідинне скло та кислотостійкий цемент. 258

ЗАПОВНЮВАЧІ, НАПОВНЮВАЧІ Й ДОМІШКИ 263

7.1. Загальні відомості 263
7.2. Неорганічні заповнювачі 266
7.3. Органічні заповнювачі 276
7.4. Наповнювачі 281
7.5. Додаткові речовини (домішки) 282

БЕТОНИ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН 288

8.1. Загальні відомості 288
8.2. Важкі (звичайні) бетони 290
8.2.1. Вихідні матеріали 290
8.2.2. Визначення складу бетону 294
8.2.3. Приготування бетонної суміші та її властивості 313
8.2.4. Укладання і ущільнення бетонної суміші. 319
8.2.5. Особливості укладання бетону взимку і влітку 322
8.2.6. Структура і властивості важкого бетону 325
8.3. Легкі бетони. 340
8.4. Спеціальні бетони 349
8.5. Корозія бетонів 359

ВИРОБИ І КОНСТРУКЦІЇ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН 367

9.1. Загальні відомості 367
9.2. Класифікація залізобетонних виробів. 369
9.3. Матеріали для залізобетону 370
9.4. Виготовлення збірних виробів і конструкцій 371
9.5. Залізобетонні вироби й конструкції для збірного будівництва 376
9.6. Вироби спеціального призначення 381
9.7. Монолітний залізобетон 386
9.8. Гіпсові й гіпсобетонні вироби 388

БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ 395

10.1. Загальні відомості 395

10.2. Матеріали для виготовлення будівельних розчинів 396
10.3. Приготування, властивості й маркування будівельних розчинів 398
10.4. Види будівельних розчинів 405

АЗБЕСТОЦЕМЕНТНІ ВИРОБИ 413

11.1. Загальні відомості 413
11.2. Вихідні матеріали 414
11.3. Основи виготовлення азбестоцементних виробів 416
11.4. Номенклатура продукції азбестоцементних заводів 418
11.5. Основні властивості азбестоцементних виробів 421

СИЛІКАТНІ БЕТОНИ 425

12.1. Загальні відомості 425
12.2. Силікатна (вапняно-піщана) цегла 430
12.3. Силікатний бетон 431
12.4. Силікатні вироби ніздрюватої структури 433

БІТУМНІ ТА ДЬОГТЬОВІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ
ТА МАТЕРІАЛИ НА ЇХ ОСНОВІ 435

13.1. Особливості утворення в'яжучих речовин органічного
походження та їх класифікація 435
13.2. Бітумні в'яжучі речовини 436
13.3. Властивості бітумів 440
13.4. Дьогтьові в'яжучі речовини 444
13.5. Асфальтові та дьогтебетони 446
13.5.1. Класифікація асфальтових бетонів 447
13.5.2. Складові матеріали для асфальтового бетону 449
13.5.3. Технологія приготування асфальтобетонної маси 450
13.5.4. Структура і властивості асфальтобетону 452
13.5.5. Деструкція асфальтового бетону
під час експлуатації дорожних покриттів 455

ПОЛІМЕРНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ 460

14.1. Загальні відомості 460
14.2. Основні компоненти пластмас 464
14.3. Загальна характеристика полімерних речовин 466
14.4. Основні властивості полімерних матеріалів (пластмас) 471
14.5. Технологія виготовлення пластмас і полімерних матеріалів 475
14.6. Характеристика матеріалів на основі полімерних речовин 479
14.6.1. Матеріали для підлоги 479
14.6.2. Матеріали для санітарно-технічного устаткування
і труб 488
14.6.3. Оздоблювальні полімерні матеріали й вироби 489

14.6.4. Гідроізоляційні та герметизувальні полімерні матеріали 496
14.7. Вироби та матеріали з пластмас для залізничного транспорту 500
14.8. Старіння і деструкція полімерних матеріалів 502

ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ. 508

15.1. Загальні відомості 508
15.2. Способи поризації матеріалів. 512
15.3. Неорганічні теплоізоляційні матеріали і вироби 516
15.4. Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби 521
15.5. Полімерні теплоізоляційні матеріали 527

АКУСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ 533

16.1. Загальні відомості 533
16.2. Звуковбирні матеріали 535
16.3. Звукоізоляційні матеріали 538

ПОКРІВЕЛЬНІ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНІ ТА ГЕРМЕТИЗУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ 541

17.1. Характеристика матеріалів на основі бітумних та дьогтьових в'яжучих речовин 541
17.2. Рулонні гідроізоляційні матеріали. 543
17.3. Листові та штучні вироби 551
17.4. Мастики й допоміжні матеріали. 553

ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ І ШПАЛЕРИ 561

18.1. Загальні відомості 561
18.2. Основні компоненти лакофарбових сумішей 562
18.3. Фарбувальні суміші та їх нанесення 567
18.4. Допоміжні матеріали. 572
18.5. Застосування лакофарбових матеріалів на транспорті. 574
18.6. Шпалери паперові 575
18.7. Тенденції застосування лакофарбових матеріалів у будівництві та на транспорті 576

ЛІСОВІ МАТЕРІАЛИ. 580

19.1. Загальні відомості 580
19.2. Будова деревини 580
19.3. Властивості деревини 584
19.4. Дефекти деревини 589
19.5. Запобігання руйнуванню та займанню деревини 593
19.6. Породи деревини і їх застосування в будівництві та на транспорті 596

19.7. Зберігання та сушіння лісових матеріалів 598
19.8. Матеріали, вироби й конструкції з деревини 598
19.8.1. Лісоматеріали круглі й пиломатеріали 599
19.8.2. Заготовки, стругані погонажні матеріали з деревини хвойних і листяних порід 606
19.8.3. Фанера й матеріали для покрівель тимчасових будівель. 608
19.8.4. Столярні вироби 609
19.8.5. Конструкції з деревини 612
19.8.6. Приймання, транспортування і зберігання. 613
19.9. Економіка застосування матеріалів і виробів з деревини. 613

Навчальне видання

Пшінько Олександр Миколайович,
Краснюк Андрій Віталійович,
Пунагін Володимир Володимирович,
Громова Олена В'ячеславівна

Будівельне матеріалознавство на транспорті

ПІДРУЧНИК

Редактор *О. О. Котова*
Комп'ютерна графіка *О. Д. Парфененко*
Комп'ютерна верстка і дизайн *О. М. Гончаренко*

Формат $60 \times 84\ ^{1}/_{16}$. Ум. друк. арк. 36,15. Обл.-вид. арк. 38,12.
Тираж 300 пр. Зам. №
Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.
admin@diitrvv.dp.ua

Друкарня ПП «ЛІРА М», вул. Десантників, 1, м. Дніпропетровськ, 49050,
Свідоцтво про внесення до Держреєстру ДК № 14 від 14.07.2004 р.