

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КАБІНЕТ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ВІННИЦЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

В. П. Очеретний

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ

Київ НМК ВО 1992

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КАБІНЕТ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ВІННИЦЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

В.П. Очеретний

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ

Затверджено радою Навчально-методичного кабінету вищої освіти
як навчальний посібник для студентів спеціальності 29.03

Київ НМК ВО 1992

Будівельні матеріали і виробы: Навчальний посібник / В.П.Очеретний. - К.: НМК ВО, 1992. - 172 с.

У навчальному посібнику викладаються основні фізико-технічні і хіміко-технологічні властивості будівельних матеріалів. Згідно з загальноприйнятою класифікацією всі будівельні матеріали розділені на групи за технологічними ознаками. Наведені неорганічні в'яжучі речовини з урахуванням регіональних сировинних ресурсів, розглядаються технології їх виробництва. Особлива увага приділяється вартості, якості і довговічності будівельних матеріалів, деталей і конструкцій.

Призначений для студентів-будівельників спеціальності "Промислове і цивільне будівництво".

ISBN 5-7763-0779-1



Навчально-методичний кабінет
вищої освіти, 1992

ВСТУП

Провідне місце у використанні ресурсів у народному господарстві займає будівництво - воно становить більш як 15% національного прибутку, 5% основних фондів; у галузі зайнято понад 11% чисельності робітників. У будівництві використовують матеріали і вироби близько 13 тис. найменувань, а з урахуванням типорозмірів - десятки тисяч.

Відмітною рисою будівництва в сільській місцевості є велика територіальна розкиданість порівняно невеликих об'єктів та віддаленість їх від виробничих баз будівельних організацій. Це утруднює й здорожчує доставку на сільські будови конструкцій, виробів і матеріалів.

У той же час об'єкти сільського будівництва і виробничі бази сільських будівельних організацій нерідко розташовані поблизу родовищ сировини для виробництва місцевих матеріалів. Крім того, доцільно виробляти й використовувати такі матеріали, сировиною для яких є відходи сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, екологічна ефективність сільського будівництва може бути значною мірою підвищена шляхом розширення масштабів поєднання індустріальних методів зведення будівель та споруд з використанням місцевих будівельних матеріалів.

Проблема ефективного використання місцевих сировинних матеріалів є досить складною і містить ряд невирішених питань.

В основі будь-якої галузі народного господарства мають бути питання економіки. Проектування і будівництво не є винятком в цьому розумінні. Їх треба провадити з урахуванням територіальних умов при максимальному використанні місцевих будівельних матеріалів. Не можна допускати, щоб деякі матеріали доставляли на об'єкти за тисячі кілометрів, щоб замість підручних матеріалів - дерева, цегли, природного

каменю тощо - застосовували тільки збірний залізобетон. Адаже в ряді випадків використання цих конструкцій значно збільшує вартість окремих споруд і навіть робить їх економічно недоцільними.

Внаслідок непередбаченого застосування промислового збірного залізобетону як самоцільі і недооцінки ролі місцевих будівельних матеріалів питомі капітальні вкладення на ряді сільських будов останніми роками підвищилися від 25 до 50%. Слід розумно поєднувати в спорудах збірний і монолітний бетон та залізобетон, металеві і дерев'яні конструкції, цеглу, природний камінь тощо.

Для кожного конкретного об'єкта треба старанно обґрунтовувати використання тих чи інших матеріалів й типів конструкцій з урахуванням техніко-економічної доцільності їх застосування.

Вартість і довговічність будівель і споруд багато в чому залежать від якості будівельних матеріалів, деталей і конструкцій. Вона визначається державними загальносоюзними стандартами /ГОСТ - Государственными общесоюзными стандартами, ОСТ, РСТ/ і технічними умовами /ТУ/, в яких вказано вимоги до властивостей цих матеріалів, методи їх визначення, правила зберігання і транспортування тощо. Ці стандарти розробляються на основі найновіших досягнень науки і техніки. ГОСТ, ОСТ, РСТ, ТУ, СПП на будівельні матеріали є нормативними документами, які мають силу закону для всіх міністерств і відомств. Рік затвердження вказується двома останніми цифрами.

Разом з ГОСТ (ОСТ, РСТ, ТУ, СПП) чинні будівельні норми і правила (БНП /СНП/), які містять номенклатуру /перелік/ даної групи матеріалів, деталей і конструкцій, передбачають поділ будівель і споруд на класи, а також інші основні керівні вказівки щодо об'єднувальних і конструктивного проектування.

Згідно із загальноприйнятою класифікацією всі будівельні матеріали доцільно поділити за технологічними ознаками на такі групи:

- природні кам'яні матеріали;
- лісові матеріали;
- мінеральні в'язучі речовини;
- будівельні розчини;
- бетони;
- залізобетонні вироби /конструкції і деталі/;
- будівельна кераміка;
- штучні кам'яні матеріали і вироби;
- бітумінозні в'язучі речовини і матеріали на їх основі;
- пластичні маси і матеріали на їх основі;
- метали і металеві вироби;

- скляні та інші розплавні матеріали;
- теплозвукоізоляційні матеріали;
- гідроізоляційні матеріали;
- опоряджувальні матеріали.

Однак будівельні матеріали виконують своє призначення тільки в тому випадку, коли будуть прогресивними, тобто коли при їх використанні знижуватиметься матеріаломісткість і водночас збільшуватиметься міцність /ККН/, а при їх виготовленні зменшаться витрати живої праці, палива, електроенергії та використовуватимуться безвідходні технології.

І. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

І.І. Загальні відомості і класифікація будівельних матеріалів

Для правильного і технічно грамотного використання будівельного матеріалу треба знати його властивості, тобто якісні характеристики, які визначають його застосування в будівництві.

Технічні властивості матеріалу залежать від його складу і структури. Будівельний матеріал характеризується хімічним, мінеральним і фазовим складом.

Хімічний склад будівельних матеріалів дає змогу зробити висновок про деякі їх властивості: вогнестійкість, біологічну стійкість, механічні та інші характеристики. Хімічний склад мінеральних в'язучих речовин /цементу, вапна та ін./, а також кам'яних матеріалів зручно виражати кількістю оксидів, які вони містять.

Мінеральний склад показує, які мінерали і якії кількості входять до складу в'язучої речовини або в кам'яного матеріалу /наприклад, у портландцементі кількість аліту $CaO \cdot SiO_2$ становить 45-60%, причому при більшій його кількості прискорюється тверднення і підвищується міцність цементного каменю/.

Фазовий склад матеріалу і фазові переходи води в його порах, впливають на властивості і поведінку матеріалів при їх експлуатації. У матеріалі виділяють тверду речовину, яка утворює стінки пор, тобто скелет /каркас/ матеріалу, і пори, заповнені повітрям і водою.

Структуру матеріалу вивчають на трьох рівнях - перший - макроструктура матеріалу - будова, яку видно неозброєним оком; другий - мікроструктура матеріалу видима в оптичний мікроскоп; третій - молекулярно-іонна будова речовини, яка вивчається методами рентгеноструктурного аналізу і електронної мікроскопії, тощо.

Макроструктура твердих будівельних матеріалів може бути конгломератною, капілярно-пористою, волокнистою, порошкоподібною.

Молекулярно-іонна структура речовин може бути кристалічною й аморфною. Кристалічна форма завжди більш стійка.

Основні групи властивостей будівельних матеріалів:

1/ фізичні /істинна, середня, насипна густина, пористість, питома поверхня тощо/;

2/ відношення до дії води і морозу /водовибирання, вологість, водостійкість, водопроникність, вологовіддача, гігроскопічність, морозостійкість/;

3/ теплові /теплопровідність, теплоємність, вогнестійкість, вогнетривкість/;

4/ механічні /міцність при стисканні, вигин і розтягання; ККЧ = $\frac{R_{сг}}{F_m}$, твердість, крихкість, стирання, пружність, пластичність, опір ударові, зносостійкість, повзучість/;

5/ спеціальні /хімічна (корозійна) і біологічна стійкість, газопаропроникність, довговічність, адгезія, акустичні властивості/;

6/ технологічні - характеризують придатність до механічної обробки /різання, свердлення, стругання, розпилювання/.

Деякі властивості мають важливе значення для всіх будівельних матеріалів, інші - тільки для деяких і у визначених умовах /морозостійкість, водостійкість, вогнетривкість і т.п./.

1.2. Фізичні властивості

Істинна густина ρ - маса одиниці об'єму сухого матеріалу в абсолютно щільному стані, тобто без пор і пустот.

Пори - це повітряні комірки в речовині, з якої складається даний матеріал, а пустоти - це повітряні порожнини між частинками сипких матеріалів /наприклад, між зернами піску, щебеню та ін./. Визначивши масу сухого матеріалу m в грамах та його об'єм в абсолютно компактному стані V_a в кубічних сантиметрах, істинну густину ρ обчислюють за формулою, г/см³:

$$\rho = \frac{m}{V_a}$$

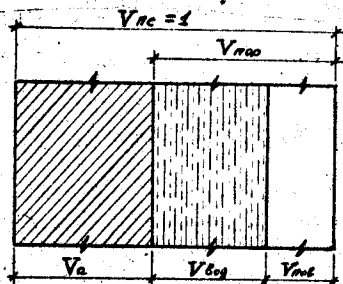
Середня густина ρ_m - маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані, тобто разом з порами і пустотами. Її визначають за формулою, г/см³:

$$\rho_m = \frac{m}{V_{nc}}$$

Насипна густина $[\rho_H]$ - маса одиниці об'єму матеріалу в пухкому /насипному/ стані; ρ_H визначають разом з пустотами, г/см³:

$$\rho_H = \frac{m}{V_H}$$

Об'єм пористого матеріалу в природному стані /тобто разом з порами/ $V_{пс}$ складається з об'єму твердої речовини V_a і об'єму пор $V_{пор}$, які можуть бути заповнені повітрям або водою.



$$V_{пс} = V_a + V_{пор};$$

$$V_{пор} = V_{пов} + V_{вод}$$

$$\Pi = \frac{V_{пор}}{V_{пс}};$$

$$1 - \Pi = \Pi_{ц},$$

$$\Pi = \Pi_3 + \Pi_6$$

Пористість матеріалу - це ступінь заповнення його об'єму порами. Пористість буває відкритою і закритою.

Відкрита пористість Π_6 дорівнює відношенню сумарного об'єму всіх пор, які насичуються водою, до об'єму матеріалу в природному стані $V_{пс}$:

$$\Pi_6 = \frac{m_2 - m_1}{V_{пс}} \frac{1}{\rho_{H_2O}},$$

де m_1 і m_2 - маса зразка відповідно в сухому і насиченому стані;

$$\Pi_3 = \Pi - \Pi_6$$

Густина матеріалу характеризується ступенем заповнення його об'єму речовиною, з якої він складається. Густина дорівнює відношенню середньої густини до істинної:

$$\Gamma = \frac{\rho_m}{\rho};$$

у сумі

$$\Pi + \Gamma = 1 (100\%);$$

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho}\right) 100\%$$

$$\kappa_{из} = \frac{\rho_a}{\rho}; \quad \kappa_{пор} = \frac{V_{пор}}{V_{ск}}$$

Питома поверхня S_n [см²/г, м²/кг] - сума площ поверхні одиниці маси речовини.

Для матеріалів тонкого подрібнення /цемент, гіпс та ін./ питому поверхню характеризують ще тонкістю помелу, яку встановлюють ситовим аналізом.

Чим вища пористість, тим менші середня густина і теплопровідність. Матеріали, в яких $\rho = \rho_m$, є абсолютно компактними /скло, метали, деякі пластмаси/.

Пористість будівельних матеріалів коливається в дуже широких межах. Легкі теплоізоляційні матеріали мають пористість 90% і вище. Густина і пористість значно впливають на такі важливі властивості матеріалу, як середня густина, міцність, теплопровідність, водовбирання і водонепроникність, морозостійкість тощо.

Матеріали з високою густиною, як правило, дуже міцні і морозостійкі, але відзначаються малим водовбиранням та низькою водонепроникністю. Матеріали з великою пористістю мають високі теплоізоляційні властивості /погано пропускають крізь свою товщу тепловий потік/. Тому на стіни будівель і споруд слід застосовувати матеріали, які були б досить міцні і водночас пористі /наприклад, легкі і міцніривати бетони/.

Проте густина і зв'язана з нею пористість не повністю визначають такі характеристики, як водонепроникність, теплопровідність та інші властивості матеріалів. Важливо знати ще розміри пор, їх форму, ступінь замкнутості. За розмірами пор матеріали поділяють на дрібнопористі /розміри пор становлять соту і тисячну частку міліметра/ і великопористі /від десятих часток міліметра до 2 мм/. Більші пори називають уже пустотами.

Характер пористості значною мірою визначає фільтрацію рідини або газу крізь матеріал при наявності градієнта тиску.

1.3. Властивості матеріалів щодо дії води і морозу

Водовбиранням називають здатність матеріалу вбирати воду і затримувати її в своїх порах. Ця величина виражається в процентах. Розрізняють водовбирання масове й об'ємне.

Масовим водовбиранням називають відношення маси поглинутої матеріалом води до маси його в абсолютно сухому стані. Для більшості будівельних матеріалів його значення менше за 100%, а для дуже пористих матеріалів - більше за 100%.

Об'ємним водовбиранням називають відношення маси вбираної матеріалом води до об'єму матеріалу в абсолютно сухому стані. Чисельно ця величина дорівнює об'ємові доступних для води пор і завжди менша за 100%.

Водовбирання відповідно масове й об'ємне обчислюють за формулами, %:

$$B_m = \frac{m_H - m_c}{m_c} \cdot 100;$$

$$B_{об} = \frac{m_H - m_c}{V_{ac} \rho_{H_2O}} \cdot 100;$$

де m_H, m_c - маса матеріалу відповідно в насиченому водом і абсолютно сухому стані, г; V_{ac} - об'єм матеріалу, см³.

Щоб перейти від масового водовбирання до об'ємного, слід провести обчислення за формулою:

$$B_{об} = B_m \rho_m; \Rightarrow \rho_m = \frac{B_{об}}{B_m}$$

Для визначення водовбирання зразки матеріалу в сухому стані поступово занурюють у воду /щоб усе повітря вийшло з пор/, а потім витримують там, поки вони наберуть сталої маси. Водовбирання можна також визначити, вмішуючи зразки в киплячу воду /метод кип'ятіння/. Цей спосіб потребує менше часу і дає кращий результат, оскільки в процесі кип'ятіння повітря, що є в порах, розширяється від нагрівання і повніше видаляється із зразка.

Матеріали капілярно-пористої структури вбирають воду не тільки при безпосередньому контакті з нею, а також у тих випадках, коли відносна вологість повітря вища від вологості цих матеріалів /гігроскопічне зволоження/ або коли їх температура нижча від температури навколишнього середовища, насиченого вологою /конденсаційне зволоження/. При наявності вологісного і теплого градієнта /перепадку вологості і температури/ переміщення вологи по найтонших капілярах, що називається капілярним підсмоктуванням, може відбуватися навіть у досить компактних матеріалах. Через таке зволоження будівельні матеріали ніколи не перебувають в абсолютно сухому стані, вони завжди мають певний ступінь вологості.

Вологість називають відношення маси води, що міститься в даний момент у порах і на поверхні матеріалу, до маси його в сухому стані. Вологість, як і водовбирання, визначається в процентах. Розрізняють вологість відповідно масову і об'ємну, %:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} 100; W_{об} = \frac{m_b - m_c}{V_{ac} \rho_{H_2O}} 100;$$

де m_b, m_c - маса матеріалу відповідно в природно-вологодому стані /в даний момент/ і висушеного до сталої маси, г.

В міру насичення матеріалів водою їх маса /середня густина/ і теплопровідність збільшуються, а міцність - зменшується /через послаблення зв'язків між частинками речовини/. Відношення міцності насиченого водою матеріалу $R_{cr}^{нас}$ до його міцності в абсолютно сухому стані $R_{cr}^{сух}$ називається коефіцієнтом розм'якшення:

$$K_p = \frac{R_{cr}^{нас}}{R_{cr}^{сух}}$$

Цей коефіцієнт характеризує водостійкість матеріалу.

Водостійкість - це властивість матеріалу зберігати свою міцність при тимчасовому або постійному насиченні водою.

Числове значення K_p коливається від нуля /глиняні невідпалені матеріали, наприклад, саман, ґрунтоблоки/ до одиниці /скло, бітум тощо/. Матеріали з коефіцієнтом розм'якшення, що дорівнює або більший від 0,8, належать до водостійких, а з коефіцієнтом, меншим 0,8, - до неводостійких.

Водопроникність називають здатність матеріалу пропускати під тиском воду. Цей фактор особливо важливий для матеріалів, що застосовуються в гідротехнічних спорудах та інших конструкціях, які перебувають під напором води. Водопроникність характеризується кількістю води, що пройшла за 1 годину через 1 см² поверхні матеріалу при сталому /заданому/ тиску.

Ступінь водопроникності матеріалів залежить від їх будови і пористості. Якщо пори великі і сполучаються між собою, то водопроникність більша; якщо вони дрібні і замкнуті, то менша. Особливо щільні матеріали /наприклад, скло, бітум, метали/ і менш щільні із замкнутими дрібними порами /наприклад, бетон спеціально дібраного складу/ практично водонепроникні.

Морозостійкість називається здатність матеріалу в насиченому воді стійко витримувати багаторазове поперемінне заморожування і відтавання, тобто різкі коливання температури. Випробують матеріал на мо-

розостійкість так. Зразки матеріалу занурюють у воду і витримують до повного водонасичення, а потім вміщують у холодильну камеру, де піддають заморожуванню при температурі, не вищій за -15°C . Після цього зразки виймають з камери і розморожують у воді кімнатної температури $/20\pm 2^{\circ}\text{C}/$. Морозостійкими вважають ті матеріали, які після встановленого для них числа циклів заморожування і відтавання не мають видимих ознак руйнування, втрачають не більше 5% маси і 15% міцності. Залежно від кліматичних умов, призначення і класу споруд різні матеріали повинні витримувати від 10 до 500 таких циклів.

Основною причиною руйнування насичених водою матеріалів під дією від'ємних температур є збільшення об'єму води при переході її в лід /приблизно на 10%/. Якщо об'єм пор, доступних для води, заповнений не більш як на 90%, то лід, що утворюється, натискує на стінки пор, і матеріал руйнується.

В міру збільшення числа циклів заморожування і відтавання водонасиченість матеріалу підвищується, оскільки вода поступово проникає і у важкодоступні пори, отже, міцність випробуваних зразків знижується.

На морозостійкість випробують будівельні матеріали, які використовуються в зовнішніх конструкціях /наприклад, покрівельні, стінові/. Особливо морозостійкими повинні бути матеріали, призначені для гідротехнічного будівництва.

1.4. Теплові властивості

Теплопровідність називають здатність матеріалу передавати крізь свою товщину тепловий потік^ж. Кількість теплоти Q , що проходить крізь конструкцію /наприклад, стіну/ прямо пропорційна її площі F , різниці температур на її поверхнях $t_1, - t_2$ і часу τ , протягом якого проходить тепловий потік, але обернено пропорційна товщині стіни δ . Дж:

$$Q = \lambda \frac{F(t_1 - t_2)\tau}{\delta},$$

де λ - теплопровідність матеріалу, Вт/(м·°C):

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F(t_1 - t_2)\tau}$$

Якщо $\delta = 1\text{ м}$, $F = 1\text{ м}^2$, $(t_1 - t_2) = 1^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1$ година, то $\lambda = Q$.

^ж Тепловий потік виникає в тому разі, якщо поверхні, котрі обмежують матеріал /наприклад, зовнішня і внутрішня поверхні стіни/, мають різну температуру.

Отже, теплопровідність λ показує, яка кількість теплоти проходить крізь 1 м^2 матеріалу товщиною 1 м при різниці температур на двох його протилежних поверхнях в 1°C протягом години. Важливо знати теплопровідності матеріалів, що використовуються для виготовлення огорожувальних конструкцій /зовнішні стіни, верхні перекриття, підлоги нижнього поверху та ін./, і особливо теплоізоляційних матеріалів, які захищають приміщення від втрат теплоти.

Теплопровідність залежить головним чином від пористості, вологості і структури /будови/ матеріалу. В сухій пористій речовині тепло проходить крізь його твердий кістяк і пори, заповнені повітрям. Оскільки теплопровідність повітря незначна $/0,023/$, воно чинить великий опір тепловому потоку. Тому, чим більша пористість матеріалу, тим менша його теплопровідність, і навпаки.

Теплопровідність різко підвищується при зволоженні матеріалу, бо частина повітря з пор витискується водою, теплопровідність якої в 25 разів більша, ніж повітря.

Як уже зазначалось, істотний вплив на теплопровідність справляє будова матеріалу. Якщо вона волокниста, то теплопровідність залежить від напрямку теплового потоку щодо волокон. Наприклад, у деревині, волокна якої витягнуті вздовж осі стовбура, теплопровідність вздовж них дорівнює $0,30$, а впоперек — $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Теплопровідність матеріалів залежить також від розміру і характеру пор. Дрібнопористі матеріали менш теплопровідні, ніж великопористі, навіть якщо їх загальна пористість однакова.

Теплопровідність визначають дослідним способом на спеціальних приладах.

Теплоємність називають здатність матеріалу збирати теплоту при нагріванні і віддавати її при охолодженні.

Для нагрівання матеріалу масою m від температури t_2 до t_1 , треба затратити кількість теплоти Q , прямо пропорційну масі і різниці температур, Дж:

$$Q = cm(t_1 - t_2),$$

де c — питома теплоємність.

З наведеної вище формули виходить, що теплоємність, Дж/(кг·К),

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

Якщо $m = 1$ кг, а різниця температур $t_1 - t_2 = 1$ °С, то матимемо

$$C = Q$$

Отже, теплоємність - це кількість теплоти, яку треба затратити, щоб нагріти 1 кг матеріалу на 1 °С. Вода має найбільшу питому теплоємність, тому із збільшенням вологості матеріалів їх теплоємність підвищується.

Вогнестійкість називають здатність матеріалів чинити опір короточасному впливові високих температур. За цією ознакою матеріали поділяють на три групи:

1/ неспалимі, що під впливом вогню або високої температури не займаються, не тліють і не зуглюються, але деформуються /наприклад, сталь/, а деякі /граніт, мармур/ навіть руйнуються;

2/ важкоспалимі, які займаються, тліють і зуглюються, але після видалення джерела вогню припиняють горіти;

3/ спалимі, які займаються і далі горять після видалення джерела вогню /наприклад, деревина, руберойд, толь/.

Вогнетривкість називають здатність матеріалів витримувати тривалий вплив високої температури, не змінюючи форми і не руйнуючись. За цією ознакою вони поділяються також на три групи:

1/ вогнетривкі, що витримують температуру понад 1580 °С /шамот, дімас та ін./;

2/ тугоплавкі, що зберігають вогнетривкість при температурі від 1350 до 1580 °С /гжельська цегла/;

3/ легкоплавкі, що витримують температуру до 1350 °С /наприклад, глиняна цегла/.

Вогнетривкі матеріали використовують для спорудження печей, топів, димових труб, обмурування котлів та інших конструкцій, що дуже нагріваються при спалюванні палива.

1.5. Механічні властивості

Міцність - це здатність матеріалів чинити опір внутрішнім напруженням, що виникають під впливом зовнішніх сил. Міцність характеризується границею міцності, тобто напруженням, що відповідає навантаженню, яке спричиняє руйнування зразка /табл. 1/.

У конструкціях будівельні матеріали залежно від характеру навантажень можуть зазнавати різних напружень: стиску, розтягання, вигину тощо. Ця властивість будівельних матеріалів характеризується границею міцності.

Таблиця I

Фізико-механічні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Границя міцності при стиску, МПа	Істинна густина, г/см ³	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·°C)
Граніт	150-250	2,6-2,8	2500-2700	2,9-3,3
Вапняк компактний	50-150	2,4-2,6	1800-2200	0,8-1,0
Вапняк-черепашник	0,5-5	2,3-2,4	900-1400	0,3-0,6
Цегла керамічна	10-20	2,6-2,7	1700-2000	0,8-0,9
Цегла силікатна	10-20	2,4-2,55	1700-1900	0,8-0,9
Бетон важкий	10-80	2,5-2,6	1800-2500	1,1-1,6
Бетон легкий	2-15	-	500-1800	0,35-0,8
Деревина сосни	30-60	1,55-1,6	500-600	0,15-0,2
Сталь Ст3	380-450	7,8-7,9	7800-7900	58
Пластмаси	120-200	1,0-2,2	100-1200	0,2-0,8
Портландцемент	30-60	3,0-3,2	Насипна густина 1200-1300	-

Границя міцності при стиску або розтяганні R дорівнює відношенню руйнівної сили $P_{руй}$ до початкової площі зразка F , МПа:

$$R_{ст} = \frac{P_{руй}}{F}$$

Руйнівне, тобто максимальне, навантаження визначають на гідрравлічних пресах, або розривних машинах. Результати цих випробувань залежать від міцності речовини, з якої складається матеріал, його форми, розмірів, швидкості збільшення навантаження тощо.

Кам'яні матеріали /гірські породи, бетони, цегла/ при розтяганні витримують навантаження у 10-20 разів менші, ніж при стиску. Інші будівельні матеріали /наприклад, сталь, деревина, пластмаси/ однаково добре чинять опір як стискові, так і розтягнню.

Границю міцності при вигині визначають, випробовуючи невеликі балочки, виготовлені з перевіряваного матеріалу. Зруйновують ці балочки одним або двома зосередженими вантажами. Границя міцності при вигині дорівнює, МПа:

а/ при одному зосередженому вантажі посередині прольоту

$$R_{\text{вир}} = \frac{3 P_{\text{руйн}} l}{2 b h^2};$$

б/ при двох однакових зосереджених вантажах, розташованих у третиinah прольоту

$$R_{\text{вир}} = \frac{3 P_{\text{руйн}} (l-a)}{8 h^2},$$

де l - відстань між опорами /проліт/, см; b , h - відповідно ширина і висота зразка, см.

Умови проведення цих випробувань викладено в державних стандартах на відповідні матеріали.

Проте слід мати на увазі, що різні конструкції і споруди розраховують не за границею міцності, а за допустимим напруженням, $M_{\text{да}}$,

$$[G] = \frac{R}{z},$$

де z - коефіцієнт запасу міцності, значення якого більше за одиницю.

Ця вимога до допустимого напруження зумовлюється такими причинами:

1/ неоднорідність матеріалів - чим вища, тим більший беруть запас міцності;

2/ значна деформація багатьох матеріалів до виникнення напруги;

3/ втомленість матеріалів;

4/ зміни початкових властивостей матеріалів під впливом різних атмосферних факторів, що супроводяться зниженням їх міцності /старіння/.

Для забезпечення достатньої міцності споруд при дії цих факторів, а також навантажень, не врахованих у розрахунках або врахованих не досить точно через недосконалість методів випробувань, у нормах на будівельне проектування встановлено певні запаси міцності для різних матеріалів і конструкцій / $z = 2-3$ і більше/.

Дві важливі властивості будівельних матеріалів - середня густина і міцність - вимагають впровадження ще одного коефіцієнта конструктивної якості /ККЯ/, який характеризується відношенням міцності матеріалу до його середньої густини:

$$\text{ККЯ} = \frac{R_{\text{ср}}}{\rho_m}.$$

Найкращим у конструктивному відношенні матеріалом буде той, що має найвищий коефіцієнт конструктивної якості. Такі матеріали використовують для виготовлення міцних і легких споруд. ККЯ основних будівельних матеріалів: пластмаси - I-2; сталь високоякісна - I,27; деревина /сосна/ - 0,70; сталь Ст.3 - 0,51; бетон М 150 - 0,06; цегла /в кладці/ - 0,02.

Твердість - це властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, твердішого матеріалу. Ця властивість матеріалів не завжди відповідає їх міцності, тобто матеріали з різними границями міцності при стиску можуть бути приблизно однаково тверді.

Існують різні методи визначення твердості матеріалів /Брінеля, Роквелла, Шора, Мооса/.

Стіраність називають властивість матеріалу зменшувати масу і об'єм під дією стираючих зусиль. Стіраність - важливий показник для матеріалів, які застосовуються для виготовлення підлог, сходинок, східців, шляхових покриттів. Стіраність матеріалу залежить від його структури, твердості, міцності і вологості. У лабораторних умовах стіраність визначають на спеціальних машинах - колах стирання. Після випробування визначають втрату маси зразка. Масовий ступінь стіраності матеріалу обчислюють за формулою, г/см²:

$$C_r = \frac{m - m_1}{F},$$

де m, m_1 - маса зразка відповідно до і після стирання, г; F - площа поверхні стирання зразка, см².

Опір ударові /ударна міцність/ - це властивість матеріалу чинити опір динамічним навантаженням і не руйнуватися при ударі. Ця властивість також важлива для матеріалів, які застосовуються для виготовлення підлог, шляхових й аеродромних покриттів тощо. При ударних навантаженнях напруження в матеріалі за одну мить може набути великих значень. Багато матеріалів, міцних при застосуванні статичних навантажень, руйнуються або дають тріщини при динамічних.

Зносостійкість - це властивість матеріалу чинити опір одночасній дії стіраності та ударних навантажень.

Пружність називають властивість матеріалів змінювати свою форму під дією навантаження /без ознак руйнування/ і відновлювати її після зняття цього навантаження. Найбільше напруження, при якому матеріал має пружність, називається границею пружності. До пружних матеріалів належать деревина, сталь, багато пластмас.

Пластичність називають здатність матеріалів змінювати під дією навантаження свою форму і розміри без утворення тріщин і зберігати цю набуту форму після зняття навантаження. До пластичних матеріалів належать бітуми, глиняне тісто, бетонні і розчинові суміші.

Крихкість називають властивість матеріалів руйнуватися під дією сили без попередньої зміни форми і розмірів. Для крихких матеріалів характерна значна різниця між границями при стиску і розтяганні. Наприклад, у граніту і мармуру границя міцності при розтяганні в 40-60 разів менша, ніж при стиску.

Крихкість і пластичність матеріалів можуть змінюватися в значних межах залежно від їх вологості і температури, швидкості наростання навантаження. Так, глини крихкі в сухому стані і пластичні у вологому; бітуми крихкі при наростаючому швидко навантаженні, але при повільному його наростанні вони дуже пластичні.

І.6. Спеціальні властивості

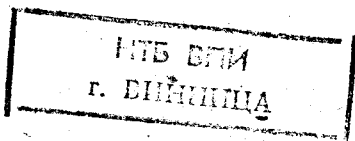
Хімічна /корозійна/ стійкість - властивість матеріалу не руйнуватися під дією різних агресивних середовищ /кислот, лугів, солей, газів/. Чорні метали іржавіють навіть на повітрі; мармур темніє і втрачає міцність під дією сірчистих сполук; деревина не стійка до дії кислот і лугів; гірські породи, цементи, бетони руйнуються кислотами.

Біологічна стійкість - властивість матеріалу чинити опір руйнівним діям рослинних і тваринних мікроорганізмів /гриби, лишайники, морські та річні організми/. Ця властивість має велике значення для матеріалів органічного походження /деревина/ і для гідротехнічних і підземних споруд.

Газопроникність - властивість матеріалу пропускати газ /повітря/ крізь свою товщину. На ступінь газопроникності матеріалу впливає його пористість і будова. Сухий бетон має газопроникність 0,04, а у водонасиченому стані практично газонепроникний. Газопроникність зовнішніх стін будинку значною мірою зменшується при покритті їх олійними фарбами, бітумними сполуками, штукатуркою, полімерними плівками.

Паропроникність - властивість матеріалу пропускати скрізь свою товщу водяні пари при наявності різниці тиску. Пар проходить крізь матеріал легше, ніж вода.

Довговічність - здатність матеріалу зберігати свої властивості при дії атмосферних факторів за весь час експлуатації споруди /перепади температур, зміна вологи, опади, дії кисню та інших газів/. Процес змін властивостей матеріалів під дією атмосферних факторів називається старінням.



Адгезія - здатність матеріалу приставати до інших матеріалів. Ця властивість важлива для фарб, емульсій, паст, мастик.

Акустичні властивості характеризуються відношенням матеріалів, які використовуються у всіх категоріях будівель, до звукових хвиль. Матеріали відбивають, вбирають або пропускають їх по-різному.

Радіаційна стійкість - властивість матеріалу зберігати будову і фізико-механічні характеристики після дії іонізуючого випромінювання. Для захисту від потоку нейтронів застосовують матеріали, які містять у великій кількості зв'язану воду; від γ -випромінювання - матеріалів з великою густиною /свинець, особливо важкий бетон/. Зв'язану воду містять гідратовані бетони, лімонітова руда /водний оксид заліза/ та ін. Зменшити інтенсивність проникання нейтронного випромінювання через бетон можна шляхом введення в нього спеціальних добавок /бору, кадмію, літію/.

2. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

2.1. Загальні відомості і класифікація

Завдяки високим і різноманітним будівельним властивостям кам'яні матеріали широко застосовуються майже у всіх галузях будівництва. Вони мають високу міцність, морозостійкість, водостійкість, довговічність, декоративні якості. Природні кам'яні матеріали добувають з гірських порід.

Гірські породи - це мінеральна маса, що складається з одного або кількох мінералів. Мінералом називають речовину, яка утворилась в земній корі внаслідок різних фізико-хімічних процесів, однорідна за своєю будовою, хімічним складом і фізичними властивостями.

Гірські породи і кам'яні матеріали з них класифікуються за такими ознаками:

за походженням /геологічна, генетична класифікація/;

за середньою густиною /в сухому стані/ поділяються на важкі $\rho_m > 1800 \text{ кг/м}^3$, середні $\rho_m = 1500-1800 \text{ кг/м}^3$ і легкі $\rho_m = 1000-1500 \text{ кг/м}^3$;

за границею міцності при стиску: 4, 7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 кгс/см². Камінь з границею міцності при стиску 4-100 кгс/см² належить до низькоміцного /слабкого/, при 125-400 кгс/см² - до середньої міцності і при 500 кгс/см² і вище - до високоміцного;

за морозостійкістю: 10, 15, 25, 35, 50, 100, 200, 300, 500;
за коефіцієнтом розм'якшення: на групи не менш як 0,6; 0,75;
0,9 і 1,0;

за видом використання: в природному стані; після спеціальної механічної обробки /розпилювання, тесання, шліфування тощо/ для надання виробові заданої форми і зовнішнього вигляду /однак називають їх природними кам'яними матеріалами/.

2.2. Породоутворюючі мінерали

За поширенням у природі всі мінерали поділяють на: породоутворюючі і рудоутворюючі /тобто ті мінерали, з яких головним чином складаються гірські породи і руди/; другорядні, вміст яких в гірських породах менший за 1%, і рідкісні, наявні надто рідко і в невеликих кількостях /коштовне каміння, самородні метали тощо/.

Знайдено і вивчено велику кількість природних матеріалів /понад 2000/, проте тільки деякі з них є породоутворюючими.

Розглянемо найважливіші породоутворюючі мінерали.

А. Група кремнезему. У найбільшій кількості в земній корі міститься вільний кремнієвий ангідрид, або кремнезем SiO_2 /модифікації оксиду кремнію - кварц, опал і халцедон/.

Кварц - найбільш поширена кристалічна модифікація кремнезему /густина 2,65 г/см³, твердість 7, дуже висока хімічна стійкість, міцність на стиск близько 2000 МПа/.

Для кварцу характерні поліморфні перетворення. Так, при температурі 573 °C кварц із β -модифікації переходить в α -модифікацію /високотемпературну/ із збільшенням об'єму на 0,82%, а при $t > 1050$ °C у α -кristобаліт, який в інтервалі температур 1400-1450 °C переходить у α -тридиміт з об'ємним розширенням 0,6%. Ці перетворення супроводяться розтріскуванням кварцевмісних порід при нагріванні. Температура плавлення кварцу 1723 °C. При швидкому охолодженні розплаву утворюється кварцове скло /густина 2,3 г/см³/ - аморфний кремнезем.

Халцедон - прихованокристалічний різновид кварцу, містить до 1,0-1,5% води і незначні домішки заліза та алюмінію, густина 2,55-2,60 г/см³, твердість 6,5-7,0.

Опал - мінерал, що являє собою псевдогідрогель складу $SiO_2 \cdot nH_2O$. Вміст води в опалі від 2 до 14%. Опал має аморфну структуру, тому може сполучатися з вапном при нормальній температурі.

Б. Група алюмосилікатів. Друге місце після кремнезему за поширеністю в земній корі займає глинозем Al_2O_3 . Вільний глинозем у природі наявний у вигляді мінералу корунду та ін.

Корунд - один з найтвердіших мінералів. Його використовують для виробництва вогнетривких матеріалів. Діаспор являє собою моногідрат глинозему $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ і містить 85% Al_2O_3 . Діаспор входить до складу бокситів, котрі використовують як сировину для виробництва глиноземистого цементу.

Глинозем у природі наявний у вигляді хімічних сполук з кремнеземом та іншими оксидами, які називаються алюмосилікатами. Найбільш поширені в земній корі алюмосилікати - польові шпати. Залежно від кута спайності розрізняють ортоклаз, або калійовий польовий шпат $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ і плагіоклази. Останні поділяються на альбіт, або натрійовий польовий шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, і анортит, або кальційовий польовий шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Густина польових шпатів 2,55-2,76 г/см³, твердість 6, міцність на стиск значно менша за міцність кварцу /120-170 МПа/. Стійкість проти механічного і хімічного вивітрювання незначна; плавляться при 1170-1550 °С.

Слюда являють собою водні алюмосилікати складної і різноманітної будови, легко розшаровуються на тонкі, гнучкі і пружні листочки і пластинки. Твердість 2-3. Види слюд: калійова - мусковіт, залізомагнезіальна /біотит/, вермикуліт і гідрослюда золотисто-бурого кольору.

Каолініт, або водний алюмосилікат $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, - продукт вивітрювання польових шпатів /густина 2,6 г/см³, твердість 1/.

В. Група залізомагнезіальних силікатів. Найбільш поширені породоутворюючі мінерали цієї групи - піроксени, амфіболи, олівін - темнозабарвлені мінерали.

Піроксени /авгіт/, амфіболи /рогова обманка/, олівін /хризотил-азбест/. Для них характерні твердість 5-6, висока густина /3-4 г/см³, міцність на стиск 300-400 МПа.

Г. Група карбонатів. В осадових гірських породах найбільш поширені породоутворюючі карбонатні мінерали /карбонати/: найважливіші з них - кальцит, магнезит і доломіт.

Кальцит, або кристалічний вапняний шпат $CaCO_3$, - один з найпоширеніших мінералів земної кори /густина 2,7 г/см³, твердість 3/. Погано розчиняється у воді /0,03 г/л/, але коли у воді розчинний діоксид вуглецю CO_2 , розчинність його різко збільшується. Утворюється кислий вуглекислий кальцій $Ca(HCO_3)_2$, розчинність якого у 100 разів більша, ніж кальциту.

Магнезит $MgCO_3$, поширений у вигляді землянистих, або щільних агрегатів, які мають прихованокристалічну будову.

Доломіт - подвійна вуглекисла сіль кальцію і магнію $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ за фізичними властивостями близький до кальциту, але твердіший і міцніший, менш розчинний у воді.

Д. Група сульфатів. Сульфатні мінерали, як і карбонатні, поширені в осадових гірських породах. Найважливіші з них - гіпс й ангідрит.

Ангідрит - безводний сульфат кальцію $CaSO_4$ /густина 2,8-3,0 г/см³, твердість 3-5/. Зовні схожий на гіпс. Залягає шарами і пластами разом з гіпсом і кам'яною сіллю. Під дією води ангідрит поступово переходить у гіпс. При цьому об'єм його збільшується.

Гіпс - двоводний сульфат кальцію $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ поширений у вигляді суцільних зернистих, волокнистих і щільних порід разом з глиною, сланцями, кам'яною сіллю й ангідритом. Колір білий або забарвлений домішками, густина 2,3 г/см³, твердість 2. Розчинність у воді при температурі 20 °C - 2,04 г/л.

2.3. Магматичні /вивержені/ гірські породи і матеріали з них

М а с и в н і

А. Глибинні породи /інтрузивні/ утворилися в результаті повільного вистигання магми на великій глибині при високих температурах і тиску.

Граніт має малу пористість і водовбирання, високу міцність і морозостійкість. Застосовується у вигляді плит для зовнішнього облицювання громадських будинків і гідротехнічних споруд; для виготовлення бортового /бордюрного/ каменю і бруківки; для переробки на бутовий камінь і щебінь /заповнювач для важких бетонів/.

Сієніт за зовнішнім виглядом і властивостями нагадує граніт. Використовується для виготовлення облицзовальних виробів і щебеню, для шляхового покриття.

Діорит використовується для шляхового покриття, у виробництві облицзовальних виробів і щебеню.

Габро використовується для облицювання шляхового покриття, здобування щебеню.

Діабаз - коштовний облицзовальний камінь /Мавзолей, бібліотека ім. Леніна/. Має красивий колір: синій, голубий, зелений, золотистий.

Б. Вилиті породи /ефузивні/ утворилися в результаті швидкого охолодження магми, яка вилася у вигляді лави на поверхню Землі. Кожен

глибинній породі відповідає аналог з шалитої породи. Їх хімічний і мінеральний склад однаковий.

Порфіри поділяються на кварцовий /аналог граніту/, безкварцовий /аналог сієніту/ і порфірити /аналог діориту/. Використовується для шляхового покриття, щебеню і кам'яного лиття.

Трахіт - аналог сієніту пористої будови, використовується як стіновий матеріал і щебінь для бетонів.

Андезит - аналог діориту, використовується як облицювальний матеріал на хімічних підприємствах, як заповнювач для кислототривких бетонів.

Базальт - аналог габро. Використовується для шляхового покриття, як щебінь для бетонів, для кам'яного лиття.

Діабаз - аналог габро. Використовується для шляхового покриття і кам'яного лиття.

У л а м к о в і

Продукти перевідкладення і цементації пухкого матеріалу, викинутого вулканами.

А. Пухкі /вулканічний попіл/ - порошкоподібні частки розміром від 0,1 до 2 мм. Більш крупні фракції називаються вулканічним піском. Використовуються у виробництві теплоізоляційних матеріалів, а також як гідралічна добавка у виробництві в'язучих речовин.

Пемза - пориста порода /загальна пористість до 80%. Використовується у виробництві легких бетонів і теплоізоляційних матеріалів, а також як активна мінеральна добавка до цементів.

Б. Цементовані - вулканічні туфи - пористі породи, які утворюються внаслідок ушліщення вулканічного попелу. Більш щільні туфи називають трасами. Туфи і траси використовуються як активні мінеральні добавки у виробництві цементів.

Туфова лава утворилася в результаті потрапляння вулканічного попелу і піску в розтоплену лаву до її встигання. Використовується як стіновий матеріал і заповнювач для легких бетонів. Пористість 40-70%.

2.4. Осадкові гірські породи і матеріали з них

Початковим матеріалом для їх утворення служать продукти руйнування гірських порід різного походження. Гірські породи руйнуються внаслідок вивітрювання /тобто дії води, вітру, коливання температури/, хімічних перетворень. Продукти руйнування або залишаються на місці, або переносяться вітром, водою, льодовиками. Внаслідок осідання і на-

громадження продуктів руйнування утворюються осадові гірські породи, які поділяються на три групи.

2.4.1. Уламкові /механічні осадки/

А. Пухкі уламкові породи.

Великоуламкові - гравій і пісок розміром зерен більш як 2 мм.

Гравій використовується у шляховому будівництві і як крупний заповнювач для важких бетонів. Крупний пісок використовується як мілкий заповнювач для важких бетонів і будівельних розчинів.

Середньоуламкові - пісок за розміром зерен від 0,14 до 2 мм.

Використовується як заповнювач для бетонів, розчинів, у виробництві скла і силікатних виробів та матеріалів.

Дрібноуламкові - пилюваті частинки розміром від 0,01 до 0,14 міліметрів.

Тонкоуламкові - розміром частинок менш як 0,01 мм /глини, лес/.

Використовуються у виробництві керамічних виробів та цементів.

Б. Цементовані уламкові породи - їх частинки зв'язані між собою мінеральною речовиною. До них належать пісковик, конгломерат, брекція. Використовуються для мурування фундаментів, підпирних стінок, стін, неопаланих будинків /будівель/, для переробки на щебінь.

2.4.2. Хімічні осадки

Магнезит $MgCO_3$ використовується у виробництві вогнетривких матеріалів і каустичного магнезиту.

Доломіт $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ використовується у виробництві вогнетривів, каустичного доломіту, переробляється на щебінь.

Гіпс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ використовується у виробництві гіпсових зв'язуючих, цементів, гіпсових виробів.

Ангідрит $CaSO_4$ - безводний гіпс, використовується там, де і гіпс, а також для внутрішнього облицювання приміщень.

Вапнякові туфи $CaCO_3$ застосовуються у виробництві вапна, цементу, для зовнішнього облицювання будівель.

2.4.3. Органічні осадки/органогенні/

Утворилися внаслідок життєдіяльності і відмирання організмів у прісних і морських водах.

Вапняки CaCO_3 застосовуються для виготовлення облицовальних плит, сходів, підвіконь, для мурування фундаментів, цоколів, будівель, для переробки на щебінь, у виробництві вапна і цементів.

Вапняк-черепашник CaCO_3 , з якого виготовляють штучні камені для мурування стін і перегородок.

Мергелі - суміш вапняка з глиною, природна сировина для виробництва цементів.

Крейда CaCO_3 застосовується у виробництві теплоізоляційних матеріалів, а також як активні мінеральні добавки до цементу для приготування фарб і замазок, виробництва вапна.

Трепел SiO_2 застосовується у виробництві теплоізоляційних матеріалів, а також як активна мінеральна добавка до цементів.

Діатоміт (70% SiO_2) застосовується там, де і трепел.

2.3. Метаморфічні /видозмінені/ гірські породи і матеріали з них

Видозмінені породи утворювалися внаслідок глибоких змін у вивержених й осадових породах під дією високих температур або великого тиску. В результаті утворилися нові породи, відмінні за своїм хімічним і мінералогічним складом від початкових.

Гнейси застосовуються для мурування фундаментів, тротуарів у виробництві облицовальних плит, для переробки на щебінь.

Глинисті сланці застосовуються як найбільш довговічний покрівельний матеріал - природний шифер.

Мармури легко розпилюються на плити, шліфуються, поліруються. Це коштовний декоративний і облицовальний матеріал, з якого виготовляють плити і плитки для внутрішнього і зовнішнього облицювання підлог, зокрема цементно-мозаїчних, сходів, підвіконь та ін.

Кварцити застосовуються у виробництві облицовальних виробів, вогнетривів, таких, як будовий камінь і щебінь.

2.6. Види виробів, їх застосування, перевезення і зберігання

Вимоги до показників основних властивостей природного каміння залежно від його призначення та умов експлуатації наведено в державних стандартах і будівельних нормах і правилах /БНІП/.

Будовий камінь - це великі куски масою від 15 до 40 кг/ неправильної форми, які добувають при розробці підризним способом вапняків, доломітів і пісковиків з подальшим відсортуванням дрібних фракцій.

У каменях не повинно бути глинистих домішок, тріщин і розшарувань. За формою бутовий камінь поділяють на постелистий /плитчастий/ і такий, що наближається за формою до куба. Для кладки краще застосовувати перший тип, тоді кладка виходить правильною і міцною.

Бутовий камінь використовують для різних гідротехнічних споруд, бутової і бутобетонної кладки фундаментів і стін неопалюваних будинків, колодязів водопровідної мережі і водостоків, відстійників, каналізаційних каналів тощо. При подрібненні бутового каменю адобувають щебінь, що використовується як заповнювач для бетону.

Булижний камінь - це обкатані уламки гірських порід розміром 120-300 мм. Його застосовують для укріплення укосів земляних споруд при будівництві дамб, для переробки на бут і щебінь.

Каміні правильної форми, плити і фасонні вироби виготовляють з блоків, відділених від масиву гірської породи. Якщо породи залягають неглибоко або виходять на поверхню землі, їх добувають відкритим способом - у кар'єрах. У разі залягання порід на значній глибині використовують підземний спосіб розробки - у каменеломнях або шахтах. Щільні гірські породи /граніт, базальт, щільний вапняк та ін./ розробляють вибійними молотками, клинами і підризним способом. Легкооброблювані гірські породи /мармур, вапняк-черепашник, туф/ добувають механізованим способом з допомогою каменерізних машин.

Гірські породи розробляють на каміні і плити на заводах, розташованих поряд з місцями розробки, на спеціальних верстатах пилами, встановленими зубцями з твердих сплавів.

Каміні правильної форми для стін і перегородок опалюваних будинків виготовляють з вапняку-черепашнику, туфу та інших м'яких порід. Вони не повинні мати прошарків глини і мергеля, а також слідів вивітривання; після 50 циклів поперемінного насичування водою і висихання /один із способів визначення атмосферостійкості/ у каменях не повинно бути тріщин і відшарувань. Коефіцієнт розм'якнення каменів, призначених для стін, має бути не меншим за 0,6, а для кладки фасадів - не нижче за 0,75.

Для зовнішнього облицювання будівель і споруд застосовують каміні і плити з граніту, сіеніту, діориту, габро, лабрадориту, кварциту, а також щільні вапняки, доломіти і пісковики. Для внутрішнього облицювання використовують мармур, гіпс, ангідрит. Крім облицювальних, є також плити для підвіконня та інші архітектурно-будівельні вироби.

Покрівельні плити виготовляють з глинистого сланцю.

Гірські породи використовують також як сировину для виробництва будівельних матеріалів, наприклад, портландцементу /вапняк, глина,

крейда, мергель/, вапна /вапняк/, будівельного гіпсу /природний дво-
водний гіпс/, штучних кам'яних матеріалів /глина, пісок/. З деяких
особливо легких порід /діатоміт, трепел та ін./ виготовляють неорга-
нічні теплоізоляційні матеріали.

У процесі перевезення і зберігання матеріали і вироби слід захи-
щати від механічних пошкоджень і забруднення. Облицювальні плити тре-
ба перевозити в критих транспортних засобах і зберігати в закритих
складах або під наметом.

2.7. Заходи захисту виробів від вивітрювання

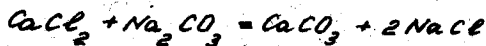
Для захисту споруд з природних матеріалів від вивітрювання за-
стосовують конструкційні або хімічні способи, які зменшують доступ до
води всередину каменю.

Конструкційні заходи підвищення довговічності кам'яних матері-
алів - це влаштування доброго стоку води і створення у каменів і плит
гладкої поверхні /шлифування, полірування/.

Хімічний захист полягає в просочуванні простих кам'яних матері-
алів на певну глибину спеціальними сполуками. В результаті хімічної
реакції цих сполук є речовиною каменю поверхня його стає щільною і
гладкою, що збільшує стійкість матеріалів проти вивітрювання /наприк-
лад, кремнефторизація, або флюатування/. Цей спосіб полягає в тому,
що поверхню карбонатних порід просочують розчинами солей кремнефто-
риводневої кислоти /флюатами/, які, реагуючи з вуглекислим каль-
цієм, утворюють нерозчинені у воді продукти - кремнезем і фтористі
солі, що закупорюють пори в поверхневому шарі каменю:



Некарбонатні породи спочатку просочують аванфлюатом /розчином каль-
цієвої солі/, а потім флюатом



Ідея кремнефторизації належить Д.І.Менделєєву, способи розробив
Н.А.Белелюбський.

3. БУДІВЕЛЬНА КЕРАМІКА

3.1. Загальні відомості і класифікація

Керамічні вироби виготовляють з природних глин або їх суміші з органічними і мінеральними добавками. Виробництво складається з трьох основних технологічних стадій: формування, сушіння і випалювання. Це виробництво відоме із стародавніх часів, і сьогодні жодне будівництво не обходиться без застосування керамічних виробів. У 1990 р. випущено близько 50 млрд. штук умовної цегли. Висока міцність, водо-морозостійкість /довгозвичність/ і широкий асортимент кераміки дають можливість використовувати її у всіх частинах будівлі - від фундаменту до покрівлі. Недоліками керамічних виробів порівняно з іншими будівельними матеріалами є підвищена крихкість. Після випалювання керамічні вироби набувають потрібну поверхню за фактурою і кольором і не потребують додаткової обробки. За призначенням керамічні вироби поділяються на такі групи.

1. Стінові матеріали - цегла глиняна звичайна, порожниста, пориста, будівельна легка, камені керамічні порожнисті, віброцегляні і керамічні панелі.

2. Вироби для зовнішнього облицювання будівель - лицьова цегла, лицьові камені, плити і плитки фасадів, малогабаритні фасадні плитки, шпалерна кераміка, підвіконні ящики.

3. Вироби для внутрішнього оповивання приміщень - глазуровані /поліглазуровані/ плити для облицювання стін і перегородок, плитки для покриття підлог, монтажні деталі.

4. Санітарно-технічні вироби - ванни, умивальники, раковини, унітази, машинні бачки.

5. Вироби для перекриття - порожнисті камені, камені для армо-керамічних балок, камені для накатів.

6. Покрівельні вироби - черепиця різних видів.

7. Керамічні труби - каналізаційні і дренажні, камені для каналізаційних колекторів і колодязів.

8. Вироби спеціального призначення - цегла клинкерна, декальна, клиноподібна, кислотостійка, вогнетривка, теплоізоляційні вироби /діатомові і трепальні/, керамзитовий гравій, щебінь і пісок.

Крім того, всі керамічні матеріали поділяють на дві групи: пористі і щільні. Перші мають властивість водопоглинання від 5% і вищу /другі до 5% - плити для підлог, шпалерна цегла/.

3.2. Сировина для керамічних виробів

3.2.1. Глини

Глини утворюються при руйнуванні в основному польового шпату під впливом води і вуглекислоти. За відношенням до температури розривають глини трьох груп: вогнетривкі / $\epsilon_{\text{пл}} > 1580^\circ\text{C}$ /, тугоплавкі / $1350^\circ\text{C} < \epsilon_{\text{пл}} < 1580^\circ\text{C}$ / і легкоплавкі / $\epsilon_{\text{пл}} < 1350^\circ\text{C}$ /. Вогнетривкість глини зумовлюється наявністю в них механічних домішок - кварцового піску, оксидів заліза, вапняку, органічних речовин. Чим чистіші глини, тим вища їх вогнетривкість і пластичність. Основну будівельну кераміку виготовляють з легкоплавких глини.

Хімічний склад глини. Вони складаються з різних оксидів: Al_2O_3 /глинозем/, SiO_2 /кремнезем/, Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O і K_2O , вільна і хімічно зв'язана вода й органічні домішки. Оксиди утворюють глинисті мінерали, головним з яких є каолініт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /монтморилоніт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ /. Чим більший вміст Al_2O_3 , тим більша пластичність і вогнетривкість матеріалу. При збільшенні вмісту SiO_2 зменшується пластичність глини і міцність виробів. Від вмісту оксидів заліза залежить колір виробів і температура спікання глини. Сполуки кальцію і магнію скорочують період спікання глини, що погіршує умови випалювання. Корисними домішками вважаються оксиди натрію і калію, які знижують температуру випалювання і надають виробам міцності. Від вмісту органічних домішок /гумусових речовин/ залежать масові втрати при випалюванні й усадка виробів.

Основні властивості глини

Пластичність - одна з найважливіших властивостей глини, що виникає тільки при змішуванні глини з водою. Вона дає можливість формувати з них різні вироби. Чим більше в глинах тонких частинок /розміром менше 0,005 мм/, тим вища їх пластичність.

Ступінь пластичності залежить від мінералогічного гранулометричного складу, форми і поверхні частинок, вмісту органічних домішок і води. За ступенем пластичності глини бувають високопластичні / $\text{Пл} = 15/\text{$, середньої пластичності / $\text{Пл} = 7-15/\text{$ і малопластичні / $\text{Пл} = 7/\text{$. Число пластичності $\text{Пл} = W_f - W_p$. Пластичність можна підвищити додаванням до пісних глини більш пластичних, відмочуваними, застосуванням механічного оброблення, літуванням у буртах. Знижують пластичність введенням спієкційних добавок.

Гранулометричний /везикулий/ склад: піщані фракції /0,14-5 мм/ пилуваті частинки /0,005-0,14 мм/, глинисті частинки / $< 0,005$ мм/.

Чим вищий вміст глинистих частинок, тим вищі формувальні якості і пластичність глини.

Повітряна усадка - це процес зменшення лінійних розмірів /об'єму/ виробу при висиханні сирої глини /в міру видалення води через зближення глинистих частинок/. Повітряна усадка характеризується такими параметрами:

для високопластичних глини - 10-15% при водопотребі 28% і більше;

для глини середньої пластичності - 7-10% при водопотребі 20-28%;

для малопластичних глини - менш як 7% при водопотребі до 20%.

Випалювання супроводиться зміною кольору, зменшенням об'єму і втратою пластичності. На початку випалювання при температурах 100-120 °C видалляється вільна і фізично зв'язана вода; при температурах 200-450 °C вигорять органічні домішки і добавки; в інтервалі 450-800 °C видалляється хімічно зв'язана вода, відбувається дегідратація глинистих мінералів, вони руйнуються, і глина переходить в аморфний стан; при підвищенні температури від 800 до 1200 °C глина спікається і утворюється керамічний черепок /безпосередньо випалювання/.

Механічна міцність глини після випалювання збільшується, бо при нагріванні частини матеріалу розплавляється, а при охолодженні твердне і цементує частинки, що не розплавлялися. Сукупність процесів усадки, ущільнення і зміцнення глини при випалюванні називають спіканням глиняного черепка. Різницю між температурою спікання глини і її вогнетривкістю називають інтервалом спікання.

3.2.2. Добавки до глини

Опіскуючі добавки вводять до складу керамічних мас для зниження пластичності високопластичних глини, для зменшення усадки при сушінні і випалюванні, а також для поліпшення технологічних процесів і фізико-механічних властивостей виробів. Опіскуючими добавками можуть бути неорганічні речовини - кварцовий пісок, шпат /випалена і подріблена глина/, мелена зола, шлак та ін., а також органічні - вугільний порошок, тирса, торф.

Вигорюючі і розкладаючі добавки вводять для отримання виробів з високою пористістю і малю середньою густиною. Вигорюючі добавки: деревна тирса, вугільний порошок, торф'яний піл. Розкладаючі добавки з виділенням CO_2 при випалюванні: мелена крейда, вапняк, доломіт.

Спеціальні добавки вводять для надання виробам спеціальних властивостей. Для отримання кислотоостійких виробів додають піскі сушіні, змішані рідкими сілками. Для зниження температури випалювання вводять

фаянсу /плавлені/ - мелені польові шпати, піщаники, залізні руди. Інколи вводять ПАР - СДБ /сульфатно-дріжджову бражку/ і ССВ /сульфітно-спиртову брагу, барду/.

Глазури і ангоби застосовують для зниження водопроникнення і підвищення декоративних якостей керамічних виробів. Глазур /полив/ - це склоподібне покриття товщиною 0,1-0,2 мм, яке наносять на вироби і закріплюють випалюванням. Колись використовували свинцеву глазур, тепер - стронцієву і цирконієву. Глазури бувають прозорі і непрозорі, різного кольору. Ангоб - це покриття з тонкого шару білошпаленої або кольорової глини, який наносять на виріб і закріплюють випалюванням. До глазурей і ангобів пред'являють такі вимоги: вони повинні мати коефіцієнт теплового розширення однаковий з керамічним черепком, тобто при сушінні і випалюванні повинні поєднуватися усадна виробу і шару покриття. За'язок ангобу з виробом тим міцніший, чим тонший його помел і чим ближчий склад маси й ангобу.

3.3. Стінові матеріали і вироби

Доля стінових керамічних виробів у загальному балансі стінових матеріалів досягає 50%.

За густиною і теплотехнічними властивостями керамічну цеглу і каміння для стін поділяють на три групи: перша - ефективні з середньою густиною не більше 1450 кг/м^3 і високими теплоізоляційними властивостями; друга - умовно-ефективні з середньою густиною $1450-1600 \text{ кг/м}^3$; третя - звичайна цегла з середньою густиною більше 1600 кг/м^3 .

До стінових матеріалів пред'являють підвищені вимоги за міцністю, водовибиранням, морозостійкістю, середньою густиною, теплопровідністю.

Цеглу виробляють з легкоплавких глин, що їх добувають у кар'єрах відкритим способом. Виготовляють цеглу двома способами: пластичним /мокрим/ і напісхрим. Найбільш поширений пластичний спосіб.

Технологічний процес виробництва глиняної цегли цим способом складається з таких операцій: підготовки маси, формування, сушіння і випалювання.

Щоб зруйнувати природну структуру, глину пропускають через вальці грубого і тонкого помелу, потім через глином'яку. В ній глина зволожується до 18-25%, перемішується і перетворюється на однорідну масу, придатну для формування.

Формують глиняну масу в стрічкових пресах, зокрема вакуумних, де цегла формується з маси, майже позбавленої повітря. Це значно поліпшує будівельні властивості матеріалу. Продуктивність вакуум-преса становить до 10000 цеглин за годину.

Сушать відформовану масу /сирець/ в природних умовах - в сушильних сараях або сушарнях протягом 8-15 діб.

У штучних сушарнях, де використовують підігріте повітря, сирець можна сушити протягом року незалежно від природних умов, причому строк сушіння скорочується до 2-3 діб. Сушіння проводять до вологості 5-7%.

Випалювання - найбільш відповідальна операція - складається з трьох етапів: прогрівання сирцю, власне випалювання й охолодження. При випалюванні температура досягає 1000 °C, і в результаті цього створюється каменевидний черепок.

Печі для випалювання цегли та інших керамічних виробів бувають двох видів: періодичної дії, в яких операції завантаження, випалювання, охолодження і розвантаження відбуваються послідовно, одна за одною і безперервної дії/, в яких усі ці операції відбуваються водночас для різних партій виробів.

Печі періодичної дії застосовують на малих, напівкустарних підприємствах, а безперервно діючі - на великих заводах. Останні поділяються на кільцеві і тунельні. У кільцевих печах зона випалювання поступово переміщується, а випалювальні вироби залишаються на місці. В тунельних печах при постійній зоні випалювання вироби переміщують на вагонетках. Випалювання в них забирає 30-70 годин.

Найекономічнішими є тунельні печі завдяки більшій механізації процесів випалювання і раціональному використанню теплоти.

Напівсухий спосіб виробництва цегли дає змогу застосовувати глиняну масу меншої вологості /звложення 9-12%/, що прискорює сушіння, сирцю або зовсім виключає його. Проте цей спосіб потребує складнішого пресового устаткування, бо при формуванні сирцю потрібний тиск до 150 кгс/см². 6 преси з годинною продуктивністю 2-10 тис. цеглин.

Цегла, виготовлена напівсухим способом пресування, має підвищену середню густину, меншу границю міцності при вигині і дещо меншу морозостійкість порівняно з цеглою пластичного виробництва.

Напівсухий спосіб дає можливість розширити сировинну базу, бо при ньому можна використати малопластичні глини, що при пластичному способі неможливо.

Властивості цегли зумовляються вимогами державних стандартів. Цегла повинна мати форму прямокутного паралелепіпеда з прямими ребрами і рівними гранями. Розміри одинарної цегли 250x120x65 мм, модульної 250x120x88 мм з обов'язковими технологічними пустотами. Маса не більше 4 кг. Внаслідок неминучості повітряної і вогньювої усадки важко добути цеглу стандартних розмірів. Тому в державних стандартах допускається відхилення: за довжиною ± 4 /пластичного формування/, ± 3 /на-

півсухого формування/; по ширині ± 3 і ± 2 ; по висоті $+3-2$ і ± 2 мм відповідно. За $R_{сг}$ цегли поділяється на 7 марок: 75, 100, 125, 150, 200, 250 і 300 кгс/см² /7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0 МПа/. Середня густина 1700-1900 кг/м³; морозостійкість F 15, 25, 35, 50; теплопровідність λ 0,70-0,82 Вт/(м·°C). Водовибирання для марок 75, 100, 125, 150 не менше 8%, для решти марок - не менше 6%.

Застосовується цегла глиняна звичайна для кладки зовнішніх і внутрішніх стін, перегородок у всіх типах будівель, для внутрішніх стовпів, печей, склепів, для несучих конструкцій, де її міцність повністю використовується, для заводського виготовлення цегляних отинових блоків і панелей. Не рекомендується застосовувати для кладки фундаментів і цоколів нижче від гідроізоляційного шару і зовнішніх стін з підвищеною вологістю приміщення.

Цегла глиняна порожниста - виготовляється з легкоплавких глин методом пластичного формування. Пустоти можуть бути наскрізні, круглі і щілисті, проте обов'язково перпендикулярні постелі. Розміри: 250x120x65 /88/ модульна. Марки за $R_{сг}$ 75, 100, 125, 150; середня густина ρ_m = 1000-1450 кг/м³. Водовибирання не менше 6%, морозостійкість 15, 25, 35, 50. Застосовується для кладки зовнішніх і внутрішніх стін, крім будівель з підвищеною вологістю /лазня, пральня/, для заповнення стін каркасних будівель. Напівсухого пресування, пустотністі 13-33%, пустоти нескрізні.

Цегла будівельна легка /пориаста/ - виготовляється з легкоплавких глин з вигоряючими добавками або з діатомітів і трепелів. Розміри: одинарна 250x120x88 мм; подвійна 250x120x140. Марки по $R_{сг}$ 50, 75, 100. Морозостійкість не нижча за 10, середня густина ρ_m = 700-1450 кг/м³. Застосовується для кладки зовнішніх і внутрішніх стін будівель з нормальною вологістю. Не застосовується для несучих стін з підвищеною вологістю.

Каміні керамічні порожнисті виготовляються у вигляді прямокутного паралелепіпеда з наскрізними пустотами, перпендикулярними постелі. За призначенням бувають двох видів: для кладки несучих стін і для кладки внутрішніх стін і перегородок. Довжина 190-290 мм, ширина до 120 мм, товщина 138-288 мм; середня густина ρ_m = 1300-1450 кг/м³; морозостійкість 15, 25, 35, 50; водовибирання не менше як 6%. Марки за $R_{сг}$ 75, 100, 125, 150.

Віброцегляні стінові панелі і блоки виготовляють двошаровим: з цегли на цементному розчині й утеплювача /піноскло, мінерата тощо/. Для надання міцності між рядами цегли закладають металеву арматурку сітку. Загальна товщина панелей 260 мм /120 - цегла, 100 - утеплювач, 36 - три шари розчину, 4 - облицовальна керамічна плитка/. Панелі для

внутрішніх стін і перегородок виготовляються одношарові, товщиною 140 мм /І20 - цегла, 20 - два шари розчину/. Цегляні блоки мають товщину І,5; 2 і 2,5.

Керамічні стінові панелі виготовляються одношарові з порожнистих керамічних каменів товщиною 300 мм /250 - керамічний камінь, 25 - керамітобетонний шар, 25 - шар розчину/.

3.4. Вироби для зовнішнього облицювання будівель

Ці вироби повинні мати високу водонепроникність, водостійкість, морозостійкість, добре протистояти стиску й ударові, мати високі декоративні якості, які не змінюються весь період експлуатації.

Лицьова цегла і камені. Цеглу виготовляють суцільною і порожнистою, камені - тільки порожнисті. Лицьова поверхня може бути гладкою, рифленою або квітчастою, глазурованою і неглазурованою. Облицювання фасадів проводиться водночас з кладкою стін. За призначенням вони бувають рядові і профільні. Найбільш часто застосовуються лицьова цегла рядова /250x120x65 або 90 мм/; лицьовий рядовий камінь /250x120x140 мм/. За $R_{сг}$ мають 7 марок: 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300; за $F / \text{Мре} /$ - три марки 25, 35, 50, водовбирання 6-12%.

Плитки фасадні керамічні виготовляють із світлопалючих глин. Прикріплюють до стіни, як правило, після збудування і осідання будівлі. Водовбирання не більш як 12-14%, морозостійкість не нижча за 25-50, колір - будь-який із світлими відтінками. Через складність виготовлення випуск їх обмежений.

Плитки фасадні малогабаритні випускають різного кольору, глазуровані або ні, з гладкою або квітчастою поверхнею. З тильної сторони виступи і заглиблення для кращого зчеплення зі стіною. Випускаються чотирьох розмірів: 250x150, 250x65, 150x75, 120x65 мм. Водовбирання не більш як 12-14%, морозостійкість не нижча за 25, 35, 50.

Килимова кераміка - це прямокутні або квадратні плитки, наклеєні на паперову основу. Бувають різного кольору, глазуровані або ні. Водовбирання не менш як 6% і не більш як 12%, морозостійкість не нижча за 25. Розміри плиток: 46x46, 23x23, 48x48, 48x23, 20x20 мм.

3.5. Вироби для внутрішнього опорядження приміщення

Вироби для внутрішнього опорядження стін і перегородок являють собою квадратні, прямокутні або фігурні пластинки, викриті глазур'ю. Вони застосовуються для опорядження стін у ваннах, туалетах, кухнях,

лазнях, пральнях, дитячих і медичних закладах, лабораторіях. До них ставляться підвищені вимоги за декоративними якостями і точністю розмірів. Вони повинні бути водонепроникними і вогнестійкими. У державних стандартах передбачено випуск 28 типів плиток різних за розмірами /наприклад, довжина 50, 100, 150; ширина - 50, 75, 100, 150 мм. Фасонні плитки бувають кутові, карнизні і плінтусні. За видом сировини бувають

майолікові - їх виготовляють з легкоплавких глин з добавкою 20% CaCO_3 /крейди/, вкривають глазур'ю;

фаянсові - їх виготовляють з тугоплавких глин з добавкою кварцового піску, вкривають глазур'ю.

Плитки для підлоги бувають квадратні, прямокутні, трикутні, шестикутні і восьмигранні. Випускаються 15 типів за формою і розмірами. Бувають двох видів: для звичайних підлог і для мозаїчних.

Керамічні /метлаські/ плитки виготовляються з тугоплавких або вогнетривких глин. Колір білий, жовтий, червоний з різними відтінками. Лицева поверхня: гладка, шорстка або рифлена, може бути з рисунком. Водовбирання не більше 4%, стираність не перевищує $0,1 \text{ г/см}^2$.

Використовуються для покриття полів в лазнях, пральнях, туалетах, ваннах і лабораторних, лікувальних закладах. Довжина - 50, 100, 150; ширина - 50, 75, 100, 150 мм.

Мозаїчні плитки наклеюють водорозчинним клеєм на аркуші паперу в різних поєднаннях у вигляді килимів. Бувають квадратні і прямокутні /розміри 48×48 , 48×23 , 23×23 мм/. Водовбирання 3-4%, стираність $0,1-0,25 \text{ г/см}^2$. Використовуються у всіх типах будівель для покриття підлог у приміщеннях з підвищеними декоративними вимогами.

3.6. Вироби для перекриття

Порожнисті камені для перекриття - марки за R_{cr} - 50, 75, 100, 125, 150, 200; середня густина до 1000 кг/м^3 .

Камені для армокерамічних балок - марки за R_{cr} - 75, 100, 125, 150, 200; середня густина до 1300 кг/м^3 . При виготовленні балок між каменями вкладають сталеву арматуру або сітку.

Порожнисті камені для накатів застосовуються для заповнення простору між балками, марки за R_{cr} - 35, 50, 75; середня густина до 1000 кг/м^3 .

Керамічні вироби для перекриття довговічні, вогнетривкі, мають високі теплозвукоізоляційні властивості. Застосовуються в сільсько-господарському будівництві.

3.7. Покрівельні вироби /черепиця/

Черепиця за своїми технічними властивостями і собівартістю має значну перевагу перед іншими покрівельними матеріалами, тому що не потребує ремонту протягом тривалого часу і виробництво її нескладне.

Основною сировиною для виробництва черепиці є глина. Проте не всі глини мають однакову пластичність /здатність глиняного тіста при тиску на нього набувати різної форми без появи тріщин і зберігати її/, що має велике значення при виробництві черепиці.

Глини, які застосовуються для виготовлення черепиці, мають задовольняти таким вимогам:

бути настільки пластичними, щоб з них можна було відформувати черепицю потрібної форми /пластичність не менш як 10, тобто помірна/; мати повітряну усадку не більш як 7-8%, а загальну /повітряну і вогньову/ 9-10%;

не містити чорнозему, бо під час випалювання він вигоріє, черепиця стає пористою та водопроникною;

не містити крупного піску та інших твердих включень розміром понад 1 мм. Особливо недопустимі вапняні включення /після випалювання вони, вбираючи воду, гасяться і, збільшувачись в об'ємі, руйнують черепицю/;

після випалювання до температури не більш як 1000-1100 °C давати механічно міцний вогне- і морозотривкий черепок;

вміст глинозему Al_2O_3 не менш як 10-12%.

Переробка сировини для виробництва черепиці полягає в її природній підготовці з подальшою механічною обробкою /помел, формування на пресах, сушіння та випалювання/.

Є чотири види черепиці: штампована, пазова, стрічкова плоска і гребенева. Всі види черепиці повинні мати правильну форму з рівними краями без тріщин. З тильної сторони є кілька шипів і вушко для прикріплення черепиці дротом до лат. Розміри: довжина 350-400 мм, ширина 155-230 мм, товщина 8-10-12 мм. На 1 м² покрівлі йде 15-35 шт., маса 1 шт. - 1,4-2,8 кг. $\rho_{32} > 70 \text{ кг/см}^2$, маса 1 м² - 65 кг, морозостійкість не менш як 25.

Покрівля з черепиці відзначається високою довговічністю, вогнетривкістю, атмосферостійкістю. Недоліки: велика маса /потрібна міцна конструкція покрівлі/, велика трудомісткість покрівельних робіт. Застосовується в основному в малоповерховому сільському і приватному будівництві.

3.8. Санітарно-технічні вироби

Санітарно-технічні вироби виготовляють з ясноспалючих вогнетривких глин або каолінів з добавками кварцу або польового шпату. Залежно від початкової сировини отримують твердий фаянс / $\rho_m = 1,9-2,0 \text{ г/см}^3$; водовбирання 10-12%, R_{cr} до 100 МПа, глина - 45-65%, кварц - 25-40%, польовий шпат - 10-15%/; напівфарфор / $\rho_m = 2,0-2,2 \text{ г/см}^3$, водовбирання 3-5%, $R_{cr} = 150-200 \text{ МПа}$, глина - 40-50%, кварц - 40-45%, польовий шпат - 10-15%/ і сантехнічний фарфор / $\rho_m = 2,2-2,3 \text{ г/см}^3$, водовбирання 0,2-0,5%, R_{cr} до 500 МПа, глина 40-60%, кварц - 20-30%, польовий шпат 20-30%/. Сантехнічну кераміку виготовляють з твердого фаянсу /ванни, раковини, умивальники, змішні бачки, унітази тощо/. Ці вироби виготовляють методом лиття в гіпсових формах з сметаноподібної маси /шлікеру/, яка вміщує до 60% води. Вилиті вироби просушують і обов'язково вкривають прозорою або глухою білою глазур'ю, після чого вироби підлягають випалюванню при 1250 °С. Застосовуються ці вироби у всіх типах будівель.

3.9. Керамічні труби

Каналізаційні труби виготовляють з тугоплавких або вогнетривких глин із опіснючими добавками. Усередині і зовні вкривають хімічно стійкою глазур'ю. Керамічні труби більш стійкі до різних агресивних середовищ, ніж чавунні, металеві і залізобетонні. Випускають їх довжиною 0,8; 1,0; 1,2 м, внутрішнім діаметром від 100 до 600 мм /з інтервалом в 50 мм/. Бувають з розтрубом на одному кінці і безрозтрубні. Застосовуються для влаштування каналізаційних сіток, для відведення стічних агресивних рідин.

Дренажні труби виготовляють з пластичних легкоплавких глин довжиною 333-500 мм і внутрішнім діаметром від 25 до 250 мм /з інтервалом в 25 мм/. Зовні вкривають глазур'ю. Бувають з розтрубом на одному кінці і безрозтрубні. На усій поверхні можуть бути скрізні або щілиноподібні отвори для збирання води. Застосовуються для осушення будівельних майданчиків.

Камені для каналізаційних колекторів повинні бути хімічно стійкими, ніж бетонні, R_{cr} не менш як 200 кгс/см².

3.10. Вироби спеціального призначення

Цегла шляхова /клінкерна/ випускається розмірами 220х110х65 мм. Марки за $R_{сг}$ - 400, 700, 1000. Водовбирання відповідно до марок 6; 4 і 2%, морозостійкість 35, 50, 100. Застосовується для підлоги промислових будівель, влаштування шляхів і тротуарів, каналізаційних колекторів, мостових підпор.

Цегла кислототривка буває прямою і клиновою. Розміри прямої 230х113х65 мм. Кислототривкість за сортами 95 і 97%, водовбирання 9 і 7%, марки за $R_{сг}$ - 300 і 400. Використовується для кладки фундаментів і футерування хімічних апаратів, газоходів, кладки колосників для покриття підлог на хімічних підприємствах.

Декальна цегла застосовується для кладки і футерування димарів при температурі не вищій за 700 °С. Марки по $R_{сг}$ - 100, 125, 150; водовбирання не менш як 8%, $F / \text{Мпа} / > 15$.

Керамзит - пористий керамічний гранульований матеріал, який здобувають випалюванням легкоплавких глин, що спучуються. Коефіцієнт спучення повинен бути не менш як 4. У сировину вводять органічні добавки /торф'яний і вугільний пил/, що вигоряють при випалюванні з виділенням газів і води, які спучують масу і утворюють в ній дрібні замкнуті пори. Керамзит випускають у вигляді гравію, щебеню і піску. Щебінь і гравій поділяються на фракції 5-10; 10-20; 20-40 мм, $\rho_m = 100-800 \text{ кг/м}^3$, $R_{сг} = 4-55 \text{ кгс/см}^2$ залежно від середньої густини. Застосовується як найбільш поширений заповнювач для легких бетонів.

Діатомові і трепельні вироби виготовляють з діатоміту і трепелу з вигоряючими добавками для утворення пор. Випускаються у вигляді цегли, сегментів, шкаралуп. Застосовуються як теплоізоляційні матеріали при температурі до 900 °С. Пінодіатомові і трепельні.

Вогнетривкі матеріали класифікуються за ступенем вогнетривкості $/t_{пл} = 1580-1770 \text{ }^\circ\text{C}/$, високовогнетривкі $/t_{пл} = 1770-2000 \text{ }^\circ\text{C}/$, вищої вогнетривкості $/t_{пл} > 2000 \text{ }^\circ\text{C}/$. Їх випускають у вигляді прямої і клинової цегли, блоків, сегментів і шкаралуп. Найбільш широко застосовуються вогнетривкі матеріали.

Кремнеземисті /динасові/ - їх виготовляють з кварцу, кварциту і кварцового піску, вміст SiO_2 не більш як 90%; застосовуються для кладки склепів мартенівських і скловарних печей, $t_{пл} = 1690-1790 \text{ }^\circ\text{C}$.

Алмосилікатні бувають трьох видів:

напівкислі - з кварцових порід і глин, $t_{пл} = 1580-1710 \text{ }^\circ\text{C}$, застосовуються для футерування вагранок і коксових печей;

шамотні - сировина та сама але в інших співвідношеннях, $t_{пл} = 1580-1750^{\circ}\text{C}$; застосовуються для футерування і кладки стін та склепів випалювальних печей;

високоглиноземисті - з бокситів і корунду, $t_{пл} = 1750-1960^{\circ}\text{C}$; застосовуються для кладки скловарних печей.

Магнезійальні отримують з магнезиту, $t_{пл}$ до 2000°C .

Хромисті отримують з хромистого залізняка з добавками магнезиту або глинозему, $t_{пл} = 1800-2000^{\circ}\text{C}$; застосовуються в доменних і сталеплавильних печах.

Вуглецеві - з графіту або коксу, $t_{пл} = 1700-1900^{\circ}\text{C}$.

4. МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ З МІНЕРАЛЬНИХ РОЗПЛАВІВ

4.1. Загальні відомості і класифікація

Для мінеральних розплавів загальною прикметою є їх силікатна природа, тобто перевага в їх складі силікатів. Власне силікатним розплавам притаманна здатність переходити при різкому охолодженні в склоподібний стан.

Отримання виробів з мінеральних розплавів базується також на єдиному комплексі технологічних операцій: розплавлення початкової сировини, формування і термічної обробки виробів для надання їм необхідної мікроструктури і фізико-хімічних властивостей.

Мінеральні розплави залежно від виду початкової сировини можна поділити на такі групи: скляні, кам'яні, шлакові, ситали і шлакостали.

4.2. Фізико-хімічні основи виготовлення скла і його властивості

Склом називається аморфний матеріал, який добувають унаслідок переохолодження розплавів різного хімічного складу. Переход скла з рідкого стану у твердий є оборотним. Всі види стекол мають однорідну структуру та їх властивості однакові по всіх напрямках. На сьогодні промисловість виробляє силікатне скло, в якому склоутворюючим оксидом є кремнезем SiO_2 . Крім того, до його складу входять оксиди натрію, кальцію, магнію, калію. Для добування кольорового скла застосовують добавки оксидів міді, заліза, кобальту, марганцю, хрому.

Сировиною для виробництва скла є кварцовий пісок, шліда, вапняк, крейда, доломіт, вугілля тощо. Варіння скла ведуть у скловарних печах при температурі до 1500 °С. Будівельне скло має такі основні фізико-механічні властивості: $\rho = 2,5-3,0 \text{ г/см}^3$; $R_{\text{ст}} = 6000-12000 \text{ кгс/см}^2$; $R_{\text{сж}} = 360-1700 \text{ кгс/см}^2$; $R_{\text{розг}} = 300-900 \text{ кгс/см}^2$; $R_{\text{м}} = 2500 - 3000 \text{ кг/м}^3$; твердість за шкалою Мооса 5-7; $\lambda = 0,4-0,8 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; світлопроникність - до 97%. Скло має низьку термостійкість: при нагріванні й охолодженні воно руйнується. Має високу хімічну стійкість. Кислоти діють слабо /окрім плавикової/. Розчини лугів і навіть чиста тепла вода повільно руйнують поверхню скла, яка стає каламутною і шерсткою.

4.3. Матеріали та вироби із скляних розплавів

4.3.1. Листове скло і його різновиди

Віконне скло випускають 6 видів за товщиною 2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0 мм. Товщина повинна бути рівномірною по всьому листу. Кривизна поверхні допускається не більш як 0,3% від довжини листа. Скло повинно бути безбарвним, допускається слабкозеленкуватий або слабкоголубуватий відтінок, але без зниження світлопроникності. Застосовується для застакнення вікон.

Вітринне скло буває поліроване і неполіроване. Товщина 6-12 мм; $R_{\text{ст}}$ до 12000 кгс/см². Застосовується для застакнення вітрин і віконних прорізів у магазинах, клубах, ресторанах, театрах, вокзалах, аеропортах тощо.

Загартоване скло - шляхом додаткової термічної обробки /загартування/ йому додають підвищеної механічної міцності і термостійкості. Розбиваючись при ударі, скло розсипається на осколки з тупими неріжучими краями. Застосовується для влаштування дверей, перегородок, стелі.

Армоване скло виготовляють шляхом запресовування в скломасу металеві сітки. Зберігає початкову форму, навіть будучи покритим сіткою тріщин. Випускається у вигляді плоских і хвилястих листів. Застосовується для влаштування дверей, перегородок, покрівлі, огороження сходових маршів.

Візерункове скло /орнаментне/ - одна поверхня гладка, друга - матова, тиснена або узорчата. Застосовується там, де й армоване.

Стемаліт - загартоване листове скло, одна поверхня якого вкрита керамічною фарбою. Застосовується для внутрішнього і зовнішнього облицювання будівель, для виготовлення багатопарових навісних панелей.

Вітрасил /сонце- і теплоізолююче скло/ - розсіює світло і відбиває тепло. Застосовується для застакнення будівель і транспортних засобів.

Увіодове скло - пропускає 25-75% ультрафіолетового проміння, тобто набагато більше, ніж звичайне.

Триплеск - багат шарове скло.

4.3.2. Вироби із скла

Профільоване скло /склопрофіль/ випускають швелерного і коробчастого розрізу з безбарвного або фарбованого скла. Довжина до 6 м, ширина 250-500 мм. Застосовується для світлопрозорих огорож і самонесучих стін в промисловому, громадському і сільськогосподарському будівництві, для влаштування внутрішніх перегородок і прозорих покрівель у всіх типах будівель, для опорядження вестиблів, фойе, культурно-масових, спортивних та інших споруд. За акустичними та теплоізолюючими властивостями огорожа із склопрофілю не поступається оштукатуреним перегородкам. При монтажі огорож між елементами склопрофілю закладають герметики мастики, пороізол, герміт.

Склопакети виготовляють у вигляді пакета з двох або кількох стекол /листів/, герметично з'єднаних по периметру. Наявність повітряних прошарків між листами підвищує теплозвукоізолюючі властивості і запобігає обмерзанню вікон зимою. Відстань між листами скла в пакеті становить 15-20 мм. Склопакети витримують великі вітрові навантаження, їх використання спрощує конструкцію віконних прорізів.

Склоблоки складаються з двох світлопрозорих пресованих напівблоків, зварених по периметру. Внутрішня порожнина заповнена розрідженим повітрям, тому $\lambda = 0,4 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$. За формою бувають: БК, БП, БУ. Застосовуються для заповнення світлових прорізів, улаштування зовнішніх і внутрішніх світлопрозорих огорожень у всіх типах будівель, для улаштування перегородок і несучих стін. При монтажі склоблоки ізолюються від інших несучих конструкцій еластичними прокладками.

Скляні труби застосовуються для транспортування агресивних рідин і газів. Для них характерні: висока хімічна стійкість, гладка внутрішня поверхня з малим коефіцієнтом тертя /малі енергозатрати на транспортування/, прозорість /дає можливість контролювати процес/. Скляні трубки легко считаються від забруднень. Недоліки: малий опір ударові і згину, крихкість.

Скляні облицювальні плити виготовляють з непрозорого скла різного кольору. Лицьова поверхня полірована або узорчаста. Застосовуються для опорядження перегородок, стін, стелі, фасадів будівель.

Скляні емальовані плитки - одна поверхня вкрита білою або кольоровою емаллю, розміром 150x150 і 150x75 мм, $\delta = 3-5$ мм. Застосову-

ється для опорядження вестиблів стін, стель у лабораторних і лікувальних закладах.

Килимово-мозаїчна плитка випускається наклеєною на папір /крафт-папір/. Буває різного кольору, розмірами від 15х15 до 25х25 мм. Застосовується для опорядження лицьової поверхні залізобетонних стінових панелей і внутрішнього опорядження приміщень.

Марблінг /глушене скло/ - непрозоре, $\delta = 12$ мм, застосовується у вигляді плиток і плит для зовнішнього і внутрішнього опорядження громадських будівель.

Скляна смальта - плитки з двох шарів скла, між якими прокладена фольга. Розміри від 15х15 до 100х100 мм. Застосовується для зовнішнього і внутрішнього облицювання громадських будівель.

Скляна вата являє собою матеріал, який складається з тонких /5-6 мкм/ гнучких ниток. Скляна вата має високу міцність на розрив, хімічну стійкість, низьку звуко- і теплопровідність. Здобувають способом механічного витягування. Використовують як тепло- і звукоізоляційний матеріал в промисловості і будівництві. Скляну вату можна використовувати як наповнювач при виготовленні азбестоцементних виробів. У суміші з полімерами здобувають матеріал - склопластик.

Піноскло і газоскло здобувають шляхом спучування розплаву розмеленого скла, змішаного з речовиною /вапняком, вугіллям/, яка при температурі 750-850 °C здатна виділяти газ. Піноскло є хорошим тепло- і звукоізоляційним матеріалом, має малу середню густину /200-600 кг/м³/ і низьку теплопровідність /0,06-0,2 Вт/м·°C/. Водовибирання не більш як 2%, границя міцності при стиску - 4,0-6,5 МПа, при згині 0,5-3,5 МПа. Піноскло використовують для теплоізоляції теплових і холодильних агрегатів, звукоізоляції громадських і комунально-побутових приміщень тощо.

4.4. Матеріали та вироби з кам'яного литва

Ці матеріали здобувають шляхом розплавлення, розливу в форми й охолодження гірських порід базальту і діабазу. Для охолодження світлого кам'яного литва використовують суміш 45% кварцового піску, 34% доломіту, 21% крейди або мармуру.

Розплавлені вироби мають високу хімічну стійкість, густину, опір стираності і міцність. Вироби з кам'яного литва випускають у вигляді плоских, хвилястих плиток, колобів, труб тощо. Застосовується в гірничобагачувальній і металургійній промисловості для футерування внутрішньої поверхні тічок, бункерів, кульових млинів, корпусів фло-таційних машин, для покриття підлог і влаштування зливних стоків та каналів на хімічних підприємствах.

4.5. Матеріали та вироби з шлакових розплавів

Сировиною служать вогняно-рідкі металургійні шлаки /легкоплавка силікатна маса/. Найбільш широко у виробництві будівельних матеріалів використовуються доменні і мартенівські шлаки. Виробництво матеріалів з шлакових розплавів є економічно вигідним, бо не потребує затрат енергії на розплавлення сировини.

Шлакова пемза - ніздрюватий матеріал, який здобувають в результаті спучування розплавлених шлаків при їх різкому охолодженні /грануляція/. Середня густина 300-1100 кг/м³. Термозитовий щебінь і пісок використовують як пористі заповнювачі у виробництві легких бетонів.

Шлакова вата - це матеріал, який складається з тонких склоподібних волокон; $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$; $\rho_m = 250-300 \text{ кг/м}^3$. Здобувають шляхом роздування різних шлаків струменем пари. Використовується як теплоізоляційний матеріал у вигляді плит.

Камені, облицювальні плитки, плитки для підлог виготовляють шляхом розливання розплавлених металургічних шлаків безпосередньо у форми заданих розмірів. Застосовуються як антикорозійні покриття в умовах агресивного середовища.

4.6. Склокристалічні матеріали /ситали і шлакоситали/

Це порівняно новий вид будівельних матеріалів, який здобувають методом спрямованої кристалізації при введенні каталізаторів. Назва їх походить від скорочення двох слів: силікат і кристал.

Сировиною служать для ситалів - скляна сировина, для шлакоситалів - металургічні шлаки. Каталізатори - фтор, сульфід заліза і марганцю. Від звичайного скла відрізняються мікрокристалічною будовою, яку отримують з допомогою додаткової термообробки скла. Ситал - це щільний, гладкий, непрозорий матеріал темного кольору, має велику міцність на стиск /до 500 МПа/ і високу хімічну і теплову стійкість, хороші діелектричні властивості.

Ситалопласти - матеріали, які отримують на основі пластмас і ситалів. Вони мають високу зносо- і хімічну стійкість. Використовуються як антикорозійні і конструкційні матеріали, де ситали і пластмаси окремо використовувати не можна, бо вони не задовольняють вимогам високої пластичності, зносо- і хімічної стійкості.

З шлакових розплавів з добавками різних каталізаторів виготовляють листовий і хвилястий шлакоситал, пресовані панелі, сантехнічні вироби, труби тощо.

Листовий шлакоситал /ЛШ/ випускають у вигляді плит розміром до 3х6 м, товщиною 8-30 мм. Листи можуть бути шліфованими. Застосовуються для облицювання стін, покриття підлог, сходових маршів, балконів, підвіконь.

Хвилястий шлакоситал /ХШ/ має вигляд шиферу, використовується як покрівельний матеріал у будівлях, які експлуатуються в агресивних середовищах і при високих температурах.

Із скла на основі металургічного шлаку здобувають піноскло, а шляхом його кристалізації - шлакопіноситал, який є теплоізоляційним матеріалом. Він має середню густину $\rho_m = 250-600 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{cr} = 90 \text{ кгс/см}^2$. Випускають у вигляді блоків і панелей розмірами 3х6, 3х9 м. Поверхня може бути пофарбованою керамічними фарбами у будь-який колір.

Шлакоситалові труби застосовуються для транспортування гарячих і холодних, агресивних й абразивних рідин та суспензій, а також сипких матеріалів. Діаметр труб від 75 до 600 мм, довжина до 6 м, товщина стінок 6-30 мм.

Слід зазначити, що у промислових масштабах для виготовлення будівельних матеріалів використовують тільки незначну частину розплавлених шлаків; основна ж кількість доменних шлаків поточного виробництва і відвальних шлаків зовсім не використовується.

Аналіз досліджень показує, що виробництво виробів із шлакових розплавів має великі потенційні можливості, а капітальні вкладення на організацію виробництва незначні.

5. МЕТАЛИ І МЕТАЛЕВІ ВИРОБИ

5.1. Загальні відомості і класифікація

Метали - найбільш поширений матеріал у всіх галузях народного господарства.

Широкому використанню металів у будівництві сприяє ряд їх цінних технічних властивостей: висока міцність, пластичність, підвищена теплопровідність, електропровідність і зварність. Поруч з цим метали мають і недоліки: при дії газів і вологи піддаються корозії, а з підвищенням температури деформуються.

Метали поділяють на дві групи - чорні і кольорові.

Чорні метали /сталь і чавун/ застосовують у будівництві для виготовлення різних конструкцій /арматура для залізобетону, ферми, кар-

каси будівель, щогли/, санітарно-технічних виробів /труби, опалювальні радіатори, фасонні частини/, опоряджувальних деталей.

Чавун - сплав заліза з вуглецем, вміст якого перевищує 2%. В спеціальних чавунах /феросплавах/ кількість вуглецю досягає 5-6%, а в звичайних - 4%.

Сталь - сплав заліза з вуглецем, в якому вуглецю не більш як 2%. За кількістю вуглецю розрізняють маловуглецеві /до 0,25%/, вуглецеві /0,25-0,6%/, і високовуглецеві /понад 0,6%/. Сталі. У будівництві застосовують в основному перший і другий типи.

Для поліпшення технічних властивостей /корозійної стійкості, пружності, ковкості та ін./ до деталей додають різні легуючі речовини: марганець, хром, нікель, алюміній, мідь. Сталі, що містять понад 10% цих добавок, називають високолегованими, від 2,5 до 10% - середньолегованими і до 2,5% - низьколегованими. Їх вартість вища за звичайну. У будівництві в основному застосовують низьколеговані сталі.

Кольорові метали використовують головним чином у різних сплавах.

Наприклад, дюралюміній - це сплав алюмінію /92-95%/, з міддю, магнієм і кремнеземом /6-8%/, бронза - це сплав міді /60%/, з цинком.

Дюралюміній застосовують для виготовлення кутиків, швелерів, фасонних та архітектурних деталей. Латунь і бронза йдуть на виготовлення архітектурних деталей, санітарно-технічного обладнання тощо. В окремих видах будівельних конструкцій і виробів застосовують цинк і свинець. Цинкові листи, зокрема, йдуть на виготовлення водостійких труб, частин покрівлі та інших виробів, що потребують високої атмосферостійкості.

5.2. Будова й основні властивості металів

5.2.1. Будова металів

Фізико-механічні властивості металів тісно зв'язані з особливостями їх кристалічної будови. У твердому стані атоми всіх металів і металевих сплавів розміщуються у точному порядку, утворюючи в просторі правильну кристалічну решітку. У промислових металах найбільш поширеними є такі кристалічні решітки: кубічна об'ємноцентрована, кубічна гранецентрована і гексагональна. Кожна решітка має відповідне число атомів і характеризується певною відстанню між ними; кожний метал має визначену решітку. Проте ряд металів залежно від температури, тиску та інших факторів можуть мати кілька решіток. Існування одного металу в кількох кристалічних формах називається алотропією. Різні кристаліч-

ні форми одного металу називаються аїотропічними модифікаціями. Перехід одної модифікації в іншу може призвести, зокрема, до руйнування металу. Наприклад, олово при охолодженні нижче -18°C внаслідок великих об'ємних змін перетворюється на порошок.

Перехід до металу з рідкого стану в твердий називається кристалізацією, а з твердого в рідкий - плавленням. Кристалізація металу розпочинається при наявності в розплаві атомів металу або інших елементів, які можуть бути центрами кристалізації. Чим більше в розплаві центрів кристалізації, тим менших розмірів утворюються зерна. Метал з дрібнозернистою будовою характеризується більш високою міцністю, ніж метал з грубозернистою будовою. Тому в рідкий метал інколи вводять добавки, які стають додатковими центрами кристалізації. Такий процес називається модифікуванням. Він застосовується для підвищення механічних властивостей виробів.

5.2.2. Властивості металів

Найбільш важливими з них є фізичні і теплові, механічні і технологічні.

Фізичні і теплові властивості.

Густина - легкі метали і їх сплави / Al, Mg / мають $\rho < 3 \text{ г/см}^3$
/ $\rho < 3000 \text{ кг/м}^3$; важкі метали і їх сплави мають $\rho > 7 \text{ г/см}^3$
/ $\rho > 7000 \text{ кг/м}^3$.

Температура плавлення змінюється при введенні в метал добавок. Більшість сплавів на основі заліза мають температуру плавлення нижчу, ніж метали, які вводяться у їх склад. Сплави нікелю і алюмінію мають температуру плавлення вищу, ніж чистий нікель і алюміній. Температура плавлення олова - 232°C , вольфраму - 3390°C , заліза - 1539°C , чавуну - 1130°C .

Розширення при нагріванні характеризується коефіцієнтом лінійного й об'ємного розширення. Ця властивість враховується при проектуванні металевих конструкцій, бо коливання температури можуть привести до руйнування споруди. Ця властивість ефективно використовується при електротермічному натяганні арматури у виробництві залізобетонних виробів з попереднім натягом арматури.

Механічні властивості.

Міцність - розрізняють міцність на розтягання, стиск, згин, кручення. Вона характеризується границею міцності. Універсальним показником для всіх металів і сплавів є границя міцності на розтягання. Границю міцності називають тимчасовим опором.

Границя текучості - це мінімальні напруги, при яких метал деформується без збільшення прикладеного навантаження. Наприклад, якщо до зразка прикласти розтяжне навантаження і збільшувати його, то при досягненні певної напруги без його подальшого збільшення зразок збільшуватиме свою довжину, аж до розриву /за рахунок зменшення діаметра/.

Утомленість - властивість металу руйнуватися під дією внутрішніх напруг, значно менших від границі міцності, які виникають у результаті прикладення багаторазових повторно-змінних навантажень.

Повзучість - властивість металу деформуватися під дією постійно прикладених навантажень. В результаті повзучості можуть збільшитися прогини металевих конструкцій. Особливо небезпечна вона в арматурній сталі для залізобетонних конструкцій з попереднім натягом арматури /може виникнути втрата попереднього натягу, що призведе до утворення тріщин у бетоні/.

В'язкість розрізняють статичну - характеризується відносним видовженням зразка при розтяганні до його початкової довжини, і динамічну /ударну/, яка характеризується роботою, необхідною для зруйнування зразка ударним навантаженням.

Технологічні властивості.

Пластичність - властивість металу під дією зовнішніх сил змінювати свою форму без руйнування і зберігати її /змінену форму/ після зняття навантаження. Ця властивість важлива при отриманні різних виробів куванням, прокатом, волочінням.

Рідкотекучість - властивість розплавленого металу добре заповнювати ливарні форми.

Усадка - властивість розплавленого металу зменшуватися в об'ємі при застиганні і охолодженні.

Зварність - властивість металу утворювати міцні з'єднання при їх місцевому нагріванні до пластичного або рідкого стану.

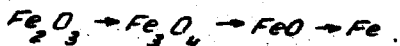
Оброблюваність - властивість матеріалу піддаватись обточуванню, різанню, свердлінню тощо.

5.3. Технологія виробництва чавуну і сталі

5.3.1. Виробництво чавуну

Чавун виробляють із залізної руди, яка становить природну суміш оксидів заліза з гірською породою. Завдання процесу виробництва чавуну полягає в одержанні чистого заліза з його оксидів /наприклад, з червоного залізняку Fe_2O_3 /, тобто у його відновленні.

Відновлення заліза відбувається з допомогою вуглецю /коксу/ в доменних печах, куди зверху завантажують руду і кокс, що водночас є й паливом. Знизу подають гаряче повітря, і кокс загоряється. Оксид вуглецю CO , що при цьому утворюється, відновлює оксиди заліза за схемою



У нижній частині печі вуглець взаємодіє з відновленим залізом, утворюючи карбід заліза Fe_3C - основний хімічний компонент чавуну. Відновлюються також й інші складові частини чавуну - кремній, фосфор, сірка.

Чавуни поділяють на білі, в яких весь вуглець перебуває у хімічному зв'язаному стані, і сірі, в яких частина вуглецю /графіт/ вільна. Білі чавуни йдуть на виробництво сталі, а сірі - що мають добрі ливарні якості, використовують для виробництва будівельних виробів.

5.3.2. Виробництво сталі

Сталь виробляють з білого чавуну і сталевого брухту. Технологія виплавки її полягає в зменшенні вмісту в чавуні домішок фосфору, сірки, вуглецю, кремнію і марганцю. Є три способи виробництва сталі: конверторний, мартенівський і електроплавильний.

Конверторний спосіб полягає в продуванні розплавленого чавуну стиснутим повітрям. Кисень при цьому взаємодіє із зазначеними домішками, окислює їх і переводить у шлак. Виплавляють сталь головним чином в конверторах з кислою футеровкою і продуванням киснем зверху. Сталь, що утворюється в конверторах із кислою футеровкою, називають бесемєрівською /виготовлення такої арматурної сталі дуже обмежене/.

Конвертор являє собою грушоподібну посудину, яка повертається навколо горизонтальної осі для заливання чавуну і випуску сталі. Дефектом конверторної сталі є бульбашки повітря, що утворюються при продуванні, а також вміст фосфору і сірки, які підвищують крихкість сталі. Проте конверторний спосіб забезпечує високу продуктивність праці і низьку вартість продукції. Тепер вишукують шляхи до того, щоб цей спосіб став головним у сталеварній промисловості; зокрема, застосовують кисневе дуття, що підвищує якість сталі.

Мартенівський спосіб ґрунтується на виплавленні сталі в спеціальних мартенівських печах. Він дає можливість використати як сировину, крім чавуну, сталевий брухт. Піч має склепіння, яке відбиває

тепловий потік на матеріал, що міститься на споді і плавиться при цьому. Мартенівський спосіб дає можливість виробляти високоякісні сталі заданого хімічного складу. Вони йдуть на виготовлення найвідповідальніших конструкцій.

Електроплавлення відбувається в електричних печах, де матеріали плавляться від теплоти електричної дуги, що утворюється між електродами і металом.

Процес виплавлення сталі в електропечах аналогічний мартенівському способу, але в даному разі не потрібні паливо і повітря для його спалювання.

Електроплавленням виробляють спеціальні леговані сталі високої якості. Їх вартість значно вища від конверторної і мартенівської /в зв'язку з великою затратою електроенергії/.

5.4. Обробка металів

Чавун або сталь після їх виплавлення розливають по спеціальних формах /виливицях/. Остиглий метал далі обробляють різними способами, щоб одержати вироби.

Обробка тиском включає прокатку, кування, штампування і пресування.

Прокатка - це обтиск металу /як правило, в гарячому стані/ між обертовими валками; при цьому заготовка зменшується в перерізі і витягується. Прокаткою можна виготовляти арматуру, рейки, листову і пруткову сталь, балки.

Волочіння полягає в протягуванні металеві заготовки в холодному стані через отвір, переріз якого менший від її розміру. Заготовка обтискується, а її профіль відповідає формі отвору в матриці. Так виготовляють труби і прутки різного перерізу.

При волочінні в металі виникає так званий наклеп - зміцнення металу внаслідок пластичної деформації. Наклеп підвищує крихкість металу, що небезпечно для конструкцій, які працюють на ударні навантаження, але разом з цим підвищує границю текучості сталі.

Кування - процес деформації розжареного металу під дією ударів молота, що повторюються. При цьому метал має можливість вільно розтікатися на всі боки /вільне кування/. Цим способом виготовляють анкери, скоби, болти.

Штампування відрізняється від кування тим, що метал під ударами молота заповнює форми штампів; вироби при цьому набирають потрібних дуже точних розмірів.

Пресування - це видавлювання металу із замкненого простору, наприклад, циліндра через отвір; при цьому метал набуває форми прутка з профілем, що відповідає перерізу отвору - круглої, квадратної та ін. Пресуванням виготовляють порожнисті вироби /труби/. Цим способом добре обробляти кольорові метали.

Термічна обробка підвищує твердість і пластичність сталі, зменшує її крихкість. Розрізняють такі види цієї обробки: гартування, відпускання, відпал.

Гартування дає можливість підвищити твердість сталі. Для цього виріб нагрівають до температури 800-900 °C і потім швидко охолоджують у воді або маслі; сталь при цьому може стати дуже крихкою.

Відпускання на відміну від гартування не підвищує крихкості сталі. Цього досягають, нагріваючи виріб до 300-600 °C і швидко або повільно охолоджуючи.

Відпал підвищує пластичність і зменшує крихкість виробу. Для цього його нагрівають до 800-900 °C і повільно охолоджують у печі або гарлячому піску.

Лиття - це розливання розплавленого металу по формах, які за своїми конфігураціями і розмірами точно відповідають майбутньому виробу. Лиття застосовують в основному для виготовлення виробів з чавуну: труб, опалювальних радіаторів, архітектурних деталей тощо.

5.5. Захист металів від корозії

Корозія - це руйнування металу внаслідок хімічних або електрохімічних реакцій, що відбуваються між ними і середовищем. Корозія може бути місцевою /коли метал руйнується в кількох місцях/, рівномірною /метал руйнується по всій поверхні/ і мікрокристалічною /метал руйнується всередині, на межах зерен/.

Хімічну корозію спричиняють сухі гази і розчини неелектролітів - масел, бензину, гасу.

Електрохімічна корозія виникає при дії на метал розчинів електролітів; при цьому метал, віддаючи свої іони електроліту, поступово руйнується.

Шкідливо впливають на сталь луги і кислоти. Корозія металу підсилюється також при дії вуглекислоти або сірчистого газу; при зволоженні на поверхні металу утворюються кислоти, які взаємодіють з ними.

Захищати метал від корозії можна різними способами. Найпростіший захист - це покриття металу лакофарбовими матеріалами. Їх плівка ізолює метал від дії зовнішнього середовища /вологи, газу/.

Досконаліші і довговічніші способи захисту - це легування - сплавлення металу з легуючими добавками, що підвищують його корозійну стійкість; воронування - утворення на поверхні металу захисного шару оксидів /оксидна плівка/; металеве покриття - нанесення на поверхню одного металу плівки іншого /олова, цинку, алюмінію/, який менше піддається корозії. Цього досягають гальванічним способом або наносячи розплавлений метал.

5.6. Будівельні металеві вироби

У будівництві застосовують прокатний метал, арматурну сталь для залізобетону, труби, сталеві виливки і чавунне литво.

Прокатна сталь - випускається різних профілів: штабова, квадратна, кругла, листова, хвиляста, а також сталевий прокат - кутики, двотаври, швелери та ін.

Арматурна сталь - випускається у вигляді дрота діаметром 1,5-5 мм і стержнів діаметром 6-40 мм і більше. Ці стержні бувають рівні або з періодичним профілем, що забезпечує більш міцне зчеплення з бетоном. Періодичний профіль виходить при гарячій прокатці стержнів або при сплюснуванні їх у холодному стані на спеціальних верстатах. У цьому випадку водночас із сплюснуванням відбувається зміцнення сталі /наклеп/, що сприяє підвищенню її границі текучості /до 30%/.

Для виготовлення напруженої арматури застосовують гарячокатану арматурну сталь класу А-I /марки Ст.3/, класу А-II /марки Ст.5/, а також низьколеговану сталь класу А-III /марок 25Г2С, 35ГС та ін./. Поряд з гарячокатаною сталлю для армування застосовують також холоднотягнутий дрот.

Для напружуваної арматури в попередньо напружених конструкціях застосовують

холоднотягнутий високоміцний дрот діаметром від 2,5 до 10 мм, з нормованою міцністю на розрив відповідно від 20000 до 10000 кгс/см² і високоміцний дрот періодичного профілю діаметром від 2,5 до 8 мм і міцністю відповідно від 18000 до 12000 кгс/см²;

гарячокатану низьколеговану пруткову арматурну сталь періодичного профілю класу А-IV /марки 30ХГ2С, 20ХГ2С та ін./, а також зміцнену попередньою витяжкою сталь класу А-III /марки 25Г2С, 35ГС та ін./.

Сталеві канати виготовляють одно- і багатосталковими, з хрещатим або однобічним суканням, з органічним або металевим осердям. Канати роблять з дроту марок В /вища/ і I, ясного або оцинкованого, з границею міцності при розтяганні від 11000 до 20000 кгс/см². За розривне

зусилля каната беруть сумарну розривну силу всіх його дротин або фактичне зусилля при випробуванні виробу.

Канати використовують для такелажних і монтажних робіт, для кріплення підвісних форм і висячих мостів, для відтяжок щогл і для вантових конструкцій.

Поковки – це скоби, штирі, нагелі, кільця, гачки, болти, гайки, гвинти, цвяхи, заклепки та ін.

Чавуни застосовують у будівництві для конструкцій і елементів, що працюють на стиск з невеликим вигином /опорні деталі, башмаки, колони/, для виготовлення санітарно-технічних виробів /опалювальних радіаторів, труб, фасонних частин/, а також архітектурно-художніх деталей.

6. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯКУЧІ РЕЧОВИНИ

Мінеральні /неорганічні/ в'якучі речовини

Це порошкоподібні матеріали, здатні при змішуванні з водою утворювати пластичне легкоформоване тісто, яке під впливом ряду фізико-хімічних процесів твердне і набуває каменевидного стану. Цю властивість в'якучих речовин широко використовують для виготовлення різних безви-палювальних та штучних кам'яних матеріалів і виробів /розчинів, бето-нів, вапняно-піщаної цегли тощо/. Залежно від умов, що сприяють під-вищенню і збереженню міцності, мінеральні в'якучі речовини поділяють на повітряні і гідрравлічні, а також лужні алюмосилікатні та шлако-лужні.

Повітряні в'якучі речовини тверднуть і зберігають міцність на по-вітрі /повітряне вапно, будівельний гіпс, рідке скло, магнезіальні в'якучі і кислототривкий цемент/.

Гідрравлічні в'якучі речовини мають ці властивості не тільки на повітрі, а й у воді. До цієї групи належать портландцемент і його різновиди, пуцолановий, шлаковий, глиноземистий та ін.

Нарівні з цим розрізняють в'якучі речовини, які ефективно тверд-нуть тільки при автоклавної обробці – тиску насиченої пари 0,8–1,2 МПа і температурі 170–200 °С. До групи в'якучих речовин автоклавного тверд-нення входять вапняно-кремнеземисті і вапняно-нефелінові в'якучі.

6.І. Повітряні в'язучі речовини. Матеріали і вироби на їх основі

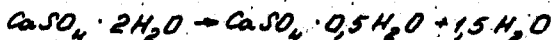
6.І.І. Гіпсові в'язучі речовини

Сировиною для виробництва служать природний гіпсовий камінь $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангідрит CaSO_4 і відходи хімічної промисловості /фосфогіпс/. Здобувають їх шляхом випалювання сировини. За умовами випалювання гіпсові в'язучі поділяються на дві групи:

а/ низьковипалювальні /150-180 °C/ - це швидкоутужувачі і швидкотверднучі в'язучі, які складаються з напівводного гіпсу (будівельний і високоміцний гіпс);

б/ високівипалювальні /600-1000 °C/ - це повільно утужувачі і повільно тверднучі в'язучі, які складаються з безводного гіпсу CaSO_4 /ангидритовий цемент і високовипалювальний гіпс, естрих-гіпс/.

Будівельний гіпс здобувається в результаті термічної обробки двоводного гіпсу у варильних котлах при 150-160 °C, при цьому він дегідратується, тобто розкладається на напівводний /будівельний гіпс/ і воду за реакцією

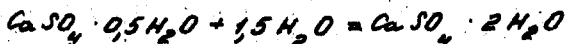


Температура при випалюванні не повинна перевищувати 200 °C, бо інакше двоводний гіпс відокремлює кристалізаційну /зв'язану/ воду і поступово переходить у безводний гіпс CaSO_4 , який погіршує властивості будівельного гіпсу.

В результаті здобувають β -модифікацію напівводного гіпсу, що відзначається дрібнокристалічною будовою і високою водопотребою /60-70%/. Тому затверділий будівельний гіпс має високу пористість і малу міцність.

Після замішування гіпсу з водою тісто дуже швидко втрачає пластичність - починає утужувати і переходить у твердий каменевидний стан. Утуживання будівельного гіпсу настає через 4-5 і закінчується через 6-30 хвилин.

У процесі утуживання і тверднення напівводний гіпс сполучається з водою і знову перетворюється у двоводний за реакцією



Спочатку двоводний гіпс виділяється у вигляді колоїдних /дуже дрібних/ частинок, потім вони укрупнюються у кристали, які зростають один з одним, утворюючи міцний гіпсовий камінь. При висушуванні міцність цього каменю підвищується, бо зайва вода випаровується, кристали ущільнюються. Після повного висушування зростання міцності гіпсового каменю припиняється.

При зволоженні гіпсові матеріали і вироби розм'якшуються, втрачають міцність. Для підвищення водостійкості до гіпсу додають вапно, мелений шлак, портландцемент або вкривають гіпсові вироби водонепроникними обмазками /масляними, казеїновими та ін./.

У виробничих умовах часто виникає потреба сповільнити тужавіння гіпсового тіста. З цією метою у воду для замішування гіпсу додають розчин столярного клею, сульфітно-спиртову барду /ССБ/, молоко, відвар сінного борошна та інші сповільнювачі тужавіння.

Застосовується будівельний гіпс у виробництві гіпсових і гіпсобетонних виробів, штукатурних розчинів, декоративних деталей, у виробництві цементів. Недолік виробів на основі гіпсу - низка водостійкості.

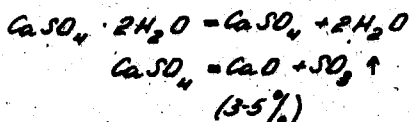
Високоміцний гіпс здобувають, запарюючи двоводний гіпс у спеціальних герметично закритих котлах-автоклавах з температурою пари 160-180 °С і потім перемелюючи. У результаті випаровання вологи тиск пари в автоклаві досягає 2-3 атм і сприяє утворенню / α -модифікації/ більших кристалів у вигляді голок або призм. Високоміцний гіпс на відміну від будівельного потребує менше води /водопотреба 35-45%/ і в 2-3 рази міцніший / $R_{сг} = 150-400 \text{ кгс/см}^2$ /.

Застосовується високоміцний гіпс у виробництві гіпсових і гіпсобетонних виробів, для виготовлення форм у фарфоро-фаянсовій і машинобудівній промисловості.

Ангідритовий цемент - продукт випалювання двоводного гіпсу при 600-800 °С. При цьому двоводний гіпс цілком втрачає кристалізаційну воду і переходить у безводний ангідрит CaSO_4 . Проте після подрібнення він при змішуванні з водою не твердне. Щоб надати йому здатності тверднути, його мелють разом з добавками-каталізаторами /вапно 2-5%, випалений доломіт 3-8%, доменний шлак 10-15% та ін./ . Суміш ангідриду з будь-якою з цих добавок і називають ангідритовим цементом.

Цей цемент випускають чотирьох марок: 50, 100, 150, 200. Марку визначають за границею міцності при стиску стандартних зразків, виготовлених з розчину жорсткості консистенції, складу 1:3 /цемент:пісок/ і випробуваних на 28-й день після виготовлення. Застосовується для штукатурних розчинів, штучного мармуру, основи підлоги під лінолеуми.

Високовипалювальний гіпс /естрих-гіпс/ здобувають, випалюючи двоводний гіпс або ангідрит при 800–1000 °C і далі подрібнюючи продукт випалювання. При цьому проходить повністю дегідратація і часткова дисоціація з утворенням негашеного вапна – абундика /прискорювача/ твердіння:



Високовипалювальний гіпс має три марки: 100, 150, 200, які визначають за границю міцності при стиску зразків у 28-денному віці, виготовлених з пластичного тіста /без піску/.

На відміну від будівельного гіпсу ангідритовий цемент і високовипалювальний гіпс тужавіють і тверднуть поволі, але так само, як і він, є неводостійким. Застосовується там, де і ангідритовий цемент.

6.1.2. Вироби на основі гіпсу

Вироби на основі гіпсу при порівняно невеликій середній густині відзначаються досить високою міцністю, низьким коефіцієнтом теплопровідності і високими звукоізоляційними властивостями, що дає можливість використовувати їх для будівельних потреб. Крім того, вироби на основі гіпсу добре піддаються механічній обробці і легко фарбуються. Гіпс швидко твердне і щільно заповнює форму, бо не має усадкових деформацій. Разом з тим вироби на основі гіпсу мають низьку водостійкість, при зволоженні їх міцність знижується. Тому їх можна застосовувати в сухих умовах / $W < 60\%$ /.

Вироби на основі гіпсу можна отримати з гіпсового тіста /суміш гіпсу з водою/ – гіпсові, з гіпсового тіста із заповнювачами – гіпсобетонні. Як в'яжучі застосовуються будівельний, високоміцний, високовипалювальний гіпси, ангідритовий цемент. Як заповнювачі для гіпсобетону застосовуються мінеральні та органічні речовини.

Мінеральні заповнювачі бувають:

- а/ природні – пісок, вапняк-черепашник, пемза, туфи;
- б/ штучні – металургійні і паливні шлаки, керамзит, термозит, аглопорит.

Органічні заповнювачі: деревна тирса /трачнина/, стружка, солома, стебла кукурудзи, очерету, соняшника, паперова макулатура, відходи текстильної промисловості.

Вироби на основі гіпсу виготовляють, вводячи подрібнений мінеральний заповнювач: з легким і пористим заповнювачем /шлаки, туф, пемза/ виготовляють гіпсобетонні, з волокнистими матеріалами /солома, очерет, дерев'яні рейки/ - гіпсоволокнисті. Сталева арматура в них руйнується, тому її треба надійно захищати - вкривати бітумним лаком.

Найбільшого поширення в будівництві набрали плити і панелі для перегородок, листи для обшивки стін /суха штукатурка/.

Плити для перегородок можуть бути гіпсовими, гіпсобетонними і гіпсоволокнистими. Технологія їх виготовлення складається з таких операцій: дозування компонентів, перемішування суміші, формування плит і висушування. Розмір гіпсових і гіпсобетонних плит 800х400 мм, армованих очеретом - 1500х400 мм; товщина їх 90-100 мм. Середня густина плит залежить від складу суміші і способу ущільнення і дорівнює 1100-1300 кг/м³, а міцність на стиск становить 35 кгс/см².

Панелі для перегородок бувають гіпсобетонними і гіпсоволокнистими; в них закладають дверні коробки та інші деталі.

Тепер широко застосовують прокатний метод виробництва гіпсобетонних панелей на стані інженера М.Я.Козлова. Але при всіх своїх перевагах ці панелі важкі - їх середня густина становить близько 1500 кг/м³; до того ж при масовому виготовленні їх важко сушити.

Ефективними є гіпсоволокнисті перегородки: їх середня густина дорівнює 800-1100 кг/м³. Панелі для перегородок випускають розміром на висоту кімнати: 3000х1200 і 2500х600 мм, товщиною 80 мм.

Гіпсова суха штукатурка /гіпсові обшивні листи/ являє собою тонкий шар затверділого гіпсу, вкритого з двох боків листами міцного картону, які повинні міцно зчіплюватися з гіпсом. Розміри обшивних листів: довжина 2500-3300 мм, ширина 1200 і 1300 мм, товщина 10 і 12 мм. Суха штукатурка цілком замінює "мокру", виготовлення якої є дуже трудомісткою операцією.

Гіпсові обшивні листи призначені для внутрішньої обшивки стін і стель приміщень, що мають відносну вологість повітря не більш як 70%.

Вентиляційні блоки виготовляють розміром "на поверх". Вони мають скрізні кругові отвори. Застосовуються в житловому будівництві.

Архітектурно-декоративні деталі - карнизи, плафони, розетки тощо.

6.1.3. Будівельне повітряне вапно

Повітряним вапном називають в'язку речовину, яка утворюється при помірному випалюванні /не доводячи до спікання/ карбонатних порід /вапняку, крейди, доломітизованих вапняків тощо/, які містять не більш

як 6% глинистих домішок. Процес виробництва вапна полягає в подрібненні сировини і випалюванні її при температурі 1000-1200 °С.

Для випалювання використовують випалювальні печі - шахтні, обертові, кільцеві і наземні. Найбільш економічними щодо затрат палива і простоти конструкції є шахтні печі, які працюють за пересипним способом. Вони діють на короткопалуменевому паливі /антрацит, піске кам'яне вугілля/. Сировину кусками розміром 5-10 см пошарово з паливом завантажують зверху в шахту печі, де вона на початку руху вниз /у зоні підігрівання/ обігривається відхідними гарячими газами. У середній частині печі /у зоні випалювання/, де створюється найвища температура, відбувається розкладання вуглекислого кальцію, з якого складається сировина і утворюється грудкове вапно-кипілька CaO



Вуглекислий газ CO_2 , що утворюється при цьому, видаляється в атмосферу.

Куски вапна поступово опускаються в нижню частину печі /зону охолодження/. Тут вапно охолоджують повітрям, а потім вивантажують на склад. Забруднення вапна золою палива - основний дефект у роботі таких печей. Чистіше вапно здобувають при випалюванні сировини в газових печах або в шахтних печах з виносними толками, що працюють на довгопалуменевому паливі /дрова, торф/.

Обертові печі поки що обмежено застосовують у вапняній промисловості. Наземні і кільцеві печі мають низьку продуктивність і потребують багато палива, тому новооббудовані заводи такими печами не обладнують.

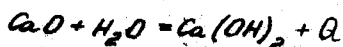
Нерівномірність розподілу температур у печах часто призводить до утворення в грудковому вапні-кипільці недопалених і перепалених частинок. "Недопал" є баластом і зменшує вихід гашеного вапна. Особливо небезпечний "перепал", який не тільки затримує гашення вапна, але може спричинити розтріскування, отже, і руйнування вапняних розчинів та бетонів. Тому недопалені і перепалені куски вапна треба видаляти. За видом основного оксиду вапно буває кальційове / $MgO < 5\%$ /, магнійове / $MgO = 5-20\%$ / і доломітове / $MgO = 20-40\%$ /. За часом гашення поділяється на швидкогасне /не більш як 8 хвилин/, середньогасне /не більш як 25 хвилин/ і повільногасне /більш як 25 хвилин/. За зовнішнім виглядом розрізняють грудкове /негашене/, порожкоподібне /кипілька - негашене, пушонка - гашене/ і гідратне /вапняне тісто та молоко/ вапно.

Негашене мелене вапно здобувають при механічному подрібненні грудкового вапна. На відміну від гашеного вапна воно має здатність швидко тужавити і тверднути, а також не залишає відходів, бо перепалені зерна розмелюються на порошок і при змішуванні з водою беруть участь у твердненні. Мелене вапно гаситься в процесі виготовлення розчинових сумішей, тому його екзотермічність /виділення теплоти/ сприяє випаровуванню вологості в вапняного розчину і прискорює тверднення. Дуже доцільно застосовувати вапно при негативних температурах.

Використання меленого вапна позбавляє будівельників від влаштування гасильного господарства, зменшує трудові затрати і скорочує час сушіння стін, обштукатурених вапняним розчином.

Вироби з меленого вапна відзначаються вищою міцністю, водо- і морозостійкістю, ніж вироби з гашеного вапна.

Гашене вапно. Гашення вапна водою відбувається за реакцією



Вода, проникаючи в глибину вапняних зерен, вступає в хімічну взаємодію з CaO ; виділювана при цьому теплота перетворює воду на пару. Оскільки в результаті такого переходу збільшується об'єм води, в зернах вапна виникають внутрішні розтягуючі напруження, що приводять до їх подрібнення на тонкий порошок. При гашенні об'єм вапна збільшується в 2-3 рази.

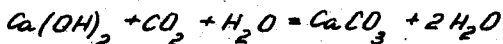
Залежно від кількості води, взятої для гашення, виходить вапно-пушонка або вапняне тісто.

Вапно-пушонка являє собою пухкий вологий порошок білого кольору з середньою густиною 400-600 кг/м^3 . Щоб одержати пушонку, звичайно беруть 70-100% води від маси вапна. Цю операцію виконують адебільшого на заводах в чашкових або барабаних гідраторах, всередині яких вапно перемішується з водою.

Вапняне тісто одержують в тому разі, коли вода становить приблизно 250% від маси вапна. Середня густина вапняного тіста дорівнює 1300-1400 кг/м^3 . Його виготовляють в основному на будівельних майданчиках. Гасять вапно немеханізованим способом в творильних ящиках, де його перемішують з водою, потім вапняне молоко зливають в творильну яму через зливний отвір, що має сітки для затримання великих непогашених частинок. У творильній ямі після випаровування і відсмоктування води в ґрунт вапняне молоко частково зневоднюється й утворюється густа пластична маса - вапняне тісто.

Тепер майже на всіх будовах гасять вапно механізованим способом у вапногасилках, де грудкове вапно водночас гаситься, розмелюється і перемішується, при цьому значно прискорюється процес гашення, не залишається відходів.

Гашене вапно твердне в результаті випаровування води і кристалізації гідроксиду кальцію. Внаслідок втрати вологи найдрібніші частинки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ зближуються і утворюють кристали, які поступово перетворюються на міцний кристалічний зросток. Їх зміцненню сприяє також карбонізація – процес взаємодії гідроксиду кальцію /в присутності вологи/ з вуглекислим газом, який завжди є в повітрі:



В результаті цієї хімічної реакції гідроксид кальцію знову переходить у вуглекислий кальцій, тобто знову утворюється та сама речовина, з якої було здобуто вапно. Треба зауважити, що це вапно твердне дуже повільно і набирає невисокої міцності.

Застосування, транспортування і зберігання. Повітряне вапно широко використовують у будівництві. Його застосовують для виготовлення кладкових і штукатурних розчинів, силікатних і піносилікатних виробів, шлакобетонних блоків, барвників. Але в приміщеннях з високою вологістю, у вогких місцях і для кладки фундаментів повітряне вапно застосовувати не можна.

Грудкове вапно-кипільку перевозять навалом у закритих залізничних вагонах або в автомашинах з брезентовим верхом /щоб запобігти зволоженню/. Мелене вапно і гашене вапно-пушонку треба транспортувати в тарі /багаточислових паперових мішках/ або в спеціальних, щільно закритих металевих контейнерах.

Вапно треба зберігати в закритих складах, добре ізольованих від атмосферних і ґрунтових вод. Слід зазначити, що навіть при правильному, але тривалому зберіганні вапно поступово втрачає в'язучі властивості, бо гаситься вологою повітря.

Вапняне тісто зберігають в ямах, закритих дошками і засипаних піском, а взимку, щоб воно не промерзло, ями вистилають шлаком, тирсою та ін.

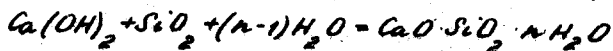
6.1.4. Вироби на основі вапна

Силікатна /вапняно-піщана/ цегла виготовляється із суміші кварцового піску /92-95%/ і негашеного вапна /5-8%, пересуванням і подальшим запарюванням в автоклавах.

Вапно має бути чистим, швидкогашеним, а пісок - з високим вмістом кремнезему, бажано гірський /шорсткий і гострокутної форми/.

Технологія виготовлення силікатної цегли така. Подрібнене негашене вапно і кварцовий пісок надходять у вапногасильні апарати - в силоси або гасильні сарабани. Після гашення вапна вапняно-піщану суміш розмелюють і зволожують. Потім з цієї суміші формують цеглу на спеціальних пресах, які створюють тиск 150-200 кгс/см².

Відформовану цеглу на вагонетках відправляють для тверднення в автоклави, що являють собою сталеві або залізобетонні герметично закриті циліндри діаметром 2-3,5 м і завдовжки до 20 м. В автоклави пускають пару під тиском 8-12 атм /при такому тиску насичена пара має температуру 170-180 °С/. Під впливом температури і вологи відбувається хімічна взаємодія між гашеним вапном і кремнеземом /утворюється гідросилікат кальцію/, в результаті чого створюється міцний каменевидний матеріал:



Силікатна цегла має такі самі розміри і форми, що й звичайна цегла [250x120x65 /88/ мм]. Колір її ясно-сірий. Проте, додаючи пігмент, можна здобувати силікатну цеглу будь-якого кольору. Середня густина її дорівнює 1800-1900 кг/м³, теплопровідність $\lambda = 0,76-0,82 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ /дещо більша, ніж у звичайної глиняної цегли/. Силікатна цегла поділяється на п'ять марок: 75, 100, 125, 150, 200; водовбирання 8-16%; морозостійкість 15, 25, 35, 50. Її широко застосовують у будівництві завдяки ряду техніко-економічних переваг порівняно із звичайною цеглою; вартість на 25-40% нижча внаслідок повної механізації процесу; виготовляється в 6-10 разів швидше /15-18 годин - 5-6 діб/.

Силікатна цегла йде на стіни житлових, громадських і промислових будівель. Але у фундаментах її застосовувати не можна, бо під дією ґрунтових і стічних вод від частого поперемінного заморожування і відтанення вона руйнується. Не рекомендується застосовувати її й для стін приміщень з великою вологістю /лазні, пральні/, а також для конструкції, що на них тривало впливають високі температури /печі, труби/.

Вапняно-шлакова і вапняно-золяна цегла. Шлак і зола є дешевим сировиною, що утворюється у великих кількостях після спалювання палива, змішані з водою вони не тверднуть, але коли додати вапна або портландцементу, то активізуються. Запарювання суміші в автоклавах дає можливість одержувати дуже міцні вироби.

Склад суміші для вапняно-шлакової цегли такий: вапна 3-12% /на об'єм/ і 88-97% гранульованого доменного шлаку. Склад суміші для вапняно-золяної цегли такий: 20-25% вапна і 75-80% золи. Ці види цегли формують на тих самих пресах і запарюють в тих самих автоклавах, які застосовують для виробництва силікатної цегли.

Шлакова і золяна цегла мають середню густину 1400-1600 кг/м³, теплопровідність 0,5-0,6 Вт/(м·°C), а щодо міцності на стиск поділяються на марки 25, 50 і 75. Морозостійкість шлакової цегли та сама, а золяної дещо нижча, ніж у силікатної цегли. Застосовують її для зведення стін до трьох поверхів.

Великорозмірні вироби із силікатного бетону. Силікатний бетон це затверділа в автоклаві ущільнена суміш, яка складається з кварцового піску /9-15%/ і негашеного вапна /6-10%/. За середньою густиною поділяються на важкий / > 1800 кг/м³/ і легкий /500-1800, кг/м³/, марки за R_{cr} = 100-400, морозостійкість 15, 25, 35, 50. Вироби із силікатного бетону можуть або бути армовані, або ні. Із силікатного бетону виготовляють панелі і великі блоки для внутрішніх несучих стін і перегородок, панелі, перекриття, плити, балки, сходи тощо.

Силікатні облицовальні плити виготовляють із суміші кварцового піску і м'якого негашеного вапна, а також портландцементу /для міцності/. Випускають будь якого кольору з гладкою чи рифленою поверхнею; R_{cr} = 200-300, $\rho_m \approx 1900$ кг/м³, водовбирання до 16%, морозостійкість не менш як 25. Застосовуються для облицювання зовнішніх стін цегляних будівель, окрім цоколів, підвіконь та інших частин будівлі, які підлягають сильному зволоженню.

Ніздрюваті силікатні матеріали. Поділяються на піно- і газосилікатні:

а/ піносилікати виготовляють із суміші вапна-кипілки /до 25%/, молотого кварцового піску /до 75%/ з добавками піноутворювача. У піносилікатних виробках ніздрювата структура створюється механічним шляхом у результаті збивання водного розчину піноутворювача /клескані-фольний, смолосапунінний, гідролізована кров та ін./;

б/ газосилікати виготовляють з вапняно-піщаної суміші з добавками газоутворювачів. У газосилікатах структура утворюється хімічним шляхом, тобто змішуванням вапняно-піщаної цегли з газоутворювачем

/пергідроля, алюмінійова пудра та ін./ Газоутворювачі розкладаються або реагують із вапном і виділяють газ O_2 , H_2 , які спучують суміш.

Піно- і газосилікати поділяють на:

а/ теплоізоляційні - $\rho_m < 500 \text{ кг/м}^3$; $\lambda < 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $R_{cr} =$ до 2,5 МПа;

б/ конструктивно-ізоляційні - $\rho_m = 500-900 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,2-0,4 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $R_{cr} = 2,5-7,5 \text{ МПа}$;

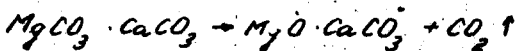
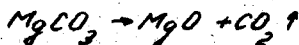
в/ конструктивні - $\rho_m = 900-1200 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,4-0,6 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $R_{cr} = 7,5-15,0 \text{ МПа}$.

З піно- і газосилікату виготовляють блоки для стін, а також армовані або ні панелі для стін, перекриття і покриття будівель. Перевага цих конструкцій в їх добрих теплоізоляційних якостях.

Глинов'язні блоки виготовляють із пісної глини, додаючи 5-15% /на масу/ вапна і органічних заповнювачів /солом'яної січки, тирси тощо/. Ці блоки застосовують для одноповерхових господарських будівель.

6.1.5. Магnezіальні в'язучі речовини

До магnezіальних в'язучих речовин належать каустичний магnezит MgO і каустичний доломіт $MgO \cdot CaCO_3$, які добувають помірним випалюванням при 800-850 $^\circ\text{C}$ природного магnezиту $MgCO_3$ або при 650-750 $^\circ\text{C}$ природного доломіту $MgCO_3 \cdot CaCO_3$. При випалюванні сировина розкладається і виділяється вуглекислий газ:



Після випалювання продукт подрібнюють, а потім мелють у кульових млинах.

На відміну від інших видів в'язучих магnezіальні речовини заміщують не водон, а водними розчинами хлористого або сірчанокислого магнію. У воді каустичний магnezит і доломіт розчиняються погано і мають низьку міцність. Найчастіше застосовують розчин хлористого магнію $MgCl_2$, в результаті утворюється гідрохлорид магнію $3MgO \cdot x \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Міцність магnezіальних в'язучих визначають, випробовуючи на стиск стандартні зразки у 28-денному віці, виготовлені у відношенні 1:3 з суміші тирси і в'язучої речовини, замішаної розчином хлористого магнію. Зразки на каустичному магnezиті мають

границю міцності при стиску 40,0-60,0 МПа, а на каустичному доломіті - від 10,0 до 30,0 МПа.

6.1.6. Матеріали і вироби на основі мінеральних в'язучих

Застосовують магнезійні в'язучі речовини для виробництва ксилоліту, фіброліту, теплоізоляційних виробів, штукатурного розчину, штучного мармуру та різних виробів для внутрішнього облицювання і опорядження приміщень /плиток, барельєфів тощо/ в сухих приміщеннях при відносній вологості < 60%. Магнезійні в'язучі мають високу міцність і добре зчеплюються з деревноволокнистими матеріалами, охороняючи їх від гниття.

Фіброліт - це штучний матеріал, який одобувають з деревної стружки і каустичного магнезиту та доломіту, який змішують з хлористим магнієм. З фіброліту виготовляють теплоізоляційні і конструктивні плити. Перші застосовуються для утворення стін, підлоги, перекриття; другі - для заповнення стін, перегородок і перекриття каркасних будівель.

Ксилоліт - це затверділа суміш деревної тирси і каустичного магнезиту чи доломіту, замішаних $MgCl_2$. Застосовують для влаштування монолітних /безшовних/ підлог, для виготовлення плит для підлоги і плиток внутрішнього облицювання /150x150 і 200x200 мм/. Ксилолітова підлога тепла і безшумна; $\rho_m = 100-1250 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{gr} = 30,0-40,0 \text{ МПа}$; $\lambda = 0,25$.

Недолік фіброліту і ксилоліту - низька водостійкість; застосовуються в сухих приміщеннях / $W < 60\%$ /.

6.1.7. Розчинне скло

Розчинне скло - це розчинні у воді силікати натрію $Na_2O \cdot nSiO_2$ або калію $K_2O \cdot nSiO_2$, які утворюються в скловарильних печах із суміші кварцового піску з содою Na_2CO_3 або поташем K_2CO_3 ,



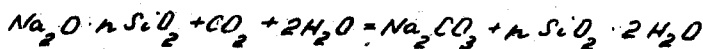
Після варива в печах утворюються нерозчинні у воді шматки /силікатбрила/, які запарюють в автоклавах. В автоклаві пара переводить

силікат-брилу в силікат-розчин, потрібної консистенції. Це і є розчинне /рідке/ скло. Його властивості залежать від модуля скла

$$\mu = \frac{SiO_2 (\%)}{Na_2O(K_2O) (\%)} = 2-4$$

Рідке скло являє собою колоїдний водний розчин силікату натрію, який має середню густину 1,3-1,5 г/см³ при вмісті води 50-70%. Склад лугових силікатів виражається формулою $R_2O \cdot n SiO_2$, де $R - Na$ чи K ; n - модуль рідкого скла.

При твердненні на повітрі силікати розкладаються під дією вуглекислого газу:



Утворений гель кремнієвої кислоти має в'язучі властивості, а водний розчин - лужну реакцію. Для прискорення тверднення і підвищення водостійкості розчинного скла до нього додають кремнефтористий натрій Na_2SiF_6 , який прискорює випадання гелю кремнієвої кислоти і гідроліз рідкого скла.

Натрієве розчинне скло застосовують у виробництві кислототривких цементів, розчинів і бетонів, жаротривких бетонів, для ущільнення ґрунтів /силікатизації/. Калієве розчинне скло більш дороге, застосовується переважно в силікатних фарбах.

6.1.8. Кислототривкий кварцовий цемент

Це порошуватий матеріал, який складається із суміші молотого кварцового піску і кремнефтористого натрію Na_2SiF_6 . Кварцовий пісок можна замінити в кислототривкому цементі порошком бештауніту або андезиту. Кислототривкий цемент зачиняють водним розчином рідкого скла, яке і є в'язучою речовиною; сам порошок в'язучих властивостей не має. Прискорює тверднення розчинного скла добавка каталізатора - 4-6% кремнефториду натрію:



Утворюється гель кремнієвої кислоти - клеюча речовина, що призводить до швидкого тверднення. Кислототривкий цемент твердне тільки

на повітрі при температурі не нижче 10°C . Цей цемент кислототривкий, проте руйнується фосфорною і плавиковою кислотами та лугами.

Промисловість випускає кислототривкий цемент такого складу: молотий кварцовий пісок і кремнефтористий натрій – 70–75%, розчинне скло – 25–30%.

В'язким матеріалом у кислототривкому цементі є рідке скло густиною $1,35\text{ г/см}^3$. Кислототривкий цемент нестійкий проти дії води. Для підвищення водостійкості додають 0,5% аліної олії або 2% гідрофобізуючої добавки й одобувають гідрофобізований цемент /кислототривкий водостійкий цемент – КВЦ/.

Застосовується кислототривкий цемент для виготовлення кислототривких обмазок, розчинів, бетонів, для фарбування підлоги, стін, стелі хімічних підприємств, для футерування хімічних агрегатів. З кислототривкого бетону виготовляють резервуари, башти та інші споруди на хімічних заводах. Міцність на стиск кислототривкого бетону досягає 50–60 МПа.

Не можна застосовувати розчинне скло для конструкцій, які підлягають тривалій дії води, лугів, фтористоводневої або кремнефтористоводневої кислот.

6.2. Гідравлічні в'язучі речовини

Гідравлічні в'язучі речовини одобувають випалюванням гірських порід або змішуванням вапна з активними мінеральними добавками. Вони відзначаються здатністю до гідравлічного тверднення на повітрі і у воді і складаються головним чином з оксиду кальцію CaO , кремнезему SiO_2 , глинозему Al_2O_3 або оксиду заліза Fe_2O_3 . Такі сполуки називають відповідно силікатами $n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, алумінатами $n\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ і феритами $n\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Кількість молекул оксиду кальцію n в зазначених сполуках може бути різною, так само, як і процентний вміст тих чи інших оксидів. Все це істотно впливає на властивості гідравлічних в'язучих речовин і головним чином на їх міцність та здатність тверднути.

6.2.1. Гідравлічне вапно

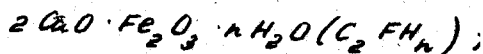
Гідравлічним вапном називають в'язучу речовину, що її одобувають при помірному /900–1000 $^{\circ}$ / випалюванні /не до спікання/ мергелистих вапняків, які містять від 6 до 20% глинистих домішок, і подальшому подрібненні продукту випалювання гашенням або помелом. Гідравлічне

вапно складається з сполук, що надають йому гідравлічних властивостей, й елементу, що твердне тільки на повітрі. Гідравлічні властивості вапна пояснюються наявністю в його складі двокальцієвого силікату $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, двокальцієвого фериту $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ й однокальцієвого алюмінату $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, а повітряні - вільного вапна CaO , що не ввійшло у взаємодію з іншими оксидами (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) в процесі випалювання сировини. Ця здатність вапна характеризується гідравлічним модулем

$\text{CaO} \%$

$$m = \frac{\text{CaO} \%}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \%} = 1,7 - 9,0.$$

Чим більше в гідравлічному вапні вільного оксиду кальцію CaO , тим слабкіші його гідравлічні властивості /слабогідравлічне вапно, $m = 4,5-9,0$ /, і навпаки /сильногідравлічне вапно, $m = 1,7-4,5$ /. Присутній в гідравлічному вапні оксид кальцію є по суті повітряним вапном і твердне подібно до останнього. Гідравлічні ж складові тверднуть з утворенням гідратних сполук



які спочатку утворюють колоїдну клейку масу. В міру дальшого виділення гідратних сполук і зменшення вмісту вільної води колоїдні частинки укрупнюються в кристали, які зростаються одні з одними, утворюючи міцний каменевидний матеріал.

При твердненні гідравлічного вапна спочатку відбуваються процеси, характерні для повітряного тверднення /треба створити повітряносухі умови/, а потім розвиваються процеси гідравлічного тверднення /потрібна підвищена вологість оточення, щоб забезпечити утворення гідратних сполук/.

Здатність до гідравлічного тверднення дає можливість використати це вапно для штукатурних і кладкових розчинів, що застосовуються в будівництві частин будівель і споруд, які експлуатуються в сухому і вологому середовищах.

6.2.2. Романцемент

Романцемент здобувають при випалюванні вапнякових або магнезійних мергелів, а також штучних сумішей, що складаються з вапняку і глини / $t_{\text{вип}} = 1000-1100^\circ\text{C}$, глини не менш як 25%/. При подрібненні продукту випалювання можна давати добавки: до 5% гіпсу /для регулювання строків тужавіння/ і до 15% активних мінеральних добавок, що підвищують водостійкість цементу.

На відміну від гідравлічного вапна в романцементі не повинно бути вільного оксиду кальцію. Все вапно зв'язане в романцементі як гідравлічні сполуки - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S), $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA) та ін.

За границею міцності при стиску романцемент поділяється на три марки: 25, 50 і 100. Його застосовують для кладкових і штукатурних розчинів, а також бетонів низьких марок, що піддаються впливу води. При виготовленні стінових каменів і блоків з обов'язковою обробкою виробу гарячою парою.

6.2.3. Портландцемент

За виробництвом і застосуванням портландцемент /ПЦ/ посідає перше місце серед інших в'язучих речовин.

ГОСТ 10178-85 передбачає випуск трьох різновидів ПЦ: Д0 - без добавок, Д5 - з введенням до 5% АМД і Д20 /АМД = 5-20%/,

Мінералогічний склад клінкеру - одна з найповніших і надійніших його характеристик. Дослідами радянських і зарубіжних учених було встановлено, що найважливіші будівельні властивості ПЦ залежать від мінералогічного складу клінкеру і питомої поверхні цементу $S_{\text{пц}}$.

Таким чином, портландцемент є основною гідравлічною в'язучою речовиною і тепер широко застосовується в будівництві. Від загального обсягу цементного виробництва його випуск становить приблизно 60%.

Портландцемент - продукт тонкого подрібнення цементного клінкеру, який здобувають випалюванням до спікання / 1450°C / вапнякових мергелів або штучної суміші з 75% вапняку і 25% глини. Для регулювання строків тужавіння при помелі клінкеру в нього додають до 5% гіпсу, а для зниження вартості цементу - до 15% активної мінеральної добавки.

Хімічний склад портландцементного клінкеру. В сировині, отже, й у клінкері, має бути точно нормований вміст чотирьох основних оксидів: CaO - 63-67%; SiO_2 - 20-24%; Al_2O_3 - 4-8% і Fe_2O_3 - 2-5%; крім того вміст $\text{MgO} < 5\%$; SO_3 - 0,5-1,5%; вміст оксидів натрію, калію, титану тощо до 1%.

Головні оксиди містяться в клінкері не у вільному стані, а у вигляді хімічних сполук - клінкерних мінералів.

Мінералогічний склад портландцементу такий:

трикальційовий силікат C_3S /аліт/ - 42-65%;

двокальційовий силікат C_2S /беліт/ - 12-35%;

трикальційовий алюмінат C_3A - 4-14%;

чотирикальційовий алюмоферит C_4AF - 10-18%.

Аліт - це твердий розчин на основі C_3S , до складу якого в невеликій кількості входять оксиди магнію, алюмінію тощо. Чим більший вміст аліту, тим краща якість і вища активність цементу. Він швидко твердне і набирає високої міцності.

Беліт - другий за важливістю і вмістом силікатний мінерал, являє собою твердий розчин β -модифікації C_2S з розчиненими в ньому оксидами алюмінію, заліза, магнію тощо. Беліт знижує якість цементу, твердне повільно, не дає високої міцності. У зв'язку з тим, що беліт при повільному охолодженні втрачає в'язучі властивості, тобто переходить із β - C_2S в γ - C_2S , цьому явищу запобігають швидким охолодженням клінкеру. Вміст мінералів-силікатів у клінкері в сумі становить близько 75%, тому гідратація аліту і беліту в основному визначає властивості портландцементу. Решта 25% об'єму клінкеру між кристалами аліту і беліту заповнена кристалами C_3A , C_4AF , склом і другорядними мінералами.

Трикальційовий алюмінат швидко піддається гідратації і твердненню. Продукти гідратації мають пористу будову і низьку міцність. Крім того, C_3A є причиною сульфатної корозії цементу, тому його вміст в сульфатостійкому цементі обмежується 5%;

Чотирикальційовий алюмоферит являє собою твердий розчин алюмоферитів кальцію різного складу. Звичайно його склад близький до $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$. За швидкістю гідратації цей мінерал займає як би проміжне місце між алітом і белітом і значно не впливає на швидкість тверднення і тепловиділення портландцементу.

Залежно від вмісту клінкерних мінералів портландцемент умовно поділяють на: високоалітовий / $C_3S > 60\%$; алітовий / $C_3S = 50-60\%$; белітовий / $C_2S > 35\%$; алюмінатний / $C_3A > 12\%$; алюмоферитний / $C_3A < 2\%$, $C_4AF > 18\%$.

Портландцемент не повинен містити вільних $CaO > 1\%$ і $MgO > 5\%$ бо при гашенні вони можуть зруйнувати затверділий цементний камінь.

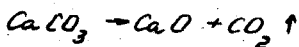
Виробництво портландцементу. Залежно від умов приготування сировинної суміші застосовуються два способи виробництва портландцементу: мокрий і сухий. Вибір способу зумовлений багатьма факторами, і в першу

чергу якістю сировини. Якщо вона має неоднорідний хімічний склад, доцільно застосовувати мокрий спосіб, оскільки при ньому суміш краще перемішується і її склад усереднюється. Якщо ж сировина має багато включень і низьку вологість, тоді вигідніше застосовувати сухий спосіб. Найбільш поширений мокрий спосіб, проте сухий є більш економічним і більш перспективним.

Мокрий спосіб виробництва портландцементу. Більшість цементних заводів звичайно працюють на штучних сумішах мокрим способом. Сировину, доставлену на завод, спочатку подрібнюють /вапняк - у дробарках, глину - у глинобортанках/, потім густу сметаноподібну масу перемішують з вапняком і здобутий шлам вологістю 35-40% подають у трубні млини, де суміш остаточно подрібнюють якнайтонше. Трубний млин являє собою сталевий барабан завдовжки до 15,0 м і діаметром до 3,0 м, що обертається навколо горизонтальної осі і поділений дірчастими перегородками на кілька камер. Суміш надходить у барабан через порожнисту цапфу і, поступово пересуваючись до другого кінця млина, тонко подрібнюється сталевими кулями різного діаметра, що містяться в барабані.

Подрібнений шлам витікає з млина і насосами транспортується в шлам-басейни, де його хімічний склад коригується і здійснюється гомогенізація; далі сировина надходить на випалювання в обертіві печі. Сучасна обертіві піч складається із сталевих барабанів завдовжки 125-185-230 м діаметром 3-5-7 м, футерованих всередині вогнетривкими матеріалами. Щоб полегшити просування суміші, піч встановлюють з ухилом 3-4° по довжині, обертається вона зі швидкістю до 1 об./хв.

Шлам надходить у верхню частину печі, а з протилежного її боку нагнітається вугільний пил, при згорянні якого утворюються розжарені димові гази, що рухаються назустріч шламу. Поволі просуваючись до факела горіння /в нижній частині печі/, сировина поступово нагрівається і проходить певні стадії випалювання. Спочатку з шламу при 100 °C випаровується вода, маса висихає, утворюються великі грудки. При 500-700 °C вигорять органічні речовини, відбувається дегідратація глиняних мінералів, глина розкладається на оксиди SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . І, нарешті, при 800-900 °C починає розкладатися вуглекислий кальцій:



У зоні кальцинування при 1000-1200 °C розклад вуглекислого кальцію повністю закінчується, і вільне вапно CaO , що утворилося, при 1200-1300 °C починає сполучатися з оксидами кремнію SiO_2 , алюмінію Al_2O_3 і заліза Fe_2O_3 , які містяться у глині. При цьому

утворюються $C_2S(2CaO \cdot SiO_2)$, $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$ і $C_4AF(4CaO \cdot xAl_2O_3 \cdot Fe_2O_3)$. В інтервалі температур 1300–1450 °C утворюється $C_3S(3CaO \cdot SiO_2)$. Ці чотири сполуки є основними частинами цементного клінкеру.

Здобутий в результаті випалювання сировини гарячий цементний клінкер, що являє собою спечені каменевидні куски, при виході з печі охолоджуються в холодильнику і надходить на склад для остаточного охолодження і вистовування /магазинування/ перед помелом. При магазинуванні вільне вапно, якщо воно міститься у клінкері, гаситься вологим повітрям, що підвищує якість готового цементу /оксид кальцію, котрий залишився у клінкері у вільному стані, викликає нерівномірність зміни об'єму цементу/. Після вистовування цементний клінкер тонко подрібнюється у трубному млині разом з добавками або без них. Портландцемент відправляють у силоси на зберігання.

Сухий спосіб виробництва портландцементу. Цей спосіб простіший за мокрий, бо відсутній процес утворення шламу. Сировину подрібнюють у дробарках до крупності 2,5 м, а потім через дозатори подають у трубний млин для остаточного подрібнення. Далі вона надходить у корекційні силоси, де коригують її хімічний склад і гомогенізують. Після того випалюють в обертових печах з циклонним теплообмінником. Усі подальші стадії аналогічні мокрому способу.

Застосування, транспортування і зберігання портландцементу. Сфери застосування ПЦ різноманітні. Його використовують для виготовлення монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій, що працюють як у підземних, так і наземних умовах. Портландцемент – основна в'язуча речовина для виготовлення залізобетонних виробів. Використовувати його треба економно, а для зведення конструкцій, що не потребують великої міцності, доцільно брати інші, дешеві в'язучі речовини – вапно, змішані цементи тощо.

При навантаженні навалом цемент слід перевозити в контейнерах, цементовозах і закритих вагонах, пристосованих до механічного розвантаження. Але краще транспортувати його в багатшарових паперових мішках.

Зберігати ПЦ слід у закритих складах, захищених від ґрунтових вод й атмосферних опадів. При цьому слід враховувати, що навіть при зберіганні цементу в найсприятливіших умовах його активність знижується /внаслідок часткової гідратації і карбонізації/ через 3 місяці приблизно на 20, через 6 місяців – на 30, а через 12 місяців – на 40%.

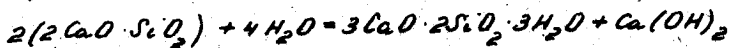
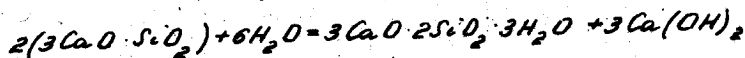
Новий спосіб виробництва портландцементу – шляхом випалювання клінкеру в сольовому розчині хлоридів. При цьому способі основне реакційне середовище в печі /сілікатний розплав/ замінено сольовим роз-

плавом на основі хлориду кальцію. У сольовому розплаві прискорюється розчинення основних клінкероутворюючих оксидів CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 / і утворення мінералів /аліту, беліту тощо/ завершується при 1100–1150 °С, замість звичайних 1400–1500 °С, що істотно знижує енергоємність здобування цементного клінкеру, який нарівні з алітом містить мінерал – алініт.

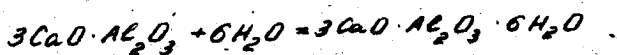
Алініт – це високоосновний Al-сe – силікат кальцію, який містить близько 2,5% хлориду. Клінкер, синтезований у сольовому розплаві, розмелюється в 3–4 рази легше, ніж звичайний. Це дає змогу знизити енергозатрати на помел і збільшити продуктивність трубних млинів. Алінітовий цемент швидше гідратується у початкові строки. Технологія нового цементу освоюється на цементних заводах. Вивчення корозійної стійкості бетонів на цьому цементі з урахуванням наявності в ньому хлору триває.

Тверднення портландцементу. Це складний фізико-хімічний процес, який за теорією О.О.Байкова, В.Н.Юнга, Ю.М.Бутта та інших учених можна поділити на три періоди.

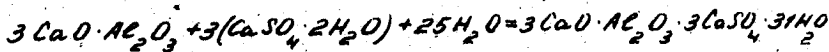
Перший період – взаємодія клінкерних мінералів з водою. Трикальційовий і двокальційовий силікати піддаються гідратації /приєднують молекули води/ і гідролізу /розкладаються/, в результаті чого виділяються нові сполуки – гідросилікати і гідроксид кальцію:



Трикальційовий алюмінат тільки гідратується, утворюючи гідроалюмінат кальцію:

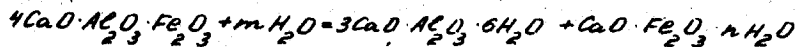


Для сповільнення туговіння при помелі клінкеру додають невелику кількість природного гіпсу /до 5% від маси цементу/. Сульфат кальцію $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – хімічно активна складова цементу, яка реагує з трикальційовим алюмінатом при зачиненні водою і зв'язує його в гідросульфалюмінат кальцію /мінерал еtringіт/:



У насиченому розчині $\text{Ca}(\text{OH})_2$ етрингіт спочатку виділяється в колоїдному тонкодисперсному стані, осідаючи на поверхні частинок $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, таким чином, сповільнює їх гідратацію і проводить тужавіння цементу. Заповнюючи пори цементного каменю, етрингіт при оптимальному дозуванні гіпсу підвищує його механічну міцність.

Чотирикальційовий алюмоферит при взаємодії з водою розкладається на гідроалюмінат і гідроферит кальцію:

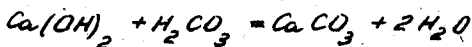


Гідроалюмінат зв'язується добавкою гіпсу, як вказано вище, а гідроферит входить до складу цементного гелю.

Другий період – колоїдація. Гідратні сполуки через свою погану розчинність швидко насичують розчин, тому нові порції продуктів взаємодії клінкерних мінералів з водою починають виділятися в колоїдному стані, утворюючи клейку колоїдну масу – гель /драглі/. Гель склеює частинки цементу, при цьому цементне тісто втрачає пластичність, тобто починає тужавіти.

Третій період – кристалізація. Найменш стійкі в колоїдному стані гідроксид кальцію і трикальційовий гідроалюмінат поступово переходять у стійкий стан – кристалічний. Водночас гель гідросилікату кальцію, що поволі кристалізується, ущільнюється. Кристали гідроксиду кальцію і трикальційового алюмінату, зростаючись і проймаючи колоїдні маси, що складаються головним чином з гідросилікату кальцію, створюють міцний кристалічний зросток.

Період карбонізації проходить при повітряному твердненні. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ реагує з вуглекислотою повітря



При цьому проходить зміцнення цементного каменю.

Основні властивості портландцементу. Густина, насипна густина ПЦ: $\rho = 3,0-3,2 \text{ г/см}^3$, $\rho_n = 900-1100 \text{ кг/м}^3$ в насипному стані і $\rho_n = 1400-1700 \text{ кг/м}^3$ в ущільненому стані.

Тонкість помелу цементу характеризує ступінь його подрібнення і встановлюється ситовим аналізом. За технічними вимогами залишок на ситі № 008 має становити не більш як 15%. Однак точнішою характеристикою тонкості помелу є питома поверхня – тобто сумарна площа поверхні всіх частинок цементу, які містяться в одному грамі або кілограмі. Для звичайного ПЦ вона дорівнює $2500-3000 \text{ см}^2/\text{г}$, або

250-300 м²/кг, для швидко тверднучих високоміцних ПЦ - 3000-5000 см²/г, або 300-500 м²/кг. Встановлено, що тонкіше подрібнення /вище за 6000 см²/г знижує міцність цементного каменю внаслідок перекристалізації гідратних сполук. Із збільшенням тонкості помелу скорочуються строки тужавіння і тверднення цементного тіста, підвищується міцність портландцементного каменю /до визначених меж/.

Строки тужавіння портландцементного тіста залежать від:

а/ тонкості помелу - чим тонший помел, тим швидше тужавіє і твердне портландцементне тісто;

б/ мінералогічного складу - ПЦ твердне тим швидше, чим більше в ньому міститься C_3S і C_3A . Цементи з високим вмістом C_3S /белітові/ тужавіють повільно і повільно тверднуть спочатку, проте поступово і рівномірно набирають міцності до кінця тверднення;

в/ водовимого цементу - це кількість води у процентах від маси цементу, необхідної для його повної гідратації й отримання тіста нормальної крутості /густоти/. Для процесу гідратації необхідно 15-18% води. Повна водовимого становить 24-30%. Чим нижча водовимого, тим швидше тужавіє і твердне цементне тісто.

г/ початок тужавіння цементного тіста нормальної густоти /крутості/ має наставати не раніш як через 45 хвилин, а кінець тужавіння - не пізніше як через 10 годин після початку замішування. Ці строки тужавіння забезпечують можливість транспортування і застосування розчинових і бетонних сумішей до моменту втрати ними пластичності і легкоукладальності. Для регулювання строків тужавіння до ПЦ додають гіпс /до 5%/. З підвищенням температури тужавіння і тверднення ПЦ прискорюються і наклаки.

Рівномірність зміни об'єму цементу. Цементи при твердненні повинні рівномірно змінювати об'єм. При неправильній зміні об'єму цементу /на повітрі - усадка, у воді - розбухання/ не тільки знижується міцність розчинів і бетонів при твердненні, а й спостерігається їх руйнування. Нерівномірність зміни об'єму цементу спричиняється надмірним вмістом вільних оксидів кальцію і магнію, а також гіпсу.

Необхідно запобігати в тверднучому розчині чи бетоні передчасному випаровуванню води. Для цього конструкції поливають водою, вкрияють вологою тирсою, піском тощо.

Тепловиділення при твердненні цементу відбувається при гідратації клінкерних мінералів. При цьому проходять екзотермічні реакції. Екзотермія цементу залежить від його мінерального складу і марки /активності/. Цементи з високим вмістом C_3A і C_3S виділяють велику кількість теплоти. З підвищенням марки цементу тепловиділення збільшується. Що

властивість цементу треба враховувати при зведенні бетонних фундаментів, гребель та інших масивних конструкцій. В середині таких споруд можуть розвиватися високі температури /до 70-80 °C/, що створює небезпеку виникнення тріщин і руйнування бетону.

У зимових умовах підвищене тепловиділення при твердінні цементу позитивно позначається на будівельних роботах, бо перешкоджає заморожуванню бетону в масивних конструкціях.

Морозостійкість портландцементного каменю залежить від:

а/ тонкості помелу - до 5000-6000 см²/г морозостійкість підвищується, при подальшому збільшенні тонкості помелу вона знижується внаслідок пористої будови новоутворень надтонкого цементу;

б/ мінералогічного складу - найменш морозостійким є мінерал $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$, а тому його вміст для морозостійких бетонів обмежують 5-7%; активні мінеральні добавки також знижують морозостійкість портландцементного каменю внаслідок їх пористої будови і низької морозостійкості продуктів їх взаємодії з клинкерними мінералами;

в/ водоцементного відношення - збільшення його призводить до зниження морозостійкості: адже вільна /зайва/ вода, випаровуючись, утворює пори.

Міцність ПЦ каменю характеризується маркою /активністю/ цементу, яку встановлюють за результатами випробувань зразків-балочок /4x4x16 см/ віком 28 діб. ПЦ має марки 400, 500, 550, 600.

Міцність портландцементного каменю залежить від таких чинників:

а/ Строки твердіння - на третій день міцність досягає 40-50% від марочної, а на сьомий - 60-70%; далі зростання міцності ще сповільнюється і лиш на 28 добу досягає марочної; проте по закінченні 28 діб цементний камінь продовжує набирати міцності, яка може надалі в кілька разів перевищувати марочну. Цей процес ще не досить вивчений, проте вважають, що збільшення міцності з часом проходить за логарифмічним законом.

б/ Мінералогічний склад - найшвидше набирають міцності

$C_3S(3CaO \cdot SiO_2)$ і $C_2S(2CaO \cdot SiO_2)$, оскільки гідратуються швидше, ніж $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$ і $C_4AF(4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3)$. На початку твердіння C_3S набирає міцності повільно, а потім швидше і може досягти міцності C_2S /навіть може перевищувати її/. Тому, якщо потрібно одержати бетон високої міцності в короткі строки, застосовують алітові цементи, а для гідротехнічних споруд - белітові, бо необхідно отримати високу міцність в пізніші строки.

в/ Тонкість помелу цементу - із збільшенням тонкості помелу збільшується ступінь гідратації цементу, що підвищує міцність ПЦ.

Приріст питомої поверхні $\Delta S_{\text{плт}}$ в 1000 см²/г приводить до збільшення міцності на 20-25%.

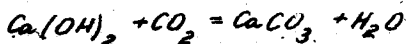
г/ Вологість і температура середовища - процес тверднення цементного каменю і набір міцності продовжується тільки при наявності в ньому води, тому що тверднення - це в першу чергу процес гідратації, отже, необхідно охороняти тверднучий бетон від передчасного висихання. З підвищенням температури навколишнього середовища взаємодія цементу з водою проходить швидше, чим і зумовлюється швидке збільшення міцності. Тверднення цементного каменю може відбуватися за нормальних умов /15-20 °C/, при пропарюванні /80-90 °C/, а також при автоклавній обробці /160-180 °C, 0,8-1,2 МПа/. Найбільш швидко міцність збільшується в автоклавах. При негативних температурах портландцементний камінь не твердне і не набирає міцності, бо вода замерзає. Добавки електролітів NaCl , CaCl_2 знижують температуру замерзання води і прискорюють процес тверднення цементів.

д/ Водоцементне відношення - збільшення його призводить до зниження міцності, оскільки, випаровуючись, вільна вода підвищує пористість цементного каменю.

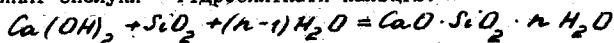
е/ Тривалість зберігання - тривале зберігання цементу призводить до втрати активності /марки/. Через три місяці марка знижується на 20, через рік - на 40%. Це пояснюється гідратацією цементу вологою повітря. Відновлюють активність лежалого ПЦ повторним його помелом.

Корозія портландцементу, тобто руйнування цементного каменю в розчинах і бетонах, відбувається під дією агресивних середовищ. За сумою найважливіших ознак розрізняють три основні види корозії.

Перший вид корозії /вилуговування/ зв'язаний з розчиненням у воді і вимиванням гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який виділяється при твердненні портландцементу. Цей процес спричиняє розклад інших гідратованих сполук, при цьому пористість бетону збільшується, і він поступово руйнується. Особливо швидко ці процеси відбуваються при фільтрації води крізь товщу бетону. Охороняє від цього виду корозії поверхневий шар з CaCO_3 , який утворюється в результаті процесу карбонізації при твердненні цементного тіста



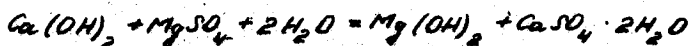
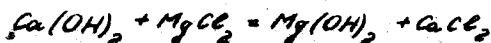
Ще один із засобів боротьби з корозією даного виду - введення в портландцемент активних мінеральних добавок, які зв'язують вапно в малорозчинні сполуки - гідросилікати кальцію:



Застосовують також білітові цементи, що виділяють мінімальну кількість вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

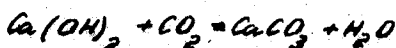
Другий вид корозії /магнезіальна і вуглекисла/ виникає при взаємодії $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з солями магнію MgSO_4 , MgCl_2 чи вуглекислим газом, розчиненими у воді. Продукти реакції, які при цьому утворюються, або легко розчиняються у воді, або виділяються в аморфному стані, не мають зв'язуючих властивостей, що призводить до зниження міцності розчинів і бетонів.

Магнезіальна корозія

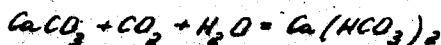


Гідроксид магнію $\text{Mg}(\text{OH})_2$, біла рідка маса, і гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ добре розчинні у воді і вимиваються. Хлористий кальцій CaCl_2 легко розчиняється і виноситься водою.

Вуглекисла корозія

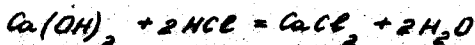


Спочатку це позитивно впливає на збереження цементного каменю. Проте при високих концентраціях CO_2 у воді реакція відбувається далі:



Утворюється легкорозчинний бікарбонат кальцію.

Шкідливо впливає на цементний камінь, наприклад, соляна кислота, що часто міститься в стічних водах промислових підприємств і, просочуючись у ґрунт, руйнує підземні бетонні конструкції /фундаменти та ін./. Ця кислота реагує з вапном й утворює легкорозчинний продукт - хлористий кальцій:

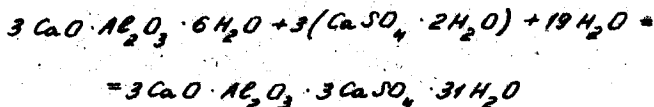


Для охорони цементного каменю від цього виду корозії застосовують цементи з активними мінеральними добавками.

Третій вид корозії виникає внаслідок нагромадження малорозчинних речовин, які при кристалізації збільшуються в об'ємі і руйнують стін-

ки пор.бетону. У водопроникних бетонах такі явища виявляються вже у перші місяці, а у щільних і агресивно-стійких – іноді через кілька років.

Прикладом такого виду є "сульфатна корозія", тобто руйнування цементного каменю під впливом вод, в яких розчинені солі сульфатів. За рахунок обмінних реакцій між сульфатами і вапном, яке виділяється при твердненні портландцементу, в порах цементного каменю відкладається гіпс. Він вступає в реакцію з гідроксидом кальцію, який при кристалізації збільшується в об'ємі до 2,5 раза і руйнує цементний камінь:



Гідросульфогидроксид кальцію дістав назву цементної бацили через його руйнівну дію та подібність його кристалів до деяких бацил.

Заходи боротьби з цією корозією – застосування цементу з низьким вмістом C_3A .

Поділ корозії на три види є умовним, оскільки розмежувати їх неможливо. На цементний камінь звичайно діє два або три види корозії з перевагою якогось з них.

6.2.4. Особливі види портландцементу

Розглянуті нижче особливі /спеціальні/ види ПЦ виділено в окрему групу, бо вони на відміну від звичайного ПЦ мають особливі властивості і їх треба застосовувати тільки тоді, коли їх властивості можуть бути використані з максимальним ефектом.

Сульфатостійкий портландцемент здобувають, тонко подрібнюючи клинкер, що містить не більш як 50% C_3S , 5% C_3A при сумі $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$ не більш 22%. У цьому портландцементі не повинно бути активних або інертних мінеральних добавок. У зв'язку з тим, що трикальційового алкмінату в ньому небагато /цілком виключити цю сполуку не можна, бо тоді цемент дуже повільно набиратиме міцності/, сульфатостійкий ПЦ відзначається підвищеною стійкістю проти дії сульфатних вод. Він має низьке тепловиділення /мало C_3S /, характеризується повільним твердненням в початкові строки /мало C_3A і C_3S /, по суті є белизовим цементом.

Сульфатостійкий ПЦ має марку 400. Він широко застосовується в гідротехнічному будівництві, його використовують для спорудження бетонних і залізобетонних конструкцій, до яких ставлять підвищені вимоги щодо морозостійкості і стійкості проти сульфатної корозії.

Портландцемент з помірно екзотермією виготовляють, тонко подрібнюючи клінкер, що містить до 8% C_3A і не більш як 50% C_3S . Від звичайного портландцементу від відрізняється зниженою екзотермією і дещо підвищеною стійкістю в сульфатних водах. Цей портландцемент, що має марку 400, застосовують в бетонних і залізобетонних гідротехнічних спорудах, які працюють в умовах систематичного багаторазового заморожування і розморожування в прісній або мінералізованій воді /практично - це сульфатостійкий ПЦ/.

Пластифікований портландцемент виготовляють, вводячи в клінкер при його помелі пластифіковану добавку, що надає розчинним і бетонним сумішам на цьому цементі підвищених рухливості і легкоукладості.

Як таку добавку застосовують концентрати ССБ, СДБ у кількості 0,15-0,25% від маси цементу, рахуючи на суху речовину. Пластифікований ПЦ буває тих марок, що й звичайний цемент /300, 400, 500, 600/, але бетони і розчини на ньому більш морозостійкі і менш водонепроникні. Тому пластифікований ПЦ застосовують для конструкцій, яким ставлять особливі вимоги щодо морозостійкості або водонепроникності.

Гідрофобний портландцемент являє собою продукт тонкого подрібнення портландцементного клінкеру разом з гідрофобними добавками - органічними речовинами /милонaftом, олеїновою кислотою, асидолом/. Добавки вводять залежно від їх виду в кількості 0,1-0,3% від маси цементу. Ці речовини утворюють на цементних зернах гідрофобні /що не змочуються водою/ плівки, які перешкоджають проникненню вологи. Тому гідрофобний ПЦ не боїться зволоження, не злежується і протягом тривалого часу майже не втрачає активності. Під час приготування бетонної суміші зерна заповнювачів /піску, гравію або щебеню/ руйнують гідрофобні плівки, і цемент реагує з водою подібно до ПЦ, набираючи такої самої міцності /марки 300, 400, 500 і 600/.

Застосовують гідрофобний портландцемент для тих самих потреб, що й пластифікований.

Швидкотверднучий і особливо швидкотверднучий портландцемент /ШПЦ і ОШПЦ/ відзначається інтенсивнішим, ніж звичайний, збільшенням міцності в початковий період тверднення. При такій самій активності на 28-му добу, як у ПЦ, швидкотверднучі цементи уже через 24 години тверднення мають міцність при стиску 200, а віком 3 доби - не менш як 250-300 кгс/см². Цього досягають, добираючи трикальційовий силікат

C_3S в кількості до 55% ШПЦ і до 65% ОШПЦ і трикальційовий алімінат C_3A до 8-14%, а також добавкою гіпсу і тоншим помелом цементу $IS_{пнт} = 5000-6000 \text{ см}^2/\text{г}$. Не повинно бути вільного вапна.

Швидкотверднучий і особливо швидкотверднучий портландцементи мають марки 400, 500, 600. Застосовують їх при виробництві високоміцного монолітного і збірного залізобетону, виготовлених без обробки виробів гарячою паром або з пропариванням при нормальному тиску.

Білий і кольоровий портландцементи мають декоративне призначення. Білий портландцемент виготовляють тонким помелом білого клінкеру, який адобувають, випалюючи чисті вапняки і білі глини. Випалюють сировину на беззолному паливі - рідкому або газоподібному, його білизна оцінюється щодо $CaSO_4$ /96,3%/. Марки за білизою БЦ-1 /80%/, БЦ-2 76%, БЦ-3 /72%/. За $R_{ст}$ марки 400, 500.

Кольорові цементи адобувають сумісним помелом білого клінкеру з мінеральними світло- і лугостійкими пігментами /вохра, залізний сурик тощо/. Застосовують їх для внутрішнього і зовнішнього опорядження будівель, штучного мармуру.

6.2.5. Пуцоланові цементи

До цієї групи гідралічних в'язких речовин належать цементи, виготовлені сумісним помелом портландцементного клінкеру або вапна з активною мінеральною добавкою, а також старанням змішуванням вказаних компонентів після попереднього тонкого подрібнення кожного з них окремо.

Активні мінеральні добавки /АМД/. Як такі добавки використовують неорганічні речовини, до складу яких входять кремнезем SiO_2 і глинозем Al_2O_3 , здатні активно взаємодіяти з вільним вапном. Не маючи здатності самостійно тверднути, ці добавки, змішані з повітряним вапном, надають йому гідралічних властивостей.

За хімічним складом АМД бувають кислі $M_o < 1$ і основні $M_o > 1$.

Модуль основності

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

Активність добавки характеризується кількістю вапна CaO , яке збирається з розчину на 1 г добавки протягом 30 діб.

При взаємодії АМД з вапном утворюються гідросилікат і гідроалюмінат кальцію, які на відміну від вапна практично нерозчинні і мають здатність тверднути у воді. Зважаючи на останню обставину, АМД часто називають гідравлічними.

Застосування цих добавок дає великий технічний та економічний ефект, бо уможливило підвищення стійкості цементного каменю до корозії, зниження вартості ПЦ /за рахунок часткової заміни клінкеру/ і розширення номенклатури місцевих гідравлічних в'язучих речовин, що успішно замінюють ПЦ при виготовленні розчинів і бетонів низьких марок.

Гідравлічні добавки поділяються на дві групи: природні і штучні.

До природних гідравлічних добавок належать деякі гірські породи осадового /діатоміт, трепел, опока, глієжі/ та вулканічного /попели, туфи, пемза, траси/ походження.

Діатоміт складається з неорганічних залишків діатомітових водоростей, а трепел - із скупчень найдрібніших округлих кремнистих частинок. Ці легкі гірські породи багаті на активний кремнезем.

Опока - це тверда кремниста порода, що складається в основному з дрібнозернистого кремнезему з домішкою глини і піску.

Глієжі - це породи, що утворилися в результаті природного випалювання глини при підземних пожежах у вугільних пластах.

Штучними гідравлічними добавками є сисшоф, глинити, паливні золи і шлаки.

Сисшоф являє собою кремнеземисті відходи, що утворюються при виробництві сірчаноокислого алюмінію. Містить активний кремнезем і в невеликій кількості глинозем.

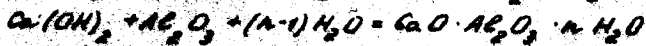
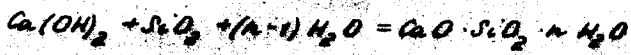
Глинити - це глини, випалені при 600-800 °С, а паливні золи - продукти випалювання деяких видів палива на ТЕЦ і ДРЕС.

Вапно у вільному стані міститься в повітряному і гідравлічному вапні, а ПЦ виділяє його при твердненні. На цій основі здобувають два види цементів: пуцолановий ПЦ і вапняно-пуцолановий цемент.

Пуцолановий портландцемент /ППЦ/ здобувають сумісним тонким подрібненням портландцементного клінкеру і АМД або старанним змішуванням тих самих компонентів, подрібнених окремо.

АМД повинні становити від 20 до 40%. Для регулювання строків тужавіння додають ще до 5% гіпсу.

Густина, тонкість помелу і строки тужавіння пуцоланового ПЦ ті самі, що й у ПЦ, але твердне він повільніше. При цьому відбуваються два процеси: гідратація мінералів ПЦ і взаємодія активних кремнезему SiO_2 і глинозему Al_2O_3 , які містяться в добавці, з гідроксидом кальцію $Ca(OH)_2$:



У результаті вільне вапно зв'язується в гідросилікат кальцію, завдяки чому розчини і бетони на пуцолановому ПЦ відзначаються значно більшою стійкістю в прісних і проточних водах, ніж розчини і бетони, приготовлені на звичайному ПЦ.

Міцність ППЦ характеризується марками 300, 400.

Тверднення цементу супроводиться меншою з ПЦ екзотермією, що дає можливість широко використати його для масивних споруд. Застосовують ППЦ для виробництва збірних залізобетонних конструкцій, які тверднуть у пропарувальних камерах або автоклавах, для водопровідних, каналізаційних і морських гідротехнічних споруд.

Слід зазначити, що при температурі нижчій від 10 °С, тверднення пуцоланових цементів різко сповільнюється, а в сухих умовах практично припиняється.

У процесі зберігання активність пуцоланового цементу знижується швидше, ніж ПЦ, і його треба використати для будівництва якомога швидше.

Вапняно-пуцолановий цемент - це гідралічна в'язуча речовина, яку здобувають від сумісного помелу або старанного змішування /в сухому стані/ вапна і гідралічної добавки, заздалегідь подрібнених на тонкий порошок.

Вапно застосовують як гашене /пушонку/, так і негашене. Склад цементу: 10-30% вапна і 70-90% гідралічної добавки. Для регулювання строків тузавіння при помелі або змішуванні вказаних компонентів додають до 5% гіпсу. Тузавіння і тверднення цього цементу відбувається в результаті взаємодії вапна з активним кремнеземом або глиноземом добавки, що утворює гідросилікат і гідроалюмінат кальцію. Реакція відбувається тільки у вологих умовах і дуже повільно.

На міцність виробів з вапняно-пуцоланового цементу сприятливо впливає підвищення температури. При температурі, нижчій від 10 °С, тверднення цементу припиняється. Вапняно-пуцолановий цемент має низькі міцності /марки 25, 50, 100, 150/, морозо- і повітрястійкість.

Для підвищення повітрястійкості в цемент додають 10-15% ПЦ або збільшують дозування вапна до 50%, але в останньому випадку водостійкість в'язучої речовини знижується, її вже не можна застосовувати для бетону, що піддається дії води.

Через низьку морозостійкість вапняно-пуцолановий цемент не можна використовувати в тих частинах споруд, які в процесі експлуатації піддаються частому заморожуванню, тобто різким коливанням температури.

Зважаючи на ці властивості вапняно-пуцоланового цементу, його рекомендують застосовувати для кладки стін і фундаментів будівель, що перебувають у вологих умовах, для приготування бетонів середніх і низьких марок, а також різних штучних кам'яних матеріалів. Через швидку втрату активності при зберіганні його треба використати не пізніше як через місяць після виготовлення.

6.2.6. Шлакові цементи

До шлакових цементів належать гідравлічні в'язучі речовини, які здобувають сумісним помелом доменного гранульованого шлаку з добавками, що підвищують його активність. Як такі добавки-активізатори найчастіше застосовують портландцементний клінкер /шлакопортландцемент/, вапно /вапняно-шлаковий цемент/ або гіпс, ангідрид /сульфатно-шлаковий цемент/.

Доменний шлак - це продукт, що утворюється в результаті сплавлення пустої породи руди і золи палива з невеликою частиною флюсу при випалюванні чавуну в доменних печах /флюсами називаються добавки, які вводять в доменну піч для того, щоб відділити пусту породу і золу від чавуну; як флюси часто використовуються вапняки і доломіти/.

За хімічним складом доменні шлаки подібні до ПЦ і містять до 90% оксидів CaO , SiO_2 , Al_2O_3 і являють собою силікатну або алюмосилікатну масу. За модулем основності бувають кислі $M_o < 1$ і основні $M_o > 1$.

$$M_o = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})\%}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)\%}$$

Гідравлічна активність шлаків підвищується із збільшенням обох модулів, причому, чим більше вміст MgO , тим швидше твердне шлак в помеленому стані. Більшість сполук, утворених оксидами, що входять до складу шлаків, є інертними, і тільки C_2S має здатність до гідравлічного тверднення. Проте він міститься в малій кількості і твердне дуже повільно. Активність доменних шлаків значною мірою залежить від структури, яка в свою чергу залежить від швидкості їх охолодження.

Повільно охолоджені вогняно-рідкі шлаки навіть у тонкоподрібненому стані при змішуванні з водою не тверднуть /їх мінерали повністю кристалізуються, утворюючи великокристалічну будову, що знижує активність шлаку/. Для підвищення активності доменні шлаки піддають грануляції, тобто швидкому охолодженню водою або повітрям /при грануляції

шлак не повністю кристалізується, а утворює склеювну будову із запасом хімічної енергії/. Гранульовані шлаки, що складаються із зерен /гранул/, проявляють слабку активність, яка значно міром підвищується при змішуванні їх з добавками - активізаторами. На цьому і ґрунтується виробництво шлакових цементів.

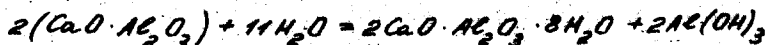
Шлакопортландцемент здобувають сумісним помелом доменного шлаку і гіпсу /до 5%/. Випускають його марок 300 і 400. Початок тугов'язності через 4-6 годин, а кінець - не пізніше як 10 годин від початку змішування. Міцність збільшується повільно. Шлакопортландцемент має меншу екзотермію, більшу водостійкість і корозійну стійкість, ніж портландцемент. Використовується там, де і ПЦ, проте особливо широко для бетонування підводних і підземних споруд.

Вапняно-шлаковий цемент здобувають сумісним помелом доменного гранульованого шлаку з вапном або старанно змішуючи ці компоненти, подрібнені окремо. Склад цементу: гранульованого шлаку 70-90%, вапна 10-30%. Марки вапняно-шлакового цементу такі: 50, 100, 150, 200. Повітро- і морозостійкість невисокі. Застосовуються для розчинів і бетонів низьких марок, які працюють у вологих умовах.

Сульфатно-шлаковий цемент здобувають сумісним помелом гранульованого доменного шлаку /80-85%/, гіпсу /15-20%/, портландцементного клінкеру /до 5%/, або негашеного вапна /до 2%/. Марки за $R_{сх}$ 150, 200, 250, 300. При відносно високій міцності він є найдешевшим гідрравлічним в'язучим /безклінкерний цемент/. Має високу стійкість проти сульфатної корозії. Застосовується у підводному і підземному будівництві в умовах вуглекислих і сульфатних вод.

6.2.7. Глиноземистий цемент

Глиноземистим цементом називають гідрравлічну в'язучу речовину - продукт тонкого подрібнення клінкеру, який здобувають випалюванням сировинної суміші, що складається з бокситів і вапняків. Боксити є гірськими породами, які містять до 80% глинозему Al_2O_3 . При випалюванні до температури плавлення або спікання глинозем взаємодіє з вапном, котре виділяється при розкладі вапняку, в результаті чого утворюється однокальційовий алюмінат $CaO \cdot Al_2O_3$ - основна сполука в глиноземистому клінкері, який при змішуванні водою гідратується з утворенням двокальційового гідроалюмінату:



Твердне глиноземистий цемент дуже швидко і вже через добу досягає 80-90% марочної міцності. /Глиноземистий цемент - швидкотверднуча, але не швидкоутвалююча в'язуча речовина./ Початок тужавіння настає не раніш як за 30 хв і закінчується через кілька годин /не пізніш як 12 год від моменту замішування водою/. Марка цементу визначається за границею міцності при стиску стандартних зразків, виготовлених з жорсткого цементного розчину /1:3/ і випробуваних у віці трьох діб. Глиноземистий цемент випускають трьох марок: 400, 500 і 600.

Тверднення глиноземистого цементу супроводиться виділенням великої кількості теплоти і закінчується досить швидко. Це обмежує застосування глиноземистого цементу в масивних монолітних бетонних конструкціях, але позитивно позначається на бетонуванні взимку.

Глиноземистий цемент відрізняється високою антикорозійною стійкістю, бо при його твердненні не виділяється вапно і не утворюється трикальційовий гідроалюмінат, як у портландцементі.

Глиноземистий цемент є найдорожчою в'язучою речовиною /у 3-4 рази дорожчий за ПЦ/, бо для його виробництва використовується цінна сировина - боксити, які широко застосовуються в алюмінієвій промисловості. Тому його доцільно використовувати тільки в тих випадках, коли потрібна висока сульфатостійкість, короткі строки тверднення і велика міцність бетонних конструкцій.

Особливо ефективний глиноземистий цемент при аварійних роботах, при ремонті гідротехнічних споруд.

Тверднення виробів і конструкцій, виготовлених на основі глиноземистого цементу, має відбуватися у вологому середовищі при температурі, не вищій за 25 °C; інакше збільшення міцності може припинитися. Глиноземистий цемент не піддається тепловій обробці.

6.2.8. Розширні цементи

Розширними цементами називають гідроалічні в'язучі речовини, які при твердненні збільшуються в об'ємі. Істотним недоліком всіх гідралічних в'язучих є їх усадка, зумовлена фізико-хімічними процесами, котрі відбуваються при тужавінні і твердненні, що не дає можливості добитись абсолютної водонепроникності стиків конструкцій при заповненні їх опалудками, приготовленими на звичайних цементах. Розширний цемент при твердненні не має усадки, а, навпаки, збільшується в об'ємі /до 1,0-1,5%/ без утворення тріщин, і це підсилює міцність та монолітність бетонних конструкцій у стиках.

Здобувають розширний цемент головним чином на основі глиноземистого цементу /82-85%/ з добавками вапна і гіпсу. Залежно від строків тужавіння розширний цемент поділяється на швидкотужавіючий /початок тужавіння не раніше 5 хв, кінець не пізніше 30 хв/ і цемент із сповільненим тужавінням /початок тужавіння не раніше 20 хв, кінець не пізніше 1 год/.

Швидкотужавіючий цемент випускають чотирьох марок: 300, 400, 500, 600, а цемент з повільними строками тужавіння - трьох: 300, 400, 500.

Марку швидкотужавіючого цементу визначають за границею міцності при стиску кубиків розміром 2х2х2 см, виготовлених з цементного тіста, а із сповільненим тужавінням - за границею міцності при стиску зразків з жорсткого розчину складу 1:3 /цемент-пісок/.

Розширний портландцемент здобувають із портландцементного клінкеру /60%/, високоглиноземистого доменного шлаку /5%/, двоводного гіпсу /10%/ і АМД /25%/. Марки 400, 500, 600. Швидко набирає міцності навіть при нетривалому пропарюванні. Цементний камінь має низьку пористість, високу водопроникність.

Гіпсоглиноземистий розширний цемент здобувають із суміші високоглиноземистих доменних шлаків /70%/ і двоводного гіпсу /30%/. Марки 300, 400, 500.

Водонепроникний розширний цемент здобувають замішуванням глиноземистого цементу, гіпсу і чотирикальційового алюмінату C_4A . Це швидко твердне і швидко тужавіє в"яuche. Початок тужавіння не раніше 4 хв, кінець - не пізніше 10 хв. Міцність на стиск через 6 год - 75 кгс/см², через 3 доби - 300, через 28 діб - 500. Через добу тверднення цементний камінь повинен бути абсолютно водонепроникним при тиску 6 атм.

Розширні цементи застосовують замість свинцю для зачеканення і гідроізоляції швів розтрубних труб і стиків тубінгів. Їх використовують також для зарівнювання стиків і тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях, при ремонті гідротехнічних штукатурок. Їх не можна використовувати для конструкцій, що працюють при температурах понад 80 °C, а також у спорудах, що піддаються дії ґрунтових вод.

6.3. Лужні алюмосилікатні та шлаколужні в"яучі та матеріали на їх основі

6.3.1. Загальні відомості

Ідею створення лужних та змішаних лужно-лужноземельних в"яучих, які дають можливість використовувати дисперсні речовини у виробництві будівельних бетонів та кераміки, запропонував проф. В.Д.Глуховський.

Відомо, що на поверхні землі алюмосилікатні гірські породи руйнуються і перетворюються у піски, глини та інші сипкі породи. При зачуренні у товщу земної кори ці продукти руйнування, збагачуючись лугами, знову кам'яніють. Отже, якщо провести аналогію з природними процесами, то для здобування штучних кам'яних матеріалів до сипких ґрунтів слід додати луги і належним чином обробити ці суміші.

В'язучою речовиною у лужних алюмосилікатних будівельних матеріалах є суміші природних або штучних алюмосилікатів з активними речовинами - сполуки лужних металів натрію або калію. Роль заповнювачів можуть виконувати пухкі, дисперсні ґрунти, тобто такі, які, з одного боку, не застосовуються у керамічному виробництві, бо для цього дуже пісні, а з другого - не застосовуються для бетонів та розчинів, оскільки мають підвищений вміст глиняних і пиловидних частинок /дуже дисперсних для цієї мети/. Слід зазначити, що такі ґрунти поширені скрізь.

Гідравлічні властивості доменних шлаків відомі ще з ХУІІІ ст. У 1771 р. А.Ж.Лоріо запропонував застосовувати шлаки як добавки до вапна. У 1862 р. Е.Ланген установив, що грануляція шлаку зможливе здобування більш активного матеріалу, чим започаткував широке застосування шлакових в'язучих. Дослідженню цих матеріалів присвячені роботи багатьох закордонних та вітчизняних учених.

У результаті досліджень активізації шлакових матеріалів і технології шлакових в'язучих галузь застосування гранульованих шлаків значно розширилася. Сьогодні крім шлакопортландцементу випускається ряд інших в'язучих: вапняно-шлаковий та сульфатно-шлаковий цементи, шлакові в'язучі автоклавного твердіння, доменні глиноземисті цементи та їх різновиди.

Гранульовані доменні шлаки слід вважати найбільш перспективним видом сировини для виробництва лужних алюмосилікатних в'язучих. Ці шлаки являють собою кальційове алюмосилікатне скло, яке у сполученні з лугами проявляє в'язучі властивості. Такі в'язучі дістали назву шлаколужних, бо складаються з тонкомеленого шлаку та лужного компоненту.

Перспектива використання саме гранульованих шлаків як компонентів лужних алюмосилікатних в'язучих побудована на тому, що виробництво їх неухильно збільшується.

Перші спроби здобування в'язучих на основі молотих гранульованих шлаків та їдких лугів були зроблені ще в перші роки ХХ ст. Г.Колем та Г.Пассовим, однак ці спроби не вийшли за рамки лабораторних досліджень. Така сама доля спіткала А.О.Пуруоя /30-ті р./ та інших дослідників. Усі вони використовували сполуки лужних металів як активі-

затори твердіння, які каталітично впливали на цей процес, і додавали їх у в'язучі системи в малих кількостях. При цьому луги, як правило, залишались у цементному камені у вільному стані і не входили до складу новоутворень. Крім того, солі лужних металів додавались у пастинки з вільним вапном. У зв'язку з низькою ефективністю композиції такого плану не вийшли за рамки лабораторій.

У запропонованих В.Д.Гауховським шлаколужних композиціях сполуки лужних металів є самостійними компонентами в'язучих, які формують лужні гідратні новоутворення у продуктах їх гідратації та твердіння.

Значний вміст лужних оксидів у шлаколужних в'язучих викликає додаткове введення до їх складу сполук кальцію, які аумовляють їх високі активність та багато інших властивостей, що вигідно відрізняють ці в'язучі та бетони на їх основі від традиційних.

На підставі досліджень, проведених І.О.Пашковим у НДІ грунтоосилікатів, встановлено, що для одобуття шлаколужних в'язучих придатні практично будь-які гранульовані шлаки, незалежно від їх мінералогічного складу. Вирішальним показником їх активності є вміст у них оксидної фази, здатної взаємодіяти з лугами.

Шлаколужні в'язучі мають особу багатоконпонентні лужні алюмосилікатні системи, які тверднуть у вологих умовах та воді, оскільки вони належать до гідралітичних в'язучих гідратаційного твердіння.

6.3.2. Лужні компоненти

Лужними компонентами шлаколужних в'язучих є сполуки лужних металів, які дають у водних розчинах лужну реакцію. За характером взаємодії зі шлакми вони поділяються на три групи: перша - несилікатні солі; друга - силікатні солі; третя - ідні луги.

Для основних шлаків $M_2O > 1$ незалежно від умов твердіння застосовуються лужні компоненти будь-якої групи. Для нейтральних та кислих шлаків $M_2O < 1$ лужні компоненти першої групи ефективні лише за умов теплової обробки, а компоненти другої і третьої груп можуть застосовуватись і при природному твердінні. При товкості помалу шлаку 3000 cm^2/g оптимальний вміст лужних сполук у шлаколужному в'язучому у перерахунку на M_2O становить близько 5% від маси шлаку. Оптимальна густина водного розчину лужних компонентів першої і третьої груп для приготування в'язучих та бетонів на їх основі дорівнює 1,15-1,20, а другої групи - 1,30 g/cm^3 .

Найбільш перспективними та економічними лужними компонентами для шлаколужних в'язучих слід вважати не чисті хімічні сполуки, а попутні

продукти ряду виробництва, які містять необхідні сполуки натрію та калію. До них належать:

1/ содопоташна суміш - попутний продукт виробництва глинозему з нефелінів та сіенітів;

2/ содо-лужний плав - попутний продукт капролактамового виробництва;

3/ рідкі лугомістки відходи фенольного виробництва;

4/ плавлена суміш лугів - ідкого натрію та ідкого калію;

5/ фтористий натрій - відхід суперфосфатного виробництва;

6/ метасилікат натрію - попутний продукт виробництва діоксиду титану та глинозему;

7/ пил електрофільтрів клінкеровипалювальних печей цементних заводів;

8/ шлако-лужні відходи целюлозно-паперової промисловості.

Цими прикладами номенклатура можливих лужних компонентів не обмежується. Сполуки лужних металів є попутними продуктами таких галузей промисловості, як виробництво кольорових та рідкісних металів.

6.3.3. Властивості шлако-лужних в'язучих

Властивості шлако-лужних в'язучих залежать від багатьох факторів: виду, мінералогічного та фазового складу шлаку, тонкості його помелу, виду та концентрації лужного компоненту тощо.

При тонкості помелу шлаку, яка характеризується питомою поверхнею 3000-3500 $\text{см}^2/\text{г}$, кількість води для тіста нормальної крутості становить 25-30% від маси шлаку.

Початок тузавлення - від 30 хв до 1 год, кінець - від 2 до 6 год. Строки тузавлення можуть регулюватися залежно від складу лужного компоненту, який застосовується, його основності, концентрації розчину, тонкості помелу шлаку тощо.

Активність в'язучого при випробуванні у розчині 1:3 /за ГОСТ 310-81/ дорівнює 200-1200 $\text{кгс}/\text{см}^2$.

Міцність шлако-лужного в'язучого інтенсивно збільшується протягом першого місяця і далі більш інтенсивно, ніж при твердненні ПЦ. Так, якщо міцність ПЦ через 3 місяці тверднення за нормальних умов становить близько 1,2 марочної, то міцність шлако-лужного в'язучого - близько 1,5 марочної.

Теплова обробка прискорює процес тверднення також більш інтенсивно, ніж при твердненні ПЦ, і при режимах пропарювання, прийнятих у технології збірного залізобетону, досягає не 70%, а 90-120% марочної

міцності. Отже, тривалість теплової обробки можна значно скоротити за рахунок ізотермічного прогрівання.

Молоті шлаки, які мало схильні до самостійного тверднення, можуть зберігатися необмежений час без втрати активності. Тільки високоосновні шлаки втрачають певну частку своєї активності, особливо за умов тонкого помелу, проте значно меншою мірою, ніж цемент.

Добавки вапна, цементу та інших в'язучих з кальцієвою основою приводять до зниження міцності шлаколузкого в'язучого.

Контракція шлаколузкого в'язучого у 4-5 раз нижча, ніж у ЦЦ. Важливою технологічною особливістю є також відносно низьке тепловиділення при твердненні /у 1,5-2,5 рази менше, ніж у ЦЦ/, незважаючи на інтенсивне збільшення міцності у початковій строки тверднення.

Шлаколузні в'язучі відрізняються від інших мінеральних в'язучих тим, що вони зачіняються не водою, а концентрованими водними розчинами сполук лужних металів. Температура замерзання цих розчинів значно менша за 0 °С. Лужні компоненти можуть бути одночасно протиморозною добавкою і в'язучі можуть досить інтенсивно тверднути при від'ємних температурах.

Таким чином, найголовніші фізико-механічні властивості шлаколузких в'язучих дають можливість використовувати їх не тільки для масового будівництва, а й у ряді спеціальних випадків будівельної індустрії /наприклад, як низькотемпературне в'язуче при проведенні зимових робіт тощо/.

6.3.4. Гідратація і тверднення шлаколузких в'язучих

Продуктами гідратації й тверднення шлаколузких в'язучих є низькоосновні гідросилікати кальцію групи *C₂S/H* тоберморитової фази, кальцити, гідрокарбосилікати, змішані гідросилікати, алюмосилікати, а також лужні гідросилікати типу томсоніту, гідронефеліну, аналіриму, натроліту.

Розрізняють три етапи у процесі гідратації й тверднення шлаколузких в'язучих.

Перший - гідролітичне розчинення шлакового скла під дією лугів:

а/ утворення лугів у результаті катіонного обміну лужної солі з гідроксидом кальцію;

б/ розчинення силікатних складових складовидної фази шлаків під дією лугів з утворенням лужних гідросилікатів.

Другий етап - виникнення коагуляційної будови, яка переходить коагуляційно-кристалізаційну:

а/ взаємодія лужних гідросилікатів з оксидом кальцію шлакового скла з утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію та виділенням лугів;

б/ подальша взаємодія лугів з шлаковим склом, у тому числі з більш стійкою алюмосилікатною складовою; утворення гідросилікатів.

Третій етап - перехід коагуляційно-кристалізаційної будови у кристалізаційну, при цьому утворюється конгломерат шлакового каменю, який містить поряд з гелевидною складовою низькоосновні гідросилікати кальцію /тоберморитову фазу/, кальцити, гідрокарбосилікати, лужні алюмосилікати.

Роль лугів у процесі тверднення шлаколужних в'язких зводиться до інтенсифікації руйнування і гідролітичного розчинення скла; участі в утворенні проміжних продуктів /лужних гідросилікатів та гідроалюмінітів/; участі в утворенні лужних алюмосилікатів; утворенні середовища, яке зумовлює високу стійкість низькоосновних кальційових гідросилікатів.

За аналогією з будовою затверділого цементного каменю, який В.Н.Диг назвав "мікробетоном", будова затверділого шлаколужного в'язкого також може бути представлена у вигляді конгломерату, що складається із зерен шлаку, який не прореагував, переважно кристалічної його фази, з цементованою гелевидною масою, яка у свою чергу пройнята кристалічними зростками гідратних новоутворень з різною будовою.

Кристалічні новоутворення /тоберморитова фаза/, які виникають у результаті гідратації шлаків, мають постійний склад, мало схильний до старіння. Оскільки цим новоутворенням притаманний високий ступінь дисперсності, то перекристалізація такої будови, що можлива з часом, менше вплине на зниження механічної міцності каменю, а лужне середовище забезпечить високу стійкість гелевидної та криптокристалічної будови.

Розчинність низькоосновних гідросилікатів кальцію, коливається в межах 0,035-0,060 г/л, а лужних алюмосилікатів ще нижче. Отже, виникають більш стійкі новоутворення, ніж ті, які характерні для портландцементного каменю ($Ca(OH)_2$, C_2SH_2 , C_3AH_6). Їх розчинність дорівнює 0,5-1,3 г/л. Таким чином, низька розчинність новоутворень і постійність будови з часом стають вирішальними факторами, які забезпечують довговічність шлаколужного каменю.

6.3.5. Заповнювачі шлаколужних бетонів

Відмітною, найбільш характерною і принциповою особливістю шлаколужних в'язких є те, що ідкі луги, які вводять як лужний компонент,

або які виникають у процесі гідратації в'язучих, взаємодіють не тільки зі шлаком, а й із заповнювачами, в першу чергу з глинистими і пиловими частинками, які утворюють нерозчинні лужні алюмосилікати - аналоги природних цеолітів. Тому глиняні і пилові домішки у заповнювачах, які беруть участь в хімічній і хемосорбційній взаємодії з лугами, є корисними для будови, вони сприяють ущільненню матеріалу і підвищенню його міцності. Оскільки в загальному балансі міцність бетону має помітний приріст за рахунок взаємодії в'язучого і заповнювача, шлако-лужні в'язучі слід розглядати як такі, що принципово відрізняються від традиційних кальцієвих в'язучих.

6.3.6. Шлаколужні бетони та їх властивості

Експериментально встановлено, що вміст компонентів за масою у шлаколужних бетонів такий:

мелений гранульований шлак - 15-30% /300-600 кг/м³/;

лужний компонент - 0,5-1,5% /10-40 кг/м³/;

заповнювачі - 70-85% /1500-2000 кг/м³/.

Водовимого бетонних сумішей залежить у першу чергу від дисперсності заповнювача, тонкості помелу шлаку, співвідношення компонентів, а також інших факторів. Бетонні суміші на піщаних заповнювачах мають робочу вологість 8-12%, на супісках - 12-15%. Для порівняння - у цементно-бетонних сумішах вологість становить 6-10%.

Затверділі шлаколужні бетони являють собою штучні кам'яні матеріали дрібнозернистої конгломератної будови. У конгломераті містяться зерна кварцу, які тільки по поверхні прореагували з лужними компонентами; глиняні та алевритові частинки, які значною мірою вступили в хімічну і хемосорбційну взаємодію з лугами; а також зерна шлаків, що не прореагували, переважно їх кристалічна фаза. Цементуючою речовиною конгломерату є гідратні новоутворення з різної будовою та розмірами кристаліків, які утворюються при взаємодії шлаків і найбільш реакційноздатних ґрунтових частинок з лугами, а також гелевидна маса, пройнята кристалевими зростками цих новоутворень. Крім того, у конгломераті розподілені рідка фаза /розчин лужного компонента/ та повітря.

Середня густина звичайних /важких/ бетонів коливається у межах 1900-2300 кг/м³, у найбільш компактних бетонів досягає 2400 кг/м³.

Границя міцності при стиску бетонів природного тверднення коливається у межах 100-600 кгс/см², пропарених бетонів 200-1200 кгс/см², після автоклавної обробки 300-1500 кгс/см² / при ущільненні трамбуванням міцність досягає до 1800-2000 кгс/см²/.

У виробничих умовах при звичайному віброутільненні виробів марка пропареного бетону "500"- "600", а при застосуванні додаткового навантаження до 20 г/см^2 - "600"- "800".

Границя міцності при розтягу дорівнює $1/10-1/15 R_{ст}$, а границя міцності при згині $1/7-1/10 R_{ст}$. Коефіцієнт однорідності притиску $0,60-0,65$. Коефіцієнт розм'якшення $0,9-1,0$. У бетонах природного твердіння він може перевищувати $1,0$.

Модуль пружності бетонів на крупному заповнювачі такий самий, як і звичайних, а на дрібнозернистому заповнювачі дорівнює $1,9-3,2 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$; гранична стискуваність $1-2 \text{ мм/м}$; гранична розтягуваність $0,15-0,30 \text{ мм/м}$. Гранична повзучість бетонів на піщаному заповнювачі $1,5-2,5$, а на супіщаному - на $20-30\%$ більша. Зчеплення з арматурою $25-80 \text{ кгс/см}^2$; теплопровідність $0,8-1,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; коефіцієнт температурного розширення $0,9-1,5 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}$. Стисність $0,2-1,2 \text{ г/см}^2$, що відповідає показникам стисності гірських порід типу гранітів та шільних піщаників.

Пори у шлаколуїних бетонах, як правило, замкнуті, мають округлу форму, що пояснюється підвищеним поверхневим натягом лужного розчину. Така будова пор сприяє високій водонепроникності та морозостійкості, зниженню коефіцієнта фільтрації. При випробуванні на водонепроникність шлаколуїні бетони витримать тиск до $15-25 \text{ атм}$. Морозостійкість звичайних бетонів становить $200-300$ циклів, а в окремих випадках досягає $700-1000$ циклів.

Коефіцієнт фільтрації віброваних бетонів на піщаному заповнювачі дорівнює $5 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-12} \text{ см/с}$, проти $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-9} \text{ см/с}$ для цементних бетонів на такому самому заповнювачі при $В/Ц < 0,5$. Відомо, що тільки шляхом застосування спеціальних методів умілювання, хімічних уцілюючих та гідробіауючих добавок можна знизити коефіцієнт фільтрації цементних бетонів до $1 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-12} \text{ см/с}$.

У складі шлаколуїних бетонів міститься визначена рівноважна кількість вільного дугу. Експериментально встановлено, що шляхом примусового вимивання - при дворазовій зміні дистильованої води, у якій зберігалися зразки, за добу, протягом двох місяців вимивається тільки до $30-40\%$ дугів, які містяться в матеріалі. При цьому механічна міцність бетонів не тільки не знижується, а збільшується до $10-15\%$ у порівнянні з початковим.

Висока густина шлаколуїних бетонів, а також наявність постійного лужного середовища сприяє зберіганню в них сталевій арматури. Високий і постійний водневий показник середовища $pH > 12$, добре зчеплення з арматурою дають можливість виготовляти конструкції, армовані звичай-

нов стержневою арматурою і тонким високоміцним дротом /як звичайно армовані, так і попередньо напружені/.

Для високих температур на шлаколужні бетони позначається таким чином. При температурі близько 150 °C спостерігається значне підвищення міцності, при 600–800 °C помічається спад, а після 1000 °C міцність знову збільшується і не тільки досягає початкових показників, а в деяких випадках і перевищує їх. Це пояснюється тим, що на початку міцність підвищується внаслідок продовження гідратації за рахунок вологи, яка збереглася у бетоні. Після цього проходить втрата гідратної води гелевидними новоутвореннями, потім починають виникати модифікаційні перетворення кварцу і, нарешті, відбувається кристалізація шлакового скла. Підвищення міцності при 1000 °C пояснюється тим, що маса починає спікатися внаслідок розплавлення лужних добавок. Таким чином, шлаколужні бетони можна використовувати як жаротривкі матеріали.

6.3.7. Легкі та ніздроваті шлаколужні бетони

Наряду із звичайними /важкими/ бетонами середньої густини 1900–2400 кг/см³ можна виготовляти полегшені і легкі, в тому числі ніздроваті шлаколужні бетони.

Якщо замінити всю або певну частину заповнювача легкими пористими матеріалами /керамзитом, аглопоритом, шлаковою пемзою, спученим перлітом, спученим вермикулітом, легкими природними заповнювачами/, то можна здобути легкі та полегшені бетони. Найбільш ефективні показники відносно міцності таких бетонів досягаються при використанні немолого гранульованого шлаку як заповнювача. Такі бетони при середній густині 1300–1900 кг/м³ мають границю міцності при стиску відповідно 40–500 кгс/см².

Технологія ніздроватих шлаколужних бетонів принципово не відрізняється від технології піно- та газобетонів. Тісто готують на основі молотого шлаку чи шлаколужного в'язучого, яке містить змелену добавку гірських порід чи промислових відходів /зола, горілі породи та ін./.

Рекомендується більш тонкий помел шлаку чи в'язучого /питома поверхня 3500–4000 см²/г/. Як піноутворювачі застосовуються такі самі речовини, що і для цементного пінобетону. Доцільно використовувати каніфоль з рідким склою, бо останні одночасно виконують роль компонента в'язучого і піноутворювача.

Якісним газоутворювачем у шлаколужних газобетонах є алумінійова пудра, проте при витратах, які рекомендуються для цементних бетонів, проходить бурне газовиділення, починаючи з моменту зачинення суміші.

Тому доцільно брати порошок алюмінію у 5-10 разів менше, тобто 0,02-0,03% від маси в'язучого, при цьому не обов'язково застосовувати підігріту воду.

Надривати бетони, котрі тверднуть без теплової обробки, як правило, мають високу механічну міцність. Пропарені бетони, й особливо ті, які піддавались автоклавній обробці, за міцністю можуть бути віднесені до конструкційних матеріалів. Пропарені бетони при середній густині 500-600 кг/м³ мають міцність при стиску 25-40 кгс/см², а при 800-1000 кг/м³ від 50 до 75 кгс/см². Теплопровідність прямо залежить від середньої густини бетону і становить у середньому 0,12-0,20 Вт/(м·°C).

7. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

7.1. Визначення і класифікація будівельних розчинів

Будівельним розчином називають затверділу до каменевидного стану раціонально дібрану суміш, що складається з в'язучої речовини, дрібного заповнювача /піску/ і води. До затверднення цю суміш називають розчиною сумішшю. Для надання розчинам певних технічних властивостей у розчинні суміші вводять спеціальні добавки. Розчини відрізняються від бетонів відсутністю крупного заповнювача, тобто вони є дрібнозернистими бетонами, їм притаманні всі властивості бетонів.

Будівельні розчини на гідралічних в'язучих речовинах водостійкі, їх називають гідралічними; розчини на повітряних в'язучих стійкі тільки в повітряносухих умовах, такі розчини називають повітряними.

За видом в'язучих речовин і добавок до них розрізняють цементні, вапняні і гіпсові та змішані /цементно-вапняні, вапняно-гіпсові та ін./

За середньою густиною в сухому стані: важкі / $\rho_m > 1500$ кг/м³/ на кварцовому і полевошпатному піску; легкі / $\rho_m < 1500$ кг/м³/ на пористих пісках з пемзою, туфів, черепашників, керамзиту.

За призначенням /галузям застосування/: кладкові /для скріплення каменю з каменем/; штукатурні /для обштукатурювання огорожувальних поверхонь/; спеціальні - володіють яскраво вираженими властивостями /акустичні, теплоізоляційні, рентгенозахисні тощо/. Мають вузьке застосування залежно від їх властивостей.

В'язучу речовину вибирають з урахуванням умов застосування /призначення/ розчину, температурно-вологого режиму, режиму експлуатації споруд.

7.2. Властивості розчинової суміші

Властивості будівельних розчинових сумішей характеризуються рухливістю і водозатримувачою здатністю; багато в чому вони аналогічні бетонним сумішам.

Рухливість розчинової суміші визначається глибиною занурення в неї металевого конуса масою 300 г з кутом при вершині 30° . Залежно від призначення розчину і умов виконання робіт: для цегляної кладки - 4-6 см; в разі вібрування розчину - 1-3 см; для накидання першого шару штукатурки - 8-11 см; другого - 6-8 см.

Із збільшенням вмісту цементного тіста рухливість розчинової суміші збільшується; підвищується при таких самих затратах цементу/і з введенням пластифікуючих добавок: глини; тонкомеленого вапняку, вапняного тіста, милонафту, сульфітно-спиртової барди та ін.

Водозатримувача здатність має для розчинових сумішей велике значення, бо пористі основи каменів, всмоктуючи вологу, можуть дуже зменшити розчин і таким чином вплинути на процес твердіння. Разом з тим при частковому відсмоктуванні вологи з розчину з доброю водозатримувачою здатністю його міцність підвищується.

Низька водозатримувача здатність розчинових сумішей проявляється при їх транспортуванні. У цьому разі розчини починають розшаровуватися.

Для підвищення водозатримувачої здатності в розчинів суміші вводять пластифікатори - вапняне і глиняне тісто та ін.

7.3. Властивості затверділих будівельних розчинів

Властивості затверділих будівельних розчинів визначаються їх міцністю і довговічністю.

Міцність розчину залежить від тих самих факторів, що й міцність бетону: від активності в'язучої речовини і цементного відношення. Цю залежність можна виразити формулою

$$R_p = 0,25 R_4 \left(\frac{4}{B} - 0,4 \right),$$

де R_p - міцність розчину, кгс/см²; R_4 - активність цементу, кгс/см²; $4/B$ - цементно-водне відношення.

Цю формулу застосовують для розчинів, укладених на щільну основу; при пористій основі міцність приблизно в 1,5 раза більша.

Міцність розчинів на стиск визначають на зразках-балочках 4x4x16 см, або на зразках-кубиках розміром 7,07x7,07x7,07 см. Вона значно менша від міцності бетону; для розчинів встановлено такі марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300; за морозостійкості F - 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300.

Довговічність розчинів залежить від тих самих факторів, що й у бетонів.

7.4. Склад розчинів

Склад розчину визначається співвідношенням цементу, вапняного або глиняного тіста і піску. Наприклад, у змішаних розчинах склад буде такий 1:0,3:6,0, а в пористих /цементних/ 1:0,6,0.

Затрати цементу визначають за формулою

$$R_p = K R_u (C - 0,05) + 4,$$

де C - затрати цементу на 1 м^3 піску, т; K - коефіцієнт, що враховує зерновий склад піску: при крупному піску - 1,0, при середньому - 0,8, при дрібному - 0,6 і дуже дрібному - 0,4.

Звідси

$$C = \frac{R_p - 4}{K R_u} + 0,05$$

Кількість вапняного або глиняного тіста, що його вводять у суміш для підвищення її легкоукладності, визначають за формулою

$$I = 0,15 \pi - 0,3,$$

де I - мінімальне число об'ємних частин тіста, що припадають на одну об'ємну частину цементу; π - число об'ємних частин піску, що припадають на одну об'ємну частину цементу, $\pi = \frac{\rho_{н.п.}}{C}$; $\rho_{н.п.}$ - насипна густина цементу в пухконасипному стані $\frac{1}{\rho_{н.п.}} = 1200 \text{ кг/м}^3$.

Затрати води визначають дослідним способом, виходячи із заданої рухливості; воду або пісок додають залежно від ступеня його рухливості. Потім виготовляють зразки-кубики і віком 28 діб визначають границю міцності при стиску. Якщо міцність недостатня, то збільшують затрати цементу на 10-15%; якщо вона більша за задану, затрати зменшують.

7.5. Спеціальні розчини

Розчини для заповнення швів між елементами збірних залізобетонних конструкцій готують на ПЦ. Марка не нижча за 100, рухливість 7-8 см.

Ін'єкційні розчини - марка не менш як 300. Застосовуються для заповнення каналів в попередньо напружених конструкціях, для захисту арматури від корозії і для кращого скріплення її з бетоном.

Розчини для підлог бувають:

а/ цементно-піскові /застосовуються для стягування підлог /М50/, підготовки під укладання плит і плиток /М75/, підготовки підвалів під підлогу з бетонних плит, клинкеру, бруківки /М150//;

б/ металопіщані /заповнювач - дрібна сталеві стружка, марка до 500 і більше//;

в/ цементно-тирсові /застосовуються для влаштування підвалів під підлоги//;

г/ полімерцементні /застосовуються для підготовки підвалів під підлоги на хімічних і нафтопереробних підприємствах, мають високу непрониємність і стійкість проти води, масел, нафтопродуктів//.

Гідроізоляційні розчини застосовуються для гідроізоляційної штукатурки при дії агресивного середовища, для замурування тріщин і каверн у бетоні. Готують їх на ПЦ, сульфатостійкому ПЦ, РПЦ.

Тампонажні розчини застосовуються для закупорювання нафтових і газових свердловин, для замурування водноносних тріщин у шахтах. Марки 25, 50, 75, 100. Мають високу корозійну стійкість. Готують на ППЦ, ППЦ, сульфатостійкому ПЦ.

Акустичні розчини застосовують як звукобіруючу штукатурку для зниження рівня шуму. Їх середня густина 600-1200 кг/м³. Як в'язучі використовують ПЦ, ППЦ, вапно, гіпс або їх суміші і каустичний магнетит. Заповнювачами служать однофракційні піски крупністю 3-5 мм з легких пористих матеріалів: пензи, шлаків, перліту, кераманту тощо. Кількість в'язучої речовини і зерновий склад в'язучого в акустичних розчинах повинні забезпечувати відкриту незаповнену пористість розчину.

Рентгенозахисні розчини застосовують для внутрішньої штукатурки рентгенокабінетів. Це важкі розчини $\rho_m > 2200 \text{ кг/м}^3$. В'язучі речовини - ПЦ і ППЦ, заповнювачі - барит та інші важкі породи у вигляді піску крупністю 1,25 мм і пилю. Для поліпшення захисних властивостей у рентгенозахисні розчини суміші вводять добавки, які вимують водень, бор, літій, кадмій тощо.

7.6. Приготування розчинів

Будівельні розчини готують двох видів: у вигляді готової розчинової суміші необхідної рухливості і сухих розчинових сумішей, які перед застосуванням змішують з водою і в необхідних випадках вводять спеціальні добавки.

Будівельні розчини готують в централізованому порядку на бетоно-розчинних заводах або розчиннозмішувальних вузлах.

Склади розчинів для здобування заданої марки добирають так, щоб забезпечувалася певна міцність розчину до зазначеного строку тверднення при найменших затратах цементу. Дозування матеріалів проводять за масою. Розчини готують у розчиномішалках періодичної дії місткістю 150, 375 і 750 л або в розчиномішалках безперервної дії. Тривалість перемішування звичайних розчинів – 1,5–2,5 хв, легких розчинів – 2,5–3,5 хв і розчинів з гідралічними та іншими добавками до 5 хв.

Будівельні розчини перевозять у спеціально влаштованих автоцистернах з автоматичним вивантаженням або автосамоскидах; на будівельних майданчиках розчини транспортують розчинонасосами.

8. БЕТОНИ

8.1. Визначення і класифікація бетонів

Бетоном називають штучний кам'яний матеріал, який являє собою затверділу суміш з в'язучої речовини, води, дрібного /піску/ і крупного /щебеню або гравію/ заповнювача. У незатверділому стані його називають бетонною сумішшю. Крім основних компонентів у бетонну суміш можуть вводитися спеціальні добавки.

В'язуча речовина і вода – це активні складові, які утворюють цементну масу, а заповнювачі – інертні, вони утворюють каркас бетону. Цементне тісто обкутує зерна заповнювачів і заповнює порожнини між ними. Тверднучи, тісто зв'язує зерна заповнювачів у штучний камінь конгломератної будови.

Переваги бетону як будівельного матеріалу:

- 1/ висока економічність /до 85% становлять заповнювачі – місцеві матеріали/;
- 2/ можливість здобування бетонів з різноманітними властивостями;
- 3/ відносна легкість обробки бетонної суміші;
- 4/ можливість виготовляти різноманітні за формою і розмірами деталі і конструкції;

5/ можливість повної механізації робіт на заводах залізобетонних конструкцій.

У будівництві застосовують різні бетони, які можна класифікувати за такими ознаками: фізико-механічні властивості /середня густина, міцність, морозостійкість, водонепроникність/, вид в'язучої речовини, на якій виготовлено бетон, і призначення в будівництві.

Бетони поділяють

за середньою густиною на особливо важкі $\rho_m > 2500 \text{ кг/м}^3$; важкі /звичайні/ $\rho_m = 1800-2500 \text{ кг/м}^3$; легкі $\rho_m = 500-1800 \text{ кг/м}^3$; особливо легкі $\rho_m < 500 \text{ кг/м}^3$;

за границею міцності при стиску на особливо важкі М 100-200 /В 7,5-В 15/; важкі М 100-800 /В 7,5-В 60/; легкі М 25-300 /В 2-В 25/; особливо легкі М 15-150 /В 1-В 12,5/;

за морозостійкістю на марки: важкі - F 50 - F 500; легкі - F 10 - F 300;

за водонепроникністю для гідротехнічних споруд на марки: W 2 - W 12;

за видом в'язучої речовини: цементні, силікатні /вапняні/, гіпсові, асфальтові та полімерні;

за крупністю зерен заповнювачів на дрібнозернисті $d_{max} \leq 10 \text{ мм/}$; крупнозернисті $d_{min} > 10 \text{ мм/}$;

за призначенням на звичайні - для несучих конструкцій будівель і споруд /фундаменти, колони, балки, плити, склепіння тощо/; гідротехнічні /для гребель, шлюзів, облицювання каналів тощо/; для стін будівель і легких перекриттів; для санітарно-технічних споруд /виготовлення труб, колодязів, резервуарів тощо/; для шляхових покриттів і підлог, а також спеціального призначення /кислототривкий, жаротривкий, для захисту від ядерних випромінювань та ін./.

8.2. Матеріали для важкого бетону

Основні властивості бетону /його міцність, морозостійкість, водонепроникність, довговічність тощо/, які визначаються умовами експлуатації конструкцій, зведених з цього бетону, залежать від якості складових та від технології приготування, укладання і тверднення бетону. Тому при зведенні бетонних конструкцій і споруд треба виконувати певні вимоги.

В'яжучі речовини. Для приготування звичайного бетону як в'яжучу речовину використовують ПЦ і його різновиди, а також інші види цементів. Вибір марки цементу та його виду визначається заданою міцністю бетону, умовами його тверднення /природні і штучні - пропарювання, електропрогрівання/ та експлуатації споруди.

Марку цементу R_4 добирають так, щоб вона перевищувала задану марку бетону R_5 приблизно в 2-2,5 рази. Якщо активність цементу менша за $2,5 R_5$, то затрати його значно збільшаться. Якщо вона більша за $2,5 R_5$, то цементу буде не досить, і він не забезпечить потрібної густини. В останньому випадку до цементу слід додавати тонкомелені мінеральні добавки /мелений трепел, пісок, граніт, вапняк, цеглу тощо/, а для бетонів невисокої міцності - глину, не забруднену органічними і сірчанокислими домішками. Об'єм добавки можна визначити орієнтовно за формулою

$$V_g = \frac{R_4 - 2,5 R_5}{R_4} \cdot 100 \%$$

Проте оптимальний вміст добавки можна встановити тільки дослідним способом.

Найменші допустимі затрати цементу на 1 м^3 бетонної суміші встановлено орієнтовно, виходячи з умов міцності, густини і зчеплення бетону з арматурою; для залізобетонних конструкцій, які експлуатуються на вільному повітрі або у воді, - 250 кг/м^3 ; для конструкцій, що містяться всередині будівель, - 220 кг/м^3 ; для віброваного бетону - 200 кг/м^3 .

Під час обробки виробів гарячою паром /пропарюванні/ при нормальному і підвищеному /в автоклавах/ тиску і міцності бетону не менш як 250 кг/см^2 застосовують ПЦ, пуццолановий і ШПЦ марки 400.

При електронагріванні або при безпосередньому контакті виробів з приладами обігрівання, а також при відсутності теплової обробки застосовують швидкотверднучий ПЦ марки 400 і вище.

Вода для замішування бетону має бути чистою /питною/, без домішок кислот, сульфатів, жирів та інших речовин.

Не можна застосовувати болотні, торф'яні, а також стічні води, забруднені промисловими відходами. Вміст сірчанокислих солей у воді допускається не більш як 5 г/л . Водневий показник не менший від 4.

Якість води перевіряють, порівнюючи міцність на стиск бетонних зразків, приготовлених на питній і на випробуваній воді. Міцність випробуваних зразків у 28-денному віці має бути не меншою від тієї, яку мають зразки, виготовлені на питній воді.

Пісок /дрібний заповнювач/ являє собою пухку суміш зерен розміром від 0,14 до 5 мм. Піски можуть бути природними /результат природного руйнування гірських порід/ або штучними, здобутими при подрібненні граніту, компактних вапняків та інших щільних порід.

Природні піски поділяють залежно від умов їх утворення на гірські /яружні/ з кутастою формою і шорсткою поверхнею зерен; річкові і морські з обкатаною формою і відшліфованою поверхнею зерен; донні і барханні, що складаються з дуже дрібних зерен. Для бетону найкращими вважають гірські піски, бо їх зерна добре зчіплюються із затверділим цементним тістом /цементний камінь/. Для важких бетонів широко застосовують кварцовий пісок.

Штучні /подрібнені/ піски з гострокутною формою зерен, що мають велику шорсткість, найбільш ефективні для приготування бетону. Вони не мають шкідливих домішок, які трапляються у природних пісках. Проте їх недоліком є висока вартість.

До шкідливих домішок у пісках належать слюда, глинисті і пиловидні частинки, органічні речовини. Гладкі блискучі пластинки слюди погано зчіплюються з цементним каменем, і він швидко руйнується. Глинисті і пиловидні частинки обволікають зерна піску і перешкоджають їх зчепленню з цементним каменем. Тому таких частинок в природному піску не повинно бути більш як 3% за масою, а в подрібненому - 5%. Якщо їх більше, то пісок промивають водою в спеціальних машинах.

Органічні домішки /рослини, тваринні організми/ також можуть руйнувати бетон. Вміст цих домішок виявляють відмулюванням. Кількість їх не повинна перевищувати 3% в природному піску і 4% в штучному /подрібненому/. Їх присутність виявляють за кольором рідини /колометричним методом/ над піском, залитим 3%-м розчином ідкого натру; колір рідини не повинен бути темнішим за ясно-жовтий /або колір еталона/. Інакше пісок промивають вапняним молоком, а потім водою.

На міцність бетону впливає також зерновий склад піску. Крупні піски в цьому розумінні вигідніші, бо сумарна площа поверхні їх частинок менша, ніж у дрібного піску, і тому на їх обволікання потрібно менше цементного тіста. Зерновий склад піску має відповідати кривій просіювання, що вибирається при визначенні складу бетону / $M_k = 2,0-3,5\%$.

Об'єм пустот у піску має бути можливо меншим /не більш як 40%, щоб на їх заповнення витрачалася мінімальна кількість цементу. У піску із зернами різного розміру проміжки між крупними піщинками заповнююватимуться дрібними і, таким чином, об'єм пустот у піску зведеться до мінімуму.

Насипна густина звичайного кварцового піску в пухкому стані дорівнює 1500 кг/м^3 і більше, а в ущільненому - $1600-1700 \text{ кг/м}^3$. Найменшу насипну густину має пісок при вологості 5-7%. Чим вища насипна густина піску, тим міцніші і морозостійкіші його зерна. Тому для відповідальних конструкцій слід застосовувати піски з високою насипною густиною /не менш як 1550 кг/м^3 /.

Гравій /щебінь/. Гравієм називають матеріал, що утворився в результаті природного руйнування гірських порід з обкатою формою зерен.

Щебінь здобувають при подрібненні шільних гірських порід /граніт, базальт, вапняк тощо/. Він відрізняється від гравію гострокутною формою зерен і шорсткою поверхнею. Тому щебінь як заповнювач надає бетону більшої міцності, ніж гравій. Крім того, щебінь, який здобувають штучним способом, не містить шкідливих домішок, а в гравії, так само, як і в природному піску, вони звичайно є. Це глинисті і пило-видні частинки /у гравії їх має бути не більш як 1% і органічні домішки, наявність яких встановлюють так само, як і в піску/.

Форма і розміри зерен гравію і щебеню також впливають на міцність бетону. Голкуваті і пластинчасті зерна гравію знижують міцність, і тому в бетоні високих марок їх не повинно бути більш як 15%. Марка зерен за міцністю при стиску вихідної гірської породи в насиченому водоні стані має бути вища від марки бетону: не менш як в 1,5 рази - для марок бетону нижче 300 і не менш як у 2 рази - для марок 300 і вище.

Зерна крупного заповнювача повинні бути різні за розмірами /від 5 до 70 мм; поділяються на фракції 5-10, 10-20, 20-40, 40-70 мм/, щоб проміжки між крупними зернами заповнювалися дрібнішими частинками, тоді пустотність буде невеликою /не більш як 45%/. Для бетону доцільно використовувати крупніший заповнювач, бо сумарна площа поверхні зерен, що обволікаються цементним тістом, буде невелика, що дасть економію цементу.

Найбільший розмір зерен гравію або щебеню має бути не більшим від $1/3$ найменшого розміру перерізу конструкції, а для залізобетонних конструкцій - не більше $3/4$ найменшого просвіту між стержнями арматури; в плитах, стелях і перекриттях крупність зерен не повинна перевищувати $1/2$ товщини конструкції. Для бетонування масивних гідротехнічних споруд допускається застосування заповнювача з крупністю зерен понад 70 мм.

У практиці будівництва масивних споруд іноді використовують каменебетон, що його одержують, занурюючи в бетонну суміш каміння крупністю від 80 до 450 мм; це знижує затрати цементу і вартість конструкції, а також поліпшує властивості бетону.

Зерновий склад гравію або щебеню визначають, просіваючи їх крізь стандартний набір сит /фр. 5-10; 10-20; 20-40 і 40-70 мм/, а потім будують криву просіювання.

Насипна густина крупного заповнювача а щільних порід дорівнює 1400-1600 кг/м³.

Добавки до бетонів вводяться для поліпшення властивостей і техніко-економічних показників.

Прискорювачі тверднення прискорюють тверднення і наростання міцності бетону, особливо в ранні строки. До них належать $CaCl_2$, $NaCl$, сірчаноокислий глинозем $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, поташ K_2CO_3 . Їх не рекомендується застосовувати в попередньо напружених залізобетонних конструкціях при діаметрі арматури менш як 5 мм і для бетонів автоклавного тверднення.

Поверхнево-активні добавки - це органічні речовини, які вносять у бетонні і розчинні суміші для поліпшення їх легкоукладності, зменшення В/Ц відношення і затрат цементу без зниження міцності виробів. Уведення ПАР у кількості /0,05-0,2%/ маси цементу зменшує затрати цементу на 7-10%. ПАР підвищують водонепроникність, морозо- і корозійну стійкість затверділого бетону.

Всі поверхнево-активні добавки /пластифікуючі/ за своїм впливом на цементні системи поділяють на три групи:

а/ гідрофілізуючі - при замішуванні в'язкого водю запобігають на певний час злипанню частинок між собою. При цьому вивільнюється певна кількість води. Тому необхідна легкоукладність суміші з добавкою здобувається при меншій кількості води /зниження В/Ц/. Найбільш широко застосовуються сульфітно-спиртова бражка, сульфітно-дріжджова бражка, випарена післядріжджова бражка;

б/ гідрофобізуючі - підвищують нерозшаровуваність і зв'язність суміші, яка перебуває в стані спокою. Вони також підвищують пластичність і легкоукладність. Це пояснюється мастильними діями тонких шарів ПАР. Застосовуються олеїнова і стеаринова кислоти, бітумні емульсії, кремнійорганічні полімери, тощо;

в/ повітрятягучі - сприяють утягуванню додаткової кількості повітря в бетонну суміш, що збільшує об'єм цементного тіста без збільшення затрат цементу. Легкоукладальність підвищується. Застосовують смола нейтралізовану повітрятягучу /СНП/, відмилений деревний пек /ВДП/, смола деревну відмилену /СДВ/.

Піногазоутворювачі застосовуються у виробництві ніздроватих бетонів /піноутворювачі - клеєканіфольний, смолосапініновий, гідролізована кров тощо; газоутворювачі - алюмінійова пудра, пероксид водню/.

Комплексні добавки, наприклад, пластифікатор /СДБ/, прискорювач тверднення *Calc*, та інгібітор корозії нітрат натрію $NaNO_3$ знижують затрати цементу.

Спеціальні добавки застосовуються для здобування водонепроникних бетонів тощо.

8.3. Властивості бетонної суміші

За фізико-хімічними властивостями бетонні суміші займають проміжне місце між твердими пружними тілами і в'язкими рідинами.

Тиксотропія - властивість бетонної суміші "розріджуватися" під дією механічних зусиль /вібрування, трамбування тощо/ і знову "загустіти" у спокійному стані.

Легкоукладність - це властивість бетонної суміші легко з мінімальними затратами енергії заповнювати форму, не розшаровуватися при укладанні і забезпечувати здобування бетону високої густини, міцності і довговічності. Показниками легкоукладності є рухливість і жорсткість.

а/ Рухливість - це властивість бетонної суміші розтікатися під власною вагою або зовнішніх зусиль /вібрування, трамбування, пресування, центрифугування тощо/. За ступенем рухливості в момент приготування бетонні суміші умовно поділяються /за осіданням бетонного конуса/ на литі - $O_K > 15$ см, рухливі - $O_K = 4-15$ см і малорухливі /пластичні/- $O_K = 1-3$ см.

б/ Жорсткість також характеризує здатність бетонної суміші розтікатися під дією власної ваги або зовнішніх сил. Всі жорсткі суміші мають осідання конуса $O_K = 0$, проте у них різний ступінь жорсткості. Вони бувають малорухливими /0-30 с/, жорсткими /30-200 с/ і особливо жорсткими / > 200 с/. У литих і рухливих бетонних сумішей жорсткість дорівнює нулю.

Пластичність характеризує внутрішню зв'язність бетонної суміші і здатність її формуватися без розривів і розшарування на окремі складові.

Бетонна суміш має відповідати вимогам рухливості і легкоукладності - це потрібно для щільного укладання суміші в опалубку або форму; причому бетонна суміш не повинна розшаровуватися на заповнювачі і цементне тісто ні до укладання, ні в процесі його.

Рухливість і легкоукладальність бетонної суміші підвищуються при збільшенні вмісту води /але при цьому зменшується міцність бетону/ і цементного тіста, при крупнішому заповнювачі і обкатаній формі зерен /гравію/.

Вибір рухливості бетонної суміші залежить від типу конструкції і способів ущільнення. Жорсткі суміші, що потребують меншої кількості цементу при заданій міцності бетону, вважають найбільш економічними, але їх укладання дуже трудомістке, бо потребує спеціального ущільнення.

Для підвищення рухливості в бетонні суміші вводять пластифікуючі добавки /ССБ, СДБ, УПБ, С-3/.

8.4. Основні властивості бетону

Основні властивості бетону зумовлюються його міцністю і довговічністю, що залежать від якості складових матеріалів та їх співвідношення у бетоні, способу укладання та умов тверднення.

Міцність бетону характеризується маркою, яку встановлюють за границею міцності при стиску кубічних зразків розміром 15х15х15 см. Ці зразки виготовляють з бетонної суміші даного складу, зберігають в нормальних умовах /при відносній вологості повітря до 100% і температурі 15-20 °С/ і випробовують у віці 28 діб.

Міцність бетону залежить головним чином від активності цементу, водоцементного відношення, виду заповнювача і строків тверднення. Цю залежність можна виразити формулою, МПа:

$$R_{28} = A R_u \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right),$$

де R_{28} - границя міцності бетону при стиску у віці 28 днів; A - коефіцієнт, що залежить від виду крупного заповнювача; R_u - активність цементу, МПа; C/B - цементно-водне відношення /величина, обернена водоцементному відношенню/.

Для бетонів з $C/B > 2,5$ ($C/B < 0,4$) користуються формулою:

$$R_{28} = A R_u (C/B + 0,5)$$

Міцність бетону віком n днів, МПа:

$$R_n = R_{28} \frac{g_n}{g_{28}}$$

де n - число днів тверднення бетону.

Значною мірою властивості бетону визначаються масовим співвідношенням води і цементу B/C . Чим менше це відношення, тобто чим менше

води в бетоні, тим він міцніший. Для тверднення бетону досить $V/C = 0,15-0,20$, тобто вода становить 15-20% від маси цементу. Але при такому вмісті води бетонну суміш практично дуже важко перемішувати і укладати. Звичайно ж для бетонних сумішей беруть $V/C = 0,4-0,7$. Жорсткі суміші, що укладають з вібруванням, повинні мати водоцементне відношення 0,3-0,4.

Густина бетону залежить від наявності пор у ньому. Пори утворюються внаслідок випаровування надлишку води і неповного видалення повітряних бульбашок при ущільненні бетону.

Густина підвищується при старанному доборі зернового складу заповнювача та інтенсивному вібруванні. Крім того, ефективні пластифікаторні добавки, які знижують потребу суміші у воді при такій самій рухливості.

Усадка або розширення бетону супроводять процес його тверднення. На повітрі тверднучий бетон дає усадку приблизно 0,05-0,15 мм на 1 м довжини зразка. При твердненні у воді бетон або зовсім не змінюється в об'ємі, або дещо розбухає.

Усадочні деформації можуть спричинити досить значні тріщини в бетоні, що призведе до його руйнування. Тому слід запобігати усадці, забезпечуючи достатню вологість при твердненні бетону і вживати інших заходів.

Довговічність бетону зумовлюється певними експлуатаційними умовами і впливом середовища /води, морозу, високої температури тощо/.

Для різних агресивних вод може викликати корозію бетону, причиною якої викладені раніше.

Морозостійкість має особливе значення для гідротехнічних споруд, що перебувають в умовах постійного зволоження і періодичного замерзання. Тому бетон для таких конструкцій повинен відповідати спеціальним вимогам морозостійкості і водонепроникності.

При тривалій дії високої температури зменшується міцність бетону, але руйнується він не одразу. Це дає змогу віднести його до вогнестійких матеріалів.

8.5. Добір складу бетону

Склад бетонної суміші виражають масовим /рідше об'ємним/ співвідношенням між вмістом цементу, піску і щебеню /гравію/ з обов'язковим зазначенням водоцементного відношення V/C .

При цьому кількість цементу беруть за одиницю; тому в загальному вигляді склад бетону можна виразити формулою

1: x : y

при В/Ц = 2

де x , y - масові частини відповідно піску і щебеню /гравію/, що припадають на одну масову частину цементу; 2 - цифровий показник водоцементного відношення.

Наприклад, склад 1:2, 6:4,8 при В/Ц = 0,6.

Склад бетону можна позначити й іншим способом - затратами матеріалів у масі на 1 м³ готової суміші. Наприклад:

цементу - 250 кг	} = 2250 кг
піску - 650 кг	
щебеню - 1200 кг	
води - 150 кг	

Розрізняють два склади бетону: номінальний /лабораторний/, встановлений для сухих матеріалів, і виробничий /польовий/, коли заповнювачі перебувають у природно вологому стані.

Розраховуючи склад бетону, виходять з його заданої марки, потрібної рухливості /осідання конуса/ і легкоукладності бетонної суміші.

Склад бетонної суміші обчислюють в такому порядку:

1/ визначають /переважно дослідним способом/ водоцементне відношення, яке забезпечує задану міцність бетону;

2/ попередньо визначають затрати цементу і води на 1 м³ бетонної суміші;

3/ попередньо обчислюють затрати заповнювачів на 1 м³ бетонної суміші;

4/ перевіряють рухливість і легкоукладність бетонної суміші, вносять поправки до її складу;

5/ вибирають найраціональніше співвідношення піску і крупного заповнювача і знаходять остаточний склад бетонної суміші;

6/ перелічують лабораторний склад бетонної суміші на виробничий;

7/ перевіряють міцність бетону, випробувачи зразки-кубики.

Водоцементне відношення В/Ц/ знаходять з формули

$$\frac{B}{C} = \frac{R_{ц}}{2R_{28} + AR_{ц}}$$

Затрати води В/ визначають, виходячі із заданої рухливості суміші /осідання конуса/ з допомогою графіка або таблиць.

Затрати цементу Ц/ визначають з водоцементного відношення і затрати води, кг:

$$Ц = \frac{B}{B/C} \cdot 106$$

Затрати щебеню /гравію/ визначають з умови, що сума абсолютних об'ємів усіх компонентів бетону дорівнює 1000 л:

$$\frac{C}{\rho_{\text{ш}}} + \frac{\pi}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{ш}_{\text{г}}(r)}{\rho_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)} + B = 1000, \quad /1/$$

де π , $\text{ш}_{\text{г}}(r)$ - затрата піску і щебеню /гравію/; $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)$ - густини піску і щебеню /гравію/.

Цементно-піщаний розчин заповнить об'єм пустот крупного заповнювача з деяким розсуванням зерен:

$$\frac{C}{\rho_{\text{ш}}} + \frac{\pi}{\rho_{\text{п}}} + B = V_{\text{ш}_{\text{г}}}(r) \frac{\text{ш}_{\text{г}}(r)}{\rho_{\text{п}_{\text{ш}_{\text{г}}}}(r)} \alpha, \quad /2/$$

де $V_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)$ - пустотність щебеню /гравію/; $\rho_{\text{п}_{\text{ш}_{\text{г}}}}(r)$ - насипна густина щебеню /гравію/; α - коефіцієнт розсування зерен щебеню /гравію/; для жорстких сумішей $\alpha = 1,05-1,10$, для пластичних - $\alpha = 1,2-1,3$ /тобто об'єм розчинів на 5-30% більший, ніж об'єм пустот у крупному заповнювачі/.

Розв'язуючи разом рівняння /1/ і /2/, знаходимо затрати щебеню /гравію/, кг:

$$\text{ш}_{\text{г}}(r) = \frac{1000}{\alpha \frac{V_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)}{\rho_{\text{п}_{\text{ш}_{\text{г}}}}(r)} + \frac{1}{\rho_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)}}$$

Затрати піску знаходимо, віднімаючи абсолютні об'єми цементу, води і щебеню /гравію/ від 1000 /матимемо абсолютний об'єм піску/ і множачи цю величину на густину піску, кг:

$$\pi = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_{\text{ш}}} + B + \frac{\text{ш}_{\text{г}}(r)}{\rho_{\text{ш}_{\text{г}}}(r)} \right) \right] \rho_{\text{п}}$$

Рухливість і легковикладальність перевіряють на пробному замісі. Якщо осідання конуса виявиться меншим від заданого /суміш вийшла жорсткішою/, то треба додати 5-10% цементу і стільки ж води, щоб не змінити водоцементне відношення /В/Ц/. Якщо ж осідання конуса виявиться більшим від заданого, то треба додати 5-10% піску і щебеню /гравію/.

Перелічуючи лабораторний склад бетонної суміші на виробничий, враховують вологість піску, що є у виробничих умовах, бо лабораторний склад розраховується при сухому заповнювачі і щебені /гравії/. Кіль-

кість води, потрібну для замісу, зменшують на об'єм води, що є в заповнювачі. Для збереження загальної маси бетонної суміші, підрахованої для лабораторного складу, замість води у заповнювач вводять відповідну кількість піску і щебеню /гравію/. Перевіряють міцність зразків-кубиків за всіма правилами визначення марки бетону.

8.6. Приготування, транспортування, укладання й ущільнення бетонної суміші

Якість бетону залежить від точності дозування компонентів і стійкості перемішування бетонної суміші. На бетонних заводах компоненти дозуються автоматичними дозаторами. Бетонну суміш перемішують у бетономішалках періодичної або безперервної дії. Залежно від рухливості бетонної суміші розрізняють три види бетономішалок. Гравітаційні з вільним падінням матеріалів - для литих і рухливих сумішей / $\tilde{\epsilon} = 1-4$ хв/; примусового перемішування - для малорухливих і жорстких сумішей / $\tilde{\epsilon} = 3-5$ хв/; вібропримусового перемішування - для особливо жорстких сумішей. Готують бетонну суміш централізовано - на бетонних заводах.

Спосіб доставляння бетонної суміші на об'єкт повинен забезпечувати її однорідність і рухливість. Тривалість перевезення залежить від температури бетонної суміші: при 20-30 °C не більш як 1 год, при 10-20 °C не більш як 1,5 год, при 5-10 °C не більш як 2 год. Для транспортування бетонної суміші застосовують вагонетки, транспортери, бетононасоси, пневмотранспорт тощо. Бетонна суміш, що надходить, повинна бути негайно використана без додавання води.

Властивості бетону значною мірою залежать від якості укладання й ущільнення бетонної суміші. Однією з найбільш трудомістких операцій є укладання і розподілу бетонної суміші у форми. Укладати суміш у форми потрібно так, щоб в ній не залишалося порожнин, особливо в кутках і звуженнях форми. На заводах залізобетонних конструкцій застосовуються бетонодоздавачі і бетоноукладачі. Після укладання і розрівнювання бетону суміш ущільнюють. Методи ущільнення: вібрування, трамбування, пресування, вакуумування, прокатка. І всі вони з часткою "вібро". Найбільш поширеним є метод вібрування, при якому зменшуються сили внутрішнього тертя і в'язкість бетонної суміші /тиксотропія/. В результаті зерна крупного заповнювача розміщуються найбільш щільно, а порожнина між ними заповнюється розчином. Ступінь ущільнення залежить від частоти та амплітуди коливань вібратора, а також від тривалості вібрування. Типи вібраторів - електромеханічні, електромагнітні,

пневматичні. Для ущільнення бетонної суміші з великою відкритою поверхнею /плити, підлоги, дороги/ застосовуються поверхневі вібратори - вібромайданчики. Вони поширюють коливання на глибину до 30 см. Для ущільнення бетонної суміші в масивних конструкціях, фундаментах /підвалинах/, балках, колонах застосовуються глибинні вібратори з вібробулавою. Для ущільнення бетонної суміші на заводах залізобетонних конструкцій застосовуються високоякісні вібратори з гнучким валом.

8.7. Зимове бетонування

Збільшення міцності бетону залежить від температури навколишнього середовища. При зниженні температури тверднення бетону сповільнюється, а при 0°C припиняється зовсім. При розморожуванні тверднення знову поновлюється, проте бетон уже не набирає марочної міцності. Чим раніше бетон піддається розморожуванню, тим нижча його кінцева міцність. Це пояснюється тим, що вільна вода замерзає, збільшується в об'ємі і руйнує структуру бетону, це особливо небезпечно в початкові строки тверднення. Після набирання бетоном 50% марочної міцності вплив заморожування помітно знижується. Тому необхідно особливо ретельно охороняти бетон від заморожування у початкові строки тверднення. На зимовий бетон не допускається прикладати повне розрахункове навантаження. Методи зимового бетонування застосовуються для монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій, які виготовляють безпосередньо на місці виконання робіт.

Використання внутрішньої теплоти бетону. Застосовують високомарочні цементы, цементы з високою екзотермією /БТЦ, ОБТЦ, ГЦ/, вводять прискорювачі тверднення /СаС₂ тощо/, підігрівають компоненти бетонної суміші /воду до 80°C , заповнювачі до 40°C , проте температура суміші на час укладання не повинна перевищувати 40°C /, накривають бетон термоізоляційними матеріалами /метод "термоса"/.

Підведення теплоти ззовні

а/ Паропрогрівання бетону водяною парою при температурі до 100°C . При цьому бетон прогривається до $50-70^{\circ}\text{C}$, і через 2-3 доби його міцність досягає 70% від проектної. Пару подають між стінками подвійної опалубки, по каналах в опалубці або по трубах усередині бетону.

б/ Електропрогрівання бетону виконують змінним струмом /постійний спричиняє гідроліз/. Швидкість підвищення температури бетону - не більш як 5°C за годину до максимальної температури 60°C . Струм пропускають напругою 50-60 В. У міру прогрівання напругу підвищують, проте не більш як до 100 В.

Холодний бетон отримують при введенні протиморозних добавок /суміш водних розчинів CaCl_2 , NaCl , NaNO_3 , K_2CO_3 /. Добавки знижують температуру заморожування води, а CaCl_2 до того ще й прискорює процес тверднення бетону. Холодний бетон доцільно застосовувати при негативних температурах /проте не нижче від 20°C /, при цьому його необхідно захистити від дії навколишнього середовища методом "термоса".

8.8. Спеціальні види важкого бетону

Гідротехнічний бетон застосовують для споруд або їх частин, які постійно або періодично обливають водою. Він є різновидом важкого бетону, але з підвищеними вимогами до густини, водостійкості і стійкості до того чи іншого агресивного середовища.

Гідротехнічний бетон поділяють залежно:

а/ від розміщення рівня води - на бетон підводний, що міститься у воді постійно; бетон зони змінного рівня води і бетон надводний, що міститься вище від зони змінного рівня води;

б/ від масивності конструкції - на бетон масивний і немасивний;

в/ від розміщення в масивних конструкціях - на бетон зовнішньої і внутрішньої зони;

г/ від діючого на конструкцію напору води - на бетон напірних і безнапірних конструкцій.

Вимоги до бетону. Гідротехнічний бетон повинен задовольняти таким спеціальним фізико-механічним і технологічним вимогам.

Водостійкість. Підводний бетон і бетон зони змінного рівня, а також бетон, що на нього діють ґрунтові води, мають бути стійкими проти агресивної дії води даного складу.

Водонепроникність бетону характеризується найбільшим тиском води, при якому ще не спостерігається її просочування крізь зразки у 180-денному віці. За цією ознакою бетон поділяється на шість марок: В - 2, 4, 6, 8, 10, 12.

Морозостійкість гідротехнічного бетону характеризується найбільшим числом циклів змінного заморожування і відтанення, яке здатний витримати зразок 28-денного віку без зниження його міцності більш як на 25%. За морозостійкістю бетон поділяється на марки: F 50 - F 500.

Міцність бетону визначають у віці 180 днів; вона відповідає при стиску восьми маркам: 100 - 600, а при розтягненні - також восьми маркам: R - II, 15, 18, 20, 23, 27, 31, 35.

В'язучою речовиною для гідротехнічного бетону можуть бути ПЦ і його різновиди - з помірною екзотермією, пластифікований, гідрофобний, сульфатостійкий, ШПЦ, пуцолановий ПЦ, сульфатостійкий пуцолановий ПЦ.

Для окремих зон гідротехнічних споруд можна застосовувати такі види цементів:

для підводного бетону, що міститься весь час у воді, бетону внутрішньої зони і бетону підземних частин споруд - будь-який з перелічених вище; перевагу при цьому слід віддавати ШПЦ і пуцолановому ПЦ;

для бетону зони змінного рівня води - ПЦ помірної екзотермії, сульфатостійкий, пластифікований і гідрофобний;

для надводного бетону, що міститься вище від зони змінного рівня води, - пластифікований і гідрофобний ПЦ.

Затрати цементу для гідротехнічного бетону беруть дещо вищу, ніж для звичайного, - не менш як 250 кг на 1 м^3 бетону.

Добавки, що вводяться в бетонну суміш, такі:

а/ тонкомелені і дисперсні мінеральні: активні добавки /діатоміти, трепели, гранульовані доменні шлаки/; наповнювачі /інертні/ добавки /кварцові і польовошпатні піски, пісковики, леси тощо/.

б/ поверхнево-активні органічні: пластифікуючі добавки /концентрати сульфітно-спиртової барди та її похідні/; повітровтягуючі добавки /вінсові мила, омилений деревний пек, милонафт та ін./.

Високоміцний бетон М 600-1000 отримують на цементі високих марок, промитому піску і щебеню не нижче за М І200-І400. Високоміцний бетон готують з низьким В/Ц = 0,3-0,45 /суміші жорсткі або малорухливі/ в бетономішалках примусової дії. Для укладання сумішей і формування виробів використовують інтенсивне ущільнення: вібрування з додатковим вантажем, подвійне вібрування тощо. Значний ефект у виробництві високоміцних бетонів дають суперпластифікатори. Проектні марки при розтяганні: R 10, 15, 20, 25, 30, 35 і 40. За ступенем морозостійкості вісім марок: F 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 і 500. Завдяки високій зносостійкості його використовують у шляховому будівництві і для підлог промислових будівель.

Шляховий бетон застосовують для шляхових та аеродромних покриттів. Підвищені вимоги за стираністю, опору ударові, зносостійкості. Цементи: ПЦ, пластифікований і гідрофобний ПЦ - марки не нижче як 500. За призначенням буває трьох видів: для одношарових і верхнього шару двохшарових покриттів; для нижнього шару двохшарових покриттів; для підвалін капітальних шляхів. Марки за $R_{ср}$: 300, 350, 400, 500. Марки

за морозостійкості: F 100– F 500. Застосовують у вигляді монолітних армованих і залізобетонних складених плит.

Морозостійкий бетон зберігає свої властивості при тривалій дії високих температур / $t > 250$ °C/. В'яжучі: ПЦ, ШПЦ, ГЦ, розчинне скло. За ступенем вогнетривкості вони бувають:

а/ високовогнетривкі / $t_{пл} > 1770$ °C, $R_{ст} > 250$ /;

б/ вогнетривкі / $t_{пл} = 1580$ – 1770 °C, $R_{ст} > 150$ /;

в/ жаротривкі / $t_{пл} < 1580$ °C, $R_{ст} > 100$ /.

Застосовуються для будівництва залізобетонних димових труб, підвалин металургічних печей, різних теплових агрегатів, у житловому будівництві.

Кислототривкий бетон застосовується для будівництва різних конструкцій, резервуарів, труб, апаратури на хімічних підприємствах. Заповнювачі: кварцовий пісок, щебень з кварциту, андезиту, бештауніту, базальту, діабазу. В'яжуче – кислототривкий цемент. Марка за $R_{ст}$ – 150. Стійкий до всіх кислот окрім плавикової.

Бетон для захисту від радіоактивного впливу застосовується для будівництва атомних реакторів, АЕС, підприємств переробки уранових руд та ізотопів, сховищ, споруд цивільної оборони. Цементи: ПЦ, ШПЦ, ГЦ, РПЦ. Заповнювачі: важкі гірські породи /барит, магнетит, гематит/, чавунний скрап, шрит, обрізки сталі, сталеві стружки тощо. Марки за міцністю на стиск: $R_{ст} = 100, 150, 200$. Для поліпшення захисних властивостей вводять добавки, які підвищують вміст водню /карбід бору, хлористий літій/; ці речовини в результаті тверднення приєднують велику кількість води.

Декоративні і кольорові бетони застосовують для облицювання великих блоків і панелей зовнішніх стін, обробки деталей інтер'єрів, для улаштування пішохідних переходів, роздільних смуг тощо. Кольорові бетони отримують або введенням у бетонну суміш пігментів в кількості 1–5% від маси цементу, або на основі кольорових цементів. Інколи застосовують кольорові заповнювачі /туфи, мармури, кварцити/. Марки за $R_{ст}$ 150, 200, за морозостійкістю 25, 50. Широко використовують дрібнозернистий декоративний бетон.

8.9. Легкі бетони на пористих заповнювачах

До них належать бетони з середньою густиною $\rho_m = 500$ – 1800 кг/м³. Легкі бетони використовують у стінах, перекриттях та інших конструкціях, де потрібні мала теплопровідність і невелика маса. Міцність на стиск $R_{ст} = 10$ – 400 кгс/см², морозостійкість F 10–200.

За призначенням легкі бетони бувають:

а/ конструкційні $\rho_m = 1400-1800 \text{ кг/м}^3$; $\lambda > 0,55 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$,
 $R_{ct} > 50 \text{ кгс/см}^2$;

б/ конструкційно-теплоізоляційні $\rho_m = 500-1400 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,2-0,55 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; $R_{ct} > 25 \text{ кгс/см}^2$;

в/ теплоізоляційні $\rho_m < 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda < 0,2 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$,
 $R_{ct} < 25 \text{ кгс/см}^2$ - ніадроваті.

Назва легких бетонів походить від назви пористого заповнювача і слова "бетон".

Пористі заповнювачі для легких бетонів мають насипну густину $\rho_n < 1200 \text{ кг/м}^3$ при крупності до 5 мм /пісок/ і $\rho_n < 1000 \text{ кг/м}^3$ при крупності 5-40 мм /щебінь і гравій/. За походженням вони бувають природні і штучні:

а/ природні добувають з вулканічних гірських порід /пемза, попіл, вулканічні туфи і лави/ й осадових /вапняк, черепашник, діатоміт, трепел/;

б/ штучні здобувають термічною обробкою силікатної сировини. Їх види: керамзит, термозит /шлакова пемза/, аглопорит, спучений перліт і вермикуліт.

Властивості легких бетонів на пористих заповнювачах. Ці бетони відрізняються від важких за структурою /будовою/ і властивостями. Для них велике значення мають середня густина ρ_m і теплопровідність λ , які залежать від заповнювачів. Висока пористість і водовбирання заповнювачів зумовляють специфічні властивості легкобетонної суміші і бетону.

Легкобетонні суміші відзначаються низькою рухливістю, легкоукладністю, незважаючи на високий вміст води. Ці суміші при транспортуванні часто розшаровуються. Щоб мати легкоукладну, легкобетонну суміш, що не розшаровується, а на її основі легкі бетони з високою міцністю, старанно добирають зерновий склад заповнювачів з перевагою крупної фракції, вводять поверхнево-активні добавки, використовують активні цементні високих марок, ретельно ушільнюють бетонну суміш. Пористі заповнювачі вбирають значну кількість води з бетонної суміші. Внаслідок тверднення бетону ця волога поступово повертається цементному каменю, що сприяє повнішій гідратації цементу і підвищує міцність бетону. Часто пористі заповнювачі попередньо насичують водою.

За будовою розрізняють такі різновиди легких бетонів.

а/ Високоміцний легкий бетон - найбільш поширений керамзитобетон з середньою густиною $\rho_m = 1400-1800 \text{ кг/м}^3$, $R_{ct} = 200-400 \text{ кгс/см}^2$.
Матеріали: ПЦ - М = 500, 600, керамзитовий гравій, кварцовий пісок. Застосовується для виготовлення великопрототних залізобетонних конструкцій.

б/ Крупнопористий легкий бетон /без дрібного заповнювача/. Крупний заповнювач скріплений цементним тістом. Міцність за стиском залежить від міцності заповнювача і марки цементу. $R_{сг} = 25, 35, 50, 75, 100$; $\rho_m = 600-1000 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,2-0,55 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Крупний заповнювач - щебінь і гравій /щільні або пористі/, фракції 5-10, 10-20, 20-40 мм. В'язучі - ПЦ і ШПЦ /М = 400, 500/. Запропонований В.Г.Скрам-таєвим. Застосовується для зовнішніх стін опалюваних будівель не вище четвертого поверху. Стіни, зведені з крупнопористого бетону, обштукатурюють з двох боків, щоб запобігти продуванню вітром;

в/ Поризовані легкі бетони мають середню густину $\rho_m < 1000 \text{ кг/м}^3$, $R_{сг} = 50, 75, 100$; $\lambda = 0,2-0,55 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. В результаті поризації зникають витрати цементу і середня густина. Вони бувають двох видів.

З поризованим цементним каменем готують з в'язучого, води, крупного заповнювача /пористого/ і піноутворювача або технічної піни. Об'єм поризованого тіста повинен дорівнювати об'єму пустот між зернами крупного заповнювача /для гравію $0,45 \text{ м}^3$, для щебеню - $0,55 \text{ м}^3$ на 1 м^3 бетону/. Міцність бетону залежить від міцності цементного каменя /марки цементу і способу теплової обробки/.

З поризованою розчиною частиною /пластифікований/ здобувають при введенні в легкобетонну суміш повітряв'язких /ГК/ або пінов'язких /ВДП, милонафт, СДВ/ добавок.

8.10. Ніздрюваті бетони

Ніздрюваті бетони являють собою штучний кам'яний матеріал, який отримують після затверднення поризованої суміші, що складається з в'язучої речовини, води, меленого і немеленого дрібного заповнювача. Є різновидом легких бетонів, проте без крупного заповнювача. Об'єм ніздрюватих бетонів до 85% заповнений замкнутими порами. Розміри пор від 0,5 до 2 мм. Перегородки між порами є несучим каркасом. Розрізняють

1/ за способом утворення пор: пінобетон /бетонна суміш змішується з технічною піною/; газобетон /бетонна суміш спучується газоутворювачами/;

2/ за видом в'язучого: піно- і газобетони /на цементних в'язучих/; піно- і газосилікати /на вапняних в'язучих/; піно- і газогіпсові бетони /на гіпсових в'язучих/; піно- і газощлакобетони /на основі доменних шлаків з добавками вапна або гіпсу/;

3/ за умовами тверднення: безавтоклавні /тверднуть у природних умовах або при пропарюванні при атмосферному тиску/; автоклавні

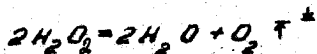
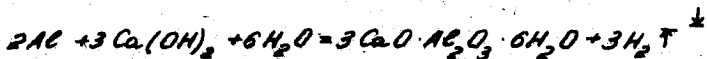
/тверднуть при занурюванні в автоклавах, 180 °С, $P = 8-12$ атм; найбільш часто використовуються/; комбіновані /спочатку тверднуть в природних умовах, а потім запарюються в автоклавах/;

4/ за призначенням: конструкційні $\rho_m = 900-1200$ кг/м³; $R_{ct} = 100, 150, 200$ кгс/см²; $\lambda = 0,4-0,6$ Вт/(м·°С)/; конструкційно-ізоляційні $\rho_m = 500-900$ кг/м³; $R_{ct} = 25, 35, 50, 75$ кгс/см²; $\lambda = 0,2-0,4$ Вт/(м·°С)/; теплоізоляційні $\rho_m < 500$ кг/м³; $R_{ct} < 25$ кгс/см²; $\lambda = 0,08-0,2$ Вт/(м·°С).

Міцність ніздроватих бетонів залежить від середньої густини ρ_m . При $\rho_m = 500, 600, 700, 800, 900, 1000$ і 1200 кг/м³ R_{ct} відповідно дорівнює 25, 35, 50, 75, 100, 150 і 200 кгс/см²; теплопровідність $\lambda = 0,08-0,6$ Вт/(м·°С). Недолік ніздроватих бетонів - високе водовибирання, проте вони мають достатню морозостійкість - 25, 35, 50.

Пінобетон здобувають змішуванням тіста або розчину із стійкою піною, що надає йому пористої будови. Найкращі піноутворювачі - це алюмосульфатафтенні сполуки і препарат ГКС /гідролізована кров/.

Газобетон здобувають при введенні в цементне тісто або розчин газоутворювачів /вапно-пушонка в суміші з алюмінієвим порошком, пероксид водню/:



Водень чи кисень, які виділяються, спучують суміш. В першому випадку газовиділення проходить приблизно 20 хв, в другому - близько 10 хв. За цей час необхідно розлити бетонну суміш у форми. За властивостями R_{ct} , ρ_m і λ /газобетон аналогічний пінобетону.

Піно- і газобетони випускають у вигляді плит, блоків, шкаралуп, сегментів. Їх застосовують для теплоізоляції покриттів, панелей зовнішніх стін, перегородок, трубопроводів, а також у вигляді армованих плит і несучих конструкцій.

9. БЕТОННІ І ЗАЛІЗОБЕТОННІ ВИРОБИ

9.1. Загальні відомості

Збірні бетонні і залізобетонні вироби - порівняно новий вид матеріалів і вперше вони почали застосовуватися в кінці XIX ст., а в 20-30 рр. XX ст. з них уже зводили будівлі.

Тепер будівлі і споруди зводять переважно із залізобетонних конструкцій і деталей, що їх виготовляють на спеціалізованих підприємствах. Це дає можливість перенести значну частину робіт з будівельного майданчика на завод. Ретельно організований технологічний процес, механізація й автоматизація виробництва зумовлюють випуск продукції високої якості, що скорочує строки, вартість і трудомісткість будівництва.

У сільськогосподарському будівництві збірний залізобетон широко використовується для зведення житлових і громадських будинків, ремонтних майстерень, тваринницьких ферм, силосних споруд, складів, теплиць, трубопроводів, щогл і стовпів ліній електропередач та ін.

Залізобетонні конструкції мають ряд переваг порівняно із звичайними традиційними матеріалами /металом, деревом/, що пояснюється їх значною економічною ефективністю, яка зумовлюється:

порівняно низькою вартістю, оскільки для виготовлення залізобетону користуються наявним скрізь піском, гравієм або щебенем, що становлять до 90% об'єму залізобетону, і тому бетон можна віднести до категорії місцевих будівельних матеріалів;

довговічністю конструкцій, які не руйнуються від горіння, гниття, іржавіння, не піддаються дії вологи і не потребують особливого догляду, як металеві або дерев'яні конструкції;

можливістю створювати конструкції з різними механічними і фізичними показниками залежно від їх призначення;

різноманітністю конструктивних форм - від масивних споруд до ажурних деталей;

скороченням затрат сталі порівняно з металевими конструкціями.

Недоліком залізобетонних конструкцій є їх відносно велика матеріаломісткість, що призводить до додаткових витрат на транспортування і монтаж, і велика собівартість - затрати становлять 20% вартості будівельно-монтажних робіт. Усе це знижує техніко-економічну ефективність будівництва із збірних залізобетонних виробів.

Поняття про залізобетон. У залізобетоні поєднуються властивості двох матеріалів - бетону й арматурної сталі. Бетон чинить значний опір стискуваним зусиллям і незначний - розтягуючим. Його міцність при розтягуванні у 10-15 разів менша, ніж при стиску. Стальна арматура, навпаки, дуже добре сприймає розтягуючі напруги. Більшість будівельних конструкцій одночасно зазнають і стиску, і розтягування. Тому арматура і бетон мають бути так у них розміщені, щоб кожний із зазначених матеріалів сприймав відповідні напруги: бетон - стискувачі, а сталь - розтягувачі.

При роботі залізобетонної балки під дією згинального навантаження верхня зона балки /вище від нейтральної осі/ стиснута, а нижня – розтягнута. Тому розміщені внизу сталеві арматурні стержні сприймають розтягуючі напруги, а бетон – стиск у верхній зоні.

Сумісна робота бетону і сталі визначається такими основними факторами:

бетон міцно зчеплюється з арматурою, і вони при цьому зазнають однакових деформацій;

коефіцієнти температурного розширення бетону і сталі близькі один до одного;

бетон захищає сталь від іржавіння /корозії/.

Залізобетонні конструкції виготовляють із звичайною і попередньо напруженою арматурою. Звичайний спосіб армування /укладання сталевих стержнів у розтягнуту зону/ не захищає конструкцію від тріщин, бо бетон дуже мало розтягується. У ці тріщини проникають волога і газ, які викликають корозію арматури; крім того, з появою тріщин збільшується прогин конструкції. Отже, розтягнуту зону треба стиснути. Цього досягають попереднім напруженням арматури. Її розтягують на спеціальних машинах, а потім укладають у бетонну суміш. Стержні стискаються, а разом з ними за рахунок зчеплення стискається і бетон.

За способом виготовлення розрізняють два види попередньо напружених конструкцій. У першому випадку арматуру розтягують до бетонування, а після укладання бетону у форму і його затверднення звільняють від напруги, і арматура, скорочуючись, стискає бетон, що оточує її. У другому – арматуру розтягують після затверднення бетону. При цьому її розміщують у сталевих каналах у тілі бетону, натягують і закріплюють на кінцях анкерними пристроями. Потім канали заповнюють розчином для запобігання корозії сталі.

Застосування попередньо напружених конструкцій, крім того, що не допускає передчасних тріщин у розтягнутій зоні бетону, дає можливість знизити масу конструкцій, збільшити їх довговічність і скоротити затрати арматури.

Застосування збірного залізобетону підвищує продуктивність праці у будівництві більш як у 3 рази. Це досягається завдяки тому, що застосування великозбірних залізобетонних елементів дало змогу основну частину робіт щодо зведення будівель і споруд перенести на заводи з високо механізованим технологічним процесом.

9.2. Класифікація залізобетонних виробів

Залізобетонні вироби можна класифікувати за такими ознаками:

За способом армування. У цьому разі їх поділяють на бетонні /не армовані сталевом арматурою/ і залізобетонні /армовані/. Залізобетонні конструкції, в свою чергу, поділяють на попередньо напружені та із звичайним армуванням.

За видом бетону і в'язучої речовини:

з цементних бетонів - особливо важкі, важкі/звичайні/, легкі /тепло- і звукоізоляційні/;

з силікатних бетонів автоклавного тверднення на вапні - важкі і легкі;

з ніздрюватих бетонів - на цементах, вапні або змішаному в'язучому;

із спеціальних бетонів - жаростійкі, кислотостійкі, декоративні тощо.

За середньою густиною бетону:

з особливо важкого бетону / $\rho_m > 2500 \text{ кг/м}^3$ /;

з важкого бетону / $\rho_m = 1800-2500 \text{ кг/м}^3$ /;

з легкого бетону / $\rho_m = 500-1800 \text{ кг/м}^3$ /;

з особливо легкого бетону / $\rho_m < 500 \text{ кг/м}^3$ /.

За внутрішньою будовою конструкції і деталі можуть бути суцільними або порожнистими, а також виготовленими з одного чи кількох складів бетону /дво-, тришарові/.

За призначенням конструкції і деталі класифікуються так:

для житлових і громадських будівель - елементи фундаментів, стінові блоки і панелі, колони, ригелі, прогони, настили і панелі перекриттів і перегородок, елементи дахів, сходові марші і площадки, об'ємні деталі /блоки квартир/ та ін.;

для промислових будівель і споруд - колони, балки, ферми, арки, елементи перекриттів і покриттів, панелі стін і перегородок, сходові марші і площадки, елементи дахів та ін.;

для сільськогосподарського будівництва - елементи для майстерень, гаражів, тваринницьких приміщень, теплиць, парників, силосних споруд та ін.;

для транспортного будівництва - прогінні будови мостів, плити шляхових покриттів, елементи платформ, шпали, опори контактної мережі;

для гідротехнічного будівництва - коробчасті блоки, лотки, палі, труби, плити - оболонки гребель, плити і блоки для зміцнення укосів та ін.;

для санітарно-технічних пристроїв - опалювальні панелі, вентиляційні блоки, сантехкабінети, сміттєпроводи;

для водопровідно-каналізаційних споруд - труби, колектори, колодязі, резервуари, водонапірні башти;

загального призначення - опори ліній електропередач і зв'язку, ліхтарні стовпи, елементи огорож та ін.

9.3. Конструкції промислово-цивільних будівель

Фундаментні блоки являють собою залізобетонні елементи трапецієдної форми масою до 3 т. Ширина цих блоків коливається від 120 до 320 см, а довжина дорівнює 80, 100 і 120 см при висоті 40-50 см. Виготовляють їх з бетону марок 150-200 і армують сталлю сіткою.

Стінові підвальні блоки мають прямокутну форму. Їх довжина може досягати 3 м при товщині 40-60 см, а висота постійна - 60 см. Виготовляють їх з бетону марок 100-150 і армують тільки для зручності монтажу.

Панелі зовнішніх стін застосовують для каркасних і безкаркасних будівель. Для перших використовують самонесучі панелі, що сприймають навантаження від власної ваги, і навісні, що передають навантаження на залізобетонний каркас, який складається з колон, зв'язаних балками.

У безкаркасних будівлях застосовують несучі панелі, які сприймають навантаження від своєї ваги, верхніх стін і перекриттів. Призначення панелей визначає і вимоги до їх міцності.

Самонесучі і навісні панелі здебільшого виконують тепло- і звукоізоляційні функції. Вони складаються із залізобетонної оболонки, заповненої газо-, піно- і керамзитобетоном, шлаковою ватою або іншим утеплювачем; зовнішній бік облицовують.

Несучі панелі виготовляють з легких і ніздроватих бетонів з армуванням й облицюванням зовнішнього боку.

Товщина панелей коливається від 16 до 40 см, залежно від виду бетону та кліматичних умов. Площа панелей досягає 12 м², а маса 5 т. Панелі виготовляють з віконними прорізами, а рами закладають на заводі.

Перегородкові панелі повинні мати високі звукоізоляційні властивості. Виготовляють їх з легких бетонів, армованих сталлю сіткою, або з гіпсобетону, армованого дерев'яними рейками. Перегородки мають дверні прорізи із закладеними на заводі дверними коробками.

Міжкімнатні перегородки мають товщину 8-12 см і площу до 20 м².

Настили перекриттів являють собою плоскі конструкції з прольотом до 6 м при товщині 80-150 см. Їх несуча здатність становить 400-600 кгс/см². Маса настилу досягає 3 т.

Вироби випускають з круглими і овальними пустотами, що дає економів в бетоні і знижує масу конструкції. Виготовляють настили з бетону марки не нижче 200 при звичайному армуванні і марки 300-400 - при попередньо напруженому.

Панелі перекриттів за своєю конструкцією і розмірами подібні до настилів. Проте їх ширина доходить до 3,6 м, маса панелі досягає 5 т.

Плити покриттів застосовують у промисловому будівництві. Вони мають бути водночас несучими і огорожувачими елементами покриттів. Виготовляють їх із залізобетону й армопінбетону, ребристими і плоскими.

У ребристих плитах вигідніше поєднується робота бетону й арматури; цим економиться матеріал і знижується маса виробів.

Розміри плит: довжина 6-12 м /причому 12-метрові плити виготовляють попередньо напруженими/, ширина 1,5-3,0 м. Несуча здатність досягає 800 кгс/см².

Балки випускають як для житлового, так і промислового будівництва. У житлових будинках застосовують балки прямокутного перерізу, завдовжки до 6 м. У промисловому будівництві, крім цих, використовують також балки таврового і двотаврового перерізу, завдовжки до 30 м і більше. Вони бувають однескилими /для прольотів до 12 м/ і двоскилими /для більших прольотів/.

Ферми і арки застосовують для споруд з великими прольотами. Ферми виготовляють трапецієдної, трикутної і криволінійної форми, складеними або цілісними.

Арочні конструкції, як правило, складають з двох піварок, шарнірно з'єднаних у замку. Стінки арок роблять ґратчастими або з отворами для зменшення маси виробів і зручності монтажу.

У промисловому будівництві застосовують піварки прольотом 50-60 м.

Оболонки являють собою тонкі /завдовжки 3-4 см/ криволінійні залізобетонні плити, облямовані по периметру ребрами жорсткості. Одним елементом оболонки можна перекрити велику площу - до 100 м². Найбільш ефективні оболонки з армоцементу - цементного розчину, армованого тонкою сталевим сіткою. Такі вироби мають товщину 1-2 см.

Колони виготовляють прямокутного і таврового перерізу, а також з ґратчастою стінкою /двовіткові/. Вони бувають безконсольними, а також одно- і двоконсольними - для встановлення балок.

Двовіткові колони економічніші, і при однаковій несучій здатності мають меншу масу. Це дає можливість застосовувати в промисловому будівництві колони заввишки до 35 м і масою до 20 т..

Сходові площадки - це прямокутні плити завдовжки до 4,4 м і завширшки до 1,6 м. Їх облицовують керамічною плиткою або мозаїчним розчином. Маса плит до 2 т.

Сходові марші мають довжину до 3,6 м і ширину до 1,8 м. Їх виготовляють у спеціальних формах, які дають змогу створити східчастий профіль.

Об'ємні блоки являють собою просторову конструкцію, складену на заводі з окремих елементів або виготовлену монолітно в спеціальних об'ємних касетах. Тепер є досвід будівництва житлових будинків з блоків-кімнат і навіть блоків-квартир.

Санітарно-технічні деталі для збірного будівництва - опалювальні панелі, вентиляційні і каналізаційні блоки, блоки сміттєпроводів та ін., які водночас є елементами стін або перекриттів.

У панелі і блоки закладають спеціальні труби, які приєднують до відповідних систем.

9.4. Виробництво залізобетонних виробів

Сучасна технологія передбачає три принципові схеми виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій і деталей залежно від способу їх формування: 1/ у неремішуваних /стаціонарних/ формах; 2/ у неремішуваних формах; 3/ безперервне формування.

При виготовленні виробів у неремішуваних формах основні операції виконують на одному технологічному посту - на стендах, в матрицях або касетах. Такий спосіб виготовлення називають стендовим.

Стенд являє собою площадку, поділену бортами на окремі лінії. На стенді формують вироби з плоскою поверхнею. Для формування виробів складної конфігурації /гратчасті, рифлені та ін./ застосовують матриці, форма і днища яких відповідають профілю бетонного виробу. На стендах і в матрицях деталі виготовляють в горизонтальному положенні. При касетному способі вироби формують у вертикальному положенні - в касетах, поділених на ряд відсіків, утворених сталевими вертикальними стінками. Для прискорення тверднення бетону до стендів, матриць і касет підводять теплоту.

У неремішуваних формах вироби виготовляють конвейерним або поточно-агрегатним способом. При першому способі кожен етап виконують на окремому технологічному посту; всі пости разом утворюють замкнуту лінію - конвейер. Твердне бетон при такому способі у пропарювальних камерах безперервної дії.

При потоково-агрегатному методі виріб разом з формою переміщується за технологічним потоком з тривалими зупинками на постах для виконання тієї чи іншої операції. Тверднуть вироби в пропарювальних камерах періодичної дії або в автоклавах.

Безперервне формування виробів здійснюється прокатним способом на стані інженера М.Я.Козлова. Такий стан має рухому металеву стрічку, що складається з окремих пластин, які забезпечують створення ребристої поверхні панелі.

Наведені способи виробництва збірного залізобетону мають свої переваги і недоліки. Формування на стендах раціональне для великорозмірних виробів, перемішувати які дуже важко /арки, ферми тощо/. Перевага стендів полягає в їх простоті і виготовленні виробів без складного технологічного устаткування. Застосовувати стенди доцільно не тільки в заводських, а й у польових умовах. Недолік стендового способу - низький рівень механізації технологічного процесу.

Виготовлення виробів у матрицях принципово не відрізняється від їх виробництва на стендах.

Формування виробів у касетах дає велику вигоду: скорочуються виробничі площі. Застосування цього способу ефективне для випуску конструкцій невеликої товщини /стінові панелі, перегородки та ін./.

Конвейєрний метод виробництва дає можливість механізувати і частково автоматизувати всі основні операції. Проте недолік цього способу полягає у високих капітальних витратах і у труднощах при переході на нові типи виробів.

Тепер розробляють новий спосіб виробництва збірного залізобетону для домобудування, що ґрунтується на встановленні касет на конвейєр. Конвейєрно-касетний спосіб матиме ряд технологічних переваг над іншими способами.

Потоково-агрегатний спосіб за своїми техніко-економічними показниками найраціональніший, і тому його поклали в основу організації робіт на багатьох заводах з випуску збірного залізобетону. Цей спосіб дає можливість значно механізувати трудомісткі процеси і не викликає труднощів при переході на випуск нових виробів.

Прокатний метод забезпечує максимальну механізацію й автоматизацію технологічного процесу. Його недоліком є складність устаткування, обмеженість номенклатури виробів /головним чином випускають тільки ребристі плити/ і великі затрати цементу, зумовлені застосуванням дрібнозернистого бетону.

Спосіб прокату найефективніший при виробництві однотипних плоских плит, коли вимоги до їх якості невисокі.

Виробництво збірного залізобетону будь-яким технологічним способом включає чотири основні операції: приготування бетонної суміші; виготовлення арматури й армування; формування виробів; обробка виробів гарячою паром /тверднення/.

Приготування бетонної суміші. Бетонну суміш для виробництва збірного залізобетону можна виготовляти безпосередньо на місці або централізовано одержувати із спеціальних бетонних заводів. Але в будь-якому випадку її виготовлення цілком механізовані.

Існують різні види бетономішалок: для пластичних сумішей - з вільним падінням матеріалу, для жорстких - з примусовим перемішуванням. Спеціалізовані підприємства обладнують бетонозмішувальними установками.

Слід мати на увазі, що централізоване одержання бетону при відповідній організації значно вигідніше від приготування бетонної суміші на місці будівництва.

Виготовлення арматури й армування. Залізобетонні конструкції армують, як правило, зварними сітками і каркасами. Їх виготовлення складається з таких операцій: складування арматурної сталі, сортування, очищення, виправлення і різання стержнів, гнуття арматури, зварювання сіток і каркасів.

Гладка арматура діаметром до 14 мм надходить на завод в мотках /бухтах/, арматура більших діаметрів, а також періодичного профілю - стержнями завдовжки 7-12 м /у цьому випадку виправляти сталь не потрібно/. Найдосконаліше виправляється арматура на спеціальних автоматичних верстатах, які водночас очищають її від окалини та іржі, виправляють, сплющують /зміцнюють сталь/ і ріжуть на стержні.

Стержні з'єднують у каркаси і сітки з допомогою контактного зварювання, яке полягає в тому, що через два стержні, які дотикаються, пропускають електричний струм і сильно стискають їх. У місці контакту стержні плавляться і зварюються один з одним.

Застосовують багатоточкові зварювальні апарати, які дають можливість зварювати стержні одночасно в кількох місцях, і автоматичні лінії для зварювання каркасів. Весь процес контактного зварювання завдяки застосуванню електричного струму великої сили триває лише частки секунди.

Арматуру попередньо натягують механічним /з допомогою гідравлічних домкратів/ або електротермічним способом. Останній заснований на здатності металу розігріватися, коли по стержню проходить електричний струм, і при цьому продовжуватись, а при охолодженні знову зменшуватись завдовжки. Розігрітий струмом стержень закріплюють на кінцях,

тоді при охолодженні він залишається розтягнутим /напруженим/. Електротермічний метод натягу арматури вигідніший за механічний, оскільки не потребує складного натяжного устаткування.

Формування бетонних і залізобетонних виробів складається з таких операцій: очищення і мащення форм, укладання арматури у форму /для залізобетонних виробів/, укладання бетонної суміші та її ущільнення.

Застосовують дерев'яні, залізобетонні і металеві форми. Найпоширеніші останні - вони найбільш довговічні і забезпечують високу якість виробів.

Форми очищують від решти бетону, а потім змазують відпрацьованим машинним маслом або іншою речовиною, щоб запобігти зчепленню між бетоном і формою.

Укладаючи арматуру, треба залишати зазор між стінками або піддоном форми й арматурою, щоб створити захисний шар бетону, який захищає сталеві стержні від корозії.

Ущільнюють бетонну суміш трамбуванням, вібруванням, штампуванням, прокатом, центрифугуванням і вакуумуванням, а також поєднанням цих способів, наприклад, вібротрамбуванням, вібропрокатом тощо.

Найбільш ефективний і поширений спосіб ущільнення - вібрування, але для кожної бетонної суміші треба дібрати певний режим віброущільнення, що відповідає її властивостям.

Тверднення відформованих виробів відбувається двома шляхами - природним і штучним. Перший спосіб передбачає зберігання свіжовідформованих виробів при нормальній температурі /15-20 °C/ і підвищеній вологості /95-100%/, триває 3-15 днів, залежно від виду цементу і потрібної міцності. Природне тверднення застосовують при невеликому обсязі виробництва і при наявності швидкоутворюючих цементів і прискорюваного тверднення.

Штучне тверднення полягає в обробці виробів гарячим паром, завдяки якій скорочуються строки цього процесу. Така обробка може полягати в пропарюванні виробів у камерах при температурі до 100 °C і нормальному тиску або у пропарюванні їх в автоклавах при температурі до 190 °C і тиску 8-12 атм, а також в обробці гарячою водою в басейнах і в електропрогріванні.

Найширше застосовують пропарювання в камерах. Загальна тривалість циклу тверднення 10-13 год /2-3 год - прогрівання, 6-8 год - ізотермічне прогрівання при сталій температурі, 2 год - остигання/. Обробляють насиченою паром з температурою 85-90 °C для бетону на звичайному ПЦ і 90-95 °C - для бетону на пуццолановому ПЦ і ШПЦ.

10. ЛІСОВІ МАТЕРІАЛИ

10.1. Загальні відомості

Лісові матеріали відіграють величезну роль у народному господарстві. Це передусім джерело здобування деревини, яка широко застосовується в промисловому і привільному будівництві. Деревина є сировиною для лісопильної, фанерної, меблевої, деревообробної, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості.

Деревина як будівельний матеріал широко використовується завдяки її міцності, пружності, легкості обробки, високим теплоізоляційним властивостям, відносно невеликій середній густині і поширеності.

Довговічність дерев'яних конструкцій зумовлюється головним чином сталістю режиму вологості. Так, дерев'яні крокви можуть служити досить довго, оскільки зміни вологості у них незначні. Аналогічне явище ми спостерігаємо в гідротехнічних спорудах, де дерев'яні палі служать віками.

Проте деревина має й ряд негативних властивостей. До них належать неоднорідність її будови /анізотропність/, що істотно впливає на її міцність, легка займистість, здатність вбирати і випаровувати вологу /гігроскопічність/, змінювати при цьому свої механічні властивості і навіть загинувати /при несприятливих умовах її експлуатації і зберігання/. Щоб раціонально використати деревину, треба знати її властивості і, враховуючи особливості різних деревних порід, підготувати їх до застосування так, щоб найкраще скористатися міцністю їх деревини.

Потребу в лісоматеріалах задовольняють шляхом комплексної і глибокої переробки деревини. Поруч з такими традиційними матеріалами, як круглий ліс, дошки, бруски, палі тощо, все ширше застосовують клеєні дерев'яні конструкції і різноманітні вироби, які здобувають із відходів лісообробки. Відходи від переробки деревини /обпіл, рейки, стружки, тирсу тощо/ становлять значну частину /50-60%/ заготовлюваної деревини. Ці відходи, а також неділову деревину /дров'яну/ перетворюють, використовуючи добре освоєну технологію, на деревностружкові і деревноволокнисті плити з цінними і різноманітними властивостями. На передових деревообробних комбінатах коефіцієнт використання деревної сировини доходить до 0,98.

У будівництві найширше застосовують хвойні породи /сосну, ялину, модрина, смереку, кедр, ялицю/. Листяні породи /дуб, бук, ясен, береза, граб, липа, вільха, осика/ використовують головним чином для

виготовлення столярних виробів і внутрішнього опорядження будівель. Щоб раціональніше використати найціннішу хвойну деревину, слід ширше застосовувати листяні породи, зокрема для підсобних і тимчасових споруд.

10.2. Макроструктура і мікроструктура деревини

Макроструктурою називають будову деревини, яку видно неозброєним оком або в допомогою лупи на площинах трьох зрізів стовбура: поперечного, або торцевого /площина перпендикулярна осі стовбура/, радіального /площина спрямована вздовж осі стовбура через серцевину/ і тангенціального /площина проходить вздовж стовбура на якійсь відстані від осердя/.

На поперечному зрізі виділяють такі головні частини стовбура: приблизно в центрі міститься невелике за розміром осердя, основну частину стовбура займає деревина, зовні вкрита корою. Між корою і деревиною є дуже тонкий шар камбію.

Осердя на поперечному розрізі стовбура має здебільшого округлу форму діаметром 2-5 мм і складається з м'якої тканини.

Кора має форму кільця, пофарбованого звичайно темніше за деревину. Вона складається із зовнішньої коркової тканини - кірки і внутрішньої грубоволокнистої тканини - лубу.

Деревина міститься безпосередньо за камбієм, ближче до центра стовбура. Разом з осердям вона займає у дорослого дерева від 80 до 93% об'єму стовбура.

Розглядаючи торцевий зріз, у багатьох деревних порід можна помітити, що частина деревини, розміщена ближче до кори /стикається з камбієм/, забарвлена світліше. Цю частину називають заболонню; за своїми механічними властивостями вона мало відрізняється від ядрової, поступаючись їй лише в стійкості проти загнивання.

Ядрова частина деревини міститься безпосередньо за заболонню і порівняно з нею темніше забарвлена. В ядровій частині стовбура утворюються і відкладаються смоли та дубильні речовини, що захищають деревину від загнивання і перешкоджають проникненню води і повітря.

На поперечному зрізі стовбура помітні концентричні шари. Здебільшого кожний такий шар /кільце/ являє собою щорічний приріст деревини і називається тому річним шаром або річним кільцем.

На радіальному зрізі шару річні шари помітні у вигляді позадок-ніх смуг, а на тангенціальному - у формі звивистих ліній.

Залежно від умов зростання дерева /клімат, ґрунт тощо/ річні шари можуть мати різну ширину.

Схема будови стовбура така: річні шари накладені один на одний, як конуси, насаджені на спільний стрижень - осердя. Отже, за кількості річних шарів можна довідатися про вік тієї частини стовбура, де зроблено зріз.

Мікроструктурою називають клітинну будову деревини, яку видно лише в мікроскоп. Дива клітина складається з оболонки і протопласта, що містить протоплазму, ядро і пластиди.

У деревині розрізняють три види клітин: провідні, запасові й опорні.

Провідні клітини служать для проведення води з розчиненими в ній поживними речовинами від коренів до гілок і листя.

Запасові клітини призначені для зберігання поживних речовин.

Опорні клітини мають відносно товсті і вузькі порожнини. З'єднуючись, вони утворюють деревні волокна. Тканина з опорних клітин стійка проти загнивання і надає деревині міцності.

Провідні й опорні функції у хвойних породах виконують трахеїди, що становлять основну масу деревини. У листяних порід головним елементом деревини є судини. Трахеїди мають форму витягнутих задовж волокон з потовщеними і косо зрізаними кінцями. Судини являють собою широкі і довгі трубки.

Клітинні оболонки деревини складаються з органічних сполук: вуглецю, води, кисню та азоту.

Крім органічних речовин, деревина містить незначну кількість мінеральних солей, котрі перетворюються при спалюванні в золу.

10.3. Властивості деревини

10.3.1. Фізичні властивості

Вологість, від якої залежать решта властивостей деревини,

$$W = \frac{m_{\text{вкл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%$$

Ростуче дерево містить багато води /від 35 до 120% маси абсолютно сухої деревини/.

Основна частина води міститься в заболоні, найменша в ядрі. При зануренні деревини у воду її вологість збільшується до 200%.

У деревині розрізняють вільну і зв'язану /гігроскопічну/ вологу. Перша розміщується в міжклітинних і внутрішньоклітинних просторах, вона порівняно швидко випаровується при сушінні, причому об'єм і форма деревини залишаються незмінними.

Зв'язана волога просочує стінки клітин /у деревині її до 30%. Вона випаровується повільніше за вільну. Стан деревини, при якому в ній міститься максимум зв'язаної вологи, відповідає точці насичення волокон /ТНВ/. Деревина містить також хімічно зв'язану воду /не більш як 1%/, але видалити її, не порушивши структури деревини, неможливо.

Випаровування зв'язаної вологи змінює розміри деревини /усихання/ та її форму /жолоблення і розтріскування/. При зволоженні сухої деревини відбувається зворотне явище - розбухання.

Гігроскопічність - властивість віддавати або збирати водяні пари з повітря при зміні його температури і вологості. Внаслідок гігроскопічності деревина змінює розміри, об'єм, жолобиться і розтріскується. Щоб запобігти цьому, дерев'яні вироби вкривають фарбами і лаками.

Водопроникність залежить від породи дерева, його вологості, віку дерева, виду перерізу. У хвойних порід вона менша, ніж у листяних; через торцевий переріз - більша, ніж через радіальний.

Усихання і розбухання. При сушінні деревина спочатку втрачає вільну вологу, розміри і об'єм при цьому не змінюються. Потім випаровується гігроскопічна волога, тобто w_m падає нижче від точки насичення волокон. При цьому зменшуються розміри і об'єм деревини. Об'ємна усадка

$$y_0 = \frac{V_{\text{вв}} - V_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}}} 100\%, \quad k_0 = \frac{y_0}{w_m}$$

Усихання деревини в різних напрямках неоднакове: так, вздовж волокон воно становить 0,1%, у радіальному напрямі 3-5%, а в тангенціальному - 6-12%.

При висушанні деревина також розтріскується і жолобиться; це викликається нерівномірним усиханням дерева в різних його частинах.

Підвищення вологості від абсолютно сухого стану до точки насичення волокон викликає збільшення розмірів й об'єму, тобто розбухання деревини. Коли вологість досягає точки насичення волокон розбухання припиняється.

Середня густина, густина. Середня густина навіть однієї породи дерева не є величиною постійною, вона збільшується з підвищенням во-

логості. Тому середню густину ρ_m деревини приводять до стандартної /умовно нормальної/ вологості $W_m = 12\%$ за формулою

$$\rho^{12} = \rho^W [1 + 0,01(1 - K_0)(12 - W)] ,$$

де ρ_m^{12} , ρ_m^W - середня густина відповідно зразка деревини при вологості $W_m = 12\%$ й вологого зразка при вологості $W_m\%$; K_0 - коефіцієнт об'ємної усушки, який показує, на скільки % змінюється об'єм зразка при зміні вологості на 1%.

Для більшості порід деревини $K_0 = 0,5$:

$$\rho_m^{12} = \rho_m^W (1,06 - 0,005W) .$$

Середня густина деревини в повітряно-сухому стані ($W_m = 12\%$) коливається в межах 380-1050 кг/м³. Густина /істинна/ власне деревної речовини, з якої складаються оболонки клітин, у всіх порід однакова і дорівнює в середньому 1,54 г/см³.

Пористість деревини хвойних порід коливається в межах - 46-85%, листяних - 32-80%.

Теплопровідність залежить від породи дерева, ρ_m , W_m , напряму передачі теплоти. Із збільшенням W_m зростає і ρ_m , λ . Водові волокна λ в 2 рази більше, ніж упоперек.

10.3.2. Механічні властивості

На механічні властивості деревини (R_{cr} , $R_{разг}$, R_{32} , $R_{ск}$) впливають як фізичні /вологість, середня густина/, так і лісівничі /умови вирощування, розміщення деревини по висоті і товщині стовбура/ фактори. Із збільшенням вологості деревини її механічні властивості погіршуються /до ТМВ/, подальше підвищення вологості на міцність не впливає. Згодом підвищуються такі властивості деревини, як опір вигинові і стискові, але опір сколюванню залишається постійною величиною.

Висока температура /80-100 °С/ знижує міцність на стиск: деревина стає крихкою, внаслідок чого знижується її адатність чинити опір ударному навантаженню. Всі показники міцності приводять до стандартної 12%-ї вологості і обчислюються за формулою

$$R_{cr}^{12} = R_{cr}^W [1 + \alpha(W - 12)] ,$$

де α - поправочний коефіцієнт на вологість, що дорівнює 0,04 на 1% вологості.

Для основних порід дерев $R_{сг}$ вздовж волокон дорівнює 300–780 кгс/см², поперек волокон 40–250 кгс/см². $R_{розг}$ вздовж волокон 700–1300 кгс/см², поперек 15–100 кгс/см². $R_{ж2} = 500–1000$ кгс/см².

Міцність деревини при сколюванні невелика – 65–145 кгс/см².

Волокниста будова деревини надає їй високої механічної міцності, особливо при стиску і розтягу. Вздовж волокон міцність у 10 разів більша, ніж поперек.

10.4. Захист деревини від руйнування

Під дією змінної вологості, при враженні гнилями і комахами деревина швидко руйнується. Щоб захистити від цього, на практиці застосовують такі основні способи: сушать, наносять стійкі покриття, просочують.

Сушать деревину не тільки, щоб уберегти її від псування і загнивання, а й для того, щоб створити можливість кращої обробки, міцнішого склеювання і кращого опорядження. В результаті сушіння деревина стає міцнішою, а її маса зменшується. Висушують деревину до експлуатаційної вологості: для дверей і вікон до 15%, для меблів до 8–10% та ін.

Щоб добре висушити деревину, треба створити певні умови. Залежно від виробничих можливостей деревину сушать на складах, в сушильних камерах, у рідинах і струмами високої частоти.

Для різних порід і розмірів розроблено відповідні режими, які забезпечують потрібну якість сушіння.

Найбільш поширений спосіб захисту деревини від гниття – обробка хімічними речовинами, які називаються антисептиками. Вони згубно діють на грибкові організми, які є головною причиною гниття дерева.

Антисептики поділяють на дві групи: розчинні і нерозчинні у воді. З водорозчинних найширше застосовують фтористий і кремнефтористий натрій, а з водонерозчинних /маслянистих/ – кам'яновугільне, антрацитове і сланцеве масло.

Хімічні речовини, якими просочують деревину, щоб надати їй вогнестійкості, називають антипіренами. До них належать вогнезахисні фарби /силікатні і несилікатні/, що складаються з незаймистих речовин.

10.5. Лісові сортименти і напівфабрикати

Під лісовими сортиментами розуміють види продукції з деревини, що мають різний ступінь обробки і відрізняються різними способами виробництва.

До основних лісових сортиментів належать круглі, пилені і стругані лісоматеріали. Круглі лісоматеріали застосовують у будівництві у вигляді колод / $\varnothing \geq 14$ см/, підтоварника / $\varnothing = 8-14$ см/ і жердин / $\varnothing = 3-8$ см/.

На лісові сортименти встановлено норми за якістю, розмірами, сортами та іншими ознаками, вказаними у державних стандартах.

Будівельні колоди вищих сортів застосовують для виготовлення відповідальних елементів несучих конструкцій.

Пиловочні колоди після поздовжнього розпилювання на лісопильних заводах перетворюються на пиломатеріали, які залежно від ступеня обробки поділяють на необрізні, обрізні і стругані. Пиломатеріали, ширина яких більша за подвійну товщину, називають дошками, менша – брусами, а ті, що мають товщину і ширину понад 100 мм, – брусами.

Необрізні пиломатеріали мають необпилені кромки /обзели/, в обрізних кромки цілком або частково обпилені.

Широку площину дошки або бруса називають пластою, вузьку – кромкою.

Пиломатеріали, які виходять після розпилювання колод по поздовжній осі на дві симетричні частини, називають пластинами, а зрізану зовнішню частину колоди – обполом.

Стругані пиломатеріали поділяють на

стругані з плоским профілем, тобто такі, що зберегли форму поперечного перерізу неструганих пиломатеріалів;

стругані з фігурним струганням, застосовувані для опорядження приміщень, наличників, плінтусів тощо;

шпунтовані, що мають на кромках /для з'єднання/ на одному боці шпунт /виїмку/, а на другому – відповідний гребінь /виступ/. Шпунтовані пиломатеріали застосовують на підлоги, перегородки та ін.

Фанера. Наша промисловість виготовляє головним чином клеєну й облицзовальну фанеру. Перша являє собою листи, склеєні з кількох шарів шпона. Облицзовальною називають клеєну фанеру, виготовлену з цінних твердих порід – дуба, горіха тощо. Її застосовують для облицзовування стільничних та інших виробів з декоративними цілями.

Паркет. Розрізняють два види паркету: планковий і щитковий. Планковий паркет /паркетна клепка/ являє собою обстругані дощечки /з деревини твердих порід/ з кромками різного профілю. Щитковий паркет складається з соснових та ялинових щитів, обклеєних зверху паркетною клепою.

II. ОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ І МАТЕРІАЛИ НА ЇХ ОСНОВІ

II.1. Загальні відомості і класифікація

Органічні /бітумінозні/ в'яжучі речовини поділяються на бітумні і дьогтьові.

Бітумні в'яжучі - це складні суміші високомолекулярних вуглеводнів та їх сполук з сіркою, киснем, азотом. Ці речовини розчиняються у сірковуглеці, хлороформі, бензолі та інших органічних розчинниках.

Розрізняють такі види бітумних в'яжучих: природні бітуми, асфальтові породи і нафтові бітуми.

Природні бітуми - це тверді речовини або густі рідини, наявні у природі в чистому стані, часом просочують гірські породи.

Асфальтові породи - це гірські породи, просочені природним бітумом: бітумні пісковики і вапняки. Їх застосовують у вигляді порошків або добувають з них чистий бітум.

Нафтові бітуми - це тверді або напівтверді речовини, що добувають з нафти.

До дьогтьових в'яжучих належать сирі дьогті, дьогтьові масла, пеки.

Сирі дьогті - це рідкі продукти, що утворюються як відходи при розкладі /під впливом високої температури без доступу повітря/ кам'яного або бурого вугілля, деревини, торфу, тощо для одержання газу або коксу.

Дьогтьові масла - це продукти, що утворюються при розгоні нафти.

Пеки - це тверді залишки від перегонки дьогтьов. В будівництві найширше використовують нафтові бітуми, кам'яновугільні дьогті і пеки завдяки їх цінним властивостям: водонепроникності, стійкості проти дії кислот, лугів, агресивних рідин і газів; здатності зчіплюватися з деревом, металом, кам'яними матеріалами; швидкому розм'якшенню при нагріванні і твердненню при остиганні.

II.2. Нафтові бітуми

Залежно від способу утворення розрізняють залишкові, окислені і крекінгові нафтові бітуми.

Залишкові бітуми утворюються після відгонки від нафти бензину, гасу і частини масел. При нормальній температурі вони являють собою тверді речовини.

Окислені бітуми здобувають, продуваючи повітря крізь нафтові залишки, які при цьому окислюються і ущільнюються під дією кисню.

Крекінгові бітуми здобувають при розкладі нафти і нафтових масел при високій температурі /крекінгу/.

Властивості бітумів визначаються такими показниками: пенетрація /глибина проникання голки приладу в бітум - визначається на пенетрометрі - чим твердіший бітум, тим менша глибина проникання: для різних марок будівельних бітумів вона дорівнює 2-4 мм/, температурою розм'якшення /визначається на приладі "кільце і куля"/, розтяжність /визначають на приладі "дуктилометр" - цей показник для різних марок бітуму має бути не меншим за 1-3 см/.

Зазначені три властивості бітуму - пенетрація, температура розм'якшення і розтяжність - зв'язані одна з одною. Тверді бітуми з малою глибиною проникання голки мають високу температуру розм'якшення і малу розтяжність. Бітуми з низькою температурою розм'якшення можуть значно розтягуватися.

II.3. Дьогті і пеки

Кам'яновугільний дьоготь має вищі будівельні якості, ніж деревний або торфовий. Сирий кам'яновугільний дьоготь являє собою чорну маслянисту рідину, має характерний запах, зумовлений присутністю фенолів і нафталіну. Сирий дьоготь безпосередньо для виготовлення будівельних матеріалів не використовується. З нього відганяють воду, дрібні і частину середніх масел і здобувають перегнаний дьоготь. Легке масло відганяють при температурі до 170 °C, середнє - при 170-270 °C, важке /шпалопросочувальне/ - при 270-300 °C і при 300-360 °C - антраценове.

Кам'яновугільний пек - тверду речовину чорного кольору /при нормальній температурі/ - здобувають після закінчення відгонки масел. Пек сплавають з перегнаним дьогтем або з антраценовим маслом і одержують складений дьоготь, найбільше придатний для будівництва. Змінюючи співвідношення пеку і дьогтю /або антраценового масла/, можна одержати суміші з різною температурою розм'якшення і неоднаковим ступенем в'язкості: чим більше в суміші пеку, тим вища температура її розм'якшення, але більша крихкість.

II.4. Асфальтові і дьогтьові розчини і бетони

Асфальтовим або дьогтьовим розчином називають суміш асфальтової або дьогтьової в'язкої речовини /з порошкоподібним мінеральним на-

повннвачем/ і піску. Дьогтьові розчини менш довговічні, і тому їх застосовують рідше, ніж асфальтові.

Асфальтовий розчин готують на заводах або будовах. Суміш висушених і підігрітих заповннвачів разом з бетоном закладають у варильний котел і нагрівають до температури 180 °C; вміст бітуму при цьому становить 9-11%. Потім розчин гарячим укладають на суху ущільнену основу шаром 2-2,5 см і загладжують ручними гладилками або ущільнюють механічними котками. Розчин твердне внаслідок остигання бітуму.

Асфальтовими і дьогтьовими бетонами називають суміші бітуминової в'язучої речовини /бітуми, дьогті і пеки/ з мінеральними складовими - щебенем або гравієм, піском і мінеральним порошком.

Асфальтовий бетон класифікують за крупністю зерен кам'яного матеріалу. Розрізняють крупнозернисті асфальтові бетони з найбільшим розміром щебеню 40 мм, середньозернисті - до 20-25 мм і дрібнозернисті, що містять мінеральні зерна розміром до 10-15 мм.

Асфальтові бетони виготовляють на заводах, у спеціальних барабанах, бітум при температурі 175-180 °C, перемішують з висушеним заповннвачем протягом 5-8 хв.

Поряд з гарячими бетонами застосовують "холодні", виготовлявані на різних бітумах і дьогтях. "Холодний" бетон твердне внаслідок окислення і випаровування розріджувача протягом кількох діб. Ці бетони мають ряд переваг над звичайними асфальтовими бетонами: вони дешевші, простіше виготовляються і зручніше укладаються при тій самій міцності, проте якість їх нижча, ніж асфальтових.

II.5. Гідроізоляційні матеріали на основі бітуму

Гідроізоляційні матеріали в ряді випадків можна об'єднати з покрівельними, оскільки чіткої межі між ними немає. Як правило, листові матеріали застосовують тільки для покрівлі, а рулонні - і для покрівельних, і для гідроізоляційних робіт. У цьому підрозділі розглянемо матеріали, які в основному є гідроізоляційними, їх виготовляють найбільшого на основі бітуму.

Гідроізол виготовляють з азбестового паперу, просоченого бітумом. Випускають його двох марок: ГІ-1 і ГІ-2, які відрізняються відношенням кількості просочувальної маси до маси картону. Чим більше бітуму в матеріалі, тим вищі його водоізоляційні властивості.

Ширина полотна гідроізолу 950 мм, довжина 20 м. Сила, що розриває зразок розміром 50-220 мм, має бути не менш як 30 кг.

Борулін - матеріал з суміші бітуму і сухого азбестового волокна, яку розкочують у полотно. Він відзначається високою пластичністю і низьким водовибиранням /до 3% за 30 днів/. Товщина боруліну 3-4 мм; маса 1 м² від 3,0 до 3,5 кг; температура розм'якшення близько 150 °С; границя міцності при розтяганні стрічки завширшки 50 мм не менш як 16 кг.

Досконалішим є пластифікований борулін, який виробляють з добавкою нафтових масел. Пластичність його зберігається навіть при температурі до -10 °С, і тому він зручний для робіт, які виконують узимку.

Бризол виготовляють з відходів гуми /34% гумового дрібняку/, нафтових бітумів /34%/ і азбестового волокна /30%/ з добавкою пластифікатора і вулканізатора. Рулони мають довжину 50 м, ширину 400-1000 м і товщину 1,5-2,5 мм. Границя міцності при розтяганні 8 кгс/см²; видовження при розриві 75%; температура розм'якшення 140 °С; водовибирання за 24 год не більш як 1%.

Ізол здобувають з суміші спрацьованої гуми і бітуму з добавкою різних тонкомелених наповнювачів /тальку, вапняку, піску/. Залежно від складу гумобітумної в'язучої речовини, а також від якості і кількості наповнювача ізол можна виготовити рулоном, плитками і мастикою.

Металоізол являє собою металеву алюмінієву стружку або фольгу завтовшки близько 0,2 мм, вкриту з обох боків бітумом. Він відзначається високою водонепроникністю, міцністю і гниlostійкістю; при розтяганні дещо видовжується.

При температурі нижчій 10 °С його застосовувати не можна. У разі пошкодження бітумного покривного шару під дією лугів можлива корозія алюмінієвої основи.

II.6. Бітумні і дьогтьові покрівельні матеріали

Бітумінозні покрівельні матеріали виготовляють, просочуючи якусь основу /азбестовий папір, картон тощо/ нафтовими бітумами або дьогтьовими сумішами і потім покриваючи більш тугоплавкою речовиною. Кріплять ці матеріали на мастиках. Бітумні матеріали довговічніші за дьогтьові.

Покрівельні бітумінозні матеріали мають ряд позитивних якостей: вони легкі, з них можна виготовляти покрівлю з малим похилом, що зменшує її площу; вони стійкі до хімічних впливів та ін. Недолік таких покрівель - недовговічність, займистість; крім того, для їх влаштування потрібна суцільна опалубка.

Бітумними покрівельними матеріалами є руберойд і пергамін, а дьогтьовим - толь.

Руберойд - рулонний матеріал, виготовлений з картону, просоченого м'якими нафтовими бітумами. Його поверхня вкрита з обох боків тугоплавкими нафтовими бітумами і тонким шаром дрібного тальку або іншої мінеральної речовини /можна використати також крупнозернисту або лускату слядяну посипку, що захищає бітум від атмосферних впливів/.

Руберойд має такі марки: РК-420* /руберойд з крупнозернистою посипкою з одного боку/; РЧ-350 /руберойд з лускатою посипкою з одного боку/; РР-250 /руберойд з дрібною мінеральною посипкою з обох боків/. Ширина полотна становить 750, 1000 і 1025 мм; загальна площа полотна в рулоні 10 і 20 м². Двобічний руберойд кріплять на холодних мастиках однобічний - на гарячих.

Пергамін на відміну від руберойду не має покривного шару бітуму і посипки. Його використовують як підкладковий матеріал під руберойд, що кріпиться на гарячих мастиках, а також під інші покривельні матеріали /черепицю, азбестоцементні плити та ін./.

Толь - рулонний матеріал, який виготовляють, просочуючи картон дьогтьовою сумішшю і посипаючи один або обидва боки його піском /чи не посипаючи/. В останньому випадку матеріал називають толь-шкірою, гідроізоляційним толем.

Толь має такі марки: ТП-350 /толь з піською посипкою/; ТК-420 /толь з крупнозернистою посипкою/; ТК-350 /толь-шкіра/; ТП-350 /толь гідроізоляційний/.

Ширина полотна буває від 750 до 1000 мм; площа рулона - 15 м².

II.7. Бітумні і дьогтьові мастики

Бітумні і дьогтьові мастики застосовують для приклеювання, а іноді й фарбування гідроізоляційних і покривельних матеріалів /руберойду, толю, гідроізолу та ін./.

Бітумну мастику готують з бітуму з добавкою /або без неї/ пилко-видних /тальк, діатоміт, вапняк/ або волокнистих /азбест, деревне волокно/ наповнювачів. Мастики готують гарячими і холодними.

Гарячі бітумні мастики варять у котлах з вогньовим обігріванням, інтенсивно перемішуючи.

Холодні мастики виготовляють на розріджувачах /зелене масло, лакоїл/. Вони зручніші, особливо в зимовий час, і скорочують затрати бітуму приблизно в 4 рази порівняно з гарячими. Це досягається за рахунок зменшення товщини шару мастики, оскільки в холодному стані вона зберігає пластичність і при знижених температурах.

* Цифри означають масу 1 м² картону в грамах

Дьогтьові мастики виготовляють з перегнаного або складеного дьогтю з добавкою /або без неї/ наповнювача. Використовують ці мастики розігрітими /до температури 140-150 °C/.

II.8. Асфальтові і пекові лаки

Асфальтові і пекові лаки застосовують для антикорозійного покриття санітарно-технічного металевого устаткування - водопровідних і каналізаційних труб, вентиляційних установок тощо.

Асфальтові лаки мають приблизно такий склад: смола ясна - 20%, бітум - 35%, розчинник - 35%. Щоб надати лаковому покриттю металічного блиску, в лак вводять 10-20% алюмінійового порошку. Лаки цілком висихають через 24 год після нанесення на устаткування.

Пековий лак /кузбаслак/ - це розчин кам'яновугільного пеку в сольвент-нафті. Плівка лаку не відливає, не втрачає глянцю, не розтріскується і не пузириться, при нагріванні до 70 °C протягом 1 год не відшаровується, водонепроникна, кислотостійка. Недоліки цієї плівки - мала пластичність і малий опір різким температурним перепадам.

12. БУДІВЕЛЬНІ ПЛАСТМАСИ

12.1. Загальні відомості і класифікація пластичних мас

Пластичними масами називають матеріали, основу яких становлять смолоподібні органічні речовини з великою молекулярною масою. Ці речовини здатні під впливом нагрівання і тиску набирати потрібної форми і стійко зберігати її після зняття навантаження.

Пластмаси одержують хімічним способом з найпростіших речовин, які добувають з вугілля, нафти, повітря, вапна та ін.

Пластмаси поділяють на прості і складні.

Прості пластмаси складаються з смолоподібних органічних речовин /органічне скло/. Здебільшого для будівництва використовують складні пластмаси. Вони складаються з полімерних смол і різних компонентів - наповнювачів, пластифікаторів, змашувальних речовин, барвників та ін. Для виробництва пористих пластмас застосовують спеціальні речовини - пороутворювачі /порофори/.

Наповнювачі надають пластмасам потрібних фізико-механічних властивостей і здешевлюють їх, зменшуючи вміст найдорожчого компонента -

полімерних смол. Як наповнювачі застосовують пиловидні /слюда, кварцове борошно, тальк/, волоконисті /бавовняні начоси, деревне, азбестове і скляне волокно/ та листовидні /папір, деревний шпон, азбестовий картон, бавовняна і скляна тканина/ речовини.

Пластифікатори надають пластмасам у процесі їх виготовлення більшої пластичності /дibuтилфталат, камфора, олеїнова кислота та ін./.

Змащувальні речовини не дають пластмасам приставати до форм під час пресування виробів /стеарин, олеїнова кислота та ін./.

Як барвники використовують органічні /нігрозин, хризоїдин/ і мінеральні /вохра, мумія, сурик, умбра/ речовини.

12.2. Основні властивості пластмас

До позитивних властивостей пластмас належать такі:

1/ Мала середня густина, особливо у пористих пластмас - 15-2200 кг/м³. У середньому /за винятком поропластів/ вона в 2 рази менша, ніж в алюмінію, і в 5-8 разів, ніж у сталі, міді та інших металів.

2/ Висока міцність, що іноді перевищує міцність сталі. Пластмаси з листовим наповнювачем мають границю міцності при розриві 1500 кгс/см² /текстоліт/, 3500 кгс/см² /дельта деревини/, і 4800-9500 кгс/см² /шарувато-волоконистий анізотропний матеріал - СВАН/, а сталь марки 3 - 3800-4500 кгс/см². Границя міцності при стиску цих матеріалів 1600-4200 кгс/см², а пластмас з порошкоподібним і волокнистим наповнювачем - 1200-1600 кгс/см² /при вигині - 400-600 кгс/см²/.

3/ Низька теплопровідність. У щільних пластмас теплопровідність дорівнює 0,2-0,6 Вт/(м·°C), а у пористих 0,026 Вт/(м·°C).

4/ Хімічна стійкість щодо дії води, кислот, розчинів солей, органічних розчинників /бензину, бензолу та ін./.

Особливо стійкі до дії кислот і розчинів солей пластмаси на основі поліетилену, поліізобутилену, полістиролу та ін.

5/ Здатність забарвлюватися в різні кольори, причому забарвлення виробу на всю товщину в процесі виготовлення дає можливість обійтися без періодичних фарбувань.

6/ Мала стираність, що дає можливість застосовувати деякі пластмаси на підлоги.

7/ Прозорість і високі оптичні властивості деяких пластмас /органічне скло, скло з полістиролу/. Вони здатні пропускати 73% ультрафіолетової частини спектра, тоді як звичайне силікатне скло - лише 0,6%. Цю якість пластмас використовують при обладнанні парників.

8/ Легкість механічної обробки. Їх можна пиляти, стругати, шліфувати та ін., а також склеювати і зварювати.

9/ Необмеженість і доступність сировинної бази - наявність великих запасів вугілля, нафти, газу.

Проте пластмаси мають і ряд недоліків, які знижують їх цінність як будівельного матеріалу. Це передусім такі:

1/ Низька теплостійкість більшості пластмас - 70-200 °C /а іноді і займистість/. Лиш деякі з них, наприклад на основі кремнійорганічних смол, можуть витримувати температуру до 400 °C.

2/ Мала поверхнева твердість - 15-25 кгс/мм², в той час як у сталі вона становить близько 450 кгс/мм².

3/ Високий коефіцієнт термічного розширення - 25-120·10⁶, а у сталі він в 2,5-10 разів менший.

4/ Висока повзучість, тобто здатність матеріалу деформуватися згодом при поетапному навантаженні. Повзучість пластмас значно вища, ніж у бетону, сталі і збільшується при підвищенні температури.

5/ Старіння, тобто зміна властивостей з часом.

12.3. Полімерні смоли

Полімерні смоли є основним компонентом пластмас. Видів полімерних смол дуже багато. Проте для виробництва будівельних матеріалів використовують деякі з них.

Усі високомолекулярні смоли поділяють на чотири групи за способом виробництва /полімеризація, поліконденсація, модифікація природних полімерів у природних умовах і деструктивна та проста перегонка природних органічних речовин/.

Смоли, що їх здобувають способом хімічної модифікації /зміни/ природних полімерів, наприклад, прості ефіри целюлози, застосовуються в будівництві обмежено /в основному в лакофарбовій промисловості/, і тому тут ми їх не розглядаємо. Смоли останньої групи - природні і нафтові бітуми, кам'яновугільні смоли, пеки і масла - до полімерних матеріалів не належать.

Розвиток сучасної промисловості будівельних полімерних матеріалів ґрунтується на застосуванні синтетичних смол, що їх здобувають методом полімеризації і поліконденсації.

Полімеризацію називають хімічний процес утворення високомолекулярних органічних сполук з низькомолекулярних /мономерів/, причому полімери, що утворюються, мають такий самий елементний склад, що й вихідні мономер, і жодних побічних продуктів реакції при цьому не виникає.

Поліконденсація називають хімічний процес утворення високомолекулярних органічних сполук з низькомолекулярних речовин, який супроводиться відщепленням побічних продуктів /води, спирту, хлористого водню та ін./. Сполуки, що при цьому утворюються, відрізняються за своїм складом від вихідних речовин.

Одна з найважливіших характеристик смол - їх відношення до нагрівання. За цією ознакою смоли ділять на термопластичні і термореактивні.

Термопластичними називають такі смоли, властивості яких при нагріванні змінюються оборотно: при нагріванні вони розм'якшуються, а при охолодженні знову тверднуть.

Термореактивними називають такі смоли, які при нагріванні необоротно переходять у неплавкий і нерозчинний стан.

Відношення смол до нагрівання має значення при технологічних процесах переробки пластичних мас у виробі. Розглянемо деякі полімеризаційні і поліконденсаційні смоли.

Полімеризаційні смоли. Поліетилен здобувають з газу етилену. Границя його міцності при розриві становить від 100 до 200 кгс/см² залежно від його молекулярної маси; температура плавлення дорівнює 100-115 °С.

Поліетилен застосовують для виготовлення санітарно-технічного устаткування /водопровідних, каналізаційних і газових труб/, а також плівки для гідро-, паро- і газоізоляції будівельних конструкцій.

Полівінілхлорид здобувають полімеризацією газу хлористого вінілу. Він має вигляд білого аморфного порошку. Границя його міцності при розтяганні досягає 500 кгс/см², а теплостійкість 65 °С.

Застосовують полівінілхлорид для виготовлення лінолеуму, лінокрусту, плівки, термоізоляційних матеріалів /пінополівінілхлориду/, погонажних виробів - плінтусів, поручнів, труб тощо. Різновидом є вініпласт, що відзначається високою міцністю і жорсткістю.

Полістирол здобувають із стиролу - безбарвної рідини. Він являє собою тверде, пружне тіло з теплостійкістю 70-80 °С, безбарвний, прозорий.

З полістиролу виготовляють облицзовальні кольорові плити, звуко- і теплоізоляційні плити, плівки, фарби та емалі. Його використовують і для скління. До недоліків полістиролу як будівельного матеріалу слід віднести його крихкість і невисоку атмосферостійкість.

Полівінілацетат здобувають з вінілацетату - рідини з ефірним запахом, яка утворюється з ацетилену та оцтової кислоти. Полівінілацетат являє собою прозору безбарвну смолу. Розчиняється в спиртах, складних ефірах та ін. Границя його міцності при розриві - 300 кгс/см².

Полівінілацетат застосовують для виробництва лаків, для склеювання деревини. В емульсії його застосовують для виготовлення мастичних підлог і полімербетонів. Він має невисоку морозо- і водостійкість і тому використовується в основному всередині приміщень.

Поліакрилати - безбарвні, світлостійкі, прозорі смоли. При їх утворенні мономерами служать ефіри акрилової і метакрилової кислот. З них для будівництва найбільший інтерес становить тверде органічне скло /плексиглас/. Воно пропускає понад 99% сонячного світла і багато ультрафіолетового проміння; тому його застосовують для скління різних будинків, оранжерей і теплиць. Поліакрилати застосовують також для виготовлення труб, облицзовальних листів тощо.

Поліконденсаційні смоли. Фенолоальдегідні смоли здобувають з фенолів і альдегідів. Як альдегіди можна використати формальдегід, фурфурол, лігнін, залежно від чого смолу відповідно називають фенолоформальдегідна, фенолофурфурольна та ін.

Фенолоформальдегідні смоли за об'ємом виробництва є одним з основних видів продукції промисловості пластичних мас.

Фенол являє собою безбарвні голчасті кристали з специфічним запахом, він дуже отруйний. Формальдегідом називають водний розчин газу формальдегіду.

Фенолоформальдегідні смоли в будівництві застосовують як основу клеїв, що йдуть на виробництво деревноволокнистих і деревностружкових плит, деревношаруватого пластику, паперошаруватих пластиків та ін.

Карбамідні смоли /сечовино-формальдегідні/ набули значного поширення завдяки тому, що на відміну від фенолоформальдегідних смол вони безбарвні або мають слабе ясне забарвлення.

Сечовина /карбамід/ являє собою білі кристали, добре розчинні у воді. З карбамідних смол виготовляють пінопласти /міпору/ і клей для склеювання різних шаруватих пластиків.

Поліефірні смоли здобувають при поліконденсації двохосновних кислот і багатоатомних спиртів. Вони відіграють головним чином сполучну роль при виготовленні склопластиків.

Широко застосовують у будівництві також гліфталеву смолу, що її здобувають з гліцерину і фталевого ангідриду. Її використовують для виготовлення лінолеуму, лаків, емалей, ґрунтовок.

Кремнійорганічні смоли здобувають на основі двох класів полімерів: органічних /з вуглецевими зв'язками/ і мінеральних - силікатних /з кремнійкисневим зв'язком/.

У результаті цього кремнійорганічні смоли набирають ряд позитивних фізико-механічних властивостей, характерних як для органіч-

них /еластичність та ін./, так і для силікатних /теплова і хімічна стійкість та ін./ полімерів.

На основі кремнійорганічних смол створено багато лаків і емалей, що їх застосовують як жаростійкі та атмосферостійкі покриття; здобуто пінопласти, що витримують температуру від 90 до 400 °С. Нанесення тонкого шару кремнійорганічної смоли на поверхню конструкції робить її гідрофобною протягом 10-15 років.

Епоксидні смоли утворюються при поліконденсації епіхлоргідрину з речовинами, що мають рухомий атом водню /фенолами, спиртами, амінами/.

Епоксидні смоли відрізняються високою хімічною стійкістю до дії хлору, соляної і фосфорної кислот та ін., малов усадкою, відмінними адгезійними /клеючими/ якостями. У ряді випадків бетонні, залізобетонні і металеві конструкції можна досить міцно склеїти клеями, створеними на основі епоксидних смол.

12.4. Матеріали для покриття підлог

Полімерні матеріали дістають широке застосування для покриття підлог. Вони стійкі проти стираності, малотеплопровідні, мають невелике водовбирання, не набрякають при зволоженні, досить тверді і міцні, мають високі лакофарбові якості, тобто відповідають усім вимогам, які пред'являють до підлог.

Матеріали для підлог поділяють на три групи: рулонні /лінолеуми/, плиткові і матеріали для влаштування безшовних підлог.

Рулонні матеріали - до них належать лінолеуми і синтетичні килими. Вони бувають одно- і багатоколірні, узорчасті, гладкі, рифлені, ворсисті. Застосовуються для покриття підлог у всіх типах будівель.

Полівінілхлоридний лінолеум являє собою рулонний матеріал, виготовлений з пластмаси на основі полівінілхлоридної смоли. Його випускають на тканинній або іншій основі, а також без неї. У першому випадку маса смоли, пластифікатора, барвника та ін. наноситься на тканинну основу з безперервно рухомого полотна: у другому - маса на спеціальних машинах перетворюється на полотно.

Довжина рулонів 12 м, ширина 0,75 і 1,6 м, товщина 2-3 мм. Лінолеум можна застосовувати в сухих приміщеннях, оскільки в місцях з підвищеною вологістю він змінює свої розміри і жолобиться.

Випускають також гліфталевий /на основі гліфталевої смоли - різновид поліефірних смол/ і колоксиліновий /нітроцелюлозний/ лінолеум. Гумовий лінолеум /реалін/ складається із суміші синтетичного каучуку, старої гуми /в основному використані автопокришки/ і бітуму.

Плиткові матеріали мають перевагу перед рулонними /менші затрати полімеру, простота скріплювання з основою підлоги, легший ремонт ділянок підлоги, різноманітність форм і забарвлення, більш високі декоративні якості/. Недоліки: менша гігієнічність і довговічність підлоги /більше швів/, більша вартість.

Полівінілхлоридні листи і плитки бувають одно- і багатоколірні, з малюнком. Застосовуються у всіх типах будівель.

Кумаронові плитки застосовуються для покриття підлоги у коридорах, санвузлах, кухнях, на сходових маршах житлових будівель.

Фенолітові плитки застосовуються для покриття підлоги у промислових будівлях, цехах і лабораторіях з агресивним середовищем.

Гумові плитки застосовуються для підлог у приміщеннях з підвищеною вологістю.

Тверді і надтверді ДВП - в житлових будівлях; тверді ДСП - в сухих приміщеннях.

Монолітні покриття для підлог не мають стиків і швів, гігієнічні, довговічні, стійкі проти стираності.

Полівінілацетатна мастика - як зв'язуючу речовину для неї застосовують емульсію, наповнювачем є кварцовий пісок, а пігментом - вохра, сурик тощо. Мاستику укладають двома шарами /шпаклювальний і лицьовий/. Після затверднення - підлоги натирають воском і вкривають лаком; вони безшумні, не ковзають, не пилять.

Полімербетони на відміну від мастик складаються з комплексної зв'язуючої речовини - полімерної і мінеральної. Найбільш поширені полімерцементні бетони /на основі полівінілацетатної емульсії і ПЦ/; заповнювачем у цьому випадку є подрібнений граніт, вапняк або пісок. Його вкладають шаром завтовшки 3-10 мм для одношарового покриття і завтовшки 5-20 мм, а потім 2-5 мм для двешарового.

Підлоги з полімерцементу дуже міцні й тверді, мало стираються, добре чинять опір ударам. Вони в 3,5-4 рази дешевші за паркетні і в 1,5-2 рази - за лінолеумні.

Пластобетони виробляють на основі тільки синтетичної зв'язуючої речовини - поліефірної, епоксидної та інших смол. Як дрібний і крупний заповнювач тут застосовують звичайний пісок, гравій і щебінь. Пластобетони мають підвищену густину, стійкі до дії агресивних середовищ та міцні. Армуємі пластобетон синтетичним волокном, можна одержати армопластобетон з ще вищими показниками міцності. Але через високу вартість смол пластобетони поки що застосовують рідко.

12.5. Стінові матеріали

Ці матеріали поділяють на дві групи: конструкційні й опоряджувальні.

12.5.1. Конструкційні стінові матеріали

Конструкційні матеріали застосовують для влаштування стін і перегородок. Розглянемо деякі з них.

Склопластики являють собою матеріал, що складається з скляних волокон і синтетичної смоли /поліефірної, кремнійорганічної, фенолоформальдегідної/. Скляні волокна порівняно з синтетичними і природними надають пластикам більшої міцності і хімічної стійкості, а в поєднанні з смолою утворюють чудовий армований матеріал. Найбільш поширені в будівництві склопластик на основі січеного волокна, склотекстоліт і скловолокнистий анізотропний матеріал /СВАМ/.

Склопластики на основі січеного волокна виготовляють, наносючи на поверхню суміш волокна з рідкими смолами або пресуючи. Середня густина цього матеріалу 1500–1600 кг/м³, границя міцності при стиску – до 1800 кгс/см², а при розтяганні 1400–2200 кгс/см².

Склотекстоліт виготовляють гарячим пресуванням полотнищ з скляної тканини, просочених смолою. Границя міцності при стиску – до 4300 кгс/см², при розтяганні – до 1500 кгс/см².

СВАМ відрізняється від склотекстоліту тим, що його скловолокна одразу ж після витягання їх з розплаву /без виготовлення склотканини/ розміщуються шарами і склеюються смолою. Це значно збільшує міцність скляних ниток /в 2–3 рази/. Завдяки цьому СВАМ має границю міцності при розтяганні до 9500 кгс/см², а при стиску – до 8500 кгс/см².

Із склопластиків виготовляють конструкції стін, перегородок покрівлі, а також санітарно-технічне устаткування /труби, раковини, ванни, тощо/.

Деревні пластики виготовляють з шарів деревини або стружок і волокон, просочених синтетичними смолами. За своїми фізико-механічними показниками деревні пластики переважають матеріали з найкращих порід природної деревини. Застосовують їх для спорудження стін, перегородок, на підлоги.

Деревношаруваті пластики виготовляють гарячим пресуванням тонких листів деревного шпону, просоченого смолами /феноло-формальдегідними, карбомідною та ін./. Перед пресуванням ці листи вкладають у пакети з таким розрахунком, щоб суміжні листи мали певний напрям волокон

/паралельний, перпендикулярний, під кутом/; цим створюється міцність пластика в різних напрямках.

Границя його міцності при стиску - до 1600 кгс/см^2 , при розтяганні - до 2600 кгс/см^2 , середня густина - 1300 кг/м^3 .

Для стін застосовують деревноволокнисті і деревностружкові плити з середньою густиною від 600 до 1100 кг/м^3 і вище; границя їх міцності при вигині - понад 2000 кгс/см^2 .

Стінові панелі - найбільш перспективні для великопанельного домобудування. Вони складаються з двох тонких і міцних зовнішніх шарів /деревношаруваті пластики, склопластики, алюміній, азбестоцементні листи/ і внутрішнього теплозвукоізоляційного шару /ніздруваті пластмаси/. Зовнішній шар повинен мати високу міцність, вогнестійкість, водостійкість, морозостійкість. Зовнішній шар, звернений всередину приміщення /облицювальний/, повинен бути гігієнічним, красивим, не мати запаху і не бути токсичним. Внутрішній /середній/ шар повинен мати добрі ізоляційні властивості, вогнестійкість і біологічну стійкість.

12.5.2. Опоряджувальні матеріали

Паперошаруватий пластик /паперопласт/ являє собою листовий матеріал, який виготовляють гарячим пресуванням спеціальних паперів, просочених смолами. Поверхня паперопласту може імітувати різні цінні породи деревини /горіха, дуба, карельської берези/ або каменю /мармуру, малахіту/. Для цього на неї наклеюють спеціальний текстурний папір. Листи паперопласту використовують як декоративно-облицювальний матеріал для різних приміщень.

Облицювальні плитки застосовують для внутрішньої обробки всіх типів будівель з підвищеними тепловоложеними умовами і гігієнічними вимогами /кухні, ванни, туалети, лікарні, лазні, кафе тощо/.

Полістирольні плитки бувають квадратні і прямокутні, різного кольору. Лицьова поверхня гладка, тильна - рифлена. Недолік - горючість. Забороняється застосовувати в дитячих закладах і в приміщеннях з відкритим полум'ям /кухні/.

Фенолітові плитки - тільки квадратні. Мають високу водо-, кислото-, морозостійкість. Найбільш часто застосовуються для облицювання стін у цехах і лабораторіях з агресивним середовищем, а також санвузлах, вестибюлях, сходових клітках.

ПВХ плитки - у всіх типах будівель.

Рулонні матеріали

Лінкруст являє собою паперову або тканинну основу, на одному боці якої нанесено пасту з синтетичної смоли і наповнювач. У процесі виготовлення шару пасту надають рельєфний рисунок. Кріплять лінкруст на крохмальних і синтетичних клеях. У міру забруднення його можна мити; на сонці не вицвітає. Застосовують для опорядження стін громадських і службових приміщень.

Павінол - це матеріал з бавовняної тканини, вкритий з одного боку пастою з полівінілхлоридної смоли. Павінол - міцний, еластичний і красивий матеріал з рельєфним кольоровим рисунком. Кріплять на синтетичних смолах або цвяхах. Застосовують його для опорядження стін вагонів, кают, салонів, залів громадських будинків та ін.

Текстовініт виготовляють приблизно так, як і павінол, але це дешевий матеріал, що застосовується у менш відповідальних опоряджувальних роботах.

Шпалери виготовляють з рулонного паперу з нанесеним фарбами рисунком. Вони бувають кількох видів: негрунтовані /рисунок нанесено безпосередньо на папір/; ґрунтовані /папір до нанесення рисунка вкривають шаром фарби - ґрунтом/; тиснені /рисунок наносять на ґрунтовий папір олійною фарбою з одночасним тисненням/; шпалери спеціального оздоблення /гофровані, муарові, атласні, оксамитні та ін./.

Шпалери, що миються, виготовляють з паперу, лицьова поверхня якого вкрита тонким шаром синтетичної смоли /полівінілацетатної емульсії, латексу, синтетичного каучуку/. Таке покриття дає можливість стінам "дихати", і в той же час воно водостійке і довговічне. В міру забруднення його можна мити теплою мильною водою. Шпалери наклеюють на стіни клейовими сумішами.

Погонні вироби - це довгомірні елементи різного профілю. Виготовляють їх на основі полівінілхлориду способом безперервного видавлювання /екструзії/ на спеціальних екструзійних машинах. Вони мають високі фізико-механічні, декоративні та експлуатаційні властивості. Перед аналогічними дерев'яними виробами мають переваги: більш гігієнічні, не потрібно фарбувати, добре миються, кріпляться мастиками або клеєм.

Плінтуси призначені для перекриття стикових щілин між підлогою і стінами, охороняють стіни від випадкових пошкоджень, поліпшують тепло- і звукоізоляцію приміщень. Бувають двох видів: з прямим стінком і з виїмкою для радіотелефонної проводки.

Поручні, виготовлені на основі полівінілхлориду, застосовують замість дерев'яних. Переваги такі самі, як і у плінтусів. Не гниють.

Накладки для бетонних сходинок сходів охороняють східці від руйнування /стирання, ударів, пошкодження ребер/, поліпшують декоративні якості. Бувають стрічкові, кутові, для покриття кутів і проступів.

Розкладки - для кріплення і перекриття швів листових і рулонних матеріалів, стиків у великопанельних будівлях.

Наличники - дверні і віконні.

Надильники і кутики - для перекриття приєднань сантехнічних приладів до стінок.

12.6. Покрівельні та гідроізоляційні матеріали

Поділяються на листові, рулонні, плівкові і мастикові. Листові застосовуються як покрівельні, рулонні - як покрівельні і гідроізоляційні, плівкові і мастикові - як гідроізоляційні.

Листові матеріали. Найбільш широко застосовуються поліефірні склопластики - хвилясті і плоскі. Мають високу атмосферостійкість, добре пропускають світло /до 85%/, витримують перепади температур від -50°C до 90°C . Застосовуються для покриття промислових будівель і легких будов. Ізоловні плитки застосовуються для улаштування луско-подібної покрівлі. Ізол - це матеріал, який утворюється в спрацьованій гуми, бітуму і наповнювача /талых, азбест/. За фізико-механічними властивостями відрізняється і від гуми, і від бітуму.

Рулонні матеріали. Рулонний ізол не має картонної основи /як толь і руберойд/. Тому він характеризується високою водо-, біо- і хімічною стійкістю. Зберігає еластичність при негативних температурах. Застосовується для влаштування багатомаровних покриттів у всіх типах будівель і як гідроізоляція. Гідроізоляційний матеріал з поліізобутиленом /ГМП/ являє собою рулони, виготовлені з суміші бітуму /30-40%/, талыху /20%/, азбесту /35%/, поліізобутилену /4-10% / і феноло-формальдегідної смоли /1-5%/. Коли збільшується вміст поліізобутилену, зменшується відносне видовження і збільшується морозостійкість матеріалу. Технологія виготовлення ГМП полягає в змішуванні компонентів і в розкочуванні маси в полотнища, які потім згортають у рулони. Ширина полотна 500-800 мм, товщина 2 мм. Кріплять ГМП на бітумній мастиці і застосовують в умовах, що вимагають довговічної і надійної гідроізоляції при підвищених або понижених температурах. ГМП є найдорожчим гідроізоляційним матеріалом через високу вартість поліізобутилену.

Плівкові матеріали. Поліетиленова плівка практично паро- і водонепроникна у хімічних агресивних середовищах. Еластичність плівки зберігається при температурі до -70°C . Границя міцності при розриві 150 кгс/см^2 , відносне видовження при розриві 250%, водовибирання після 24-годинного перебування у воді 0,01%. Плівку випускають полотном завширшки 150-650 мм і завтовшки 0,2 мм. Недоліки - старіння і псування гризунами. Полотна плівки з'єднують через паперову стрічку металевим гладилом при температурі $90-130^{\circ}\text{C}$.

Полівінілхлоридна плівка своїми властивостями поступається поліетиленовій. Вона має границю міцності при розриві 100 кгс/см^2 , відносне видовження при розриві 130% і водовибирання протягом 24 год - 1,5%. Застосовуються для підвалин, як ізолятор від ґрунтових вод, дна і стінок зрошувальних систем, для ізоляції залізобетонних виробів при твердненні /охороняє від витрати води/.

Мастикові матеріали. Ізолова мастика застосовується для гідроізоляції поверхонь складної конфігурації. Має високу адгезію до скла, металу, бетону, кераміки.

12.7. Герметики, клеї і мастики

Герметики застосовуються для ущільнення стиків між панелями збірних будівель. Вони в цьому випадку є не тільки герметизуючими, а й теплозвукоізоляційними. Бувають у вигляді еластичних плівок, прокладок і паст.

Поліізобутиленова плівка УП-50 у вигляді стрічки приклеюється на вертикальні стики панелів. Вона еластична, не має залишкових деформацій, вільно подовжується і скорочується, проходячи за деформацією панелей.

Тіколові плівки застосовуються для герметизації вертикальних і горизонтальних стиків панелей. Найбільш часто використовується тіколовий герметик У-30М у вигляді паст. Наноситься товщиною до 2 мм по дві сторони стику. Після висихання утворює еластичну плівку.

Пороізол, герніт - еластичні прокладки у вигляді джгутів з пористої гуми. Їх стискають до 40-50% початкового об'єму і вставляють у стик на мастичі.

Клеї і мастики застосовуються для кріплення опоряджувальних матеріалів до стінок, стелі, підлоги, для кріплення погонних виробів. Види клеїв: каучуковий, перхлорвініловий, поліізобутиленовий, карбамідний, фенолорезорциновий. Мастики від клеїв відрізняються більшою в'язкістю /більше наповнювача/. Мастики для опоряджувальних матеріа-

лів - каніфольна, казеїново-цементна, колоксилінова, кумаронова, феноло-формальдегідна. Мاستики для підлог - бітумна, бітумно-каучукова, кумароно-каучукова, каніфольна.

12.8. Тепловукоізоляційні матеріали

Ці матеріали мають малу середню густину $\rho_0 = 10-200 \text{ кг/м}^3$ і теплопровідність $\lambda = 0,02-0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, але достатню механічну міцність.

Пінопласти - це пористі пластмаси. Пори утворюються внаслідок спучування розм'якшеної пластмаси хімічним шляхом і заповнюються повітрям або газом.

Пінопласти виготовляють на основі таких полімерів:

полістиролу /пінополістирол/, випускають у вигляді плит і блоків білого кольору; гниlostійкий, добре склеється з іншими матеріалами, горючий; застосовується для теплоізоляції суміщеної покрівлі, перекриттів, стін, перегородок, для влаштування середнього шару тришарових стінових панелей ;

полівінілхлориду /пінополівінілхлорид/, випускають у вигляді жорстких та еластичних плит; застосовується там же, де і пінополістирол, проте не горючий ;

поліуретану /пінополіуретан/ випускають у вигляді жорстких плит для шарових панелей, шкаралуп і сегментів - для ізоляції трубопроводів; еластичний застосовується для герметизації стиків, панелей, вікон дверей, горючий ;

сечовино-формальдегідної смоли /міпора/ являє собою піну, яка затверділа, теплоstійка.

Сотопласти складаються з чарунк, що мають в поперечнику правильну геометричну форму і регулярно повторюються. Їх виготовляють з різних матеріалів - бавовняної тканини, склотканини, паперу, фольги і деревного шпону, просочених полімерами /феноло-формальдегідною, епоксидною смолами та ін./. Для поліпшення теплоізоляційних якостей сотопласту його чарунки можна заповнити дріб'язком міпори.

12.9. Сантехнічні вироби і труби

Сантехнічні вироби з пластмас особливо широко застосовуються в житловому будівництві. До них належать ванни, раковини, умивальники, душові кабінки, змивні бачки, різні деталі для обладнання ванн, кухонь, туалетів.

Труби. Поліетиленові труби виготовляють способом безперервного, видавлювання/екструзії/ на спеціальних машинах. Вони мають діаметр від 13 до 150 мм і розраховані на робочий тиск до 12 атм. Довжина труб може досягати 300 м, тому при виготовленні їх згортають у бунти. Поліетиленові труби майже в 9 разів легші за сталеві, вони морозостійкі і не втрачають еластичності до температури -30°C . Мають добрі діелектричні властивості, стійкі до дії води, розчинів солей, кислот і лугів. З'єднують їх одну з однією зварюванням або на фланцях.

Полівінілхлоридні/вінілпластові/ труби виготовляють з внутрішнім діаметром 6-150 мм, товщиною стінок 2-8 мм і завдовжки 1,5-3 м. Вони призначені для роботи в агресивних середовищах при 40°C . З'єднують їх, зварюючи, і муфтами, хомутами тощо.

Склопластикові труби мають високу механічну міцність і хімічну стійкість. Через високу вартість застосовуються поки що дуже рідко.

13. КОМПОЗИЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

13.1. Загальні відомості

Композиційний матеріал /скорочено композит/, складається з основного матеріалу - матриці /зв'язуючої/ і зміцнюючого компонента у вигляді волокон або твердих частинок. Компоненти композиту розподілені видимою поверхнею поділу. Сполучення в композиті мінімум двох різних матеріалів утворює синергетичний ефект - здобування якісно нових властивостей, відмінних від властивостей кожного компонента окремо взятого. Конструкційні композити відзначаються високою питомою міцністю /характеризується відношенням міцності до густини матеріалу - ККН/. У будівництві поряд з відомими композиційними матеріалами /азбестоцементом/ все ширше застосовують нові види композитів.

Щоб краще зрозуміти, яку участь беруть матриця і зміцнювач у формуванні властивостей композиту, розглянемо конкретний приклад, який належить до поширеного класу волокнистих композитів. Для несучих і огорожувальних конструкцій застосовують велику групу полімерних композиційних матеріалів, зміцнених волокнами. До волокнистих композитів належать склопласти /типу СВМ/, деревностружкові і деревно-волокнисті плити /ДСП і ДВП/, а також інші листові, плитні та рулонні матеріали.

Як зазначалося, полімерний волокнистий матеріал включає два основних компоненти: зміцнюючі волокна /або тканина/ і зв'язуюче /матриця/ - полімер або каучук. Поєднання в одному матеріалі різнорідних компонентів - волокна скляного, азбестового, деревного тощо/ і полімеру створює легкий композиційний матеріал з високою міцністю на розтягання та вигин.

Вміст волокна V_B і матриці V_M у частках від об'єму композиту, прийнятого за одиницю:

$$V_B + V_M = 1, \quad V_M = 1 - V_B.$$

Наповнення композиту волокном звичайно становить 20-90%, тобто $V_B = 0,2-0,9$.

Осьове розтягуюче зусилля, яке сприймає композит, розподіляється між двома компонентами - волокном P_B і матрицею.

Композит працює як єдиний матеріал, тобто відсутнє проковзування волокна відносно матриці.

Композиційні матеріали часто називають матеріалами майбутнього через їх легкість, яка поєднується з високим модулем пружності і опором розтягання. Прогрес у цій галузі пов'язаний із застосуванням тонкого "суперволокна" з матеріалів, модуль пружності яких приблизно на порядок вищий, ніж модуль пружності скла. Проводяться роботи по отриманню безперервних волокон бору, карбиду кремнію, вуглецю, а також бездефектних кристалів оксиду алюмінію /сапфіру/, нітриду кремнію тощо. Вартість цих волокон велика, і вони в першу чергу застосовуватимуться в літакобудуванні, а також у тих галузях техніки, де вартість матеріалу має другорядне значення. Однак історичні аналогії /наприклад, з алюмінієм/ свідчать про те, що через 10-15 років вартість нових матеріалів зменшиться, і з часом вони стануть доступними для будівельної техніки.

13.2. Азбестоцементні вироби

Азбестоцементні вироби /АЦВ/ здобувають із суміші азбесту, цементу і води. Вони мають високу міцність, малу середню густину, низькі теплопровідність і водопроникність, високу морозостійкість і стійкість до агресивного середовища. Недоліки: зниження міцності при насиченні водою, крихкість. Цемент служить зв'язуючим, а волокна азбесту, міцно зв'язуючись з цементним каменем, армують його. Тому властивості АЦВ визначаються не тільки активністю цементу, а й якістю азбесту - діаметром і довжиною волокон.

ІЗ.2.І. Сировина для виробництва азбестоцементних виробів

Азбест - природний мінерал, здатний розщипуватися на тонкі волокна /до 0,0005 мм/, які мають високу механічну міцність. У виробництві АЦВ застосовується некислотостійкий хризотил-азбест

$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Він має $R_{розг} = 2500-3000$ МПа в нерозпушеному вигляді і 600-800 МПа в розпушеному; $\lambda = 0,05-0,06$ Вт/(м·°C) у розпушеному. Азбест - негорючий матеріал. При нагріванні вище за 550 °C він втрачає хімічно зв'язану воду, стає крихким і втрачає міцність; температура плавлення ~ 1550 °C.

Цемент - як зв'язуче застосовується ПЦ марок 300, 400, 500 або піщанистий ПЦ з вмістом піску ~ 50%. Тонкість помелу - залишок на ситі № 008 6-12%. Для регулювання строків тухавіння допускається добавка гіпсу /1,5-3,5%./

Вода - звичайно застосовується чиста питна вода без домішок глини і мінеральних солей.

Пігменти - застосовуються для забарвлення АЦВ. Вони повинні бути світло- і лугостійкими. Використовують залізний сурик, вохру, оксид хрому, ультрамарин або кольорові цементи.

ІЗ.2.2. Різновиди азбестоцементних виробів

З азбестоцементу виготовляють покрівельні матеріали /плоскі пресовані плити, профільовані листи/, санітарно-технічне устаткування /водопровідні і каналізаційні труби, вентиляційні короби та інші вироби/.

Азбестоцементні покрівельні покриття не іржавіють, не потребують фарбування, вони неспалимі, стійкі проти атмосферних впливів, довговічні, мають велику масу. Проте всі азбестоцементні вироби крихкі, чинять невеликий опір ударам, колобляться.

Покрівельні плоскі плити поділяються на рядові, крайові і фризкові. Розміри рядової плити 400х400 мм, крайової 400х333 мм, фризової 400х200 мм; товщина плиток 4 мм. Границя міцності при вигині має бути не менш як 240 кгс/см², водопоглинання не більш як 18% /на масу/, а морозостійкість така, щоб плити без руйнування витримали 25 циклів заморожування і відтавання. Укладають покрівельні плити по суцільній або розрідженій опалубці, або латах.

Покрівельні профільовані листи випускають хвилястими і напівхвилястими, нефарбованими і кольоровими. Хвилясті листи звичайного профілю мають розміри 1200х700х6 мм, а підсиленого профілю - більшу

товщину, що дає можливість надавати їм більших розмірів: 2000х1000х8 мм. Напівхвилясті листи випускають розміром 1200 /800/х550х6 мм. Границя міцності при вигині профільованих листів 140 кгс/см², а листів підсиленого профілю - 180 кгс/см², водовибирання не більш як 30%; морозостійкість 25-30 циклів.

Азбестоцементні труби і муфти застосовують у водопроводі, каналізації, нафто- і газопроводах, дренажі та ін. Вони не руйнуються від блукаючих струмів, створюють менший коефіцієнт тертя рідини об їх поверхню, ніж металеві, тим самим збільшується їх пропускна спроможність.

Оскільки азбестоцементні труби мають менший коефіцієнт теплопровідності і в 2-3 рази товщі стінки, ніж чавунні, то їх теплозахисна здатність приблизно в 100 разів більша. Це дає можливість укладати азбестоцементні труби на меншу глибину, ніж чавунні.

Водопровідні /напірні/ труби випускають на 3, 6, 9 і 12 атм гідравлічного тиску /пробний тиск може бути вдвоє більший/. Внутрішній діаметр труб міститься в межах 50-456 мм, довжина 295-528 см, а товщина стінок 9-43,5 мм.

Каналізаційні /безнапірні/ труби випускають з внутрішнім діаметром 44-576 мм, завдовжки 250, 300 і 400 см і з товщиною стінок від 7 до 18 мм. Такі труби повинні витримувати пробний тиск, не нижчий за 4 атм для всіх діаметрів.

13.3. Фібробетон

Фібробетон армований дисперсними волокнами /фібрами/. Має підвищену тріщиностійкість, міцність на розтягання, ударну в'язкість, опір стираності. Вироби з цього бетону можна виготовляти без армування спеціальними сітками і каркасами, що спрощує технологію приготування виробів і знижує їх працємісткість.

Для армування бетону застосовують різні металеві і неметалеві волокна. Як фібр звичайно застосовують тонкий дріт діаметром 0,1-0,5 мм, нарубаний на відрізки 10-50 мм. Найкращі результати забезпечують фібри діаметром 0,3 мм і довжиною 25 мм. При збільшенні діаметра фібр вище за 0,6 мм різко зменшується ефективність впливу дисперсного армування на міцність бетону.

З неметалевих волокон можуть застосовуватися скляні, базальтові, азбестові та ін. Скляні волокна звичайно мають діаметр кілька десятків мікрометрів і довжиною 20-40 мм. Вони мають високу міцність на розтягування /1500-3000 МПа/ і модуль деформації вище, ніж у цементного каменю. Температурний коефіцієнт лінійного розширення скловолокна

на близький до такого самого коефіцієнта цементного каменю. Однак скло швидко руйнується під дією лужного середовища цементу, тому необхідно передбачувати застосування в'язких речовин або заходів, які охороняють від руйнування скляні волокна у бетоні від корозії. До цих заходів можна віднести використання в бетоні глиноземистого цементу; добавок у бетон, які зв'язують луги; просочення бетону полімером.

Для армування цементного каменю застосовують розглянуті вище азбестові волокна. Для армування міздрватих бетонів, гіпсбетонів та інших матеріалів з низьким модулем пружності застосовують полімерні волокна. Як полімерні матеріали використовують поліефіри, поліакрилати, поліпропілен тощо. Сталевими або неметалевими волокнами армують як правило, дрібнозернисті бетони, інколи цементний камінь.

Ефективність впливу різних видів волокон на властивості бетону залежить від співвідношення модулів пружності армуючих волокон і бетону. При відношенні $E_B/E_d > 1$ можливе здобування фібробетонів з підвищеною міцністю і тріщиностійкістю. При $E_B/E_d < 1$ підвищується ударна міцність і опір матеріалу стираності.

Сталеві фібри вводять у бетонну суміш звичайно в кількості 1,0-2,5% об'єму бетону /3-9% за масою, що дорівнює 70-200 кг фібри на 1 м³ суміші/. При цьому підвищується міцність бетону на розтягування на 10-30%, опір бетону ударам і його границя втомленості, а також зносостійкість.

Скляні волокна вводять у бетонну суміш у кількості 1-4% об'єму бетону. Вони, як і сталеві волокна, мають високий модуль пружності, забезпечують підвищення міцності бетону на розтягування і його тріщиностійкість. Введення волокон у бетонну суміш знижує її рухливість і спричиняє певні труднощі у приготуванні суміші цементу, води, заповнювача і фібр. Звичайно доводиться трохи збільшувати кількість води у подібних сумішах і вміст найдрібніших частинок /цементу і рідкого заповнювача/. Як правило, затрати цементу становить 400-500 кг/м³.

13.4. Цементно-полімерні бетони

Цементно-полімерні бетони - цементні бетони з добавками різних високомолекулярних органічних сполук у вигляді водних дисперсій полімерів - продуктів емульсійної полімеризації різноманітних полімерів: вінілацетату, вінілхлориду, стиролу, латексів тощо або водорозчинних колоїдів: полівінілового і фурилового спиртів, епоксидних водорозчинних смол, поліамідних і сечовино-формальдегідних смол. Добавки вводять у бетонну суміш при її приготуванні. Використання в бетоні полі-

мерів дає можливість змінювати його будову і властивості в потрібному напрямі, поліпшувати техніко-економічні показники матеріалу.

Форми використання полімерів у бетоні різноманітні. Полімери і матеріали на їх основі застосовують у вигляді добавок у бетонну суміш, як в'язучу речовину, для просочування готових бетонних і залізобетонних виробів, дисперсного армування полімерними волокнами, у вигляді легких заповнювачів /або модифікації властивостей мінеральних заповнювачів/, як мікронаповнювачі. Кожний із цих напрямків має свої сфери застосування і технологічні особливості.

Розглянемо бетони, в які вводяться певна кількість полімерів, що утворюють в матеріалі полімерну фазу і значно впливають на його будову і властивості. У світовій практиці для таких бетонів почали вживати термін "П-Бетони". Подібні матеріали можна поділити на чотири групи: цементно-полімерні бетони, полімербетони, бетонополімери і бетони, які містять полімерні матеріали /заповнювачі, дисперсну арматуру або мікронаповнювачі/.

Цементно-полімерні бетони характеризуються наявністю двох активних складових: мінерального в'язучого і органічної речовини. В'язуча речовина з водов створює цементний камінь, який склеює частинки заповнювача в моноліт. Полімер з часом звільняє воду з бетону і утворює на поверхні пор, капілярів, зерен цементу і заповнювача тонку плівку, яка має хорошу адгезію і сприяє підвищенню зчеплення між заповнювачем і цементним каменем, поліпшує монолітність бетону і роботу мінерального скелета під навантаженням. У результаті цього цементно-полімерний бетон набуває особливих властивостей: підвищеної порівняно із звичайним бетоном міцності на розтягування і вигин, більш високої морозостійкості, хороших адгезійних властивостей, високої зносостійкості, непроницності.

Найбільш поширеними добавками полімерів у цементні бетони є полівінілацетат /ПВА/, латекси і водорозчинні смоли. Кількість добавки полімерного матеріалу, яка вводиться, встановлюють попередніми дослідженнями. Основним фактором, який визначає вплив добавки на властивості цементно-полімерного бетону, є полімерцементне відношення. Звичайно оптимальна добавка ПВА дорівнює 20% маси цементу. При застосуванні латексу, щоб не було коагуляції полімеру, вводять стабілізатор /казеїнат амонію, соду тощо/. Водорозчинні смоли вводять у бетон в невеликих кількостях /приблизно 2% маси цементу/.

Введення полімерних добавок збільшує пластичність розчинових сумішей порівняно з чисто цементними. Міцність збільшується, якщо бетон витримувати в повітряносухих умовах /вологість 40-50%/; у вологих умовах /вологість 90-100%/ міцність зменшується.

Цементно-полімерні бетони виготовляють за тією самою технологією, що й звичайні цементні бетони. Найбільш доцільно застосовувати ці бетони для тих конструкцій і виробів, де можливо використати особливості їх властивостей, наприклад для підлог, шляхів, опоряджувальних сумішей, корозійностійких покриттів.

Полімербетонами називають бетони, в яких в'язучими служать різноманітні полімерні смоли, а заповнювачами - неорганічні матеріали - пісок і щебінь. Для економії смоли і поліпшення властивостей полімербетонів у них інколи вводять тонкомелені наповнювачі. Для прискорення тверднення і поліпшення властивостей застосовують затверджувачі, пластифікатори та інші спеціальні добавки.

Найчастіше для полімербетонів використовують термореактивні смоли: фуранові, епоксидні, поліефірні. Полімерне в'язуче твердне при звичайній температурі, а в деяких випадках - з підігрівом.

Властивості полімербетонів залежать від виду смоли, складу бетону, технології здобування. Найбільшу міцність мають бетони на епоксидній смолі, в тому числі і міцність на розтягування, яка досягає 12 МПа. Для цих бетонів характерні також висока хімічна стійкість, водостійкість, стійкість до стираності, висока клейова здатність. Однак вартість бетонів на епоксидних смолах дуже велика. На будівництві найбільш поширені полімербетони на фуранових смолах.

Затрати смоли в полімербетоні залежать від властивостей заповнювача. Чим більша пористість заповнювача, вищий вміст у ньому дрібних функцій і більша їх питома поверхня, тим більші затрати смоли і затверджувача, а тому для полімербетонів велике значення має правильний добір складу мінеральної частини.

Добір складу полімербетону проводять методом абсолютних об'ємів. Спочатку пробним шляхом добирають найбільш щільну суміш заповнювачів, потім розраховують кількість мікронаповнювача /різних мелених гірських порід/, яка повинна дорівнювати об'єму порот у заповнювачі з надлишком близько 10%. Після цього визначають затрати смоли і затверджувача. Звичайно затрати смоли дорівнюють об'єму порот в мікронаповнювачі плюс додаткова кількість /10-20%/ від цього об'єму.

Найдоцільніше використовувати полімербетони в тих конструкціях, де повніше проявляються їх позитивні властивості, наприклад, у корозійностійких конструкціях хімічного виробництва, конструкціях, які підлягають сильним стираючим діям /водозливи гідротехнічних споруд, деякі трубопроводи/, а також у спеціальних конструкціях і виробках.

Бетонополімери. Істотним недоліком звичайних бетонів є наявність розгалуженої сітки пор, капілярів, різних мікроефектів, які утвори-

лися при формуванні бетонних і залізобетонних виробів, їх твердінні і в процесі експлуатації. Дефекти і пори знижують міцність бетону, а також його довговічність і стійкість до дії агресивних середовищ, оскільки відкривають останнім доступ всередину бетону.

Властивості бетону можна змінити, якщо пори і капіляри заповнити іншою речовиною. Для цього готові бетонні або залізобетонні вироби і конструкції піддають спеціальній обробці. Ця обробка включає сушіння виробів, вакуумування, просочення спеціальними розчинами і полімеризації при просочуванні мономерами. Остаточні властивості матеріалу залежатимуть як від властивостей оброблюваного бетону і використаної для заповнення пор речовини /або розчину/, так і від технології обробки.

Бетон сушать з метою звільнення від води пор і капілярів матеріалу і кращого підготування їх для заповнення спеціальним розчином. Вакумування забезпечує більш глибоке очищення пор і капілярів, а також видалення з бетону повітря, яке негативно впливає на полімеризацію деяких мономерів. Для просочення використовують найрізноманітніші речовини і матеріали /петролатум, розбавлені смоли сірки, бітуму і бітумів, модифікованих синтетичними смолами/.

Глибина просочування залежить від властивостей просочуючої речовини, зокрема від її в'язкості і кута змочування нею бетону. В'язкі речовини, наприклад бітуми чи петролатум, просочують бетон на глибину лише 1-3 см. Рідкі мономери, наприклад стирол або метилметакрилат, можуть за порівняно короткий час просочувати бетон на глибину 10-20 см і більше. Чим більше просочування, тим більше часу витрачається на його здійснення. Кількість мономеру, необхідна для просочування бетону, залежить від його пористості. Для повного просочування щільного бетону потрібно мономеру 2-5% за масою /4-10% за об'ємом/ розчину - на 30-70% більше, ніж для бетону, а легкі пористі бетони можуть вбирати до 30-60% мономеру.

В результаті обробки або досягають підвищення довговічності і непроникності бетону, якщо його просочують в'язкими розчинами без їх подальшої полімеризації і зміцнення, наприклад бітумами, або отримують нові матеріали, які за властивостями значно не перевищують бетони, якщо їх просочують мономерами з подальшою полімеризацією в тілі бетону. Подібні матеріали дістали назву бетонополімерів. Чим міцніший полімер, який використовують для просочування, і більший його вміст в бетонополімері і чим міцніший бетонний кам'яний скелет, тим вища міцність бетонополімеру /може досягати 200 МПа і більше/. Міцність бетонополімеру внаслідок особливостей його будови більша міцності використаного бетону і полімеру.

На міцність бетонополімеру, хоча і меншою мірою, ніж міцність звичайного бетону, мають вплив технологічні фактори. Із зменшенням міцності бетону збільшується його пористість і при просочуванні такого бетону підвищується вміст полімеру. Це приводить до того, що міцність менш міцних бетонів при обробці зростає більшою мірою, ніж більш міцних; хоча різниця в міцності бетонополімерів не дуже велика. Ступінь підвищення міцності бетону оцінюється коефіцієнтом зміцнення, який становить відношення міцності бетонополімеру до міцності вихідного бетону.

Полімери є матеріалами, міцність яких при нагріванні вище 110-200 °С починає зменшуватися. Природно, що це має вплив на міцність бетонополімеру. В інтервалі 0-100 °С міцність бетонополімеру майже не змінюється, з підвищенням температури більш 100 °С його міцність починає зменшуватися. Щоб здобути бетонополімер, який зберігав би властивості при більш високих температурах /до 200-250 °С/, для просочування слід застосовувати спеціальні термостійкі композиції.

При просочуванні бетону мономером з подальшою полімеризацією його в тілі бетону в матеріалі утворюється особлива будова, яка складається із затверділого цементного каменю, що скріплює зерна заповнювача в єдиний моноліт, і розгалуженої системи ниток і вклучень полімеру. Полімер заповнює пори і капіляри цементного каменю заповнювача і контактної зони між ними, роблячи таким чином їх газо- і водонепроникними.

Полімер - це складова бетонополімеру, що коштує дорого, а тому найбільш придатні для просочування ті розчини, в яких кожний процент введеного полімеру забезпечує максимальне підвищення міцності. Цю властивість матеріалу можна орієнтовно оцінити з допомогою коефіцієнта ефективності

$$K_{\text{эф}} = \Delta R / \Pi = (R_{\text{бп}} - R_{\text{б}}) / \Pi,$$

де ΔR - приріст міцності, який отримують внаслідок просочування бетону мономером з його подальшою полімеризацією, МПа; Π - вміст полімеру в бетонополімері, %.

У важкому бетонополімері $K_{\text{эф}} = 10-20$ МПа/%, тобто кожний процент полімеру підвищує міцність бетону на 10-20 МПа /у звичайному бетоні для цього потрібно біля 100 кг цементу/.

Спеціальна обробка бетону полімером приводить до стабілізації його будови і тим самим відкриває нові можливості для вдосконалення технології бетону. У бетон можна вводити підвищену кількість хімічних

добавок для ефективної дії на його властивості, наприклад, застосування для прискорення тверднення до 5% $CaCl_2$, бо щільна будова бетонополімеру надійно захищає арматуру від корозії.

Для економії цементу в цьому випадку ефективно використовувати золу і тонкомелені відходи каменепиління. Зола має велику кількість тонких капілярів і забезпечує створення більш дисперсної і разом з тим більш зв'язаної фази, яка краще проймає все тіло бетону сіткою полімерних ниток, що сприяє виходу міцних і особливо щільних бетонополімерів. Бетонополімери із золою мають міцність 140–160 МПа.

Доцільно обробляти полімерами для підвищення довговічності виробів, які працюють у суворих кліматичних або агресивних умовах, а також для утворення виробів з особливими властивостями /зносо-стійких, електроізоляційних, газонепроникних тощо/. Широко застосовують просочування полімерними розчинами при ремонті та відновленні бетонних та залізобетонних виробів.

14. ТЕПЛОЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

14.1. Загальні відомості і класифікація

Теплоізоляційні матеріали призначені для захисту приміщень, теплових і охолоджувачих агрегатів тощо від втрати теплоти або нагрівання. Вони мають високу пористість Π , низьку теплопровідність λ і невелику середню густину ρ_m . Застосування цих матеріалів дає можливість зменшити товщину стін і масу будівель, знизити затрати на опалення.

За зовнішнім виглядом теплоізоляційні матеріали можуть бути сухими, що їх застосовують для засипання порожнистих місткостей /керамзит, перліт, шлак та ін./; рулонними /повсть, шевелін/ і штучними /плити, блоки, шкаралупи з пінопласту, торфу та ін./.

За середньою густиною мають 17 марок: особливо легкі ОЛ /15, 25, 35, 50, 75, 100/, легкі Л /125, 150, 175, 200, 250, 300, 350/ і важкі В /400, 450, 500, 600/. Тверді вироби з $\rho_m > 500$ мають підвищену міцність і застосовуються як конструкційно-теплоізоляційні.

За походженням теплоізоляційні матеріали можуть бути органічними і неорганічними /мінеральними/. Недоліки перших - висока гігроскопічність, горять, загнивають, низька термостійкість /до 100 °С/, пошкоджуються комахами.

14.2. Органічні теплоізоляційні матеріали

14.2.1. Вироби з природних матеріалів

Деревноволокнисті і деревностружкові плити виробляють способом гарячого пресування маси, що складається з деревних стружок або волокон і синтетичної смоли. В результаті гарячого пресування рідка смола твердне і склеює стружки або волокна в плити.

Для підвищення вогнестійкості плити просочують спеціальними вогнезахисними сумішами – антипіренами, для збільшення гниlostійкості – антисептиками, а для більшої водостійкості – парафінових емульсій.

Як теплоізоляційний матеріал використовують плити з середньою густиною 150–250 кг/м³; їх теплопровідність дорівнює 0,4–0,6 Вт/(м·°C). Розміри плит: довжина 120–360 см, ширина 100–180 см, товщина 4–10 см.

Торфові плити виготовляють з молодого, ще не перегнилого моху-сфагнуму, що залягає на поверхні боліт. Завдяки волокнистій структурі торф є доброю сировиною для теплоізоляційних матеріалів.

Середня густина торфоплит 150–250 кг/м³; теплопровідність – 0,05–0,06 Вт/(м·°C); границя міцності при вигині 3 кгс/см²; розміри 100х50х3 см.

Торфові плити кріплять дротом, натягуючи його по цвяхах, якими плити прибивають до стіни. Можна також приклеювати їх розплавленим нафтовим бітумом. Для захисту від зволоження їх треба обштукатурювати.

Фіброліт являє собою плити, спресовані з деревної стружки і цементного тіста. Як в'язучу речовину в них використовують ПЦ або магнезіальні речовини. Магнезіальний фіброліт застосовують менше, ніж ПЦ. Деревну стружку, або деревну "воюну" /стружка завдовжки 400–500 мм, завширшки 4–7 мм і завтовшки 0,25–0,5 мм/, беруть з ялини, сосни, липи або осики.

Технологія виготовлення плит складається з кількох операцій. Після пресування маси з цементного тіста з стружкою плити пропарюють в камерах тверднення.

За середньою густиною, яка залежить від ступеня спресованості, фіброліт поділяють на марки: 300, 350, 400, 500; теплопровідність дорівнює 0,1–0,2 Вт/(м·°C); границя міцності при вигині 4–25 кгс/см²; розміри: довжина 200 і 240 см, ширина 50 і 55 см, товщина 2,5–10 см. Вологість плит, щоб запобігти підвищенню теплопровідності, не повинна перевищувати 15%. Фібролітові плити добре піддаються механічній обробці. Кріплять їх цвяхами, а також на вапняно-цементному розчині або бітумній мастиці.

Комишит - це спресовані і прошиті сталевим дротом прямокутні плити з комишу. Для них найбільш придатна тростина з високими і гнучкими стеблами, що має повітряні поздовжні канали і пористу тканину. Можна використати тільки однорічні стебла рослин в стані повної зрілості, бо недозрілий комис швидко загниває, а перестоялий на пні втрачає гнучкість. Пресують плити на спеціальних верстатах; в процесі пресування стебла в поперечному напрямі прошивають з обох боків дротом.

Комишитові плити мають середню густину $175-250 \text{ кг/м}^3$; теплопровідність $0,1 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$; границю міцності при вигині $5-10 \text{ кгс/см}^2$; розміри: довжина $240-280 \text{ см}$, ширина $55-150 \text{ см}$, товщина $3-10 \text{ см}$; їх вологість не повинна перевищувати 18% . Комишитові плити - один з найдешевших теплоізоляційних матеріалів; вони добре обробляються, але їх псують гризуни.

Клоччя - це відходи при обробці льону. Клоччя має бути м'яким, в невеликій кількості костриці. Просмоленням його застосовують для ущільнення паізів гідротехнічних споруд, заправлення труб, а непросмоленням - для конопачення рублених з колод стін, віконних і дверних коробок.

Шевелін виготовляють з лляного клоччя, яке вміщується між листами безпокровного толю. Лляні волокна прошивають по довжині крученими нитками. Середня густина шевеліну $100-150 \text{ кг/м}^3$; теплопровідність $0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$; вологість не більш як 15% . Шевелін псують гризуни.

Повість для будівельних потреб виготовляють з грубої кіньської або коров'ячої шерсті з домішкою лляного клоччя /не більш як 10% /. Середня густина волокна $100-300 \text{ кг/м}^3$; теплопровідність $0,5 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, вологість не вище ніж 17% . Дефект волокна - високе водовбирання і сприятливе середовище для розмноження молі.

Пробкові плити виготовляють з кори пробкового дуба і бархатного дерева /дефіцит/. Середня густина $150-350 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,05-0,08 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Застосовують для ізоляції холодильних установок.

14.3. Неорганічні теплоізоляційні матеріали

14.3.1. Матеріали на основі мінеральної вати

Мінеральну вату здобувають тонкими волокнами з розплавів гірських порід /сланців, мергелів, суміші вапняків і доломітів з глинистими і кремнеземистими породами/ або металургійних шлаків. Середня густина мінеральної вати $150-250 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність $0,5 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Цей матеріал не горить, відзначається морозостійкістю і малю гігроскопічністю.

На основі мінеральної вати виготовляють мінеральну повсть, мінеральні мати і мінеральну пробку.

Мінеральна повсть - це рулонний або листовий матеріал, який одержують при ущільненні мінеральної вати, просоченої бітумом або синтетичними смолами. Її середня густина $100-200 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність $0,04-0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

Мінераловатні мати виготовляють, прошиваючи нитками шар мінеральної вати, покритої з одного або обох боків бітумізованим папером. Розміри матів: довжина $100-150 \text{ см}$, ширина $35-100 \text{ см}$, товщина $3 \text{ і } 6 \text{ см}$.

Мінеральна пробка - це жорсткі плити, які формують і пресують з мінеральної вати, просоченої бітумом або синтетичними смолами /кольором і властивостями вони нагадують натуральний корок/. Їх середня густина $300-400 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність $0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Мінеральну пробку, виготовлену на синтетичній зв'язці, можна застосовувати при температурі 130°C , а на бітумній - до 70°C .

14.3.2. Матеріали на основі скла

Скляна вата являє собою волокнистий матеріал, що складається з тонких ниток, вироблених з розплавленого скла. Для цього використовують скляний бій або сировину, з якої виробляють звичайне скло, - кварцовий пісок, кальцинову соду і сульфат натрію. Середня густина скляної вати в пухкому стані не більше як 150 кг/м^3 , теплопровідність $0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Для теплоізоляційних потреб застосовують різні вироби: мати і стрічки, плити, шкаралупи тощо. Ними можна ізолювати поверхні з температурою до 450°C .

Чарункове скло /газоскло/ має пористу /чарункову/ структуру. Для його виготовлення, змішують звичайне скло з газотворювачем /меленим вапняком, вугіллям/, а потім розплавляють і охолоджують суміш. З газоскла виготовляють блоки і плити з середньою густиною $150-600 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність $0,06-0,1 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ і границю міцності при стиску $10-150 \text{ кгс/см}^2$. Газоскло добре обробляється: його можна лити, сверлити, забивати в нього цвяхи.

14.3.3. Матеріали на основі азбесту

Застосовують для теплоізоляції поверхонь з високою температурою. Залежно від складу матеріали з азбесту поділяють на дві групи: азбестові, що складаються з самого азбестового волокна /азбестовий папір і картон/, та із азбестововмісні, куди входять інші речовини, що мають

в'яжучі властивості /азбесто-кремнеземисті, азбесто-магнезіальні, азбесто-вапняно-кремнеземисті/.

Азбестовий папір складається з азбесту і невеликої кількості крохмалю - для склеювання. Середня густина $450-950 \text{ кг/м}^3$; теплопровідність при 100°C - $0,12-0,17 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Волокна руйнуються при температурі 500°C .

Азбесто-кремнеземисті матеріали складаються з $15-30\%$ азбесту і кремнеземистих гірських порід - трапезу, діатоміту. Азбесто-трепельну /діатомітову/ суміш замішують водою і цю мастику наносять на поверхню, що ізолюється. Теплоізоляційні матеріали, що їх одержують на основі азбесто-кремнеземистих сумішей, називають азбозуритом і азбестотермітом. Середня густина цих матеріалів $400-850 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність при 100°C - $0,08-0,20 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Азбозурит і азбестотерміт при нагріванні до $800-900^\circ\text{C}$ не змінюють своїх властивостей.

Азбесто-магнезіальні матеріали складаються з суміші азбесту з солями магнію і кальцію. До них належать совеліт, що містить до 15% азбесту, і доломіт. Випускають порошком, з якого роблять мастику для обмазування поверхонь, що ізолюються, або різні вироби - плити, шкаралупи. Застосовують при температурі до 450°C .

Азбесто-вапняно-кремнеземисті матеріали складаються з 20% азбесту, 20% вапна і 60% трепелу або діатоміту /вулканіт/.

З вулканіту виготовляють плити та ін., відформовані вироби піддають автоклавній обробці. Гранична температура застосування вулканіту 600°C .

14.3.4. Матеріали на основі в'яжучих речовин

Теплоізоляційні матеріали можна виготовляти на основі ПЦ, вапна та інших в'яжучих. Це головним чином ніздрюваті матеріали - пінобетон і газобетон, піносілікат і газосілікат з середньою густиною, не вищою від 600 кг/м^3 і теплопровідністю $0,07-0,25 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Властивості цих матеріалів описано раніше /розділ 8. "Бетони"/.

14.3.5. Матеріали із сплучених гірських порід

Вермикуліт - сипкий матеріал, який виготовляють, подрібнюючи і за короткий час випалюючи природний вермикуліт. В процесі випалювання при $800-1000^\circ\text{C}$ він спучується і збільшується в об'ємі в 20 разів і більше. Насипна густина вермикуліту $80-150 \text{ кг/м}^3$, теплопровідність $0,1-0,15 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Максимальна температура його застосування 1100°C . З випаленого зернистого вермикуліту можна виготовляти плити і шкаралупи.

Спучений перліт здобувають короткочасним випалюванням подрібненого перліту /кремнеземистої гірської породи/ при 700-1200 °С. При цьому об'єм його збільшується в кілька разів. Насипна густина спученого перліту 160-250 кг/м³, теплопровідність 0,05 Вт/(м·°С).

Керамзит /розділ 3. "Будівельна кераміка"/.

І4.4. Акустичні матеріали

Акустична обробка приміщень промислових, житлових і громадських будівель проводиться для захисту людини від шуму. Підвищений шум у приміщеннях належить до категорії санітарно-гігієнічних шкідливостей: якщо шум перевищує нормативні вимоги на 15-20 дБ, то знижується на 10-20% продуктивність праці. Зменшення шуму в результаті використання акустичних матеріалів зберігає здоров'я людини, створює для неї необхідні зручності і сприяє підвищенню продуктивності праці.

Здатність матеріалу пропускати звук називається звукопроникністю, а відбивати або збирати звук - звукоізоляцією. Матеріали, які збирають звук, називаються звуковбираними, а ті що відбивають, - звукоізоляційними.

І4.4.І. Звукоізоляційні матеріали

Застосовуються у вигляді пружних прокладок, у перекриттях, внутрішніх і зовнішніх стінах /товщина не більша як 5 см/. До них належать напівжорсткі мінераловатні і скловатні плити і мати / $\rho_m = 30-250$ кг/м³, $\delta = 10, 30, 40, 50$ мм/ на синтетичних зв'язувачих, азбестові вироби, м'які ДВП тощо.

Ізоляція від повітряного шуму визначається звукоізоляційною здатністю конструкції R і показує, наскільки знижується рівень звукового тиску після проходження звуку через конструкцію. Звукоізоляційна здатність, дБ

$$R = 10 \lg \frac{1}{\epsilon}$$

де ϵ - коефіцієнт звукопроникності, який показує відношення звукової потужності, яка пройшла через огороження, до звукової потужності, яка падає на нього.

14.4.2. Звуковбиральчі матеріали

Застосовуються для внутрішньої обробки приміщень з метою поліпшення акустики і створення захисної оболонки. Основною акустичною характеристикою звуковбиральчих матеріалів є коефіцієнт звуковбирання α , який дорівнює відношенню кількості ввібраної звукової енергії $E_{\text{ввб}}^{\text{до}}$ до загальної кількості звукової енергії $E_{\text{пад}}$, яка падає на матеріал за одиницю часу:

$$\alpha = E_{\text{ввб}}^{\text{до}} / E_{\text{пад}}$$

Всі будівельні матеріали мають здатність тією чи іншою мірою вбирати звук, тому для них $\alpha > 0$, найбільше значення $\alpha = 1$. Звуковбиральчі матеріали мають $\alpha > 0,2$. Коефіцієнт звуковбирання залежить від пористості матеріалу. За характером вбирання звуку матеріали бувають: а/ пористі-ніздроваті - бетон і скло, пластмаси; б/ пористо-пружні - мінерало- і скловатні вироби; в/ мембранні - тонкі багетові панелі з фанери, тканини, картону; г/ перфоровані - двохарові ДВП, мінерало- і скловатні плити.

Найефективнішими є газонаповнені пластмаси /піно- і поропласти/, плити "Акімігран" і "Акімініт" - з мінеральної чи скляної вати на крохмалі.

15. ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

15.1. Загальні відомості

Лакофарбними матеріалами називаються суміші, які наносяться на опоряджувану поверхню і утворюють на ній міцну і тверду покривну плівку. Вони бувають природні, синтетичні і штучні. Оброблювану поверхню вкривають лакофарбними матеріалами для захисту від дії агресивного середовища /атмосфери, парів, газів/, від гниття, загоряння, для забезпечення гігієнічних умов, для художньо-декоративної обробки. Ці матеріали поділяють на фарби, лаки і допоміжні матеріали. Фарби - це суміші для утворення непрозорого захисного і декоративного покриттів. Лаки використовують для прозорого покриття і остаточної обробки поверхні. Допоміжні матеріали застосовуються для підготовки поверхні під фарбування і доведення лаків і фарб до малярної консистенції.

Фарбові суміші складаються із зв'язуючої речовини, наповнювача, пігменту і розріджувача.

15.2. Зв'язуючі речовини

Зв'язуючі речовини утворюють покривну плівку і зв'язують частинки пігменту між собою і фарбованою поверхнею. Зв'язуючі речовини можна поділити на три основні групи: олійні /оліфи і олійні лаки/, клейові /виготовлені із застосуванням клеїв і води/ та емульсійні /виготовлені на основі води і масла/. Як зв'язуючі речовини також застосовують різні полімерні смоли, розчинне скло, цемент.

Оліфи бувають натуральні, напівнатуральні і штучні. Натуральні є продуктом обробки олій /лляної, конопляної та ін./ при нагріванні до 200 °С. Для прискорення висихання оліфи в неї при варінні додають сикативи – солі оксиду або пероксиду свинцю, кобальту, марганцю та інших елементів.

Напівнатуральні оліфи виготовляють, обробляючи олії нагріванням до полімеризації або продуванням повітря /окисленням/ з подальшим розбавленням органічними розріджувачами /до 45%/. Бувають чотирьох видів: полімеризована оліфа УМС, оліфа-оксоль-суміш, оліфа сульфоксоль.

Штучні оліфи не містять олій, а якщо й містять, то лише до 35%. Їх виготовляють на синтетичній основі. Бувають також чотирьох видів: оліфа карбональ, оліфа синтоль, гліфталева і сланцева оліфи.

Олійні лаки являють собою розчини природних або штучних смол в оліях, що висихають і містять сикативи та розріджувачі. Залежно від виду цих смол розрізняють гліфталеві, поліхлорвінілові та інші лаки.

Клеї бувають різних видів: тваринні /міздровий, кістковий, казеїновий/, рослинні /борошняний пил, декстрин/, природні і синтетичні. Міздровий клей адобувають при розварюванні шкірних покривів тварин з наступним сушінням розчину. Кістковий клей – це продукт переробки клейкої речовини, що видобувається із знежирених кісток. Казеїн одержують, діючи кислотами на збиране молоко і потім висушуючи. Декстрин утворюється в результаті обробки крохмалю кислотою або при нагріванні до 150–200 °С.

Штучні клеї являють собою продукт хімічної переробки деревної целюлози, а синтетичні – продукт на основі полімерів /переважно полівінілацетатна смола/.

Емульсії поділяють на два типи: олія у воді – це емульсії, в яких зовнішньою фазою є вода, їх можна розбавляти водою; вода в олії – це емульсії, в яких зовнішньою фазою є олія; вони водою не розбавляються.

15.3. Пігменти

Пігменти /забарвлювачі - це тонкоподрібнені кольорові порошки, які рівномірно змішуються з водою або органічними розчинниками /олії, спирти, скипидар/, але не розчиняються в них.

Розрізняють органічні і мінеральні пігменти. Перші виготовляють з аналізу, нафталіну, антрацену та інших вуглеводнів; вони часто мають жовтогарячий, ясно-червоний і бордовий кольори. Значно ширше використовують мінеральні пігменти. Розглянемо деякі з них.

Білі пігменти - крейда, цинкові білила /оксид цинку - ZnO /, літопон /суміш сірчастого цинку і сірчаноокислого барію - $ZnS \cdot BaSO_4$ /, свинцеві білила /основний карбонат свинцю - $2PbSO_4 \cdot Pb(OH)_2$ / от-руйні, титанові білила /діоксид титану - TiO_2 або суміш діоксиду титану з оксидом цинку і наповнювачами/.

Жовті пігменти - вохра /складається з глини і оксидів заліза/, крон свинцевий /хромовоокислий свинець/, крон цинковий /суміш хромовоокислого цинку з невеликою кількістю хромового ангідриду/.

Сині пігменти - ультрамарин /продукт випалювання суміші каоліну, сірки, глауберової солі, вугілля, трепелу - $Na_4Al_3Si_3O_{12}$ /, лазур /залізна сіль залізисто-ціанистої кислоти/.

Зелені пігменти - зелень свинцева хромово /механічна суміш жовтого крону з лазур"ю і наповнювачами/, оксид хрому /утворюється при нагріванні суміші з деревним вугіллям і сіркою/, зелень цинкова /механічна суміш цинкового крону з лазур"ю і наповнювачами/.

Червоні пігменти - мумія природна /порошок глини, забарвлений оксидами заліза, яких має бути не менш як 35%/ мумія штучна /суміш прожареного сірчаноокислого кальцію і оксиду заліза/, сурик свинцевий /утворюється при прожарюванні свинцевого глету/, крон червоний /основний хромовоокислий свинець/.

Коричневі пігменти -сурик залізний /тонкоподрібнені руди - гематит, залізняк/, умбра /глина, забарвлена оксидами заліза і марганцю/.

Чорні пігменти - сажа /продукт спалювання органічних речовин/, пероксид марганцю /одержують з марганцевої руди/, графіт /природний матеріал/.

Металеві порошки - алюмінійова і бронзова пудра.

15.4. Властивості пігментів

Дисперсність - впливає на всі основні властивості пігменту. Чим дрібніші частинки, тим вище покривача і фарбуюча властивості /це властивість пігменту передавати свій колір білому пігменту/.

Оліємісткість - характеризується кількістю /в грамах/ оліфи, необхідної для перетворення 100 г пігменту в пастоподібний стан.

Світлостійкість - властивість пігменту зберігати свій колір під дією ультрафіолетових променів /вохра, залізний сурик - світлостійкі; літопонові білила - жовтіють, інші знебарвлюються/.

Атмосферостійкість - властивість пігменту тривалий час протистояти діям води, кисню повітря, сірчистих та інших газів, поперемінному зволоженню і висиханню, нагріванню і охолодженню.

Антикорозійні властивості - здатність пігменту утворювати покриття, яке захищає сталь від анодної корозії /алюмінієва пудра, цинкові білила, цинковий і свинцевий крон, свинцевий і залізний сурик/.

Хімічна стійкість до дії лугів і кислот. Лужностійкі - вохра, мумія, умбра, пероксид марганцю /природні/. Кислостійкі - графіт, титанові білила, оксид хрому.

15.5. Наповнювачі, розріджувачі

Наповнювачі - це тонкоподрібнені нерозчинні у зв'язуючому мінеральні речовини. Звичайно вони білого кольору /каолін, тальк, крейда, кварц, азбест/. Їх вводять у фарбові суміші для економії пігменту і для надання певних властивостей /кислото-, вогнестійкості тощо/.

Розріджувачі. Щоб надати фарбам потрібного ступеня консистенції /зручності нанесення/, до них додають розріджувачі.

Для клейових зв'язуючих розріджувачем є вода, а для олійних і лакових - оліфи, скипидар, лаковий гас, сіль вентнафту та інші леткі органічні розчинники.

Скипидар є продуктом перегонки деревини і живиці - смоли хвойних дерев.

Лаковий гас - це фракція нафти між важким бензином і тракторним гасом.

Сіль вентнафту - це суміш вуглеводнів бензольного ряду.

15.6. Лакофарбові суміші

Олійні фарби являють собою густі пасти з суміші пігментів, наповнювачів і зв'язуючих /олії, оліфи/, перероблених на фарботерних машинах. Фарби випускають густотертими /20% оліфи/; перед використанням їх треба розводити оліфами. Такі фарби при нормальній температурі повністю висихають через 24 год. Їх вживають для фарбування металу, дерева, штукатурки.

Емалеві фарби на відміну від олійних готують на лаках. Після того, як висохнуть, вони утворюють глянцеvu поверхню, що нагадує емаль. Випускаються готовими до вживання. Їх застосовують для покриття санітарно-технічного устаткування, а також для захисту виробів від дії кислот /фарби спеціального призначення/.

Водно-вапняні фарби виготовляють на вапняній суспензії /з повітряного і гідралічного вапна/. Їх застосовують для фарбування цегляних обштукатурених, бетонних і дерев'яних поверхонь. Фарби, приготовані на гідралічному вапні, можна використати для покриття внутрішніх поверхонь в лазнях, пральнях, душових та ін.

Водно-клеюві фарби готують найчастіше на малярному клеї. Казеїнові фарби випускають сухими, перед вживанням їх розбавляють водою. Ці фарбувальні суміші називають колерами. Застосовують їх для опорядження житлових і громадських приміщень.

Казеїнові фарби застосовують для покриття зовнішніх поверхонь цегляних обштукатурених і бетонних будинків, а також для опорядження приміщень.

Емульсійними фарбами називають суспензії пігментів, перетертих на водних емульсіях різних плівкоутворювачів. Це дає можливість замінити цілий розчинник або частину його водою.

Синтетичні фарби виготовляють на синтетичних смолах - полівінілацетаті, карбаміді, перхлорвінілі /смола, яку добувають додатковим хлоруванням полівінілхлориду/ та ін. Тим самим виключається застосування дорогого продукту - тваринного масла і олії. Пігменти для синтетичних фарб ті самі, що й для вапняних, олійних та емалевих.

Спиртові лаки, політура і нітролаки виготовляють на органічних розчинниках. Спиртові лаки складаються з твердих смол, найчастіше синтетичних, розчинних у спирті або в його суміші з іншими леткими розчинниками. Політура на відміну від спиртових лаків містить значно менше розчиненої смоли. Нітролаки складаються з нітроцелюлози, розчиненої в органічних розчинниках. Ці лаки дуже швидко тверднуть, дають блискучу поверхню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Высш. шк., 1987. - 415 с.
2. Болдырев А.С., Золотов П.П. Строительные материалы: Справочник. - М.: Стройиздат, 1989. - 568 с.
3. Бурлаков Г.С. Технология изделий из легкого бетона. - М.: Высш. шк., 1986. - 296 с.
4. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. - 464 с.
5. Воробьев В.А., Комар А.Г. Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1976. - 478 с.
6. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1986. - 686 с.
7. Дворкин Л.И., Пашков И.А., Шестаков В.Л., Гасан Ю.Г. Материалы и изделия в сельскохозяйственном строительстве: Справочник. - К.: Урожай, 1990. - 247 с.
8. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. - М.: Высш. шк., 1983. - 488 с.
9. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. - М.: Высш. шк., 1988. - 527 с.
10. Набиевский Ю.Д., Хоменко В.П., Заничковский В.Ф. Эффективные строительные материалы: Справочное пособие. - К.: Вудивальник, 1974. - 278 с.
11. Рыбьев И.А. Общий курс строительных материалов. - М.: Высш. шк., 1987. - 584 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
I. Основні властивості будівельних матеріалів	5
2. Природні кам'яні матеріали	8
3. Будівельна кераміка	27
4. Матеріали і вироби з мінеральних розплавів	38
5. Метали і металеві вироби	43
6. Мінеральні в'язучі речовини	51
7. Будівельні розчини	93
8. Бетони	97
9. Бетонні і залізобетонні вироби	115
10. Лісові матеріали	125
II. Органічні в'язучі речовини і матеріали на їх основі ...	132
12. Будівельні пластмаси	137
13. Композиційні будівельні матеріали	150
14. Теплозвукоізоляційні матеріали	159
15. Лакофарбові матеріали	165
Список літератури	170

Навчальне видання

Очеретний Володимир Петрович

Будівельні матеріали і вироби
Навчальний посібник

Редактор Н.А.Назаренко

Коректори М.Ш.Вядро

Д.В.Ткаченко

Н.М.Савченко

Н.Ф.Слоніна

Темплан 1992, поз. 70

Підп. до друку 15.05.92 / Формат 60×84^{1/16}. Папір
друк. № 3 . Друк офсетний. Ум. др. арк. 999 . Ум. фарбо-відб. 10,10.
Облік-внд. арк. 10,87. Тираж 1500
Зам. № 2-79 . Ціна 1крб 30к

НМК ВО МІНОСВІТИ УКРАЇНИ
252135, м. Київ, проспект Перемоги, 10.

РОВО «Укравзполіграф».
252151, Київ, вул. Волинська, 60.