

## ОСОБЛИВОСТІ ТВЕРДІННЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ В РАНЬОМУ ВІЦІ ПІСЛЯ КАРБОНІЗАЦІЇ

Данько Є.С., *зр. ВБК-465*

*Науковий керівник – Гара О.А., к.т.н., доцент (кафедра ПАТБМ,  
ОДАБА)*

**Анотація.** Відпрацьовані параметри технології керамзитобетонних виробів із застосуванням твердіння при карбонізації, що дозволяють максимально інтенсифікувати процес карбонізації шляхом зниження загального водовмісту системи, вживання бетонних сумішей оптимальної структури і рецептури, обробки виробів в середовищі вуглекислого газу по оптимальних режимах. Досліджені властивості бетону в ранньому віці після карбонізації.

**Ключові слова:** цементний камінь, керамзитобетон, тверднення в умовах карбонізації, рецептурно-технологічні параметри, кінетика зростання міцності.

**Актуальність.** При розробці ресурсозберігаючих технологій бетонних виробів особливого значення набувають питання прискорення зміцнення бетону. Максимальні швидкості твердіння цементного каменю можна забезпечити при обробці композицій в середовищі вуглекислого газу. Для ефективного, безперервного протікання процесу карбонізації, який дозволяє при різкому скороченні тривалості твердіння одержувати матеріал із заданими властивостями, необхідно оптимізувати рецептуру в'язучого і режими обробки.

*Метою роботи є розробка раціональних технологічних прийомів і параметрів обробки виробів з керамзитобетону в середовищі вуглекислого газу, що дозволяють при мінімальній тривалості твердіння одержувати матеріал із заданими фізико-технічними властивостями.*

**Результати досліджень.** Підвищення початкової міцності бетону пов'язано з форсуванням процесу твердіння цементу в понадранній період. Реалізація його з допомогою штучної карбонізації пов'язано з науковими дослідженнями в області твердіння в'язучих речовин і формування структури цементного каменю. Уповільнення швидкості гідратації в'язучих пояснюється формуванням навколо зерен гідратних оболонок колоїдної дисперсності. Причиною утворення цих оболонок є малі коефіцієнти дифузії гідратних новоутворень і

пересичення розчину в прикордонному шарі, що перешкоджає розчиненню нових порцій цементу і уповільнює його гідратацію і твердіння. Так як пересичення рідкої фази цементного тесту обумовлено, головним чином, гідратом окису кальцію, то прискорення виділення нової фази і зменшення ступеня пересичення може бути досягнуто використанням реакції з'єднання окису кальцію з вуглекислою. Вуглекислий газ пов'язує виділяється вапно в практично нерозчинний карбонат кальцію, кристали якого спочатку є зародками кристалізації, а потім дають додаткову зв'язку, що зміцнює цементний камінь [1].

Теоретично всі компоненти цементного каменю, які містять кальцій, здатні до карбонізації. Виняток становлять лише сполуки, що містять  $\text{CaSO}_4$ . Оскільки реакція  $\text{CO}_2$  з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  протікає з виділенням одного молю води, то в результаті може змінитися стан вологості матеріалу. З цієї точки зору сприятливим слід вважати екзотермічний ефект, який супроводжує цю реакцію і викликає інтенсивну просушку системи. З іншого боку, при карбонізаційному твердінні вода в більшій мірі служить середовищем, в якому відбувається розчинення вихідних фаз в'язучого і їх транспорт в зону реакції, а складовою структурною частиною новоутворень вона стає тільки при виникненні водних карбонатів.

У зв'язку з тим, що зміна вологісного стану матеріалу в процесі карбонізаційного твердіння може уповільнити процес карбонізації, необхідно було розробити технологічні прийоми, що знижують водозміст бетонної суміші на стадії її приготування і забезпечують процес екстракції зайвої води з цементної матриці при твердінні. Крім цього для ефективного безперервного протікання реакції карбонізації необхідно створити оптимально розвинену структуру ущільненої бетонної суміші. Така структура забезпечує об'ємну дифузію вуглекислого газу в виріб і пов'язане з цим об'ємну зміну новоутворень з одного боку, і кольматацию пір структури новоутвореннями, з огляду на локальне збільшення обсягу твердої фази в результаті реакції карбонізації з іншого боку. Ці заходи, а також оптимізація рецептури в'язучого і режимів обробки повинні забезпечити ефективність процесу карбонізації виробів, що дозволяє при різкому скороченні виробничого циклу одержувати матеріал із заданими фізико-механічними і теплотехнічними характеристиками.

Оптимізація рецептурно-технологічних параметрів карбонізованого керамзитобетону полягала в наступному: відпрацювання економічних складів бетону; дослідження можливості інтенсифікації процесу карбонізації шляхом введенням до складу в'язучого меленої

вапнякової породи (МВП) і зниженням загального водовмісту бетонної суміші та відпрацювання оптимальних режимів карбонізації виробів.

Прискорення процесу карбонізації шляхом інтенсивної подачі газоподібного реагенту в зону реакції забезпечувалося попереднім вакуумуванням свіжевідформованого бетону з метою створення пористої капілярної системи, що знаходиться під розрядженням. Наступні перепади тиску в початковий період твердіння, які обумовлені зняттям вакууму і створенням надлишкового тиску при подачі вуглекислого газу, викликають в капілярній структурі бетону релаксацію напружень, що забезпечує ефективне самопоглинання  $\text{CO}_2$  і інтенсифікацію процесу твердіння.

Процес «карбонатного» розчинення мінералів цементу прискорюється пропорційно до концентрації вуглекислого газу в зоні реакції. Тому застосування режимів з надлишковим тиском  $\text{CO}_2$  дозволяє управляти процесами структуроутворення цементних композицій. Разом з цим карбонізація виробів при високому тиску призводить до створення в системі високих пересичень і локальному збільшенню обсягу твердої фази. Це тягне за собою виникнення значних внутрішніх напруг і розвиток деструктивних процесів в структурі бетону. Застосування в цих умовах ступеневого підйому тиску  $\text{CO}_2$  до необхідної величини дозволяє виключити деструктивні процеси, що відбуваються при одноступінчастій карбонізації. Експериментально встановлено, що застосування ступеневого підйому тиску  $\text{CO}_2$  дозволяє підвищити розпалубну міцність керамзитобетону на 10...30% [2].

Виявлено ефективність заміни 20...30% витрати цементу меленою вапняковою породою без зміни рівня показників фізико-механічних властивостей матеріалу. Основним компонентом кристалічної структури при карбонізаційному твердінні є кальцит. Це підтверджується результатами рентгеноструктурного і диференційно-термічного аналізів проб цементного каменю. Під впливом  $\text{CO}_2$  в цементній матриці виникають масивні морфологічні зміни. При збільшенні тиску, часу обробки і температури відбувається ущільнення матриці, зменшення мікропор і мікрокапілярів в порівнянні з необробленими зразками. Відсутні плоскі, пластинчасті структури, показові для портлантіду, і тонкі голчасті кристали еттрінгіта. Замість них в структурі оброблених зразків присутні закруглені, щільно розташовані округлі кристали, між якими не спостерігається пор і кристалів. У зв'язку з цим, характерна переважна кристалізація новоутворень на поверхні зерен карбонатів, в результаті чого останні обростають зрощеними між собою добре розвиненими

кристалами нової фази. Електронно-мікроскопічний аналіз підтвердив, що завдяки близькості кристалографічних ґрат спостерігається міцний епітаксичний характер зрощення між карбонатної породою, яка виступає в ролі підкладки, і кальцитом вторинної генерації, що веде до зміцнення структури [3].

В умовах карбонізаційного твердіння, введення до складу бетонної суміші добавки-суперпластифікатора забезпечує отримання технологічних бетонних сумішей з низьким водозмістом. Після ущільнення бетонної суміші подальше зневоднення цементного тесту здійснюється як результат процесів самовакумування керамзитобетону, внаслідок чого капіляри звільнюються від вологи і стають газопроникними. В процесі зв'язування  $\text{CO}_2$  продуктами гідролізу мінералів цементу відбувається збільшення обсягу твердої фази, що супроводжується кольматацією порової структури, що призводить до зростання міцності бетону.

Збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  в зоні реакції шляхом зміни тиску і часу карбонізації в дослідному діапазоні істотно впливає на початкову міцність бетону. Підвищення величини тиску  $\text{CO}_2$  від 0,6 до 1,2МПа призводить до збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  і, як наслідок, збільшення міцності бетону через 1год. після карбонізації на 25...60%. Збільшення тривалості обробки від 30 до 60хв. супроводжується зростанням міцності бетону на 5...20%. Зі збільшенням віку бетону ефект впливу режимів карбонізації на міцність бетону нівелюється.

Аналіз кінетики зміни міцності керамзитобетону в ранньому віці (20хв., 2год., 4год., 1 доба після карбонізації) показав, що максимальна розпалубна міцність керамзитобетону забезпечується при застосуванні режимів карбонізації з максимальною величиною концентрації  $\text{CO}_2$  в зоні реакції, що характеризуються максимальною величиною тиску. При застосуванні режимів з величиною тиску  $\text{CO}_2$  1,2МПа і часом карбонізації 20...40хв. розпалубна міцність бетону становить 70...75% від 28-денної (рис. 1 а, б) [4].

Зниження величини концентрації  $\text{CO}_2$  шляхом застосування режимів карбонізації з величиною тиску на основному ступені – 0,6МПа, забезпечує досягнення бетоном міцності 50...60% від 28-денної для бетонів класів В5–В7,5 (склади 1 і 2) і 35...45% для бетонів класів В10–В15 (склади 3 і 4).

Використання пористих пісків в конструктивно-теплоізоляційних бетонах призводить до випуску виробів із залишковою вологістю вище допустимої. В умовах карбонізаційної технології, в результаті хімічної взаємодії вуглекислого газу з продуктами гідролізу і гідратації

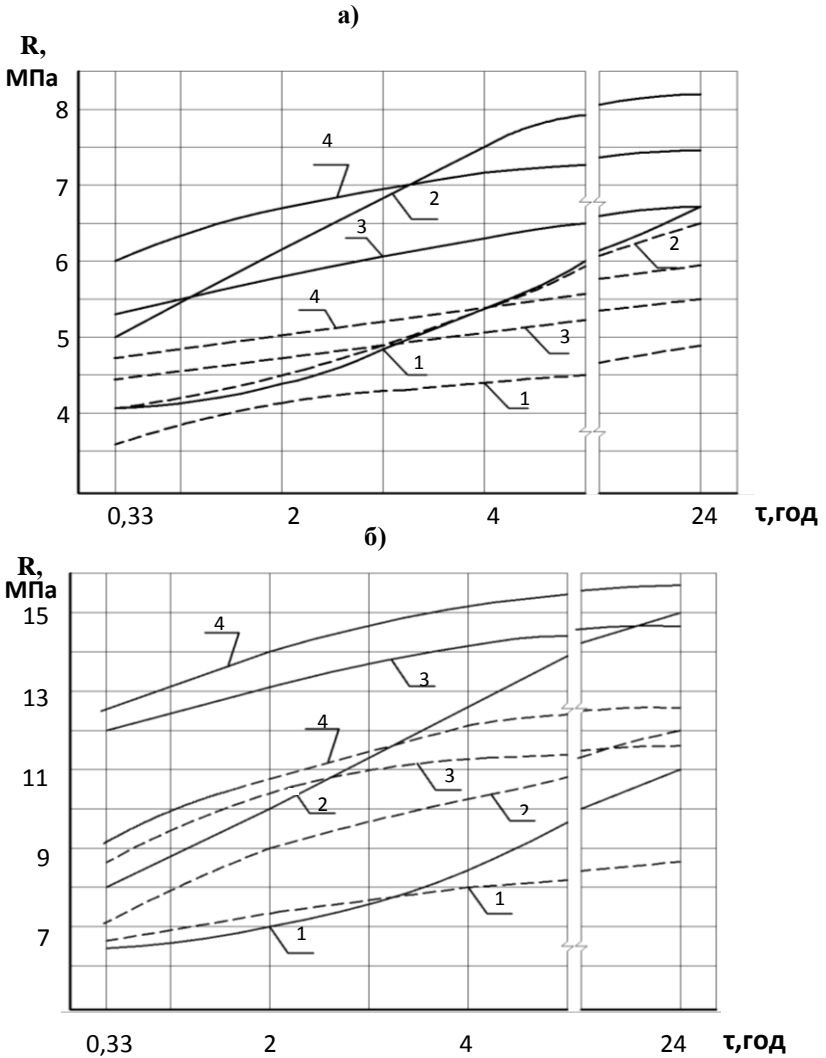


Рис. 1. Кінетика росту міцності керамзитобетону в ранньому віці після карбонізації (а – склади 1 і 2; б – склади 3 і 4).

- 1 – карбонізація за режимом:  $P_k = 0,6$  МПа,  $\tau_k = 20$  хв;
- 2 – карбонізація за режимом:  $P_k = 0,6$  МПа,  $\tau_k = 40$  хв;
- 3 – карбонізація за режимом:  $P_k = 1,2$  МПа,  $\tau_k = 20$  хв;
- 4 – карбонізація за режимом:  $P_k = 1,2$  МПа,  $\tau_k = 40$  хв;

мінералів в'яжучого, виділяється вільна вода, а сам процес супроводжується екзотермічним ефектом.

В результаті цього, залишкова вологість керамзитобетону після розпалубки становить 9,4...13,5% для бетонів щільністю 920...1000 кг/м<sup>3</sup> і 10,6...13,1% для бетонів щільністю 1200...1550 кг/м<sup>3</sup>. Введення до складу керамзитобетону добавки суперпластифікатора дозволяє знизити величину залишкової вологості на 0,5...3,5% в залежності від складу бетону.

#### **Висновки:**

1. Вивчено механізм структуроутворення цементних композицій в умовах штучної карбонізації та сформульовані основні раціональні прийоми інтенсифікації процесу твердіння.

2. Запропоновано раціональні рецептурно-технологічні параметри карбонізаційної технології керамзитобетонних стінових виробів:

- ефективна заміна в умовах карбонізації до 30% витрати цементу меленою вапняковою породою без зміни рівня показників фізико-механічних властивостей матеріалу;

- оптимальний гранулометричний склад пористих заповнювачів;

- оптимальні режими карбонізації композитів, які характеризуються попередніми вакуумуванням суміші і ступінчастим режимом обробки в середовищі вуглекислого газу.

3. Максимальна розпалубна міцність керамзитобетону забезпечується при застосуванні режимів карбонізації з максимальною величиною концентрації CO<sub>2</sub> в зоні реакції, що характеризуються максимальною величиною тиску.

#### **Література:**

1. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. М., Стройиздат, 1986. С. 261-262.

2. Михайленко Г.В., Соломатов В.И., Гара А.А. А.с. 1320202 СССР, МКИ С 04 В 40/02. Способ изготовления бетонных изделий. Оpubл. в Б.И., 1987, №24. 6 с.

3. Любомирский Н.В., Сребняк В.М., Бахтин А.С. Строительные композиты на основе извести карбонизированного типа твердения. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Simferopol-Lublin. 2009. Vol. 11A. Pp. 229-238.

4. Гара А.А. Особенности карбонизационного твердения керамзитобетона. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса, 2016. Випуск № 62. С. 22-27.