

Наведено результати дослідження властивостей реакційних порошкових бетонів, які являють собою композицію з портландцементу, дрібного заповнювача й поверхнево-активних речовин, що утворюють міцели, призначених для створення спеціальних будівельних конструкцій, у першу чергу монолітних. Показана здатність поверхнево-активних речовин, які утворюють міцели, підвищувати швидкість формування міцності означеного бетону

Ключові слова: бетон, міцність, поверхнево-активні речовини, мицелярний катализ, цемент, порошок, заповнювач, швидкість

Приведены результаты исследования свойств реакционных порошковых бетонов, которые представляют собой композицию из портландцемента, мелкозаполнителя и мицеллообразующих поверхностно-активных веществ, предназначенных для создания специальных строительных конструкций, в первую очередь монолитных. Показана способность мицеллообразующих поверхностно-активных веществ повышать скорость формирования прочности указанного бетона

Ключевые слова: бетон, прочность, поверхностно-активные вещества, мицелярный катализ, цемент, порошок, заполнитель, скорость

УДК 666.948 : 666.972.112

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.58718

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОКАТАЛІЗУ НА ФОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ РЕАКЦІЙНОГО ПОРОШКОВОГО БЕТОНУ

О. О. Шишкіна

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: 5691180@gmail.com

О. О. Шишкін

Доктор технічних наук, професор*

*Кафедра технології будівельних

виробів, матеріалів і конструкцій

Криворізький національний університет

вул. XXII-го партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

1. Вступ

З кожним роком у світовій практиці виробництва бетону й залізобетону стрімкими темпами зростає випуск високоякісних, високо й особливо міцних бетонів і цей прогрес став об'єктивною реальністю, обумовленою значною економією матеріальних і енергетичних ресурсів. Значні наукові досягнення в області створення суперпластифікованих в'язучих речовин, мікродисперсних сумішей з мікрокремнеземом, з реакційно-активними порошками з високоміцних гірських порід, дозволили довести водоредуцируючу дію до 60 % з використанням суперпластифікаторів олігомерного складу й гіперпластифікаторів полімерного складу.

Найбільше повно сучасні можливості технології бетону відбилися в створенні й виробництві високоякісних, високотехнологічних, високофункціональних бетонів (High Performance Concrete, HPC). Під цим терміном, прийнятим в 1993 р. спільною робочою групою ЕКБ/ФІП, об'єднані багатоконпонентні бетони з високими експлуатаційними властивостями, міцністю, довговічністю, адсорбційною здатністю, низьким коефіцієнтом дифузії й стираністю, надійними захисними властивостями стосовно сталевій арматурі, високою хімічною стійкістю, бактеріцидністю й стабільністю об'єму. Концепція HPC була досить докладно розроблена [1]. Він описує HPC як «інженерний» бетон, у якому одне або трохи з його специфічних властивостей

поліпшені шляхом обґрунтованого відбору компонентів, проектування складу, а також ретельних укладання й догляду.

Тим часом, передові країни активно розвивають нові покоління реакційно-порошкових бетонів у тому числі із прискореними строками твердіння й набору міцності бетонами, особливо в монолітному будівництві. Особливо перспективні отримані наприкінці 80-х років двадцятого сторіччя у Франції так звані реакційні порошкові бетони – Reactive powder concretes (RPC). Це нове покоління бетонів з міцністю при стиску від 200 до 800 МПа й міцністю при розтяганні 25–150 МПа, енергією руйнування 3000 Дж/м³ і середньою щільністю 2500–3000 кг/м³. Компонентами такого бетону є портландцемент, тонкозернистий порошок типу мікрокремнезему (25–30 % маси цементу), дрібнозернистий пісок з максимальною крупністю зерен 0,3–0,4 мм, сталева мікрофібра й суперпластифікатор (2,0–3,0 % маси цементу) при водотвердому відношенні в діапазоні 0,12–0,15. Бетон названий реакційним порошковим унаслідок високої дисперсності компонентів і підвищеного кількості гідравлично активних матеріалів. Концепція RPC полягає в одержанні матеріалу, що володіє мінімумом дефектів структури – мікротріщин і пор.

Бетони, призначені для виготовлення спеціальних будівельних конструкцій, особливо монолітних, повинні мати певні специфічні властивості. У першу

чергу, це висока міцність і декілька підвищена деформативність, яка дозволить демпфувати коливання конструкцій, що виникають, наприклад, при сейсмічних впливах, що разом з підвищеною міцністю дозволить підвищити надійність будинків і споруджень. Крім цього такі бетони повинні мати велику швидкість формування міцності для скорочення термінів будівництва.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для прискорення твердіння бетону при виробництві конструкцій використовують різноманітні методи:

– механічні – підвищення питомої поверхні цементу;

– теплові – вплив підвищеної температури твердіння бетону, як при нормальному атмосферному, так і при підвищеному тиску;

– хімічні – уведення добавок, що прискорюють твердіння [2].

Кожний із означених методів має свої недоліки.

Підвищення питомої поверхні цементу має свої обмеження як за величиною, перевищення якої призводить до зворотної агрегації часток цементу [3]. Окрім цього значно збільшують витрати на виготовлення бетону.

Теплова обробка бетонів також має свої обмеження. Так навіть згідно нормативних документів [2], для одержання високоякісних (у тому числі морозостійких) бетонів треба зменшувати температуру ізотермічного прогріву до 333 К.

Традиційно для розв'язування задачі прискорення формування міцності бетону застосовуються добавки-прискорювачі твердіння [4]. Однак їх недоліком є втручання в хімічні процеси твердіння в'яжучих речовин, зокрема, зміни їх спрямованості й утворення нових «нестандартних» мінералів [4].

Аналіз результатів наукових досліджень в області поверхнево-активних речовин показав, що практично всі сучасні поверхнево-активні речовини, що використовуються в технології бетону, відносяться до молекулярних. У той же час, з погляду фізико-хімічної механіки найбільш доцільне застосування колоїдних або (за класифікацією академіка П. О. Ребіндера) напівколоїдних поверхнево-активних речовин. Дані види поверхнево-активних речовин є міцелотворюючими поверхнево-активними речовинами – МПАР, тобто при певній концентрації, їх молекули поєднуються в міцели, властивості яких відрізняються від властивостей молекул. У першу чергу, міцели мають розміри й форму, відповідні до розмірів і форми наночастинок, тобто є наночастинами. Дані наночастинок – міцели, у значно меншому ступені в порівнянні з молекулярними ПАР екранують зернини цементу, що знижує їх вплив на строки тужавіння й твердіння бетону. Крім цього міцели МПАР практично не приводять до гідрофобізації поверхні часток цементу, поглинаючи при цьому гідрофобні частки, які могли потрапити в бетонну суміш або спеціально вводяться в неї.

Системи «цемент-вода» являють собою складні системи, що входять до мережі субреакцій, які відносяться до багатокомпонентних реакцій (БКР). Одним

з недоліків багатьох БКР, як і системи «цемент-вода» є їхня достатньо низька швидкість. Так, для реакції гідратації цементних мінералів звичайним часом перетворення є кілька тижнів або навіть місяців, тому пошук ефективних методів прискорення цих реакцій є актуальним завданням.

У цей час стійкою тенденцією стало застосування різних видів каталізу практично до всіх реакцій, використовуваних у хімії [5]. Навіть ті перетворення, які раніше проводилися без використання будь-яких каталізаторів, зараз залучені в коло каталітичних процесів, що відбиває загальний генеральний напрям.

Слід зазначити, що застосування каталітичних методів для підвищення ефективності багатокомпонентних реакцій (БКР) має особливу специфіку. Тому традиційні методи прискорення хімічних процесів (використання високих температур, кислот або основ) найчастіше не дають бажаного результату [6]. Звичайно, вони діють неселективно, прискорюючи побічні двокомпонентні реакції, приводячи до появи небажаних продуктів у системі.

Так, використання границі розділу фаз в емульсіях і суспензіях для прискорення хімічних реакцій, а також проведення синтезів у тонких плівках на поверхні неорганічних матеріалів дозволило розвинути нові підходи до одержання найрізноманітніших речовин, включаючи гетероциклічні сполуки. До подібних методів, що підвищують ефективність хімічного синтезу, можна віднести застосування міцелярних розчинів [7], що набуває все більшу популярність в останні роки. Зв'язок між структурою поверхово активної сполуки й морфологією агрегату, так само, як і різні молекулярні взаємодії, що визначають властивості агрегату, зараз стають більш зрозумілими [8]. В організованих середовищах реакції можуть бути, як прискорені, так і інгібовані в порівнянні з реакціями в чистій воді. Інтерес до міцелярних розчинів виникає через їхню загальну здатність солюбілізувати хімічні речовини у водних системах, і виконувати роль каталізатора в хімічних реакціях. Каталіз міцелами включає, принаймні, три стадії [9]. Спочатку відбувається зв'язування субстратів з міцелюю, а потім у цій міцелі або на її поверхні йде хімічна реакція. На третій стадії виділяється цільовий продукт. Міцелярний прискорювальний ефект викликається комбінацією не ковалентних взаємодій між міцелами з однієї сторони й реагентами й активованим комплексом з іншої сторони. Тому що міцелярний розчин можна розглядати як мікрогетерогенну систему, на реакцію, що каталізується міцелами, впливає також локальний ефект середовища.

Орієнтування й концентрування молекул солюбілізованих речовин у міцелах призводить до істотної зміни кінетики хімічної взаємодії солюбілізованих молекул між собою й з іншими речовинами, розчиненими в середовищі.

У деяких випадках солюбілізація супроводжується значним збільшенням швидкості хімічної взаємодії, що лежить в основі нового напрямку хімічної кінетики – міцелярного каталізу [10].

В результаті досліджень синтезу органічних речовин установлено, що мікроемульсійні системи, що включають міцелотворюючі поверхнево-активні речовини (МПАР), звичайні ПАР (найчастіше це спирти C₅–C₁₂) і воду, а також системи, утримуючі,

крім перерахованих речовин, електроліти, придбали особливе значення в останні роки [10].

У той же час відомо [11], що уведення поліспиртів до складу реакційних порошкових бетонів призводить до збільшення їх міцності.

Тобто поєднання МПАР та поліспиртів в комплексній добавці до системи «цемент – вода» може призвести, як до збільшення швидкості процесів гідратації цементу, що призведе до збільшення швидкості формування міцності бетону, так і до збільшення абсолютної величини цієї міцності.

Однак застосування міцелярного каталізу для багатоконпонентних реакцій має й свої обмеження. Для появи вираженого ефекту прискорення всі вихідні реагенти повинні добре розчинятися в полярній частині міцели, а якщо ні, то вони будуть перебувати в різних фазах і швидкість реакції різко впаде. Багато ПАР, що утворюють міцели (МПАР) мають також специфічну каталітичну активність.

Поліспирти, як відомо, розчиняють оксиди багатовалентних металів, у тому числі кальцію, які знаходяться в системі «цемент – вода», що тужавіє.

Таким чином, на основі аналізу літературних даних встановлено існування явища каталізу багатоконпонентних реакцій органічних речовин комбінованими міцелами, що складаються з МПАР та звичайної молекулярної ПАР [5–8], даних же про застосування міцелярного каталізу багатоконпонентних реакцій неорганічних речовин в науковій літературі не визначено.

3. Ціль і завдання досліджень

Проведені дослідження ставили перед собою ціль визначення впливу на швидкість формування міцності RPC поверхво-активних речовин, що утворюють міцели.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

– визначити вплив міцелярного розчину, який складається із поверхво-активних речовин, що утворюють міцели та звичайних поверхво-активних речовин, на міцність порошкових реакційних бетонів;

– визначити вплив вмісту міцелярного розчину, який складається із поверхво-активних речовин, що утворюють міцели та звичайних поверхво-активних речовин в реакційному порошковому бетоні на його міцність.

4. Матеріали та методи дослідження впливу МПАР, на швидкість формування міцності реакційного порошкового бетону

4.1. Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

Для виготовлення бетону використовували портландцемент М400 ПАТ «Криворіжцемент» (Україна), у якості дрібного заповнювача – відходи збагачення залізних руд Новокриворізького гірничозбагачувального комплексу ПАТ «Арселор Мітал Кривий Ріг», що мають максимальний розмір часток 0,63 мм. У якості міцелоутворюючих ПАР (МПАР) – олеат натрію (Simagchem Corp., Китай).

Компоненти бетонної суміші дозувалися в необхідних, згідно із планом експерименту, кількостях, перемішувалися в лабораторному змішувачі протягом 3 хв. Отримана суміш містилася в металеву форму-куб, що має розмір сторін 15 см. Відформовані в такий спосіб зразки бетону тверділи протягом 28 доби при вологості навколишнього середовища $70 \pm 10\%$ і температурі навколишнього повітря 293 ± 2 К.

Дослідження морфологічних особливостей частинок, фазового складу й структури цементного каменю проводили з використанням рентгенофазового аналізу (дифрактометр ДРОН-3).

4.2. Методика визначення показників властивостей зразків

Опосередковану оцінку впливу модифікаторів на кінетику твердіння цементу при водоцементному співвідношенні (В/Ц) 0,26 здійснювали за результатами визначення термінів тужавлення на приладі Віка, фіксуючи у часі глибину занурення у цементне тісто голки приладу.

За основний показник, що характеризував кінетику твердіння цементу після його тужавління була прийнята міцність при стиску реакційного порошкового бетону. Склад бетону був прийнятий постійним у всіх дослідженнях із співвідношенням цемент/дрібний заповнювач = 1/2. Визначення величини межі міцності при стиску зразків проводилося у відповідності до стандартних методик. Контроль міцності зразків робили на універсальній машині УММ–100.

5. Результати дослідження показників властивостей бетонних зразків

Результати визначення термінів тужавлення цементного тіста (В/Ц 0,26) в залежності від кількості й виду поверхво-активних речовин приведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив поверхво-активних речовин на індекс розтікання та терміни тужавлення цементного тіста

№	Вид і кількість поверхво-активних речовин, 10 ⁵ %		Терміни тужавлення, год. – хв.	
	МПАР	ПАР	початок	кінець
1	–	–	2–15	4–48
2	40	–	2–18	4–32
3	–	10	2–00	4–26
4	40	10	2–12	4–30

У наслідку проведення досліджень було встановлено, що введення до складу реакційних порошкових бетонів (RPC) МПАР призводить до збільшення міцності бетону (рис. 1).

У процесі виконаних експериментів встановлено, що введення в досліджувану систему реакційного порошкового бетону (RPC) міцелоутворюючого ПАР (МПАР) призводить до різкого збільшення міцності одержуваного бетону у віці 7 діб (рис. 2). При цьому відзначається наявність оптимального вмісту МПАР у кількості 0,0004 % від маси цементу, яке забезпечує формування максимальної міцності системи.

Збільшення міцності бетону, як показника ступені протікання реакцій гідратації мінералів цементу, при

зазначеному незначному вмісті МПАР, свідчить про їх каталітичний характер.

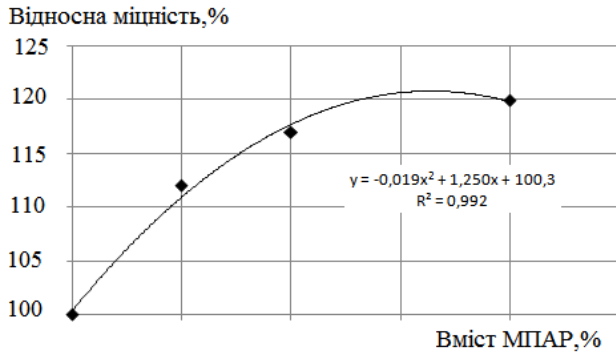


Рис. 1. Вплив МПАР на міцність RPC

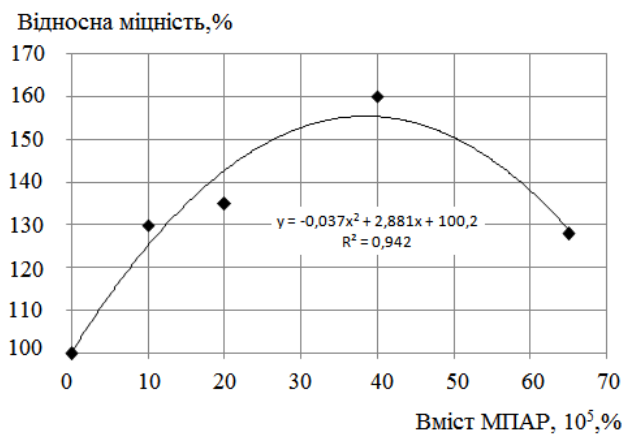


Рис. 2. Вплив вмісту МПАР на міцність RPC при стиску у віці 7 днів

Враховуючи загальні положення міцелярного каталізу, на наступному етапі експерименту в систему вводили додаткову ПАР (поліспирт). У результаті експериментів установлене, що введення цих речовин, сприяє збільшенню міцності бетону у віці 7 днів (рис. 3).

У віці 28 доби характер впливу МПАР на міцність досліджуваного бетону трохи відрізняється від установленого у віці 7 доби (рис. 4, 5).

Результати досліджень методом рентгенофазового аналізу проб затверділого цементного каменю, отриманого без уведення добавок і з комплексною хімічною добавкою на основі МПАР (рис. 6, 7), свідчать про те, що всі проби цементів мають ідентичний фазовий мінералогічний склад.

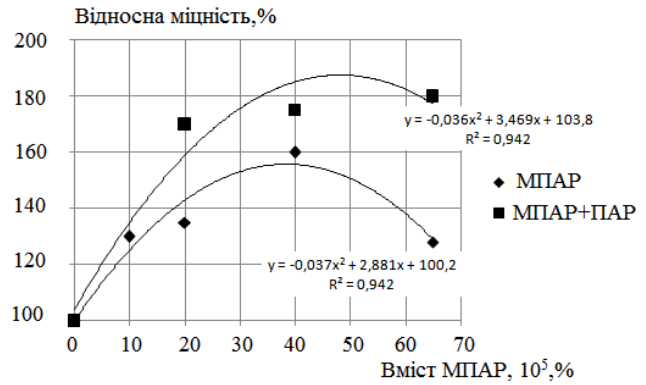


Рис. 3. Вплив додаткової ПАР на міцність бетону у віці 7 днів

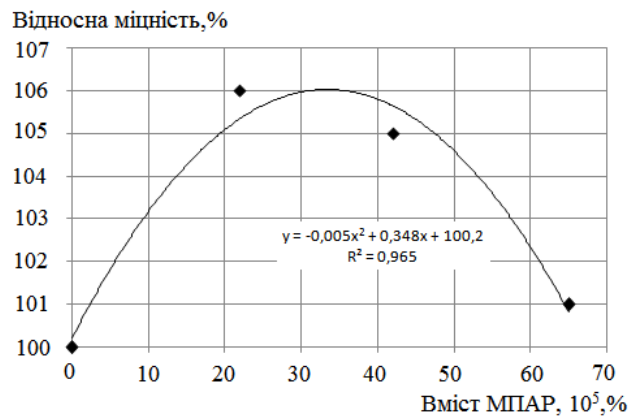


Рис. 4. Вплив вмісту МПАР на міцність RPC при стиску у віці 28 днів

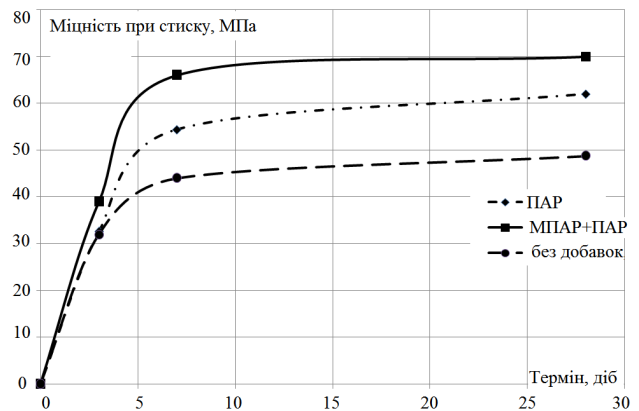


Рис. 5. Кінетика формування міцності RPC до віку у 28 днів

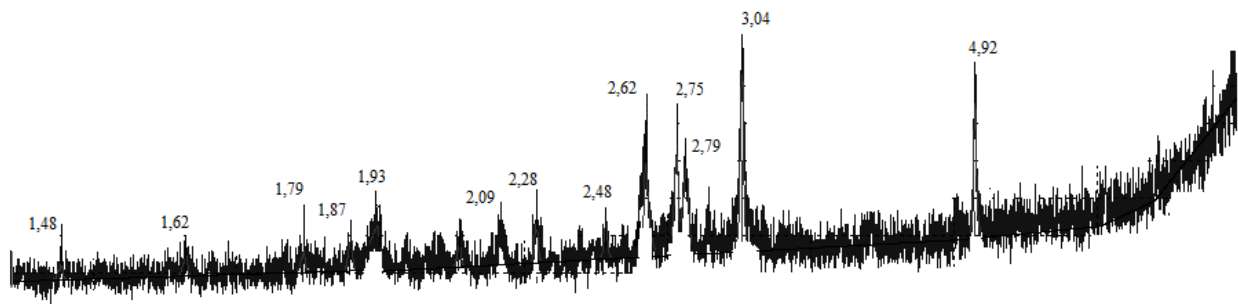


Рис. 6. Дифрактограма проби № 1 (вихідний цемент)

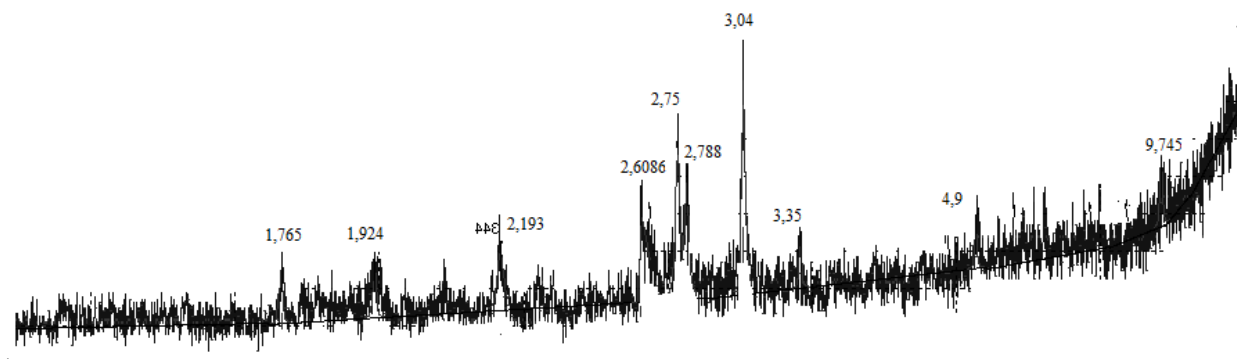


Рис. 7. Дифрактограма проби № 2 (добавка МПАР+Гл)

Таким чином, в процесі виконання дослідження показників властивостей бетонних зразків встановлені їх механічна міцність у різному віці, а також кінетика формування міцності та рентгенофазовий аналіз продуктів гідратації цементу.

6. Обговорення результатів досліджень впливу міцел поверхнево-активних речовин на міцність реакційних порошкових бетонів

При визначенні ефективності комплексної поверхнево-активної речовини на процес тужавлення, як витікає з отриманих результатів (табл. 1), закономірним є практична стабільність часу початку й кінця тужавлення досліджуваного цементу. Це обумовлено тим, що міцели, які утворила МПАР, не утворили суцільних адсорбційних шарів на поверхні клінкерних мінералів, які уповільнюють процеси дифузії іонів гідроксидів та утворення кристалогідратів. Слід зазначити, що присутність добавки звичайної ПАР також практично не призвела до зміни термінів тужавлення цементу. Вочевидь такий механізм впливу ПАР позначається її малою кількістю.

Отримані дані щодо впливу комплексної поверхнево-активної речовини на процес тужавлення цементу, дозволяють стверджувати наступне: на перших стадіях тужавлення комплексна поверхнево-активна речовина практично не впливає на швидкість реакцій.

Результати визначення механічної міцності зразків цементного каменю на ранніх стадіях твердіння з В/Ц 0,26 (рис. 1) вказують на те, що збільшення концентрації МПАР вище границі її міцелоутворення на певний час протікання реакцій тужавлення, призводить до збільшення міцності бетону (рис. 1). Тобто, збільшення концентрації МПАР до концентрації, що відповідає формуванню міцел, супроводжується збільшенням швидкості протікання реакцій гідратації мінералів цементу, що фіксується зростанням міцності бетону. При досягненні МПАР певної концентрації в системі спостерігається найбільш низький поверхневий натяг і максимальна міцність, яка залежно від його складу бетону в цьому випадку становить 120–250 % міцності бетону без добавок.

Подальше збільшення вмісту МПАР понад них ККМ, як відомо, не приводить до зміни поверхневого натягу, а при збільшенні до певної межі супроводжується зниженням міцності бетону. Тобто подальше збільшення кіль-

кості МПАР призводить до зменшення швидкості формування міцності бетону, тобто зменшення її величини у певний час її формування. Це пояснюється тим, що зайві молекули МПАР у вигляді міцел починають екранувати частки цементу, знижуючи ступінь їх гідратації.

Це достатньо наочно підтверджується ідентичністю вигляду залежності міцності бетону, яка була сформована на певний час гідратації (рис. 2), та загально відомій залежності [9] швидкості хімічної реакції від вмісту МПАР (рис. 8).

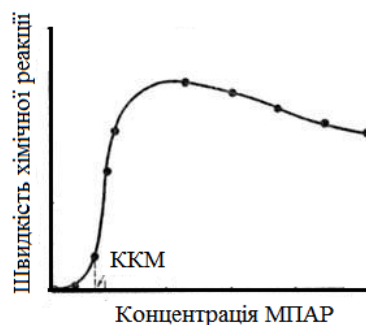


Рис. 8. Залежність швидкості хімічної реакції ацилювання саліцилальдоксида п-нітрофеновим ефіром триметілоцтової кислоти (за даними [8])

Введення в систему додаткової ПАР (у даному випадку – поліспирту – Гл), призводить до зміни складу і структури міцел (рис. 9) та сприяє збільшенню міцності бетону у віці 7 діб (рис. 3), однак при цьому не спостерігається оптимуму у вмісті МПАР. Вочевидь, це пояснюється видом утвореної міцели, яка у даному випадку не тільки адсорбується на поверхні частинок цементу за рахунок молекул МПАР, а й розчиняє ці частинки молекулами додаткової ПАР.

У віці 28 доби значно зменшений вплив МПАР на міцність бетону (рис. 4), що ще раз підтверджує його каталітичний характер. Тобто до цього часу реакції гідратації практично закінчуються, як у звичайного цементу, так і у цементу, до якого додано комплексну поверхнево-активну речовину. Перевищення міцності бетону, який містить комплексну поверхнево-активну речовину, у порівнянні із цементом без добавок обумовлене, або дією додаткової ПАР, або показує міцність, яку може досягнути бетон без добавок у більший термін твердіння. Це питання потребує додаткового дослідження, але не скасовує визначений ефект міцлярного каталізу.

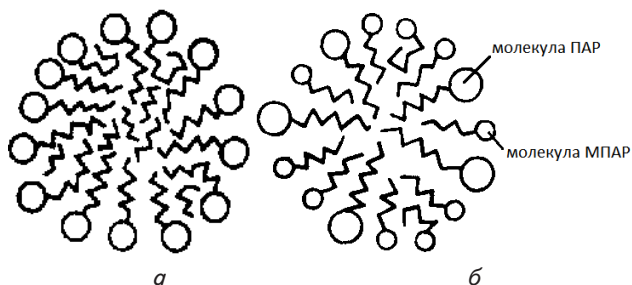


Рис. 9. Міцели МПАР та МПАР+ПАР: а – міцела МПАР;
б – міцела МПАР+ПАР

Кінетика формування міцності бетону до віку 28 діб (рис. 5) показує, що найбільший вплив на швидкість формування міцності бетону, тобто протікання реакцій гідратації, МПАР спостерігається у віці від 3 до 7 діб. У подальшому їх вплив зменшується, тобто зменшується прискорення реакцій гідратації, але й у подальшому міцність порошкового реакційного бетону з міцелярним розчином залишається вищою за міцність того ж бетону без добавок.

Досліджуваний бетон із використанням МПАР (міцелярного каталізу) за 4 доби набуває міцності 50 МПа (рис. 5), а бетон аналогічного складу, але без добавок набуває тієї ж міцності у віці 28 діб (рис. 5).

У віці 28 діб міцність бетону з міцелярним розчином становить 70 МПа, а бетону без добавок 50 МПа (рис. 5).

Рентгенофазовий аналіз проводили на дифрактометре «Дрон-4». На дифрактограмах усіх проб (рис. 6, 7) відзначені дифракційні відбиття в рентгенівських спектрах, що належать наступним фазам:

- аліту C_3S з міжплощинними відстанями $d/n = 0,304; 0,299; 0,277; 0,274; 0,261; 0,232; 0,218$ нм;
- беліту $\beta-C_2S$ ($d/n = 0,305; 0,287; 0,281; 0,279; 0,274; 0,271; 0,260; 0,232$ нм);
- трикальцієвому алюмінату C_3A ($d/n = 0,305; 0,299; 0,278; 0,270; 0,220; 0,204$ нм);
- чотирикальцієвому алюмофериту C_4AF ($d/n = 0,723; 0,270; 0,265; 0,217; 0,204$ нм);
- портландиту $Ca(OH)_2$ ($d/n = 0,493; 0,311; 0,263$ нм);
- еtringіту $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ($d/n = 0,973; 0,561; 0,388$ нм).

На підставі аналізу отриманих даних можна зробити наступні висновки.

У рентгенівських спектрах усіх проб практично присутні дифракційні відбиття вихідних клінкерних мінералів. Причому інтенсивність цих відбиттів зменшується в пробах з добавкою МПАР, що, вочевидь, пов'язане з їхнім впливом на гідролізно-гідратаційні процеси в цементному камені, що твердіє.

Слід зазначити, що максимальна кількість портландиту (як відбиття поглиблення гідратації C_3S і C_2S) спостерігалася в пробі з добавкою МПАР.

Узагальнення отриманих результатів рентгенофазового аналізу проб показує наступне. По-перше, відсутність хімічної взаємодії добавки із продуктами гідролізу й гідратації клінкерних мінералів, що підтверджується практичною ідентичністю фазового складу проб чистого цементу й утримуючого комплексу хімічну добавку (МАПР+ПАР).

По-друге, зниження вмісту (відбиттів) клінкерних мінералів у пробах з добавкою, у порівнянні із пробами без добавки, свідчить про більш глибокий розвиток процесів гідратації цементу в присутності даної добавки. Результатом є ріст міцності цементного каменю, а на цій основі – і цементного бетону.

7. Висновки

1. Встановлено збільшення міцності при стиску реакційних порошкових бетонів при введенні до їх складу міцелярного розчину, який складається із поверхнево-активних речовин, що утворюють міцели, та звичайних поверхнево-активних речовин.

Даний процес відбувається за рахунок протікання процесів, що підкорюються закономірностям міцелярного каталізу.

2. Доведено, що величина міцності при стиску РРС залежить від вмісту в ньому міцелярного розчину, який складається із поверхнево-активних речовин, що утворюють міцели, та звичайних поверхнево-активних речовин в складі цього бетону. При цьому оптимальний вміст означеного міцелярного розчину коливається в межах від 0,00030 % до 0,00070 %.

Література

1. Aitcin, P.-C. High Performance Concrete [Текст] / P.-C. Aitcin. – E&FN Spon. 2004. – 140 p.
2. Шишкінб, О. О. Технологія бетону [Текст]: підручник / О. О. Шишкін, О. П. Хільченко. – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2007. – 376 с.
3. Ходаков, Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов [Текст] / Г. С. Ходаков. – М.: Стройиздат, 1972. – 239 с.
4. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон [Текст] / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 187 с.
5. Стрижак, П. Е. Сучасні проблеми нанокаталізу [Текст] / П. Е. Стрижак // Вісник НАН України. – 2014. – № 7. – С. 16–24.
6. Березин, И. В. Физико-химические основы мицеллярного катализа [Текст] / И. В. Березин, К. Мартинек, А. К. Яцимирский // Успехи химии. – 1973. – Т. XLV, № 10. – С. 1729–1756. doi: 10.1070/RC1973v042n10ABEN002744
7. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии [Текст] / под ред. Н. Миттел. – М.: Изд-во «Мир», 1980. – 598 с.
8. Паничева, Л. П. Влияние структуры эмульсионных и мицеллярных систем на кинетику каталитического окисления алкилароматических углеводородов [Текст]: автореф. дис. ... д-р хим. наук / Л. П. Паничева. – Москва, 1998. – 44 с.
9. Стрижак, П. Е. Наноразмерные эффекты в гетерогенном катализе. [Текст] / П. Е. Стрижак // Теоретическая и экспериментальная химия. – 2013. – Т. 49, № 1. – С. 1–19.
10. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия [Текст] / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М.: Издательство московского университета, 1982. – 348 с.
11. Shishkin, A. Low-shrinkage alcohol cement concrete [Text] / A. Shishkin, A. Shishkina, N. Vatin // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 633-634. – P. 917–921. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.633-634.917