

О. І. Башинський, М. З. Пелешко, С. Я. Вовк, О.Ю. Пазен

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ВПЛИВ СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЦЕМЕНТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

У статті вивчено вплив в'язучого на процеси тверднення бетону та зміну фазового складу цементного каменю при нагріванні до 1000 °С. Встановлено, що наявність активних мінеральних добавок у композиційному цементі призводить до підвищення міцності бетону як при звичайних температурах, так і при нагріванні в умовах пожежі.

Руйнування конструкцій, що супроводжується втратою міцнісних характеристик бетону при дії високих температур пожежі зумовлено розкладом водомісних кристалогідратів, які утворюються при затворенні водою.

Аналіз результатів фізико-механічних досліджень портландцементу з додатками лугомисних відходів показав, що їх застосування значно збільшує міцність цементного каменю, завдяки утворенню додаткової кількості сульфату натрію або калію. Їх вплив як активаторів тверднення найбільш помітний у початкові терміни і поступово зменшується з віком тверднення. Показано, що використання в складі в'язучого лугомисних додатків та гідросилу дає змогу збільшити міцність цементного каменю в 1,5 раза, що має важливе значення для розробки ефективних композиційних в'язучих на його основі для роботи в умовах високих температур. При цьому наявність фтористого алюмінію в гідросилі в кількості 3,3 мас.% зумовлює його пластифікуючу дію на цемент.

Експериментально доведено, що при нагріванні бетону вище 5000С проходить деструкція гідратних складових цементного каменю з руйнуванням структурних зв'язків між окремими частинками із значним зниженням міцнісних характеристик. При цьому використання додатків забезпечує часткове зв'язування СаО в процесі твердофазових реакцій при нагріванні. Доведено, що використання композиційного цементу, як в'язучого бетону, завдяки наявності у його складі лугомисної домішки прискорює тверднення та покращує міцнісні характеристики, гідросилу – підвищує залишкову міцність при нагріванні до 10000С на 2,4 МПа.

Ключові слова: композиційний портландцемент, високі температури, гідратація, структура бетону, лугомисна домішка, залишкова міцність, модуль пружності.

Постановка проблеми. Забезпечення пожежної безпеки є однією із складових частин державної політики. Діяльність держави у цьому напрямі створює умови для безпечного розвитку суспільства та особистості зокрема: безпека життя і охорона здоров'я людей, примноження і збереження національного багатства. Незважаючи на проникнення у всі сфери нашого життя науково-технічного прогресу та штучного інтелекту, постає гостро питання пожежної безпеки. Так, згідно із статистичними даними за 9 місяців 2018 року в Україні зареєстровано 62 449 пожеж. Упродовж вказаного терміну в Україні в середньому щодня виникало 228 пожеж, на яких вогнем знищувалось або пошкоджувалось 69 будівель і споруд [1]. Аналогічна ситуація спостерігалась в попередніх роках. У середньому по Україні за 2017 рік кожна третя пожежа знищувала або пошкоджувала будівлю чи споруду [2].

Поведінка залізобетонних конструкцій при дії високих температур пожежі характеризується показниками їх межі вогнестійкості та здатністю горіти. Бетон – це пожежобезпечний та вогнестійкий будівельний матеріал, але він все ж таки піддається впливу температури в умовах пожежі. Короточасний вплив температури суттєво не знижує міцнісні показники, але якщо вогонь триваліше впливає на залізобетонні та бетонні конструктивні елементи, то він може їх пошкодити. При цьому сучасні тенденції збільшення кількості пожеж та інших надзвичайних ситуацій, які призводять до їх виникнення, вказують на важливість питань визначення вогнестійкості бетонних і залізобетонних конструкцій, особливо тих, що отримані на нових видах в'язучих матеріалів [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На шляху значного скорочення матеріальних та енергетичних ресурсів значна увага приділяється розробці та впровадженню енергозбері-

гаючих технологій при виготовленні цементів та будівельних виробів на їх основі. Одним із перспективних напрямків розвитку будівельної індустрії є виробництво компо-зиційних цементів, які мають у складі мінеральні та комплексні хімічні домішки поліфункційної дії і характеризуються рядом покращених будівельно-технічних властивостей [4].

Згідно з даними [5], дрібнодисперсні карбонатні домішки, які володіють певною хімічною активністю, при введенні до складу портландцементу змінюють його міцність і фазовий склад гідратних утворень. Саме утворення кристалів гідрокарбоалюмінатів кальцію в цементному камені є однією з причин позитивного впливу карбонатних мікронаповнювачів на властивості високоалюмінатних цементів, зокрема глиноземного портландцементу, що виявляється в його інтенсивному твердненні і відсутності спадів міцності з часом.

Разом з тим, використання карбонатних домішків в складі портландцементу потребує введення активаторів тверднення, в якості яких доцільно використовувати солі лужних металів [6].

Відомо [7, 8], що при твердненні портландцементу та його різновидів утворюються водовмісні кристалогідрати, які під дією високих температур пожежі розкладаються з руйнуванням кристалохімічної структури, що супроводжується втратою міцнісних характеристик, і як результат, руйнуванням конструкції [9, 10].

Вказані процеси та їх інтенсивність залежать, в основному, від виду в'язучого та мінеральних домішок, які вводять при виготовленні цементу.

Мета роботи полягає у встановленні впливу виду в'язучого бетону на міцнісні характеристики в умовах пожежі.

Результати досліджень

В рамках цієї роботи були досліджені портландцементи ПЦ І-500 ВАТ "Івано-Франківськцемент", ПЦ ІІ/А-ІІІ-400-Н ВАТ "Миколаївцемент" та глиноземний цемент з вмістом Al_2O_3 - 39-42 мас.%, а в якості домішок – лугомісні відходи виробництва та гідросил.

Як дрібний заповнювач використано пісок Ясинецького родовища, з модулем крупності – $M_{кр}=1,12$ (ДСТУ Б.В.2.7-32-95), а як крупний – щебінь Томашгорського родовища фракції 5-20 мм (ДСТУ Б.В.2.7-74-98). Запропонований клас бетону за міцністю становив С 25/30.

У відповідності з класифікацією хімічних домішок в бетоні В. Б. Ратінова і Т. І. Розенберга [11] за механізмом дії лужні домішки відносяться до таких, які вступають з продуктами

гідратації в'язучих речовин і двоводним гіпсом в обмінні реакції. В результаті аніонна частина домішки в процесі гідратації зв'язується з алюмомісткими фазами, а катіони залишаються в розчині. Внаслідок збільшення концентрації гідроксильних іонів збільшується розчинність силікатів кальцію та інтенсифікується виділення гідросилікатів кальцію. При цьому карбонат натрію або калію, який є сіллю сильного лугу і слабкої кислоти, вступає в обмінну реакцію з двоводним гіпсом з утворенням нерозчинних карбонату кальцію і гідросилікату кальцію з одного боку, і сульфату натрію або калію з другого, що і є причиною швидкого тужавіння цементного тіста.

Аналіз результатів фізико-механічних досліджень портландцементу з домішками лугомісних відходів показав, що їх застосування значно збільшує міцність цементного каменю. Їх вплив як активаторів тверднення найбільш помітний у початкові терміни і поступово зменшується з часом тверднення. Збільшення ж кількості домішки до 20,0 мас.% призводить до спаду міцності цементного каменю на 28 та 90 добу тверднення.

Для ущільнення структури цементного каменю використано гідросил (ТУ 113-12-45-87) – тонкодисперсний діоксид кремнію ($S_{пнт}=580$ м²/кг).

Встановлено (табл. 1), що використання гідросилу в складі в'язучого призводить до прискорення термінів тужавіння. Наявність фтористого алюмінію в гідросилі в кількості 3,3 мас.% зумовлює його пластифікуючу дію на цемент. Нормальна густина цементного тіста зменшилась з 0,29 до 0,25 при введенні 10,0 мас.% гідросилу.

Гідросил – реакційноздатний тонкодисперсний діоксид кремнію, який, вступаючи в реакції взаємодії з продуктами гідратації основних клінкерних мінералів, збільшує фонд гідросилікатів кальцію в системі, що призводить до ущільнення структури цементного каменю. При цьому, спостерігається прискорення кінетики тверднення цементного каменю в усі терміни. Так, використання 5,0 мас.% гідросилу дає змогу збільшити міцність цементного каменю в 2,5; 1,9 та 1,2 раза відповідно через 3, 28 та 90 діб. Введення в склад в'язучого 10,0 мас. % гідросилу сприяє збільшенню в 2,2 раза ранньої міцності (1 доба) цементного каменю порівняно з вихідним портландцементом без домішок та спаду міцності в подальші терміни тверднення порівняно з композиційним портландцементом з 5,0 мас. % гідросилу.

Таблиця 1

Вплив домішок на фізико-механічні властивості цементного каменю
(зразки-кубики 2×2×2 см)

Вміст домішок, мас. %		НГЦТ	Терміни тужавіння, год-хв		Границя міцності зразків на стиск, МПа, у віці, діб				
луговмісні відходи	гідросил		початок	кінець	1	3	7	28	90
-	-	0,27	4-30	5-50	4,5	13,8	16,9	34,5	59,4
-	5,0	0,29	1-00	2-15	6,5	50,3	58,0	88,0	90,3
-	10,0	0,29	0-40	2-00	10,5	30,8	33,8	72,0	78,6
5,0	5,0	0,29	0-50	2-40	7,5	19,4	52,5	91,3	92,0
5,0	10,0	0,29	0-20	1-10	7,8	32,8	45,3	59,3	84,3

Методом ортогонально центрально-композиційного планування (ОЦКП) визначали оптимальні співвідношення між складовими частинами комплексної домішки, луговмісними відходами та гідросилом, з метою одержання максимальної міцності цементного каменю композиційного портландцементу (20,0 мас.% доменного гранульованого шлаку + 5,0 мас.% крейди) в нормальних умовах тверднення. Встановлено, що для нормальних умов тверднення оптимальним складом домішок, що забезпечує максимальну міцність зразків як в початкові терміни, так і при подальшому твердненні, буде склад, який містить 5,0 мас.% луговмісних відходів і 5,0 мас.% гідросилу.

Після проведеного пошуку оптимального складу було досліджено фізико-механічні властивості розробленого композиційного портландцементу в умовах високих температур.

Дослідження впливу домішок на міцність цементного каменю при дії на нього високих температур проводилось на зразках з цементного тіста нормальної густоти. Зразки тверднули в повітряно-вологих умовах. Усі зразки перед нагріванням були висушені до постійної маси при $T=105-1100^{\circ}\text{C}$ протягом 32 годин. Нагрівання зразків проводили з врахуванням рекомендацій СН 156: нагрівання зі швидкістю $2000^{\circ}\text{C}/\text{год}$, витримка при контрольній температурі 4 год. Охолодження зразків було довільним (разом з піччю). Для всіх зразків визначали міцність після нагрівання до контрольної температури та залишкову міцність після нагрівання до 10000°C і зберігання випалених зразків 7 діб у вологих умовах. Ущільнення в'язучих проводили методом формування та вібрування суміші на вібростолі з частотою 50 Гц і амплітудою 3,5 мм. Випробування проводили на гідравлічному пресі П-50.

Відомо [4], що нагрівання цементного каменю до температури в межах $250-3000^{\circ}\text{C}$ призводить до руйнування структури та зменшення міцнісних характеристик. При температурі більше 5500°C відбувається повне руйнування.

Згідно з результатами міцність цементного каменю як на звичайному, так і на композиційному цементі в інтервалі температур $800-10000^{\circ}\text{C}$ характеризується різким падінням міцності. Загальна тенденція є такою, що міцність при 8000°C знижується: для портландцементу цей спад становить 85%; для композиційного цементу з додатками – 25-40%.

Така ж тенденція спостерігається і при нагріванні до 10000°C , але треба відмітити, що міцність цементного каменю на композиційному цементі з домішками при тій же температурі в 2,5 раза перевищує міцність каменю на портландцементі. Таке підвищення міцності пояснюється початком протікання твердофазових реакцій і спіканням при температурі 10000°C .

Важливою характеристикою бетонів, що піддаються дії високих температур, є здатність бетону зберігати свою міцність на повітрі після нагрівання. Для таких бетонів визначається залишкова міцність після нагрівання до температури 800°C і подальшого зберігання зразків в повітряно-вологих умовах протягом 7 діб.

Згідно з результатами залишкова міцність цементного каменю на основі композиційного цементу залишається такою, як відразу після нагрівання, і становить 20,3 МПа, тоді як цементний камінь на основі звичайного майже повністю руйнується, що пояснюється деструктивними явищами вторинної гідратації CaO (рис.1).

Як показав рентгенофазовий аналіз, у віці 28 діб в цементному камені на основі композиційного цементу, вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що виділяється при гідратації C_3S , є значно нижчим, а отже і деструктивні процеси, що проходять в умовах високих температур, є менш помітними.

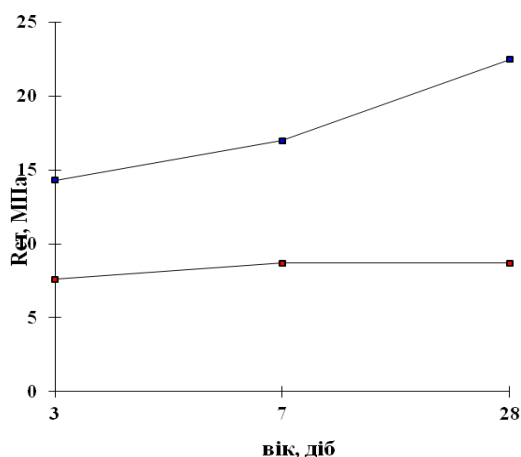


Рисунок 1 – Залишкова міцність портландцементів

Також проводились дослідження із вивчення поведінки розробленого в'язучого в складі бетону при дії високих температур. Встановлено, що збільшення температури до 1000°C призводить до зменшення міцності бетону, причому міцність бетону на композиційному цементі в 2,9 раза вища, ніж бетону на звичайному портландцементі. Ці результати свідчать про можливість використання розробленого складу в'язучого для залізобетонних конструкцій, що дасть змогу покращити міцнісні показники основних конструктивних елементів будівлі в умовах високих температур.

Висновки. Показано, що використання в складі в'язучого лугомісних домішок та гідросилу дає змогу збільшити міцність цементного каменю в 1,5 раза, що має важливе значення для розробки ефективних композиційних в'язучих на його основі для роботи в умовах високих температур.

Встановлено, що на процеси деструкції цементного каменю при нагріванні впливає вид в'язучого, який формує міцнісні характеристики бетону. Експериментально доведено, що при нагріванні бетону вище від 500°C проходить деструкція гідратних складових цементного каменю з руйнуванням структурних зв'язків між окремими частинками із значним зниженням міцнісних характеристик. При цьому використання домішок забезпечує часткове зв'язування СаО в процесі твердофазових реакцій при нагріванні.

Показано, що використання композиційного цементу, як в'язучого бетону, завдяки наявності у його складі луговмісної домішки, прискорює тверднення та покращує міцнісні характеристики, гідросилу – підвищує залишкову міцність при нагріванні до 1000°C на 2,4 МПа.

Список літератури

1. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 9 місяців 2018 року: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.
2. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 2017 рік: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.
3. Гивлюд М. М. Вплив виду в'язучого на міцнісні характеристики бетону в умовах пожежі / М. М. Гивлюд, О. І. Башинський, М. З. Пелешко, М. О. Колтипін // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів: ЛДУБЖД. – 2015. – №27. – С. 44-49.
4. Башинський О. І. Вплив високих температур на процеси структуроутворення цементного каменю / О. І. Башинський, М. З. Пелешко, Т. Г. Бережанський // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів: ЛДУБЖД. – 2012. – №20. – С. 38-42.
5. Пащенко А. А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ / А. А. Пащенко, Е. А. Мясникова, Ю. Р. Евсютин и др. – К.: Выща школа, 1990. – 223 с.
6. Зоткин А. Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне / А. Г. Зоткин // Бетон и железобетон. – 1994. – №3. – С. 7-9.
7. Самченко С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов / С. В. Самченко. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005. – 154 с.
8. Саницкий М. А. Влияние кристаллохимических особенностей твердых фаз на процессы их гидратации и свойства цементного камня / М. А. Саницкий // II Международное совещание по химии и технологии цемента. – М.: П-Центр, 2000. – Т 2. – С. 61-67.
9. Кошмаров Ю. А. Новые методы расчета огнестойкости и огнезащиты зданий и сооружений / А. Ю. Кошмаров // Пожарная безопасность. – 2002. – №2. – С. 91-98.
10. Поздеев С. В. Обґрунтування вибору режимів нагрівання зразків для експериментально-розрахункового методу визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій / С. В. Поздеев, О. В. Некора, А. В. Поздеев // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів: ЛДУБЖД. – 2006. – №9. – С. 125-132.
11. Пащенко А. А. Теория цемента. / А. А. Пащенко, Е. А. Мясникова, М. А. Саницкий. – К.: Будівельник, 1991. – 169 с.

References

1. Analiz pozhezh, shzho stalysja v Ukraini za misjaziv 2018 roku: http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html.
2. Analiz pozhezh, shzho stalysja v Ukraini za 2017 rik: [http:// http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html](http://http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html).
3. Hyvljud M. M. Vplyv vydu vjazhuchoho na miznisni charakterystyky betonu v umovach pozhezhi / M. M. Hyvljud, O. I. Bashynskij, M. Z. Peleshko, M. O. Kolypin // Pozhezna bezpeka: zb. nauk. praz. – Lviv: LDUBZHD. – 2015. – №27. – S. 44-49.
4. Bashynskij O. I. Vplyv vysokych temperaturna na prozesy strukturotvorenja zementnoho kamenju/ O. I. Bashynskij, M. Z. Peleshko, T. H. Berezhanskij // Pozhezna bezpeka: zb. nauk. praz. – Lviv: LDUBZHD. – 2012. – №20. – S. 38-42.
5. Pashzhenko A. A. Enerhosberehajushzhie i bezotchodnyje tehnologii poluzhenija vjazhushzhich veshhestv/ A .A. Pashzhenko, E. A. Mjasnikova, Jy. R. Evsjutin i dr. – K.: Vyshzha shkola, 1990. – 223 s.
6. Zotkin A. H. Mikronapolnjajushzhij efekt mineralnych dobavok v betone / A. H. Zotkin // Beton i zhelezobeton. – 1994. – N3. – S. 7-9.
7. Samzhenko S. V. Rol etrenhita v formirovanii i henezise struktury kamnja spezialnych zementov / S. V. Samchenko. – M.: PCHTU im. D. I. Mendeleeva, 2005. – 154 s.
8. Sanitskij M. A. Vlijanie kristallochimisheskich osobennostej tverdyh faz na prozesy ich hidratazii i svojstva zementnoho kamnja/ M. A. Sanitskij // II Mezhdunarodnoe soveshzhane po khimii i tehnologii zementa. – M.: P-Zentr, 2000. – T 2. – S. 61-67.
9. Koshmarov Jy. A. Novye metody rassheta ohnestojkosti i ohnezashzhity zdaniij i sooruzhenij / A. Jy. Koshmarov // Pozharnaja bezopasnost. – 2002. – №2. – S. 91-98.
10. Pozdneev S. V. Obhruntuvannja vyboru rezhytiv nahrivannja zrazkiv dlja eksperymentalno-rozrachunkovoho metodu byznazhennja vohnestijkosti zalisobetonnych budivelnych konstrukzij / S. V. Pozdneev, O. V. Nekora, A. V. Pozdneev // Pozhezna bezpeka: zb. nauk. praz. – Lviv: LDUBZHD. – 2006. – №9. – S. 125-132.
11. Pashzhenko A. A. Teorija zementa. / A. A. Pashzhenko, E. A. Mjasnikova, M. A. Sanitskij. – K.: Budivelnyk, 1991. – 169 s.

O. I. Baschynskiy, M. Z. Peleshko, S. Ya. Vovk, O. Yu. Pazen

INFLUENCE OF THE CEMENT COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WORKING IN HIGH TEMPERATURE CONDITIONS

In the article the influence of binder hardening of concrete processes and changes in the phase composition of cement by heating to 1000 °C. It was established that the presence of active mineral adds in cement composite increases the strength of concrete at ordinary temperatures as well as when heated in a fire.

Damage of structures, accompanied by loss of strength characteristics of concrete under the influence of high temperatures of the fire due to the decomposition of water-containing crystalline hydrates, which are formed when locked up with water.

The analysis of the results of physical and mechanical investigations of portland cement with applications of meadow waste has shown that their loading allows to significantly increase the strength of this cement stone, due to the formation of an additional amount of sodium sulfate or potassium. Their influence as activators of hardening is most noticeable in the initial terms and gradually decreases with age of hardening. It has been shown that use in the composition of the binder of meadow-based additives and hydrosilics makes it possible to increase the strength of the cement stone by 1.5 times, which is essential for the development of effective composite binders on its basis for work in high temperatures. In this, the presence of fluoride aluminium in hydrosilic in a quantity of 3.3% by weight determines its plastisizing effect on cement.

It has been experimentally stated that during the heating of concrete above 500°C, the destruction of hydrated components of cement stone with the destruction of structural bonds between individual particles with a significant decrease in strength characteristics. In this case, the use of applications provides a partial coupling of CaO in the process of solid phase reactions during heating. It is proved that the use of composite cement, as a binder, due to the presence of its composition of a meadow-based application - accelerates hardening and improves strength characteristics, hydrosilics - increases residual strength at a pressure of up to 1000°C by 2.4 MPa .

Key words: composite portland cement, high temperature conditions, hydration, cement structure, meadow addition, residual strength, modulus of elasticity.