

нием строительной отрасли. В связи с этим работа, направленная на изучение и регулирование процессов формирования структуры в активированных известково-кремнеземистых смесях и изучение свойств композитов на их основе, включая параметры механики разрушения, для получения стеновых изделий повышенной деструктивной стойкости по литьевой энергосберегающей технологии.

Ключевые слова: силикатные композиты, тепловлажностная обработка, комплексная активация, объемные изменения, трещиностойкость, экспериментально-статистические модели, компьютерное материаловедение, многокритериальная оптимизация.

Shynkevych O., Bondarenko G., Tcheskii Yu., Koichev O., Oliinyk T. ENERGY-EFFICIENT SILICATE COMPOSITES OF INCREASED CRACK RESISTANCE. Production of wall materials and products for lime-silica binders of heat and moisture treatment using local natural resources through efficient, resource-saving technologies is a promising direction of the construction industry. In connection with this work to study and control of the processes of structure formation in activated lime-silica mixtures, and studying the properties of composites based on them, including the parameters of fracture mechanics, for walling products increased the destructive strength of the casting energy-saving technology.

Keywords: silicate composites, heat and moisture treatment, complex activation, volume changes, crack resistance, experimental-statistical models, computer material science, multicriteria optimization.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-197-203
УДК 691.5

Бондаренко О.П., Павлюк В.В.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03680, Україна; e-mail: vitalii_wolf@ukr.net, bondolya3@gmail.com)*

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТНИХ В'ЯЖУЧИХ СИСТЕМ, МОДИФІКОВАНИХ ЛУЖНИМИ СПОЛУКАМИ ТА ПЛАСТИФІКУЮЧИМИ ДОБАВКАМИ РІЗНИХ ТИПІВ

В роботі досліджено процеси структуроутворення шлакопортландцементних в'язучих систем, модифікованих лужними сполуками та пластифікуючими добавками. Встановлено, що активація шлакопортландцементу лужною складовою у комплексі з пластифікуючими добавками приводить до направлено синтезу низькоосновних гідросилікатів кальцію, піктоліту, афвіліту, скоутиту і незначної кількості кальцієвого хондродіту. При цьому, як свідчать результати термoporометрії, відбувається зміна порової структури: збільшується вміст гелевих пор та відповідно зменшується частка капілярних. Утворення такої мікроструктури модифікованого шлакопортландцементу сприяє утворенню цементного каменю з покращеними міцнісними показниками, які на 2 добу перевищують 29,0 МПа, на 7 добу - 43,5 МПа та 61,0 МПа - на 28 добу.

Ключові слова: шлакопортландцемент, комплексні добавки, пластифікатор, міцність, структуроутворення.

Вступ. На сьогоднішній день надійність будівельних матеріалів обумовлюється як правильним вибором вихідних компонентів, так і раціональною технологією виготовлення, що забезпечує не тільки збереження властивостей компонентів, а й утворення нових властивостей, обумовлених проявленням синергетичного ефекту. Різноманітність матеріалів, з яких виготов-

лені матриці та наповнювачі, та схем армування відкриває можливості спрямовано регулювати структурою матеріалу, надавати йому потрібних експлуатаційних та спеціальних властивостей [1]. Використання композиційних в'язучих систем з максимально можливим вмістом техногенної сировини для отримання таких бетонів забезпечить мінімальні витрати енергії на всіх етапах виготовлення і застосування та

комфортність використання бетонів на їх основі завдяки високій якості, а також сприятиме збереженню навколишнього середовища [2-3].

Аналіз гідравлічної активності шлаковміщуючих в'язучих систем, а також відомих способів підвищення ефективності роботи в'язучих речовин на основі шлаків показав, що при існуючих традиційних способах активації процесу гідратаційного твердіння можливе поліпшення властивостей шлаковміщуючих в'язучих композицій і основних властивостей бетонів на їх основі шляхом введення органічних і неорганічних сполук, а також комплексних хімічних добавок. З іншого боку, постає питання сумісності добавок між собою, яке пов'язане зі створенням оптимальних умов для формування міцності штучного каменю [4]. Через несумісність вихідних компонентів (гідрофобізатори, мікропіноутворювачі та електроліти, пластифікатори різної хімічної природи й т. п.) їх приходить вводити окремо або з попереднім перемішуванням компонентів перед введенням в бетонну суміш, що призводить до додаткових затрат й зниження продуктивності праці. Ефективність роботи добавки визначається її хімічним складом, структурою та будовою. Оптимальне поєднання добавок-модифікаторів, а, при необхідності, сполучення з ними в невеликих кількостях інших органічних і мінеральних матеріалів дозволяє керувати реологічними властивостями бетонних сумішей і модифікувати структуру цементного каменю на мікрорівні у напрямку надання бетонам властивостей, які забезпечать високу експлуатаційну надійність та довговічність конструкцій [5].

При використанні лужної активації шлакопортландцементу необхідною умовою є введення до його складу комплексної добавки, що містить лужний компонент. Враховуючи високе значення рН лужного компонента, виникає питання щодо вибору пластифікуючої добавки, оскільки більшість пластифікаторів погано співпрацюють з лужними сполуками [6].

Передумовою для виконання даної роботи є пріоритетні праці наукової школи НДІВМ ім. В.Д. Глуховського Київського

національного університету будівництва і архітектури у галузі розробки лужних в'язучих систем [7-8].

Метою роботи є комплексне вивчення процесів структуроутворення шлакопортландцементних в'язучих систем, модифікованих лужними сполуками та пластифікуючими добавками.

Матеріали і методи досліджень. При проведенні досліджень були використані шлакоклінкерні суміші з вмістом в них портландцементного клінкера 40% та 60% шлаку, модифіковані комплексом добавок (гідрофобізатор - лужний компонент - суперпластифікатор) і виготовлені за технологією однокомпонентної в'язучої речовини, що передбачає сумісний помел портландцементного клінкеру, шлаку та вищевказаних добавок. Для встановлення принципової можливості покращення експлуатаційних характеристик (міцності на різних етапах тверднення) шлакопортландцементу та бетону на його основі в роботі використовували пластифікуючі добавки чотирьох типів: на основі сульфованих меламінформальдегідних смол - «Melment», сульфованих нафталінформальдегідних смол - «Поліпласт СП-1», на основі полікарбоксилатів - «Murfplast FK 68» та модифіковані лігносульфонати - «МЛС».

Дослідження кінетики набору міцності виконано на зразках цементно-піщаного розчину розміром 4×4×16 см. Результати представлені на рис. 1.

Як експериментальний метод оцінки температури кристалізації було використано диференціальну скануючу мікрокалориметрію [9-14]. Результати визначення параметрів порової структури наведені у табл. 1.

Результати досліджень. Аналіз отриманих результатів дозволяє констатувати, що найбільш інтенсивний набір міцності штучного каменю на основі модифікованого шлакопортландцементу як на ранніх, так і пізніх етапах тверднення забезпечує пластифікуюча добавка «Murfplast FK 68»: приріст міцності при стиску на 2 добу складає 33%, на 7 добу - 22% та на 28 добу - 30% порівняно з системами без пластифікуючих добавок (рис. 1

г), значення міцності – 28,0 МПа, 41,0 МПа та 59,0 МПа відповідно.

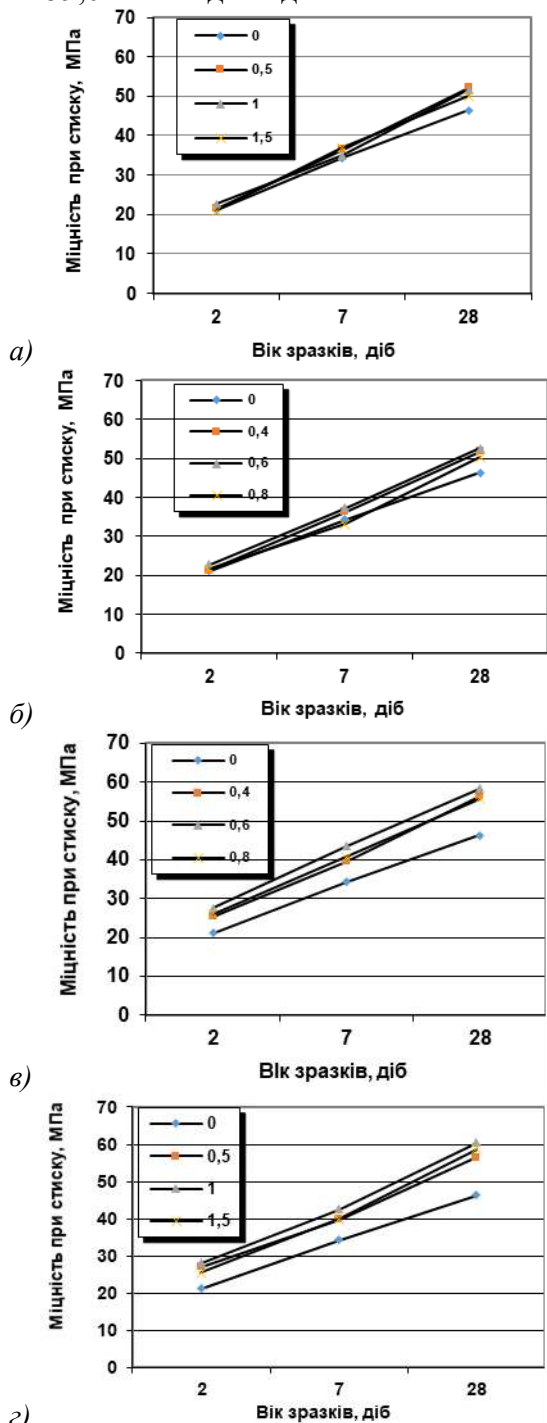


Рис. 1. Вплив пластифікуючих добавок різного механізму дії та їх кількості на кінетику на-рощування міцності при стиску зразків цементно-піщаного розчину на основі шлакопортландцементу, що містить метасилікат натрію (3%) та: а – «Melment», б – «Поліпласт СП-1», в – «МЛС», г – «Murfpplast FK 68».

Подібний ефект відмічено і при введенні натрієвого «МЛС», тоді як введення пластифікуючих добавки «Melment» та

«Поліпласт СП-1» не впливає на кінетику набору міцності штучного каменю на ранніх етапах тверднення (2-7 доба), а на 28 добу приріст міцності не перевищує 11-13%.

Для розкриття механізму процесів синтезу міцності розроблених в'язучих систем та встановлення впливу пластифікуючих добавок на склад продуктів гідратації було використано електронну мікроскопію, результати якої представлені на рис. 2-3.

На мікрофотографіях штучного каменю, модифікованого метасилікатом натрію у комплексі з пластифікуючою добавкою, в тому числі «МЛС» або «Murfpplast FK 68» на 28 добу, чітко видно формування кристалів піктоліту $\text{NaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_3\text{OH}$ на поверхні частинок шлаку, а також кальцієвого хондродіту $5\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та гідросилікатів кальцію (рис. 2, 3, а, б, в).

Результати електронної мікроскопії дозволяють стверджувати, що введення добавки метасилікату натрію разом з пластифікаторами до шлакопортландцементної композиції сприяє підвищенню міцності як в ранній період, так і на пізніх етапах тверднення за рахунок часткової перекристалізації високоосновних гідросилікатів кальцію в низькоосновні з переважним утворенням кристалів афвіліту $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (рис. 2, 3, а, б, в). Слід відзначити, що підвищення міцнісних показників модифікованої шлакопортландцементної композиції забезпечується наявністю кристалів скоутиту $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, що на мікрофотографіях фіксується у формі округлих кристалів (рис. 2, 3, а, б, в). Присутність волокнистих гідросилікатів кальцію та гелеподібної маси, що представлена твердими розчинами перемінного складу, обумовлює підвищення здатності системи пристосовуватись до різних умов експлуатації.

Результати фізико-хімічних досліджень штучного каменю на основі модифікованих шлакопортландцементних в'язучих систем корелюють з результатами вивчення мікроструктури методом термопрометрії.

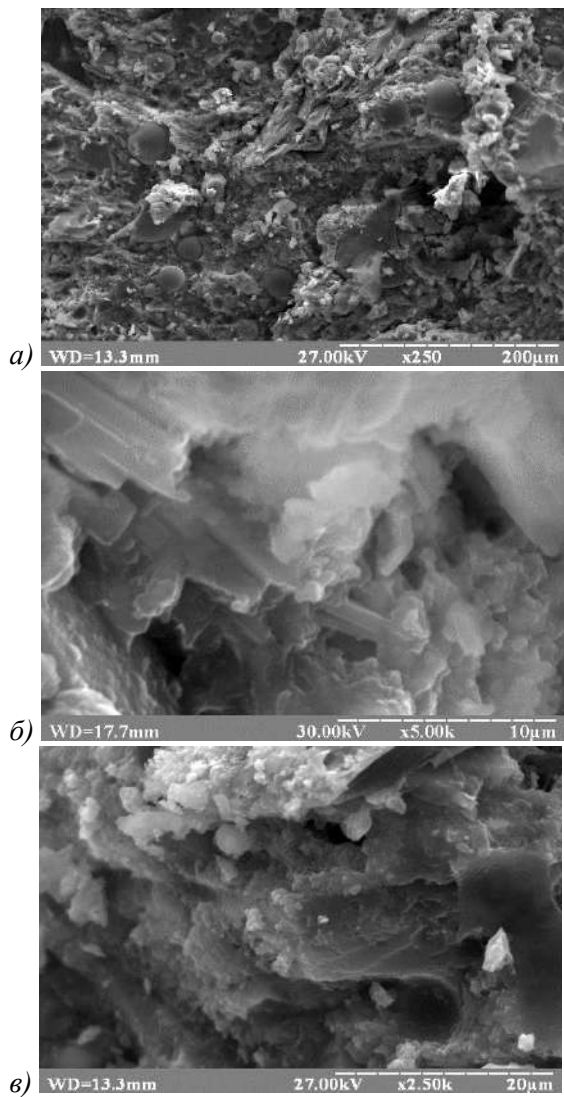


Рис. 2. Електронні мікрофотографії поверхні сколу штучного каменю (а, б, в) на основі шлакопортландцементної композиції, модифікованої добавкою метасилікату натрію у кількості 3% і натрієвим «МЛС» у кількості 0,6%, після 28 діб твердіння за нормальних умов.

Дослідження параметрів порової структури свідчать, що при гідратації шлакопортландцементу, модифікованого метасилікатом натрію та пластифікуючою добавкою «Melment», формується одна область розподілу на першу добу та дві області розподілу пор на 7 добу (табл. 1). Результати проведених досліджень дозволяють відмітити збільшення діаметру пор на 7 добу, коли більшість пор має середній діаметр. Як свідчать отримані результати, на 7 добу сумарний об'єм мікропор збільшується у вісім раз, порівняно з розмірами пор на 1 добу (табл. 1). Збільшення інтервалу

розподілу пор негативно впливає на кінетику набору міцності - на 28 добу міцність зразків не перевищує 53 МПа (рис. 1, а). В разі використання пластифікатора «Поліпласт СП-1» формується дві області розподілу пор на першу добу та формується дві області розподілу пор на сьому добу (табл. 1). Використання пластифікуючої добавки «Поліпласт СП-1» призводить до різкого зменшення діаметру мікропор на 7 добу від крупного до середнього розміру за рахунок перекристалізації пор. Приріст міцності для вищевказаної композиції не перевищує 6%, 8% та 14% відповідно на 2, 7 і 28 добу, порівняно з композиціями, що не містять пластифікатора (рис. 1, б). Як видно з табл. 1, введення пластифікатора «МЛС» до складу в'язучої композиції при загальному збереженні характеру розподілу мікропор приводить до незначного збільшення їх розмірів на першу добу (максимум розподілення зміщується з 4,1 до 6,1 нм) та підвищення міцнісних показників таких композицій на 25% у віці 2 та 7 діб (рис. 1, в). На 7 добу (табл. 1) формується достатньо щільна структура, яка представлена переважно гелевими мікропорами, що сприяє зростанню міцнісних показників на 28 добу до 59 МПа. При цьому сумарний об'єм мікропор зразків на основі шлакопортландцементу, модифікованого «МЛС» збільшується (табл. 1), інтервал розподілу мікропор лежить в межах 3,4...6,1 нм та 6,4...7,4 нм.

При введенні добавки «Murfpplast FK 68» формується одна область розподілу пор з інтервалом 3,7...6,2 нм на першу добу та одна область розподілу пор з інтервалом 3,8...6,0 нм на сьому добу (табл. 1). Таким чином, утворення на 1 добу пор середнього діаметру, що майже не змінюється на 7 добу, сприяє інтенсивному набору міцності на всіх етапах твердіння. Так, на 28 добу міцність модифікованого штучного каменю перевищує 61,0 МПа (рис. 1, г). Як свідчать отримані результати, на 7 добу збільшується розмір та сумарний об'єм мікропор в 10 разів, порівняно з розмірами пор на 1 добу (табл. 1).

Таблиця 1 - Дослідження фазового складу новоутворень і мікропористості штучного каменю на основі модифікованих шлакопортландцементних в'язучих систем (40% п/ц клінкеру + 60% шлаку + 0,05% «136-157М» (ГКЖ-94) + 3% метасилікату натрію)

№ п/п	Вид і вміст добавки, % мас.	Новоутворення	Мікропористість, нм, у віці діб		Об'єм мікропор, см ³ /г	
			1	7	1	7
1	1,0% «Melment»	гідросилікати кальцію: CSH (B); піктоліт; афвіліт; скоутит, кальцієвий хондродіт	2,9-4,1	1,9-2,5; 4,0-6,5	0,18	0,5
2	0,6% «Поліпласт СП-1»	гідросилікати кальцію: CSH (B); піктоліт; афвіліт; скоутит, кальцієвий хондродіт	2,8-5,8; 5,9-7,3	2,3-3,2; 3,3-4,3	0,15	0,4
3	0,6% «МЛС»	гідросилікати кальцію: CSH (B); піктоліт; афвіліт; скоутит	4,1-6,1	3,4-6,1; 6,4-7,4	0,075	0,2
4	1,0% «Murfpplast FK 68»	гідросилікати кальцію: CSH (B); піктоліт; афвіліт; скоутит	3,7-6,2	3,8-6,0	0,03	0,3

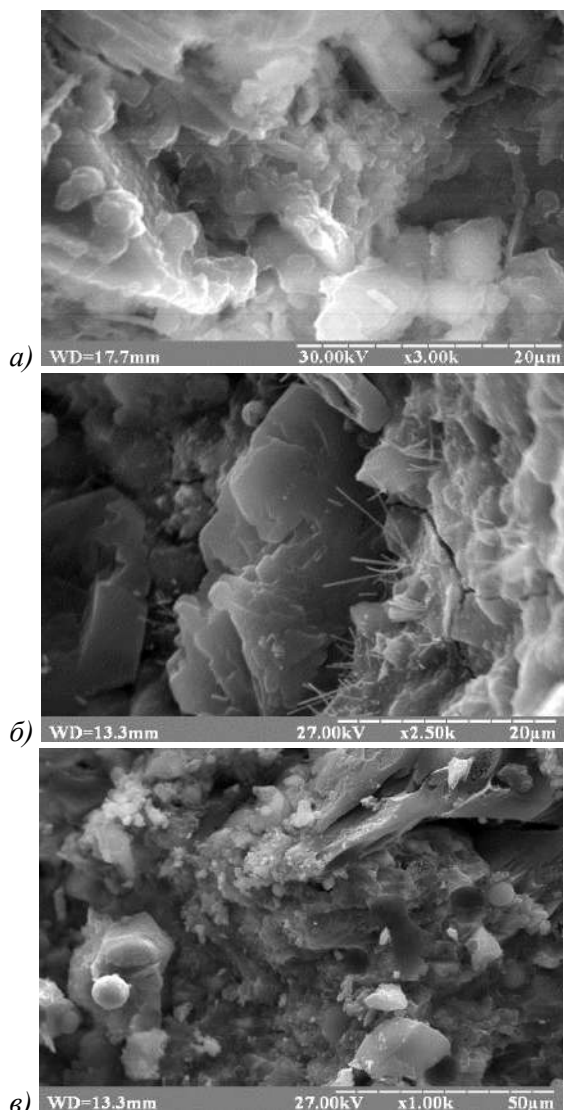


Рис. 3. Електронні мікрофотографії поверхні сколу штучного каменю (а, б, в) на основі шлакопортландцементної композиції, модифікованої добавкою метасилікату натрію у кількості 3% і «Murfpplast FK 68» у кількості 1,0% після 28 діб твердіння за нормальних умов.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Вивчено фізико-хімічні особливості структуроутворення досліджуваних шлакопортландцементних в'язучих систем та фазовий склад новоутворень з використанням комплексу фізико-хімічних методів аналізу встановлено, що активація шлакопортландцементу лужною складовою у комплексі з пластифікуючими добавками приводить до направленої синтезу низькоосновних гідросилікатів кальцію, піктоліту, причому у складі новоутворень також ідентифіковані афвіліт, скоутит і незначна кількість кальцієвого хондродіту. При цьому, як свідчать результати термoporометрії, відбувається зміна порової структури: збільшується вміст гелевих пор та відповідно зменшується частка капілярних.

Встановлено, що введення комплексних добавок до складу шлакопортландцементу забезпечує формування мікроструктури цементного каменю з дискретною системою мікропор. Формування однієї області розподілу пор з визначеним типом мікропористості - при використанні «МЛС» та «Murfpplast FK 68» замість двох або трьох областей, як в разі застосування пластифікуючих добавок «Melment» або «Поліпласт СП-1», коли перебудова структури на мікрорівні веде до зниження кінетики нарощування міцності, є більш доцільним з точки зору синтезу міцності штучного каменю. Утворення мікроструктури модифікованого шлакопортландцементу з переважною кількістю гелевих пор сприяє утворенню

цементного каменю з покращеними міцнісними показниками, що на 2 добу перевищують 29,0 МПа, на 7 добу - 43,5 МПа та 61,0 МПа - на 28 добу.

Отримані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях при встановленні закономірностей впливу процесів структуроутворення в'язучих речовин на експлуатаційні характеристики бетонів на основі модифікованих шлакопортландцементних в'язучих систем.

Запропоновані склади модифікованих шлакопортландцементних в'язучих систем можуть бути рекомендовані до використання при отриманні довговічних бетонів для зведення будівель і споруд спеціального призначення (гідротехнічне будівництво, дорожні бетони тощо), для виробництва бетонів високої якості з максимальним вмістом відходів металургійної промисловості, а також при проведенні реставраційних та ремонтних робіт в різних кліматичних зонах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пушкарьова К.К. Фізико-хімічні особливості формування складу та структури штучного каменю з високими експлуатаційними властивостями / К.К. Пушкарьова, О.П. Бондаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВАБУ, 2007. – Вип. 42. – С. 119-127.
2. Павлюк В.В. Енергоефективні композиційні цементы для виконання робіт в зимових умовах / В.В. Павлюк, О.П. Бондаренко, В.В. Комлик // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2017. - № 3. – Том 89. – С. 252-256.
3. Павлюк В.В. Енергоефективні дисперсно-армовані бетони на основі пластифікованих пуцоланових цементів / В.В. Павлюк, О.П. Бондаренко, В.В. Комлик // Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка». – К.: Товариство «Знання», Україна, 2017. – ДП «НДІБМВ» і НДІБМ КНУБА. – Вип. 58. – С. 92-100.
4. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1973. - 207 с.
5. Бондаренко О.П. Разработка защитных материалов на основе стекло- и шлакосоудержащих портландцементных композиций / О.П. Бондаренко, С.Г. Гузий, К.Д. Захарченко, Є.Д. Новоселенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – №6/11(78) – 2015. – С. 41-47. ISSN (p) 1729-3774. ISSN (e) 1729-4061, doi: 10.15587/1729-4061.2015.56577.
6. Шмийко Е.И. Химия цемента и вяжущих веществ: учебное пособие / Е.И. Шмийко, А.В. Крылова, В.В. Шаталова. – СПб.: Проспект науки, 2006. – 206 с.
7. Кривенко П.В. Специальные шлакощелочные цементы / П.В. Кривенко. – К.: Будівельник, 1992. – 192 с.
8. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочного бетона / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. - К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
9. Sellevold E., Bager D. Low temperature calorimetry as a pore structure probe. // Proc. of 7th ICCS – Paris. – 1980. – Vol. 4. – pp. 394-399.
10. Ушеров-Маршак А.В., Сопов В.П. Термoporометрия цементного камня / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Коллоидн. журн. – 1994. – Т. 56, №4. – С. 600-603.
11. Ушеров-Маршак А.В. Микроструктура цементного камня / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Коллоидн. журн. - 1997. – Т. 59, №6. – С. 846-850.
12. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона / А.В. Ушеров-Маршак. – Харьков: «Факт», 2002. – 183 с.
13. Olson R. Damage to the pore structure of hardened Portland cements paste by mercury intrusion / R. Olson, G. Neubaner, H. Jennings // Journ. of Amer. Ceram. Soc. – 1997. – Т. 80, №9. – p.p. 2454-2458.
14. Скрипов В.П. Бистабильность и фазовые переходы в потоковых системах / В.П. Скрипов // В кн. Термодинамика и кинетика фазовых переходов – Екатеринбург: «Наука», 1992. – С. 3-12.

Бондаренко О.П., Павлюк В.В. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ СИСТЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЩЕЛОЧНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ И ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ. В работе исследованы процессы структурообразования шлакопортландцементных вяжущих систем, модифицированных щелочными соединениями и пластифицирующими добавками. Установлено, что активация шлакопортландцемента щелочной составляющей в комплексе с пластифицирующими добавками приводит к направленному синтезу

низкоосновных гидросиликатов кальция, пиктолиа, афвилита, скоутита и незначительного количества кальциевого хондродита. При этом, как свидетельствуют результаты термoporометрии, происходит изменение поровой структуры: увеличивается содержание гелевых пор и соответственно уменьшается доля капиллярных. Образование такой микроструктуры модифицированного шлакопортландцемента способствует образованию цементного камня с улучшенными прочностными показателями, которые на 2 сутки превышают 29,0 МПа, на 7 суток - 43,5 МПа и 61,0 МПа - на 28 суток.

Ключевые слова: шлакопортландцемент, комплексные добавки, пластификатор, прочность, структурообразование.

Bondarenko O.P., Pavliyk V.V. STRUCTURAL FORMATION OF SLAG CEMENT BENDING SYSTEMS MODIFIED BY ALKALINE COMPOUNDS AND PLASTICIZING

ADMIXTURES OF DIFFERENT TYPES. The processes of structure formation of slag cement binders modified with alkaline compounds and plasticizing admixtures were researched. It was found that activation of slag cement with alkaline component in complex with plasticizing admixtures leads to directed synthesis of low-basic calcium hydrosilicates, pictose, aflite, scoutite and a small amount of calcium chondrodite. At the same time, as the results of thermoporametry measuring, the pore structure changes: the content of gel pores increases and, accordingly, the share of capillary pores decreases. The formation of such a microstructure of modified slag cement promotes the formation of cement stone with improved strength characteristics, which exceed the level of 29,0 МПа for the 2nd day, 43,5 МПа for the seventh day and 61,0 МПа for 28 days.

Key words: slag cement, complex admixtures, plasticizer, strength, structure formation.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-203-207

УДК 666.983

Вандоловський С.С., Костюк Т. О., Плахотнікова І.А.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: ira5657@gmail.com)*

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ БЕТОННОЇ МАТРИЦІ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

Розглянуті міцнісні показники композитного матеріалу на основі бетонної матриці в яку введені сталеві фібри. Встановлено підвищення міцності за рахунок зменшення відстані між сталевими фібрами, що забезпечується необхідністю застосування особливо дрібнозернистого бетону з введенням особливо дрібнозернистих відходів металургійної промисловості.

Ключові слова: сталеві фібробетон, бетонна матриця, особливо дрібнозернистий заповнювач, суперпластифікатор.

Вступ. Сталеві фібробетон є композитним матеріалом (КМ), [1] який в перспективі знаходитиме все більше застосування [2, 6, 12] завдяки спрощенню технології арматурних робіт порівняно з традиційним залізобетоном та виробів з нього. Однак попередніми дослідженнями [4] виявлено, що поверхня сталевих фібр діє на цементне тісто таким чином, що активні центри на сталевій поверхні ($\Psi = -1,77$) при контакті з портландитом ($+0,53$) [5, 11] позитивно впливають на кристалізацію новоутворень в зоні контакту, що сприяє росту новоутво-

рень зі структурою наближеною до структури металу [8]. Модель структури бетону, армованого сталевими фібрами [4] наведена на рис. 1.

Аналіз структури дає підставу вважати, що міцність КМ (сталеві фібробетону) повинна зростати при умові включення в роботу півки новоутворень цементного каменю [4], підсиленого впливом сталевих підкладок. Практично таке рішення може бути реалізовано шляхом зближення окремих фібр з тим, щоб підсилені зони цементного каменю мали між собою контакт.