

УДК 691.3; 691.5

Кривенко П.В., д.т.н., професор,
+380679762397, pavlo.kryvenko@gmail.com
Петропавловський О.М., к.т.н., с.н.с.,
+380972547108, oleg.petropavlovskii@gmail.com
Руденко І.І., к.т.н., с.н.с.,
+380976476437, igor.i.rudenko@gmail.com
Константиновський О.П., к.т.н., доцент,
+380662131612, alexandrkr@gmail.com
Ніколенко М.В., студентка V курсу,

*Науково-дослідний інститут в'язучих матеріалів ім. В.Д. Глуховського
Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, 03037, Україна*

ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПЛЕКСНИХ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ АНКЕРНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ ЛУЖНОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

Розглянуто напрямок ефективного використання лужних портландцементів в якості основи анкерних розчинів з точки зору отримання безусадочних цементуючих систем та забезпечення їх високих фізико-механічних властивостей. Досліджено вплив комплексів мінеральних і органічних сполук на технологічні та фізико-механічні властивості лужного портландцементу системи «портландцементний клінкер - метасилікат натрію» з формуванням ефективною структури штучного каменя, протидіючою деформаціям усадки. За комплексним впливом виявлено, що найбільш ефективні органо-мінеральні багатофункціональні добавки представлені системою «сіль-електроліт – поверхнево-активна речовина». При необхідному сповільненні строків тужавлення цементу забезпечується ефект компенсованої усадки - розширення в межах 0,062 мм/м або незначної усадки в межах 0,017 мм/м при використанні в системі Na_2SO_4 і $NaNO_3$ відповідно. За допомогою методів фізико-хімічного аналізу ефект компенсованої усадки пояснено більшою кристалізацією гідросилікатів та гідроалюмінатів з утворенням додатково сульфатвміщуючого натрієво-кальцієвого гідроалюмінату (для системи на основі Na_2SO_4) або з формуванням кристалічного гідронітроалюмінату кальцію (для системи на основі $NaNO_3$) з відповідним напруженням структури штучного каменя. Вказано на перспективність використання лужних портландцементів, модифікованих запропонованими органо-мінеральними комплексами, в якості основи для анкерних розчинів.

***Ключові слова:** лужний портландцемент, поверхнево-активна речовина, сіль-електроліт, аніони, комплексна добавка, структуроутворення, строки тужавлення, міцність, усадка.*

ВСТУП

Актуальність широкомасштабного використання бетонів та розчинів на основі лужних цементів обумовлена відповідністю сучасним тенденціям сталого розвитку людства в частині ефективного споживання сировини та енергоресурсів, відповідального ставлення до екології оточуючого середовища при забезпеченні як високої міцності [1], так і спеціальних властивостей

[2, 3, 4]. 3-поміж відомих типів таких цементів [5] вирізняються лужні портландцементи (ЛПЦ). Доцільність лужного компоненту в них ґрунтується, в першу чергу, на ідеї прискореного структуроутворення, особливо на ранніх етапах тверднення, і таким чином забезпечення їх підвищеної ранньої міцності. При цьому показано, що використання розчинних силікатів натрію забезпечує найвищу активність ЛПЦ, що обумовлено формуванням на ранніх стадіях структуроутворення при гідратації низькоосновних гідросилікатів та змішаних лужно-лужноземельних гідросилікатів з пониженим ступенем кристалізації [6]. Враховуючи вказане, використання таких цементів є актуальним в матеріалах з інтенсивним набором міцності, зокрема в розчинах для анкерування [7, 8]. Згідно нормативним вимогам [9] та досвіду використання [7, 8] характеристичними ознаками анкерних розчинів, крім міцності, є також короткі терміни тужавлення, значна адгезія до основи та здатність до розширення. Відомо, що будівельний розчин на основі ЛПЦ є перспективним для розробки анкерних розчинів і характеризується властивостями, що задовольняють вітчизняним нормативним вимогам: термін придатності - 20 хв, розтічність з кільця Віка - 190 мм, міцність на згин / на стиск - 5,2 / 22,3 МПа через 1 добу і 12,5 / 78,0 МПа через 28 діб тверднення, міцність зчеплення з основою - 1,2 МПа [10, 11, 12]. Однак, підвищений вміст фаз гелевидної та субмікроструктурної структури [13], а також відсутність в продуктах гідратації еtringіту $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ через особливості композиційної побудови ЛПЦ [14, 15] обумовлюють підвищені усадочні деформації таких цементів та розчинів на їх основі. При цьому відомо, що оксидне та гідросульфоалюмінатне розширення, які є відомими засобами управління власними деформаціями традиційних цементів, виявляються малоефективними в лужних цементах [16, 17].

Зазначена проблема викликає необхідність пошуку ефективних рішень щодо управління власними деформаціями ЛПЦ при збереженні його високих фізико-механічних характеристик при використанні в анкерних розчинах.

Основоположні відомості з загальної мінералогії та хімії цементів надають деякі пояснення щодо здатності мінеральних сполук, які відносяться до солей-електролітів, впливати на процеси структуроутворення цементних систем і забезпечувати схильність силікатних і алюмінатних структур до змін морфології з утворенням твердих розчинів та додаткових кристалічних формувань, що може впливати на зменшення власних деформацій штучного каменя [18, 19].

Крім того, управління усадочними деформаціями лужних цементів може здійснюватись за рахунок використання поверхнево-активних речовин (ПАР). Зменшення усадки в цьому випадку обумовлено перерозподілом порового простору і збільшенням вмісту пор діаметром 0,1 - 1 мкм, капілярний тиск яких значно менший порівняно з капілярами меншого розміру [20]. Однак більшість типів ПАР є неефективними в гідратаційному середовищі лужних цементів, в зв'язку з чим запропоновано принципи їх вибору [21, 22, 23]. Показано, що максимальним пластифікуючим ефектом дії характеризуються добавки лігносульфонату натрію [24], глюконату натрію [25], багатоатомних спиртів [26] та інші ациклічні низько- і високомолекулярні сполуки [27].

Узагальнення наведених результатів дозволяє прогнозувати ефективність керування властивостями ЛПЦ, в т.ч. власними деформаціями, шляхом комплексного втручання в структуроутворення при використанні комплексних добавок-модифікаторів, сумісно впливаючих на розвиток кристалізаційних процесів, формування ефективної порової структури та морфології гідратних фаз. Доцільними для апробації в якості складових таких комплексних

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

добавок можна розглядати розчинні мінеральні сполуки (солі), що вміщують аніони SO_4^{-2} , NO_3^- , F^- , Cl^- , SiF_6^{-2} , PO_4^{-3} і ін. у комплексі ефективними типами ПАР.

Метою роботи є отримання анкерних розчинів на основі ЛПЦ з регульованими власними деформаціями за рахунок використання органо-мінеральних комплексних добавок системи «мінеральна сполука - ПАР», які забезпечують формування ефективної структури штучного каменя протидіючою деформаціям усадки.

СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В якості алюмосилікатного компоненту ЛПЦ використано клінкер портландцементний (далі клінкер) виробництва ПАТ «Балцем» (CaO – 66,15 %; SiO_2 – 22,61 %; Al_2O_3 – 5,29 %; Fe_2O_3 – 3,93 %; MgO – 0,84 %; Na_2O – 0,15 %; K_2O – 0,98 %; SO_3 – 0,50 %) з питомою поверхнею 4500 cm^2/g (за Блейном).

В якості лужного компоненту ЛПЦ використано метасилікат натрію п'ятиводний ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) в сухому порошкоподібному стані.

В якості складових комплексних органо-мінеральних добавок використано:

– мінеральні сполуки - сульфат натрію Na_2SO_4 (CAS № 7757-82-6), нітрат натрію NaNO_3 (CAS № 7631-99-4), Na_3PO_4 (CAS № 7601-54-9), NaCl (CAS № 7647-14-5) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (CAS № 13477-34-4), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (CAS № 1305-62-0), $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (згідно з ДСТУ Б В.2.7-104:2000);

– ПАР двох типів - лігносульфонат натрію (ЛСТ) виробництва «Votrespers» (Норвегія) згідно з CAS № 8061-51-6 ($\text{pH} \geq 8,5$) і глюконат натрію (Гл) згідно з CAS № 527-07-1.

За комплексним впливом на зменшення водопотреби, сповільнення строків тужавлення та підвищення міцності ЛПЦ визначали найбільш ефективні склади добавок, які надалі використано для визначення ефективності їх впливу на зменшення власних деформацій цементів.

Досліджені ЛПЦ готували шляхом сухого змішування складових і затворювання їх водою у лабораторному лопатевому змішувачі НОВАРТ.

В якості дрібного заповнювача при дослідженні розвитку міцності та власних деформацій ЛПЦ використовували стандартний кварцовий пісок Гусарівського родовища (Україна) згідно з ДСТУ Б В.2.7-189:2009.

Розвиток мікроструктури ЛПЦ при твердінні досліджено методами фізико-хімічного аналізу: диференційно-термічний (ДТА) – на дериватографі системи Р. Паулік, І. Паулік, Л. Ердей фірми МОМ (Будапешт), зондовий аналіз – на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА 102-02.

Нормальну густоту тіста (ТНГ) і строки тужавлення ЛПЦ визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009, міцність – згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009.

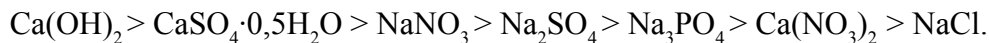
Власні деформації ЛПЦ визначали на зразках $40 \times 40 \times 160$ мм, виготовлених з цементно-піщаного розчину (1:3). Після виготовлення та тверднення в формах з ізольованою поверхнею впродовж 1 доби зразки тверднули 7 діб в нормальних умовах ($t = 20 \pm 2$ °C, $\text{R.H.} = 95 \pm 5$ %). Після цього зразки зберігались в ексікаторі над пересиченим розчином карбонату калію (K_2CO_3) при температурі $t = 20 \pm 2$ °C та вологості $W = 65$ %. Такий режим зберігання зразків відповідає традиційним режимам твердіння та догляду при виготовленні бетонних конструкцій на будівельних майданчиках. При розрахунках власних деформації вихідною прийнято довжину зразків на 1 добу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За попередніми дослідженнями в напрямку можливості управління власними деформаціями усадки проведено порівняльний аналіз властивостей ЛПЦ в гідратованих системах «клінкер - МС», «клінкер - МС - мінеральна сполука», «клінкер - МС - мінеральна сполука - ПАР».

Вміст МС становив 3 % (по Na_2O) або 10,26 % (по сухій речовині) від маси клінкеру, що відповідає принципам композиційної побудови ЛПЦ [5]. Вміст добавок мінеральних сполук становив 50 % від маси лужного компоненту, що відповідає 2,96 % від маси клінкеру. Добавки ПАР - ЛСТ і Гл вводили відповідно у кількості 0,45 і 0,25 % від маси клінкеру.

Виявлено, що за комплексним впливом на зменшення значень ТНГ, уповільнення строків тужавлення та прискорення розвитку міцності ЛПЦ ефективність мінеральних сполук в розміщуються в ряду:



Найбільший ефект на зменшення власних деформацій ЛПЦ в присутності ПАР спостерігається при використанні солей-електролітів - Na_2SO_4 і NaNO_3 : спостерігається розширення в присутності Na_2SO_4 до значення +0,062 мм/м, а при використанні NaNO_3 отримано практично безусадочну систему із значенням усадки -0,017 мм/м (рис. 1).

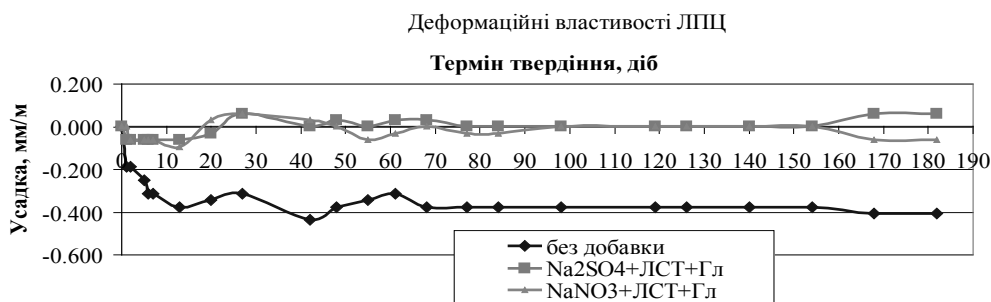


Рисунок 1 – Розвиток власних деформацій ЛПЦ системи «портландцементний клінкер – метасилікат натрію - сіль-електроліт - ПАР»

Виявлено, що комплексна добавка складу « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл» забезпечує отримання ЛПЦ, що характеризується початком тужавлення 30 хв, кінцем - 35 хв. Міцність на згин / стиск будівельного розчину на основі такого модифікованого ЛПЦ: 5,3 / 25,5 МПа (1 доба), 6,7 / 34,6 МПа (2 доби), 7,5 / 41,7 МПа (7 діб), 9,2 / 47,8 МПа (28 діб).

Заміна Na_2SO_4 на NaNO_3 в складі комплексної добавки визначає подовження строків тужавлення ЛПЦ: початок - до 37 хв, кінець – до 44 хв. При цьому спостерігається значно більша інтенсивність набору міцності розчину на згин / стиск - 5,5 / 27,2 МПа (1 доба), 6,9 / 39,3 МПа (2 доби), 7,9 / 48,7 МПа (7 діб), 9,7 / 53,1 МПа (28 діб).

Особливості структуроутворення ЛПЦ, модифікованого комплексними добавками на основі Na_2SO_4 і NaNO_3 , при твердненні досліджено за допомогою ДТА (рис.2), електронної мікроскопії (рис.3а, 4а, 5 а) та зондового аналізу (рис.3б, 4б, 5б).

В продуктах гідратації ЛПЦ без добавок (рис. 2) виявлено формування низькоосновних гідросилікатів кальцію структури CSH(B) (ендоєфекти при $t = 160$ та 845 °С – перекристалізація

у воластоніт). Наявність ендоефектів при $t = 490$ та 670 °C характеризує утворення слабозакристалізованого гідросилікату структури $C_2SH(A)$. Окрім гідросилікатів в продуктах гідратації відмічено утворення слабозакристалізованих гідроалюмінатів кальцію структури $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O$ (екзофети при $t = 520$ і 710 °C).

Аналіз електронних мікрофотографій поверхні сколу штучного каменю бездобавочної системи «клінкер - МС» дозволяє ідентифікувати глобулярні утворення гелеподібних гідросилікатів кальцію (рис. 3а) та гідроалюмінатів кальцію з включеннями в їх структуру іонів Na^+ та K^+ (рис. 3б). Краплеподібні утворення на поверхні гелю являють собою «зародки» кристалічної фази.

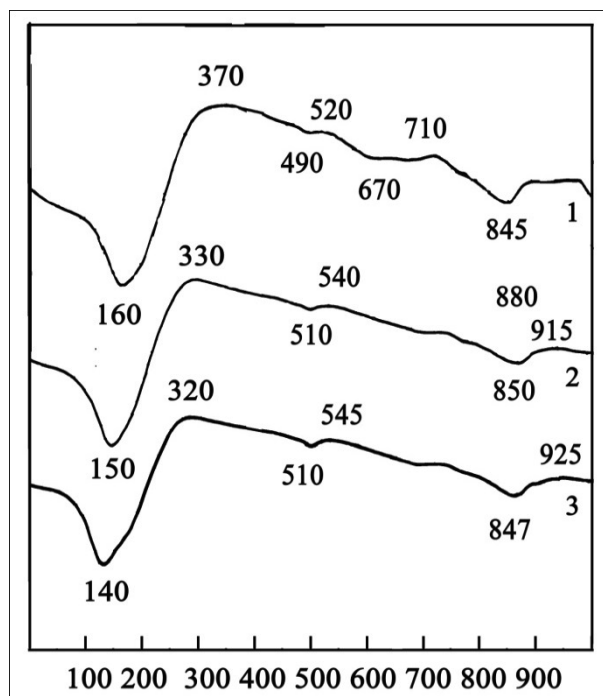
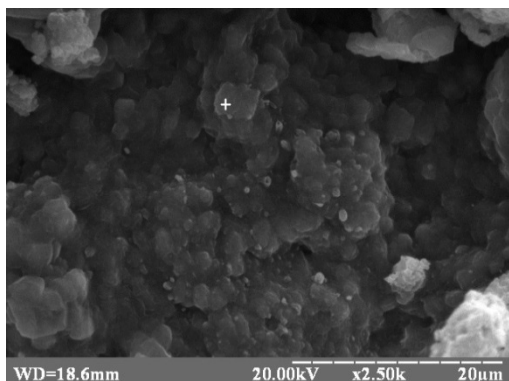


Рисунок 2 – Криві ДТА складів ЛПЦ на 28 добу тверднення:

1 – без добавок; 2 – з комплексною добавкою « Na_2SO_4 – ЛСТ – Гл»; 3 – з комплексною добавкою « $NaNO_3$ - ЛСТ- Гл»

а)



б)

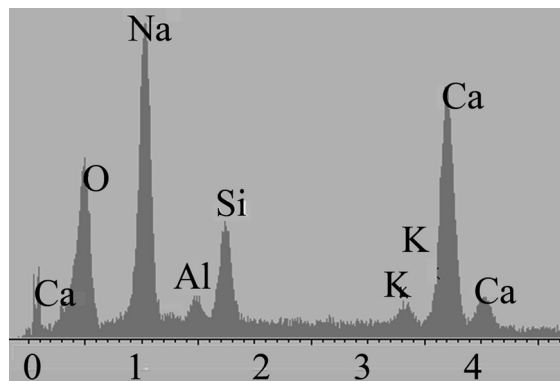


Рисунок 3 – Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменя ЛПЦ без добавок після 28 діб тверднення

Структура штучного каменя ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл» (рис. 2), представлена в основному такими самими структуроутворюючими складовими, як і бездобавочна композиція, однак з більшим ступенем закристалізованості. Про підвищену закристалізованість низькоосновних гідросилікатів кальцію CSH(B) свідчать зміщення ендоефекту перекристалізації низькоосновних гідросилікатів кальцію в область підвищених температур ($t = 850\text{ }^\circ\text{C}$ замість $t = 845\text{ }^\circ\text{C}$ для бездобавочної системи). Зміщення ендоефекту, який характеризує формування гідроалюмінату кальцію ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), у бік підвищеної температури ($t = 540\text{ }^\circ\text{C}$) та поява екзоефекту при $t = 915\text{ }^\circ\text{C}$ також характеризують підвищення його закристалізованості.

Аналіз електронних мікрофотографій поверхні сколу штучного каменя ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл», підтверджує формування зазначених гідратних новоутворень з підвищеним ступенем закристалізованості (рис. 4а), а результати зондового аналізу (рис. 4б) вказують на додаткове утворення в структурі штучного каменя гексагональних пластинчатих кристалічних структур мінаміту - $(\text{Na},\text{Ca}_{0,5})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$.

При твердінні ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « NaNO_3 - ЛСТ - Гл», на відміну від системи з сульфатом натрію, відмічено формування поряд з гідросилікатами та гідроалюмінатами кальцію шаруватих пластинчастих формувань з чітко вираженою кристалічною структурою, які можна віднести до гідронітроалюмінату кальцію – $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (рис. 5а), що також може бути підтверджено наявністю на ДТА кривих ендоефектів при $t = 140\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 510\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 847\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3). Зазначені кристалічні новоутворення перекривають простір між вказаними гелеподібними фазами та можуть пояснювати отриманий ефект низької усадки цементного каменя.

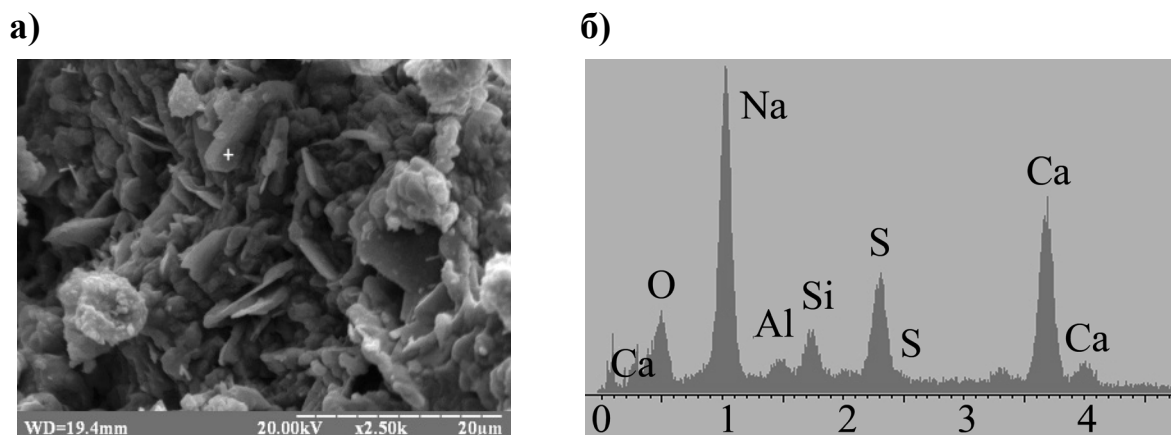


Рисунок 4 – Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменя ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл», після 28 діб тверднення

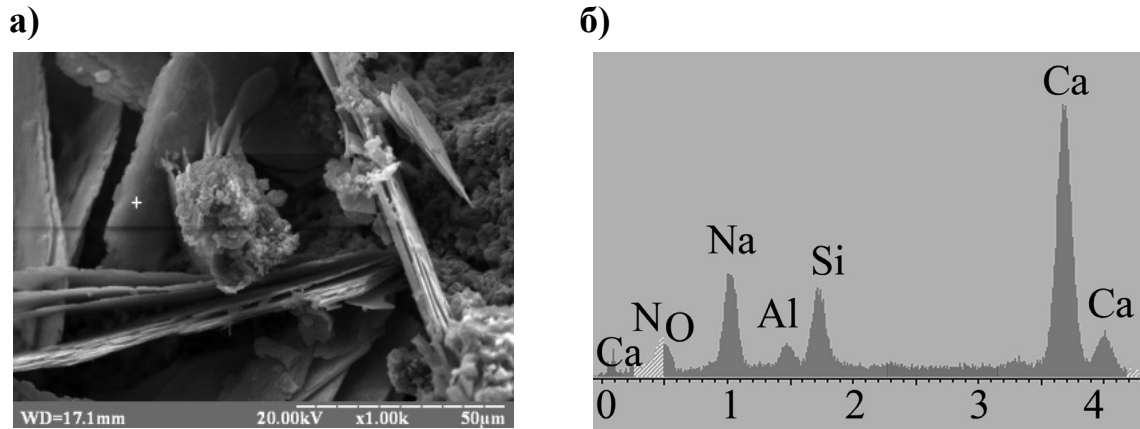


Рисунок 5 – Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменя ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « NaNO_3 - ЛСТ - Гл» після 28 діб тверднення

Апробація комплексних добавок « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл» і « NaNO_3 - ЛСТ - Гл» в анкерних розчинах на основі ЛПЦ свідчить про відповідність таких розчинів нормативним вимогам за основними характеристиками [9] при забезпеченні необхідного рівня власних деформацій. Розчинова суміш і розчин, модифікований комплексною добавкою на основі Na_2SO_4 , характеризуються наступними властивостями: розтічність з кільця Віка - 200 мм, термін придатності – 25 хв, міцність на згин / стиск - 5,7 / 24,8 МПа через 1 добу і 12,9 / 82,5 МПа через 28 діб тверднення, міцність зчеплення з основою 1,35 МПа, розширення до +0,035 мм/м. Використання комплексної добавки на основі NaNO_3 забезпечує розтічність розчинової суміші з кільця Віка – 210 мм, термін придатності - 30 хв, міцність анкерного розчину на згин / стиск - 6,1 / 27,3 МПа через 1 добу і 13,5 / 85,3 МПа через 28 діб тверднення, міцність зчеплення з основою 1,40 МПа, усадку в межах -0,027 мм/м.

ВИСНОВКИ

Запропоновано шляхи регулювання власних деформацій ЛПЦ для його обґрунтованого використання в анкерних сухих будівельних сумішах. Можливим шляхом отримання ЛПЦ з компенсованою усадкою є його модифікація органо-мінеральними комплексними добавками в системі «сіль-електроліт - ПАР». Використання комплексної добавки на основі Na_2SO_4 забезпечує ЛПЦ початок тужавлення - 30 хв, кінець тужавлення - 35 хв та розширення в межах 0,062 мм/м. ЛПЦ, модифікований комплексною добавкою на основі NaNO_3 , характеризуються початком тужавлення - 37 хв, кінцем тужавлення - 44 хв та незначною усадкою - 0,017 мм/м. Показано, що ефект розширення ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « Na_2SO_4 - ЛСТ - Гл» забезпечується підвищенням ступеня кристалізації гіросилікатних та гідроалюмінатних новоутворень в структурі штучного каменя з утворенням додатково сульфатвміщуючого натрієво-кальцієвого гідроалюмінату складу мінаміту - $(\text{Na}, \text{Ca}_{0,5})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. Ефект компенсованої усадки ЛПЦ, модифікованого добавкою « NaNO_3 - ЛСТ - Гл», обумовлено формуванням поряд з гіросилікатами та гідроалюмінатами кальцію шаруватих пластинчастих формувань з чітко вираженою кристалічною структурою, які можна віднести до гідронітроалюмінату кальцію $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$, що створює додаткове напруження у міжфазному

просторі гідратних новоутворень. Анкерні розчини на основі модифікованого комплексною добавкою ЛПЦ задовольняють нормативним вимогам і характеризуються контрольованим рівнем деформацій розширення, що обумовлює перспективність подальшого вдосконалення властивостей таких матеріалів.

ПОДЯКА

Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку роботи, яка виконується в рамках бюджетного фінансування № 0118U002017, а також за розвиток теми досліджень по програмі наукового співробітництва COST Action CA15202 SARCOS “Self-healing As preventive Repair of Concrete Structures”. http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA15202

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. The Development of Alkali-activated Cement Mixtures for Fast Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures / [Pavel K., Oleg P., Hryhorii V., Serhii L.] // *Procedia Engineering*, Vol. 195. - 2017. - pp. 142-146.
2. Krivenko P. Development of mixture design of heat resistant alkali-activated aluminosilicate binder-based adhesives / P. Krivenko, O. Petropavlovsky, H. Vozniuk // *Construction and Building Materials*, Vol. 149. - 2017. - pp. 248-256.
3. Krivenko P. Alkaline aluminosilicate-based adhesives for concrete and ceramic tiles [Adezivi pe bază de lianți cu activare alcalină pentru betoane și placaje ceramice] / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, H. Vozniuk // *Revista Romana de Materiale / Romanian Journal of Materials*, Vol. 46(4). - 2016. - pp. 419-423.
4. Kovalchuk O. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions / O. Kovalchuk, V. Grabovchak, Y. Govdun // *MATEC Web of Conferences* 230. - 2018. - p.030077.
5. ДСТУ Б В.2.7-181:2009 «Цементи лужні. Технічні умови».
6. Gelevera A.G. Alkaline portland and slag portland cements / A.G. Gelevera, K. Munzer // *First Int. conf. on alkaline cements and concretes. – Vipol Stock company, Kiev (Ukraine). – 1994. – P.173-180.*
7. Ma C. High-performance grouting mortar based on mineral admixtures / C. Ma, Y. Tan, E. Li // *Advances in Materials Science and Engineering*, 260. - 2015. - P.1-11.
8. Zhi Fang. High-Performance Grouts for Rock Anchor / Zhi Fang, He Shao-hua // *Key Engineering Materials. - Trans Tech Publications (Switzerland). - 2012. - Vol.517. - P.946-951.*
9. ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011 “Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови”.
10. Potential of alkali activated portland cement-based dry mixes for anchoring application / [Krivenko P., Runova R., Rudenko I., Konstantynovskyi O.] // *NTCC2014: International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete. Brno University of Technology, (Brno, June 16-19, 2014).* P.123-P.126.
11. Рунова Р.Ф. Перспективи використання лужного портландцементу в анкерних сухих будівельних сумішах / Рунова Р.Ф., Константиновський О.П., Руденко І.І. // *Журнал «Строительные материалы и изделия».* – Київ, 2014. – №1. – С. 12-15.
12. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated Portland cements / [Rudenko I., Konstantynovskyi O., Kovalchuk A., Nikolainko

М., Obremsky D.]// Key Engineering Materials, Vol. 761, pp. 27-30, 2018.

13. Krivenko P. Alkaline cements, concretes and structures: 50 years of theory and practice / Proc. of Int. Conf. Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization. Āska rozvojova agentur, o.p.s., Praha, 21-22 june 2007. – Praha: Agentura Action M, 2007. – P. 313-331.

14. Эффе́ктивность применения рядового и безгипсового портландцементов с добавками поташа при зимнем бетонировании / [Шпынова Л.Г., Саницкий М.А., Шийко О.Я., Костюк П.Я.] / Строительство и архитектура, 1985. – №10. – с.65-69.

15. Эффе́ктивные быстротвердеющие безгипсовые портландцементы / [Саницкий М.А., Соболев Х.С., Шевчук Г.Я., Лоскутов Ю.А., Шевчук Г.Я.] // «Цемент», 1989. – №8. – с.16-17.

16. Shrinkage compensation of alkali-activated slag concrete and microstructural analysis / [X.-H. Yuan, W. Chen, Z.-A. Lu, H. Chen] // Construction and Building Materials. – 2014. – № 66. – pp. 422-428.

17. Штарк Йохен. Цемент и известь / Йохен Штарк, Бернд Вихт; пер. с нем. – А.Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. – Киев, 2008. – 480 с.

18. Тейлор Х.Ф. Химия цемента / Х.Ф. Тейлор // М.: Мир, 1996. - 560 с.

19. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня / С.В. Самченко // Москва: НИУ МГСУ, 2016. - 284 с.

20. Palacios M. Effect of shrinkage-reducing admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars and pastes / M. Palacios, F. Puertas // Cement and Concrete Research. – 2007. – 37(5). – pp.691-702.

21. Analysis of plasticizer effectiveness during alkaline cement structure formation / [P. Krivenko, R. Runova, I. Rudenko etc.] // Eastern-European journal of Enterprise Technologies. – Vol. 4(6-88). – 2017. – pp. 35-41.

22. The efficiency of plasticizing surfactants in alkali-activated cement mortars and concretes / [Runova R.F., Gots V.I., Rudenko I.I etc.] // MATEC Web of Conferences 230, 03016 (2018).

23. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated Portland cements / [I. Rudenko, O. Konstantynovskiy, A. Kovalchuk] // Key Engineering Materials, Switzerland. – Vol. 761. – 2018. – pp. 27-30.

24. Constructive properties of the concretes made with alkali-activated cements of new generation / [P.V.Krivenko, O.N. Petropavlovskii, G.V. Vozniuk, V.I. Pushkar.] // First Intern. Conf. on Advances of Chemically-activated Materials (CAM' 2010 - China). – 2010. – pp.139-146.

25. Гоц В.І. Вплив модифікуючих добавок на формування пластичної міцності лужних шлакопортландцементів / В.І. Гоц, І.І. Руденко, О.В. Ластівка // Int. Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus, (Special number) // Сб. трудов ІХ Международ. конф. «Стратегия качества в промышленности и образовании» (31.05-07.06.2013, Варна, Болгария). В 3-х т. - Днепропетровск-Варна, 2013. - Т.2. - С.49-54.

26. Rudenko I. Polyols based admixtures as plasticizers for alkaline fine-grained concretes / I. Rudenko, A. Gergalo, V. Skorik // 18. Ibausil. Internationale Baustofftagung. – Weimar, September 12-15, 2012. – Tagungsbericht. – Band 1. – P. 1-0899 – 1-0906.

27. Щелочные цементы: монография / П.В. Кривенко, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницкий, И.И. Руденко. – Киев: издательство ООО «Основа», 2015. – 448 с.

АННОТАЦИИ ?????????????????????????