

СУПЕРШВИДКОТВЕРДНУЧІ ШЛАКОЛУЖНІ ЦЕМЕНТИ ДЛЯ АВАРІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

SUPER-RAPID HARDENING ALKALI-ACTIVATED SLAG CEMENTS FOR EMERGENCY REHABILITATION OF CONCRETE COATINGS

Кривенко П.В., д.т.н., проф., Руденко І.І., д.т.н., с.н.с.,
Константиновский О.П., к.т.н., доц. (Науково-дослідний інститут
в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету
будівництва і архітектури)

Krivenko P.V., D.Sc. (Eng.), Professor, Rudenko I.I., D.Sc. (Eng.), S.
Scientist, Konstantynovskyi O.P., Ph.D. (Eng.), Associate Professor
(Scientific-Research Institute for Binders and Materials of Kyiv National
University of Construction and Architecture)

Відомо, що лужно-активовані цементи (за національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-181:2008 – лужні цементи) за кінетикою набору ранньої міцності не уступають глиноземистому і сульфаталюмінатному цементам та перевершують всі відомі типи мінеральних в'язучих речовин за довговічністю. Це підтверджується тривалим досвідом експлуатації бетонів на основі лужно-активованих цементів в конструкціях самого різного призначення і умов експлуатації. Прикладом є розвиток міцності важкого бетону на основі шлаколужного цементу, використаного як покриття танкодрому (рис. 1).

а)



б)

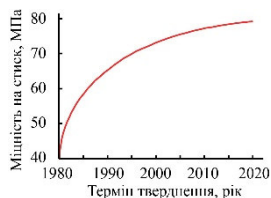


Рис. 1. Довговічність дорожнього покриття танкодрому. Матеріал: бетон на основі шлаколужного цементу. Споруджено в 1980 р.:
а) Фрагмент покриття (фото зроблено в 2020 р.); б) Розвиток міцності бетону впродовж 40 років експлуатації

Порівняльний аналіз довговічності бетонного дорожнього покриття, отриманого на основі шлаколужного цементу наведено на рис. 2.

Перспективність використання супершвидкотверднующих лужно-активованих цементів базується на досвіді використання їх аналогів – геополімерів при ремонті бетонних покриттів, в т.ч. злітно-посадочних смуг

і площадок для базування літаків, в Іраку після проведення військової операції Багатонаціональних коаліційних сил «Буря в пустелі» [1].



Рис. 2. Частина литого покриття дорожнього полотна (м. Тернопіль, Україна). Матеріал: бетон на основі шлаколужного цементу (ліворуч), для порівняння - бетон на основі портландцементу (праворуч). Споруджено в 1984 р. Фото зроблено в 2000 р.

Фізико-механічні властивості лужних цементів, регламентовані вищезгаданим стандартом, характеризуються міцністю на стиск на 2 добу – 30 МПа, у віці 28 діб – 100 МПа.

Активність лужних цементів пояснюється особливостями гідратних новоутворень. Залежно від складу лужно-активованого цементу змінюється вид продуктів гідратації [2]. Так, продукти гідратації шлаколужного цементу характеризуються поряд низькоосновними гідросилікатами кальцію складу $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ додатковим вмістом лужних гідроалюмосилікатів складу $\text{Na}_2\text{O(K}_2\text{O)-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Натомість лужний портландцемент, навпаки, характеризується максимальним вмістом клінкерної складової та, відповідно, пріоритетним вмістом у продуктах гідратації (в основному) низькоосновних гідросилікатів кальцію і додатковим вмістом фаз складу $\text{CaO-Na}_2\text{O(K}_2\text{O)-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ [3]. Проміжні місця за композиційним складом і, як наслідок, за складом продуктів гідратації займають лужні цементи інших типів (пуцолановий, композиційний та шлакопортландцемент).

На відміну від згадуваної норми на лужні цементи, ДСТУ Б В.2.7-46 для цементів, які виготовляють на основі портландцементного клінкеру, регламентує максимальну марку 500. Національний стандарт ДСТУ Б EN 197-1:2015, який є тотожним перекладом європейської норми EN 197-1:2011, верхню границю стандартної міцності у віці 28 діб для цементів найвищого класу міцності (52,5) взагалі не регламентує.

Не зважаючи на стандартизовані для лужних цементів високі показники міцності у віці 2 діб, практика будівництва вимагає в'язучих речовин для бетонних покриттів, здатних до супершвидкого тверднення і сприйняття навантажень від ходіння людей вже через 1 год після укладання, автотранспорту – через 4 год і авіатранспорту 1-го класу за злітною масою (≥ 75 т) – через 6 год. Такі бетони необхідні для аварійного відновлення і ремонту дорожніх та аеродромних покриттів, в т.ч. військового

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

призначення, у максимально стислі терміни. Саме розробці супершвидкотверднучих шлаколузних цементів для бетонних покриттів присвячене дане дослідження.

Як алюмосилікатний компонент було порівняно два типи ГДШ, мелених до питомої поверхні 4500 і 5300 см²/г (за Блейном). Хімічний склад ГДШ типу І характеризувався модулем основності ($M_o = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) рівним 1,17, вміст склофази 96 %. ГДШ типу ІІ характеризувався $M_o = 1,06$ і вмістом склофази 56 %.

В ролі лузних компонентів використано п'ятиводний метасилікат натрію $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (МС) і натрієве рідке скло (РС) з силікатним модулем (M_c) = 1,8...3,0 і густиною (ρ) = 1,30...1,38 г/см³.

Дванадцятиводний тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, натрієвий лігносульфанат з рН= 9,5, поліізоціанат $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$, стеарат кальцію $\text{Ca}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ і портландцемент ПЦ І-500 були використані як добавки для регулювання тужавлення і тверднення бетону. Використано також добавку аморфізованої силіки марки AEROSIL® 90 (згідно з CAS 112 945-52-5, 7631-86-9). Заповнювач цементно-піщаних сумішей (1:3) було представлено стандартним піском СЕН.

Консистенцію сумішей визначали за розпливом (110...140 мм) на струшувальному столику згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Підтримували наступні умови тверднення зразків: після формування і до віку 3 діб – при відносній вологості 95...100 % і температурі 20±2 °С, після 3 діб – у воді. Міцність цементу визначали згідно з ДСТУ EN 196-1:2019.

Встановлено, що шляхом підбору силікатного модуля і густини розчину лузного компонента відповідно до характеристик алюмосилікатної складової, а також модифікуючих добавок можна коригувати строки тужавлення, консистенцію сумішей і її збереженість, швидкість тверднення та отримувати супершвидкотверднучі високоміцні і надвисокоміцні цементні матриці для аварійного відновлення бетонних покриттів: 20...26 МПа після 3 год (рис. 3), 56...63 МПа після 3 діб тверднення в нормальних умовах і до 100...123 МПа у віці 28 діб.

Ці показники перевершують ранній приріст міцності відомого за функціональним призначенням аналога на основі "Pyragment®" [4].

Актуальною для аварійного відновлення бетонних покриттів є подальша розробка лузно-активованих лузно-активованих супершвидкотверднучих цементів на основі портландцементів загальнобудівельного призначення, в т.ч. шлакопортландцемент, пуцолановий і композиційний цемент.

Можна передбачити, що вказаний підхід до модифікації найбільш повно розкриє потенціал таких в'язучих речовин в довговічних бетонних покриттях для особливих умов експлуатації, де крім міцності необхідними є вогнестійкість, регульовані усадочні деформації і пружно-пластичні властивості, здатність до тверднення під водою тощо [2, 3, 5].

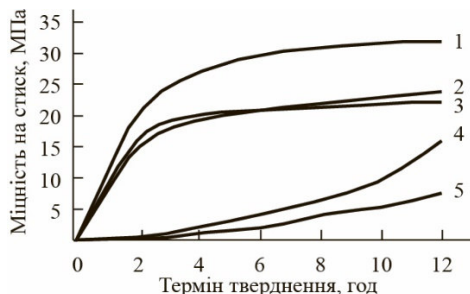


Рис. 3. Залежність міцності бетону від терміну тверднення при використанні як основи: 1 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу II (4500 см²/г) + РС ($M_c = 2,6$, $\rho = 1,38$ г/см³); 2 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу I (5300 см²/г) + РС ($M_c = 2,0$, $\rho = 1,36$ г/см³); 3 – ‘Pyrament®’; 4 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу II (5300 см²/г) + МС; 5 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу I (5300 см²/г) + МС

Актуальною задачею є також використання силікатних луужних компонентів в сухому стані, що забезпечить отримання наномодифікованих луужно-активованих цементів як однопакувальних продуктів і, відповідно, спростить технології при їх використанні.

Список використаних джерел

1. Hambling D. Cool under pressure: geopolymers offer diverse Structural benefits. Defense Technology International. Washington, DC, 2009. P. 42.
2. Krivenko P. Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of ceramic science and technology*. Vol. 8, No. 3. P. 323-334.
3. Hybrid binders: A journey from the past to a sustainable future (opus caementicium futurum) / A. Palomo et al. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105829.
4. Early high-strength mineral polymer: patent U.S. Patent 4, 509, 985 United States: C04B 1904. No. 6/582,279; applied on 22.02.2022; published on 09.10.2022.
5. Clay calcination technology: state-of-the-art review by the RILEM TC 282-CCL / K.L. Scrivener et al. *Materials and Structures*. 2022. Vol 55. 3.