

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-241-245
УДК 691.5

Ковальчук О.Ю., Зозулинець В.В.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Повітрофлотський просп., 31, Київ, 03037, Україна; e-mail: kovalchuk.ouy@gmail.com,
orcid.org/0000-0001-6337-0488, orcid.org/0000-0002-8066-2033)*

ВПЛИВ УМОВ ТВЕРДНЕННЯ НА КІНЕТИКУ НАБОРУ МІЦНОСТІ ЛУЖНИХ БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВНОГО ЗАПОВНЮВАЧА

Основною проблемою при використанні активних заповнювачів є виникнення лужної корозії в процесі тверднення матеріалу, через що він руйнується і більше не підлягає відновленню. Саме тому при вирішенні питання виникнення лужної корозії необхідно шукати шляхи повного її запобігання чи зниження темпів розвитку, а не можливі способи усунення наслідків. У статті наведено характеристику сировинних матеріалів, які були використані в ході випробувань та методологію їх проведення. Показано результати досліджень спрямованих на визначення впливу компонентного складу та умов тверднення на кінетику набору міцності матеріалів на основі лужних цементів, де в якості заповнювача було використано базальтовий пісок. Представлено ключові фактори впливу на міцність затверділого матеріалу та визначено найкращі умови тверднення для усунення деструктивних процесів в тілі бетону.

Ключові слова: лужний цемент, активний заповнювач, лужна корозія, гідратація, умови тверднення.

Вступ. Проблема використання заповнювачів, що містять активний кремнезем, активно висвітлюється вітчизняними та закордонними дослідниками [1-3]. Переведення виробництва цементу на вугільне паливо додатково актуалізує дане питання в Україні, оскільки це призводить до підвищення питомого вмісту лужних оксидів у складі цементу, що у поєднанні із підвищеним вмістом активного заповнювача результує у проявах лужної корозії заповнювача у складі бетону.

У звичайному портландцементному бетоні показана можливість запобігання таким процесам за рахунок введення активних мінеральних добавок [4]. Так само, аналогічні підходи працюють і у лужних бетонах [5-7]. Водночас, варто зауважити, що у представлених дослідженнях лужний компонент було представлено розчинами лужних солей різного виду. Проте сучасне будівництва спонукає до використання однокомпонентних цементних систем, що обумовлює необхідність використання лужного компоненту у вигляді сухих солей. Як показали дослідження, механізми перебігу лужної корозії бетону в таких умовах будуть відрізнятися [8-10]. Крім того, абсолютно недослідженим є питання можливості відновлення та експлуатації бетонних конструкцій, що вже зазнали впливу корозії активного заповнювача.

В представленій роботі досліджено можливість впливу не перебіг процесу тверднення та лужної корозії бетону шляхом коригування умов тверднення та експлуатації матеріалу. Як критерії оцінки на даному етапі досліджень вивчали зміну міцнісних показників матеріалу у часі при використанні різних режимів зберігання.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження можливості впливу на перебіг процесу внутрішньої корозії шлаколужного бетону було обрано базальт як активний заповнювач, представлений фракцією 0-2.5 мм. Хімічний склад базальту представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Хімічний склад базальту

Вміст оксидів, % за масою, у базальтовому заповнювачі												В.п.п.	Σ, %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃		
50,42	14,0	6,14	8,37	2,66	0,243	8,04	5,56	0,316	0,71	2,27	0,07	0,77	99,57

В якості основного кальцій-алюмосилікатного компоненту лужного цементу було використано шлак доменний гранульований виробництва ПАТ «ДМЗ» (м. Каменьське,

розмелений до питомої поверхні 450 ± 20 м²/кг за Блейном. Хімічний склад шлаку представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад доменного гранульованого шлаку

Шлаки	Вміст оксидів, % за масою						M _o
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	
Шлак № 1	37,90	6,85	44,6	5,21	0,106	0,35	-

У якості гідрофобизатора використовували добавку на основі кремнійорганічної речовини гідридсилоксанової рідини 136-157М (ГКЖ-94), виготовленої ПАТ «АНТАЛКОМ».

У якості активної мінеральної добавки використовували метакаолін Глуховецького родовища, розмелений до питомої поверхні 1000 м²/кг за Блейном.

Зразки виготовляли з цементно-піщаного розчину у співвідношенні 1:3 у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-185 на змішувачі планетарної дії типу «Hobart». Випробування зразків проводили у відповідності до рекомендацій ДСТУ Б В.2.7-181.

Компонентний склад дрібнозернистого бетону на основі шлаколузкого цементу представлено у табл. 3.

Таблиця 3 – Компонентний склад дрібнозернистого бетону на основі шлаколузкого цементу

Марка	Компонентний склад, %			
	Шлак	Базальтовий пісок	Метакаолін	Сода
АСР3	22,5	75%	-	2,5
АСР4	20,0	75%	2,5	2,5

Зразки тверднули при нормальних умовах. Як контрольні терміни визначення міцності було прийнято 7,28 та 90 добу, оскільки попередніми дослідженнями було встановлено класифікацію такого лужного цементу як М400.

За методикою проведення дослідження зразки дрібнозернистого бетону із використанням шлаколузкого цементу витримували протягом 7 діб у нормальних умовах ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ та відносна вологість $95 \pm 5\%$). Після цього зразки розділяли на чотири групи. Одну групу висушували до постійного стану та повертали зберігатись до 28 діб у нормальні умови. Другу групу висушували до постійного стану та вкривали гідрофобизатором і також повертали до нормальних умов зберігання. Третя група не висушувалась, але вкривалась гідрофобизатором і також поверталась до нормальних умов зберігання. Контрольні зразки продовжували зберігати у нормальних умовах.

Результати дослідження та обговорення результатів. Зразки дрібнозернистого бетону із використанням шлаколузкого цементу та активного заповнювача досліджували у віці 7, 28 та 90 діб тверднення. Варто відзначити, що до 7 доби всі зразки зберігались в однакових (нормальних) умовах та характеризувались, відповідно, однаковими міцнісними показниками. Водночас, зміна умов тверднення значною мірою позначається на перебігу процесу структуроутворення та тверднення системи та на розвитку міцнісних показників. Результати проведених досліджень наведено у табл. 4 та на рис. 1.

Аналіз отриманих результатів засвідчив значні розбіжності у перебігу тверднення систем без введення метакаоліну та систем, до складу яких вводили метакаолін. Так, у віці 28 діб системи, що тверднули у нормальних умовах, відрізняються у міцності на марку (40 МПа та 31 МПа відповідно). При зміні ж умов тверднення процесу набору міцності систем із введенням метакаоліну відбуваються дуже повільно, а самі системи характеризуються дуже низькими показниками міцності (3,7-12,2 МПа порівняно із 31,1 МПа контрольної системи, що тверднула у нормальних умовах). Це може свідчити про недостатній

вміст лужного компоненту в системі, що при взаємодії із метакаоліном та кремнієвою кислотою майже повністю вичерпується та не може забезпечувати нормальний розвиток процесів структуроутворення за умови висушування зразка).

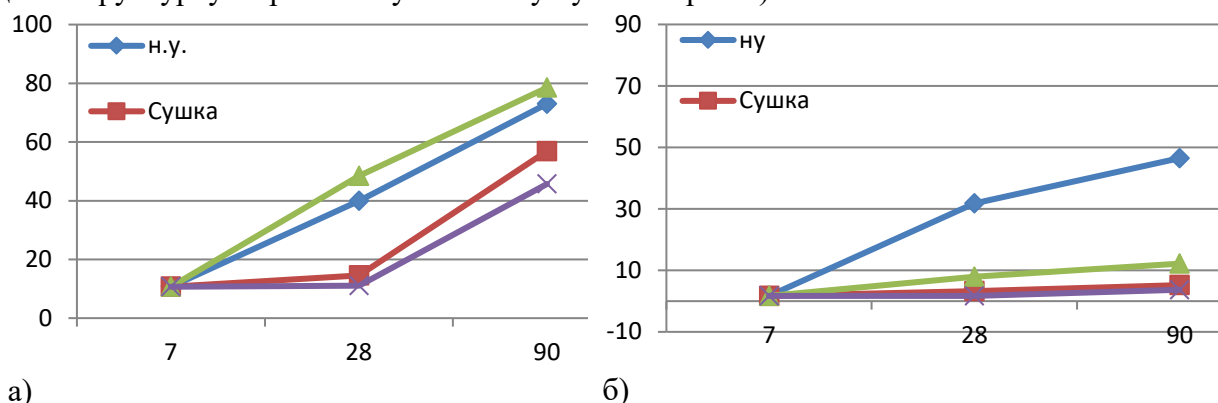


Рис. 1 Зміна міцнісних показників дрібнозернистих бетонів залежно від умов тверднення: а) склад АСР3 (без добавки метакаоліну); б) склад АСР4 (з добавкою метакаоліну)

Таблиця 4 – Зміна міцнісних показників дрібнозернистих бетонів залежно від умов тверднення

Маркування	Умови тверднення	Міцність при стиску, МПа, у віці, діб		
		7 діб	28 діб	90 діб
АСР3	Нормальні умови	10,7	40,0	73,0
	Висушування після 7 діб	10,7	14,5	56,9
	Гідрофобізація після 7 діб	10,7	48,5	78,5
	Висушування після 7 діб та гідрофобізація	10,7	11,0	45,7
АСР4	Нормальні умови	1,7	31,8	46,5
	Висушування після 7 діб	1,7	3,3	5,2
	Гідрофобізація після 7 діб	1,7	7,95	12,2
	Висушування після 7 діб та гідрофобізація	1,7	1,7	3,7

Низькі показники міцності обох досліджуваних систем у віці 7 діб також можна пояснити відносно невисоким вмістом лужного компоненту (хоча його вміст в системі доведено до 5 відсотків у перерахунку на Na_2O), який на початковому етапі структуроутворення працює переважно на погашення кремнієвої кислоти, досягаючи, натомість, марочної міцності у віці 28 діб.

Висушування зразків призводить до миттєвого припинення процесів гідратації, яка повною мірою не відновлюється навіть після повернення висушених зразків до нормальних умов зберігання. Ймовірно, гігроскопічності зразків бетону при достатньо високій щільності матеріалу недостатньо для забезпечення насичення матеріалу вологою та продовження гідратації. Гідрофобізація ж зразків після висушування повністю припиняє розвиток процесу нарощування міцності.

Гідрофобізація не висушених зразків результує у підвищенні міцнісних характеристик матеріалу, що можна пояснити не тільки збереженням вологі та продовженням

гідратації системи, але й частково ефектом самозапарювання зразка внаслідок гідрофобізації його поверхні.

Висновки. Встановлено, що тверднення дрібнозернистих бетонів на основі лужних цементів значною мірою залежить від умов тверднення. Показано, що при умові висушування матеріалу розвиток процесів структуроутворення можливо зупинити фактично у повному обсязі (міцність зразків залишається на рівні міцності зразків до зміни умов зберігання). Підвищення міцності зразків у гідрофобізованій системі порівняно із контрольним складом. Що тверднув у нормальних умовах (78,5 МПа порівняно із 78 МПа для системи без введення метаколіну) відбувається, ймовірно, за рахунок самозапарювання гідрофобізованих зразків.

Однчасне використання метаколіну та активних заповнювачів складі лужних цементів, лужний компонент яких представлений сухим карбонатом натрію, призводить до значного зниження міцності систем, що тверднуть у нестандартних умовах, що пояснюється недостатнім вмістом лужного компоненту для розвитку процесів структуроутворення на початкових етапах та змінами у структуроутворенні матеріалу після зміни умов зберігання.

Отримані результати дозволяють спрогнозувати можливість припинення лужної корозії бетону існуючих конструкцій на основі лужних цементів шляхом регулювання вологісного градієнту у тілі бетону.

Представлені результати отримані в рамках виконання проекту «Розробка технологічних методів запобігання та припинення лужної корозії бетону в умовах використання реакційно здатних заповнювачів» на замовлення Міністерства Освіти і Науки України (номер держреєстрації 0119U002580).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Штарк Й. Щелочная коррозия бетона. Киев, 2010. 166 с.
2. Malek R.I.A., Roy D.M. Effect of Slag Cements and Aggregate Type on Alkali-Aggregate Reaction and its Mechanism. Proc.6 Inter. Confer. Alkalies in Concrete, Research and Practice, Denmark. pp.223-230
3. Tang M.-S., Han S.F. Effect of Ca(OH)₂ on Alkali-silica Reaction. Journal of Chinese Silicate Society. pp.160-166.
4. Malek R.I.A., Roy D.M. Alkali-Aggregate Reaction Resistance of Granulated Blast Furnace Slag Cement, presented at Slag Cements Workshop, P. State University, Mater. Res. Laboratory, Dec-March.
5. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Petropavlovsky O.N., Kavalerova E.S. Role of metakaolin additive on structure formation in the interfacial transition zone "Cement – Alkali-susceptible aggregate". Proceedings of International Symposium "Non-Traditional Cement and Concrete II". Brno University of Technology & ZPSV Uhersky Ostroh, a.s., Brno, Czech Republic, 2005. pp. 83-95.
6. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Pasko A., Lapovska S. Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/6 (94). pp. 6-15. DOI:10.15587/1729-4061.2018.140324

REFERENCES:

1. Shtark I. Shchelochnaia korroziya betona. Kyev, 2010. 166 s.
2. Malek R.I.A., Roy D.M. Effect of Slag Cements and Aggregate Type on Alkali-Aggregate Reaction and its Mechanism. Proc.6 Inter. Confer. Alkalies in Concrete, Research and Practice, Denmark. pp.223-230
3. Tang M.-S., Han S.F. Effect of Ca(OH)₂ on Alkali-silica Reaction. Journal of Chinese Silicate Society. pp.160-166.
4. Malek R.I.A., Roy D.M. Alkali-Aggregate Reaction Resistance of Granulated Blast Furnace Slag Cement, presented at Slag Cements Workshop, P. State University, Mater. Res. Laboratory, Dec-March.
5. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Petropavlovsky O.N., Kavalerova E.S. Role of metakaolin additive on structure formation in the interfacial transition zone "Cement – Alkali-susceptible aggregate". Proceedings of International Symposium "Non-Traditional Cement and Concrete II". Brno University of Technology & ZPSV Uhersky Ostroh, a.s., Brno, Czech Republic, 2005. pp. 83-95.
6. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Pasko A., Lapovska S. Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/6 (94). pp. 6-15. DOI:10.15587/1729-4061.2018.140324

7. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Gelevera O. The influence of interfacial transition zone on strength of alkali activated concrete. *Compressive Strength of Concrete (Book Chapter)*. DOI:10.5772/intechopen.90929
8. Krivenko, P.V. et al: Durability of Alkaline Portland Cement Concretes made with Alkali-Reactive Aggregates. *Proceed. ACI International Conference on Durability of Concrete*. Sydney, Australia-22. 1997.
9. Krivenko P., Petropavlovsky O. Kovalchuk O. A comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of the alkali-activated slag cement and concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. 1/6 (91). pp. 33-39. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.119624
10. Більченко А.В., Кіслов О.Г., Синьковська О.В., Ігнатенко А.В. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд. *Науковий Вісник Будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 93. № 3. с. 140-144.
7. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Gelevera O. The influence of interfacial transition zone on strength of alkali activated concrete. *Compressive Strength of Concrete (Book Chapter)*. DOI:10.5772/intechopen.90929
8. Krivenko, P.V. et al: Durability of Alkaline Portland Cement Concretes made with Alkali-Reactive Aggregates. *Proceed. ACI International Conference on Durability of Concrete*. Sydney, Australia-22. 1997.
9. Krivenko P., Petropavlovsky O. Kovalchuk O. A comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of the alkali-activated slag cement and concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. 1/6 (91). pp. 33-39. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.119624
10. Bilchenko A.V., Kislov O.H., Synkovska O.V., Ihnatenko A.V. Dovichnist zalizobetonnykh konstruktsii ye osnovoiu zhyttievoho tsykladu mostovykh sporud. *Naukovyi Visnyk Budivnytstva*, Kharkiv: HNUBA, 2019. Т. 93. № 3. с. 140-144.

Kovalchuk O.Yu., Zozulynets V.V. INFLUENCE OF HARDENING CONDITIONS ON THE KINETICS OF STRENGTH GAIN IN ALKALI ACTIVATED CONCRETE USING ACTIVE AGGREGATES. The main problem with the use of active aggregates is the occurrence of alkaline corrosion during the curing of the material, due to which it is destroyed and can no longer be restored. That is why when solving the issue of alkaline corrosion it is necessary to look for ways to completely prevent or reduce the rate of development, rather than possible ways to eliminate the consequences. The article describes the raw materials that were used during the tests and the methodology of their conduct. The results of research aimed at determining the influence of component composition and curing conditions on the kinetics of strength set of materials based on alkaline cements, where basalt sand was used as a aggregates, are shown. The key factors influencing the strength of the hardened material are presented and the best curing conditions for the elimination of destructive processes in the concrete body are determined.

Key words: alkaline cement, active aggregate, alkaline corrosion, hydration, hardening conditions.