

12. Бугаевский С.А. Способ возведения элементов зданий криволинейной формы. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 2(80). с. 116-126.
13. Tedesco A. Shell at Denver-Hyperbolic Paraboloidal Structure of Wide Span. *Journal Proceedings*. 1960. Volume: 57. p. 403-412.
14. Candela F. Understanding the Hyperbolic Paraboloid. *Architectural Record*. 1958. p. 191-205.
15. Candela F. General Formulas for Membrane Stresses in Hyperbolic-Paraboloidal Shells, *Journal of the American Concrete Institute*. 1960. Volume: 57. p. 353-371.
12. Bugayevskiy S.A. Sposob vozvedeniya elementov zdaniy krivolineynoy formy. *Naukoviy visnik budivnitsva: zb. nauk. pr.* 2015. № 2. s. 116-126.
13. Tedesco A. Shell at Denver-Hyperbolic Paraboloidal Structure of Wide Span, *Journal Proceedings*. 1960. Volume: 57. p. 403-412.
14. Candela F. Understanding the Hyperbolic Paraboloid. *Architectural Record*. 1958. p. 191-205.
15. Candela F. General Formulas for Membrane Stresses in Hyperbolic-Paraboloidal Shells, *Journal of the American Concrete Institute*. 1960. Volume: 57. p. 353-371.

Shumakov I.V., Salia M.G., Mikautadze R.I., Fursov Y.V. CONSTRUCTIVE AND ORGANIZATIONAL - TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE COATING DEVICE IN THE FORM OF A HYPERBOLIC PARABOLOID. The article discusses the organizational, technological and constructive solutions for the construction of a coating in the form of a hyperbolic paraboloid. The identification of factors influencing the parameters of decision-making is carried out. In the course of the research, a rational combination of design and technological conditions for the production of work was substantiated, which ensures maximum efficiency during their use.

Key words: shell, hyperbolic paraboloid, strength, optimization, fabric membrane.

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-140-144

УДК 691.3; 691.5

Бойко О.В., Ковальчук О.Ю., Кривенко П.В.

Київський національний університет будівництва і архітектури.

Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського

(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03037, Україна, e-mail: olia.bojkoyt@gmail.com;

kovalchuk.oyu@gmail.com; pavlo.kryvenko@gmail.com; orcid.org/0000-0001-7521-0166,

orcid.org/0000-0001-6337-0488 orcid.org/0000-0001-7697-2437)

РОЛЬ Al_2O_3 У СКЛАДІ ШЛАКУ У ЗАПОБІГАННІ КОРОЗІЇ АРМАТУРИ У ШЛАКОЛУЖНОМУ БЕТОНІ

Стаття присвячена дослідженню впливу складу доменного шлаку на корозію арматури в шлаколужних бетонах та основним принципам запобігання процесу корозії шляхом зв'язування вільних іонів SO_4^{2-} та Cl^- . Розглянуто методологію проведення досліджень та визначено безпосередній вплив кількісного вмісту хімічних елементів шлаку, а саме Al на корозію арматури в шлаколужному бетоні. Визначено головні напрямки проведення досліджень та обгрунтовано важливість очікуваних результатів.

Ключові слова: лужний бетон, арматура, залізобетон, корозія, луги, сульфати, хлориди.

Вступ. Відомо, що первинна захисна дія бетону визначається складом та значенням рН рідкої фази, яка формується в процесі тверднення бетонної суміші, щільністю штучного каменю та товщиною захисного шару. Корозія арматури в залізобетонних конструкціях переважно протікає в результаті виникнення мікро- та макрогальванічних пор в місцях контакту металу з вологою. Також відомі випадки корозії арматури, коли по тій або іншій причині її поверхня залишається активною або не повністю пасивується при виготовленні конструкції, чи повністю втрачає пасивність в процесі експлуатації.

Томашов Н. Д. визначає пасивність арматури (в умовах, коли з термодинамічної точки зору метали доволі реакційно-здатні) як стан підвищеної корозійної стійкості, викликаной гальмуванням анодного процесу [1].

Тривалими дослідженнями і спостереженнями за станом арматури у лужних бетонах [2, 3] було підтверджено відсутність корозії арматури, однак з огляду на широке впровадження в будівництво промислових відходів, в тому числі таких, що містять солі сильних

кислот, проблема корозійної стійкості арматури набула особливої актуальності. Крім того, варто відзначити, що у приведених дослідженнях використовували жорсткі та наджорсткі бетонні суміші, а лужний компонент у складі цементу був представлений розчинами карбонату або силікату натрію (силікату калію), що обумовлювало високу активність таких систем одночасно із високим ступенем ущільнення структури матеріалу. Перехід в умовах сьогоднішнього до використання однокомпонентних цементних систем, лужний компонент яких представлений сухою сіллю лужних металів, а також використання рухливих та високорухливих бетонних сумішей [4] обумовлюють отримання менш щільної структури штучного каменю затверділого бетону, що знижує захисну функцію цементної матриці та відкриває шляхи до корозії сталевих арматур у складі бетону на основі лужних в'язучих речовин.

Відомо, що бетонні та залізобетонні вироби і конструкції під час експлуатації піддаються активному впливу атмосферних факторів і агресивних компонентів середовища: кислих газів, у першу чергу CO_2 і SO_3 ; розчинів електролітів – хлоридів і сульфатів; промислових викидів та продуктів неповного згоряння палива та інших сполук [5-7]. У результаті цих процесів повітря та волога отримують доступ до армуючих елементів, що з часом може привести до повного руйнування конструкції [8].

Одним із напрямків запобігання корозії сталевих арматур в бетоні є створення умов для зв'язування вільних іонів SO_4^{2-} та Cl^- у новоутворення цементного каменю типу солі Фріделя або так званих «подвійних солей» [9], в яких молекули солей об'єднуються із алюмосилікатним каркасом і утворюють комплексні з'єднання.

Метою роботи є впливу вмісту алюмінатної складової у складі доменного гранульованого шлаку на зв'язування вільних іонів SO_4^{2-} та Cl^- у стабільні новоутворення типу солі Фріделя або комплексні «подвійні» солі.

Сировинні матеріали і методи досліджень. В якості основної сировини для проведення досліджень було використано основний, кислий та електротермофосфорний (ЕТФ) шлаки. Хімічний склад шлаків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад шлаків

Вид шлаку	Вміст оксидів, % за масою									М _о
	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	В.п.п.	
Основний	43,60	5,90	37,65	7,34	0,86	0,47	-	1,92	0,12	1,12
Кислий	35,61	16,05	33,4	16,05	2,41	1,38	-	1,36	0,81	0,9
ЕТФ	45,15	4,0	43,35	3,0	0,47	2,1	0,97	0,87	-	1,13

Шлаки використовували у вигляді молотих порошоків з питомою поверхнею 320-330 м²/кг за Блейном. В якості лужного компонента використовували соду кальциновану технічну та відходи виробництва капролактама – содолужний плав (СЛП) та содосульфатну суміш (ССС). В якості дрібного та крупного заповнювачів в бетонах було використано дніпровський кварцовий пісок з Мк – 1,3 і гранітний щебінь фракцій 5-10 та 10-20 мм.

Корозію арматури в бетоні вивчали гравіметричним методом [10], відповідно до якого швидкість корозії визначається за втратою маси та площею пошкодження.

$$K = \frac{P_0 - P}{S},$$

де К – втрата маси, г/м²; P₀ – маса металевих стержнів до укладання його в бетон, г; Р – маса металевих стержнів після вилучення його з бетону, г; S – площа поверхні зразка, м².

Дослідження проводили на зразках 4×4×16 см з арматурним стержнем всередині. До укладання в форму арматурні стержні очищали від іржі, полірували, заміряли штангенциркулем та зважували. Потім здійснювали формування зразків. Після встановлення

програмою дослідження строку зразки руйнували, стержні очищували від залишків розчину, промивали водою, насухо витирали, оглядали та зважували.

Виклад основного матеріалу. З метою визначення взаємовпливу вмісту агресивних і пасивуючих солей в лужному компоненті на стійкість арматури було визначено втрату маси арматури в бетоні на синтезованих лужних компонентах, що складаються з суміші соди і сульфату натрію, а також соди і хлориду натрію у співвідношенні 1:1. Підвищення вмісту сульфату натрію до 50% в бетоні на доменних шлаках не збільшує втрати маси металу, при цьому в часі вони залишаються стабільними.

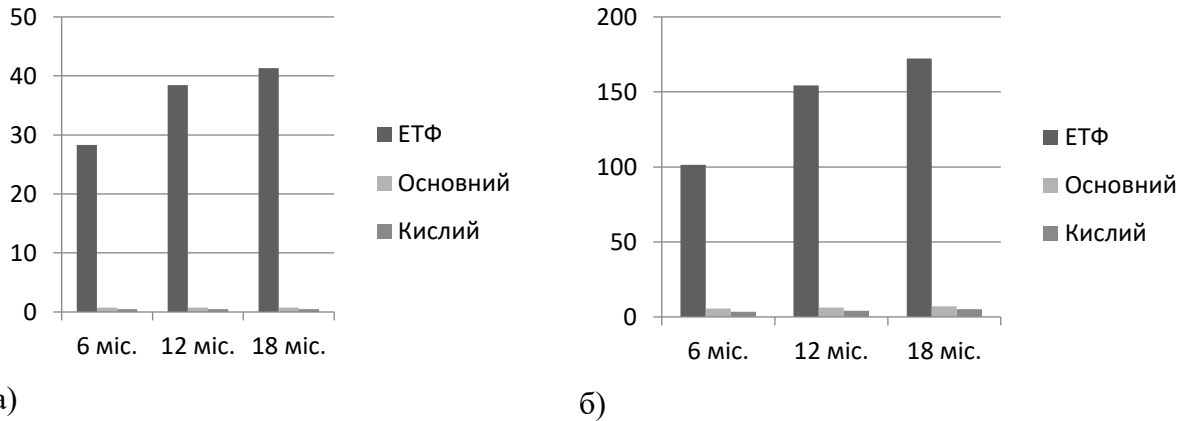
Підвищення вмісту хлориду натрію до 50% в бетоні на всіх видах шлаку приводить до корозії арматури: втрата маси металу в часі збільшується (таблиця 2).

Таблиця 2 – Втрати маси арматури в шлаколужному бетоні на різних шлаках і лужних компонентах (суміші солей натрію) при поперемінному зволоженні і висушуванні

Шлак	Густина розчину затворювання, кг/м ³	Втрати маси арматури в шлаколужному бетоні, г/м ² , в часі, міс					
		Na ₂ CO ₃ : Na ₂ SO ₄ (1:1)			Na ₂ CO ₃ : NaCl (1:1)		
		6	12	18	6	12	18
ЕТФ	1100	-	-	-	24,47	43,81	51,20
	1150	21,43	37,12	39,12	97,63	146,18	157,40
	1200	28,28	38,45	41,31	101,44	154,37	172,30
Основний	1100	0,00	0,00	0,00	3,24	5,08	-
	1150	0,64	0,63	0,62	4,28	4,51	4,74
	1200	0,74	0,73	0,72	5,63	6,13	7,15
Кислий	1100	0,00	0,00	0,00	1,33	1,88	2,01
	1150	0,38	0,39	0,38	2,81	3,24	4,07
	1200	0,47	0,49	0,48	3,43	4,18	5,17

Аналіз отриманих результатів засвідчує, що при підвищенні вмісту алюмінію у складі доменного гранульованого шлаку корозія арматури в бетоні суттєво знижується. Так, при використанні шлаку із вмістом алюмінатної складової 3% за масою показники зниження маси арматури сягають 28,28% для суміші Na₂CO₃ : Na₂SO₄ у віці 6 місяців, а для суміші Na₂CO₃ : NaCl - 101,44 г/м². Водночас, підвищення вмісту оксиду алюмінію в шлаку із застосуванням сульфато-карбонатної суміші втрати маси становлять максимально 0,74 та 0,47 для шлаків із вмістом Al₂O₃ 7,34 та 16,05% відповідно. У випадку застосування сульфато-хлоридної суміші тенденції зберігаються, а показник втрати маси становить максимально 5,63 та 4,18 г/м² відповідно. Тенденції втрати маси у часі арматури в шлаколужному бетоні при максимальній густині розчинів за творення представлено на рис. 1.

Варто відзначити відмінність у характері зниження маси арматури при використанні різних реакційних сумішей. Окрім різниці у самому зниженні міцності, прослідковується тенденція, що при використанні суміші Na₂CO₃ : Na₂SO₄ процес корозії арматури відбувається активно у перші 6-12 місяців, надалі спостерігається стабілізація маси арматури, що може свідчити про утворення захисного прошарку новоутворень навколо арматури, що унеможливило подальшу корозію. Більше того, при застосуванні шлаків із вмістом алюмінатної складової 7,34 та 16,05% максимальна корозія протікає вже до 6 місяця, надалі показники втрати маси є стабільними або дещо знижуються. У випадку ж застосування Na₂CO₃ : NaCl корозія арматури хоча і знижується із збільшенням вмісту алюмінатної складової, проте активно розвивається у часі, дещо знижуючи темпи наростання після 12 місяців.



а)

б)

Рис. 1. Зміна втрати маси арматури у часі (% за масою) при використанні шлаків із різним вмістом алюмінатної складової: а) пр. використанні суміші $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_2\text{SO}_4$; б) пр. використанні суміші $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{NaCl}$

Висновки. Показано, що підвищення вмісту алюмінатної складової у доменному гранульованому шлаку є прямопропорційним зниженню корозії арматури у шлаколужному бетоні. Це може бути пояснено ймовірним зв'язуванням іонів SO_4^{2-} та Cl^- у сполуки типу солі Фріделя або комплексні сполуки типу нозеану ($\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6[\text{SO}_4]$), содаліту ($\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6[\text{Cl}_2]$) або гідросодаліту, в яких частина Cl^- заміщена OH^- -групами.

Подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження ефекту впливу додаткового введення в систему хімічних добавок різної природи та структури та алюмінітів у вигляді оклюдуєчих добавок, що має підвищити ступінь зв'язування агресивних іонів SO_4^{2-} та Cl^- у нерозчинні сполуки.

Подяки. Робота виконана за фінансової підтримки Міністерства Освіти і науки України в рамках держбюджетної тематики № 3ДБ-2020 «Розробка засобів протидії корозії сталевих арматур в пластифікованих шлаколужних бетонах для спеціального призначення».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашов Н. Д. *Теория коррозии и защиты металлов*. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 592 с.
2. Глуховский В. Д. *Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны* / Под общ. ред. В. Д. Глуховского. К.: Вища шк., 1979. 232 с.
3. Глуховский В. Д. Щелочные вяжущие системы. *Цемент*. 1990. №6. С. 3-8.
4. Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М., Константиновський О.П. Високорухомі шлаколужні бетони з підвищеною ранньою міцністю. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 93. № 3. С. 117-124.
5. Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С. и др. *Долговечность железобетона в агрессивных средах*. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
6. Лучко Й. Й., Глагола І. І., Назаревич Б. Л. *Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд*. НАН України; Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка: Каменяр, 1999. 229 с.
7. Федосов С. В., Базанов С. М. *Сульфатная коррозия бетона*. М: Изд-во АСВ, 2003. 192 с.

REFERENCES:

1. Tomashov N.D. *Teoriya korrozii i zashchity metallov*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 592 s.
2. Gluhovskij V. D. *Shchelochnye i shchelochno-shchelochnozemel'nye gidravlicheskie vyazhushchie i betony* / Pod obshch. red. V. D. Gluhovskogo. K.: Vishcha shk., 1979. 232 s.
3. Gluhovskij V. D. Shchelochnye vyazhushchie sistemy. *Cement*. 1990. №6. S. 3-8.
4. Kryvenko P.V., Rudenko I.I., Petropavlovskiy O.M., Konstantynovskiy O.P. Vysokorukhomi shlakoluzhni betony z pidvyshchenoiu rannoiu mitsnistiu. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv: KhNUBA, 2019. T. 93. № 3. S. 117-124.
5. Alekseev S.N., Ivanov F. M., Modry S. i dr. *Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnyh sredah*. M.: Strojizdat, 1990. 320 s.
6. Luchko Y. Y., Hlahola I. I., Nazarevych B. L. *Metody pidvyshchennia koroziiinoi stiikosti ta dovhovichnosti betonnykh ta zalizobetonnykh konstrukttsii i sporud*. NAN Ukrainy; Fiz.-mekh. in-t im. H. V. Karpenka: Kameniar, 1999. 229 s.
7. Fedosov S. V., Bazanov S. M. *Sulfatnaya korroziya betona*. M: Izd-vo ASV, 2003. 192 s.

8. 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.
9. Эйтель В. *Физическая химия силикатов*. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. 1055с.
10. Алексеев С. Н. *Коррозия и защита арматуры в бетоне*. М.: Стройиздат, 1968. 232 с.
11. Герасимов В. В., Москвичев Г. С. О пассивности металлов. *Журн. прикл. химии*. 1964. 37. Вып. 1. С. 1121-1129.
12. Аринушкина Е.В., Аракеля Ф.Б. Методика определения водорастворимых веществ. *ВЦНИЛКР. Сообщения*. М., 1969. С. 24-25.
13. Сарсенбаев Б.К. *Шлакощелочные бетоны на основе электротермофосфорных шлаков для сельского строительства*: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. К.: 1987. 16 с.
8. Bilchenko A.V., Kislov O.H., Synkovska O.V., Ihnatenko A.V. Dovhovichnist zalizobetonnykh konstrukttsii ye osnovoiu zhyttievoho tsyklu mostovykh sporud. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv: KhNUBA, 2019. T. 93. № 3. S. 140-144.
9. Ejtel', V. *Fizicheskaya himiya silikatov*. M.: Izdatel'stvo inostrannoj literatury, 1962. 1055 s.
10. Alekseev S.N. *Korroziya i zashchita armatury v betone*. M.: Strojizdat, 1968. 232 s.
11. Gerasimov V.V., Moskvichev G.S. O passivnosti metallov. *ZHurn. prikl. himii*. 1964. 37. Vyp. 1. S. 1121-1129.
12. Arinushkina E.V., Arakelya F.B. Metodika opredeleniya vodorastvorimyyh veshchestv. *VCNILKR. Soobshcheniya*. M., 1969. S. 24-25.
13. Sarsenbaev B.K. *Shlakoshchelochnye betony na osnove elektrotermofosfornyyh shlakov dlya sel'skogo stroitel'stva*: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. K.: 1987. 16 s.

Boiko O.V., Kovalchuk A.Yu., Krivenko P.V. ROLE OF Al_2O_3 IN THE SLAG COMPOSITION ON REINFORCEMENT CORROSION PREVENTION IN IN SLAG ALKALI ACTIVATED CONCRETE. The article is devoted to the study of the influence of the composition of blast-furnace slag on the corrosion of reinforcement in slag-alkaline concretes and the basic principles of preventing the corrosion process by binding free SO_4^{2-} and Cl^- ions. The research methodology is considered and the direct influence of the quantitative content of chemical elements of the slag, namely Al, on the corrosion of reinforcement in the slag-alkali concrete is determined. The main directions of research are determined and the importance of the expected results is justified.

Keywords: alkali activated concrete, reinforcement, reinforced concrete, corrosion, alkali, sulfates, chlorides.

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-144-149

УДК 691.54

Дьоміна О.І., Деденьова О.Б., Бондаренко О.І., Костюк Т.О., Салія М.Г.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: bmiv@kstuca.kharkov.ua; orcid.org/0000-0002-5982-8983, orcid.org/0000-0001-7801-0792, orcid.org/0000-0002-5640-6486, orcid.org/0000-0002-9246-2899, orcid.org/0000-0002-2414-9016)

ЗМІНА МОРФОЛОГІЇ СИЛКАТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ПРИ ВВЕДЕННІ АКТИВОВАНИХ КАРБОНАТНИХ СУСПЕНЗІЙ

Одним із рішень задачі одержання ефективних та міцних силкатних композитів щільної структури є використання карбонатних відходів в якості наповнювачів. У роботі наведені результати експериментального дослідження закономірностей формування мікроструктури в'язучого, що містить активований $CaCO_3$. Було визначено реологічні властивості і процеси гідратації силкатних композитів в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР). Показано, що при гідродинамічній активації карбонатної суміші істотно збільшується питома поверхня дисперсного матеріалу. Показана доцільність введення в суспензію пластифікуючих добавок (С-3) з метою зниження ефекту агрегації карбонатної складової. Оптимальним часом активації є $t = 2$ хвилини. Методом фізико-хімічного аналізу ДТА, РФА та електронної мікроскопії встановлено, що введення активованої карбонатної суспензії до складу в'язучого надає активуючий вплив на процеси гідратації цементного в'язучого. Це проявляється в отриманні більш однорідної щільної структури цементного каменю. При цьому відзначається підвищений вміст гідросилікатів кальцію і зміна морфології портландцементу в композиції, що твердне.

Ключові слова: силкатні системи, карбонатні наповнювачі, гідродинамічна активація, карбонатна суспензія, поверхнево-активна добавка, електронна мікроскопія, рентгенофазовий аналіз, термографічний аналіз.