

кольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с. **6. Каримов И.** Влияние тонкодисперсных минеральных наполнителей на прочность бетона / *И. Каримов* // Бетон в мире технологий. – 2006. – № 1. – С. 35 – 39. **7. Алексеев С.В.** О влиянии температурного режима получения высокоактивного метаксаолина для строительных смесей на основе портландцемента / [*С.В. Алексеев, Е.С. Михайлюта, В.В. Колёда и др.*] // Современные технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: II междунар. конф., 23-24 марта 2011г.: тезисы докл. – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – С. 54.

*Надійшла до редколегії 25.07.11*

УДК 693.54.

**Л.А. КОЗИНКО**, інженер, НТУ«ХПІ», Харків

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СПОРУД**

Експериментальні дослідження корозійного стану сталевих елементів залізобетонних конструкцій в бетонах на портландських і шлакопортландських цементів. Деякі випадки адаптації залізобетону.

Экспериментальные исследования коррозионного состояния стальных элементов железобетонных конструкций в бетонах на портландских и шлакопортландских цементах. Некоторые случаи адаптации железобетона.

There are corrosion state of the reinforced steel in the portlandcement and portlandblast-slag cement. Same exampl adaptetion of the reinfoced concret.

Незахищене залізо та сталь підлягають дії корозійного впливу у більшості середовищ, та треба сказати, що ступінь корозійного руйнування залежить від ряду факторів, найбільш важливими з котрих є склад металу, стан його поверхні, властивості агресивного середовища та локальні умови експлуатації.

Якщо розглядати залежність якості металевих сплавів від їх складу, тоді залізні сплави можна розділити на три великих групи: звичайні чавуни, варочне залізо, сталі без додавання легуючих добавок. Ці матеріали легко піддаються корозії. Низьколеговані сталі, з добавками міді, хрому та нікелю, вмістом 2 – 3 % легуючих добавок також легко підлягають корозії, але при звичайних умовах досить довго експлуатуються. Такі низьколеговані сталі нази-

ваються старіючими. Нержавіючі сталі з високим складом легуючих компонентів, наприклад – 18 % хрому, 8 % нікелю та 3 % молібдену – ці сталі в атмосферних умовах є практично нержавіючими. Звичайні сталі представляють собою сплави заліза з вуглецем та невеликими добавками інших елементів, таких як марганець та кремній, що вводяться для покращення механічних властивостей; а також фосфору, що зменшує крихкість сталевого сплаву та зупиняє водне охрупачування та термічну корозію.

Сталеві сплави заліза виплавляють з суміші чавуна та лому сталевого заліза, при цьому частина вуглецю, сірки та фосфору окислюється та відводиться з доменним газом.

Кінцеву продукцію отримують після гарячого прокату, протягування або ковки. У процесі обробки поверхня сталі окислюється киснем повітря та на ній утворюється оксидна плівка, що може суттєво впливати на корозію сталі. У залізобетонних конструкціях ці оксиди, або вторинна окалина, являються внутрішнім резервом адаптації [1 – 7] у системі "бетон-залізо" при корозійних процесах та покращують зчеплення арматури з захисним шаром бетону, що також являється прикладом адаптації. Вторинна окалина складається з трьох шарів окислів заліза з зростаючою отупінню окислення. Сила окислення зростає у напрямку від нижньої до верхньої поверхні плівки. Внутрішній шар складається з закисі заліза двохвалентного ( $\text{FeO}$ ); середній з магнетиту ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), або суміші окисі заліза двохвалентного ( $\text{FeO}$ ) та трьохвалентного ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); та верхній шар складається з окислів заліза трьохвалентного ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [1 – 7]. Типова вторинна окалина має товщину 50 мкм та містить приблизно 70 % закисі заліза ( $\text{FeO}$ ), 20 % магнетиту ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та 10 % окисі заліза трьохвалентного ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [9]. Наявність такої поверхневої плівки у лужному середовищі бетону може затримувати корозійні процеси тривалий час, бо упрочнюється шаром бетону, підлягає кольматації компонентами порового розчину бетону та інтеграції в хімічну систему «бетон-сталева арматура» залізобетону. Сталібетонні конструкції, що експлуатуються у морській воді, мають процеси взаємодії не тільки з хімічно-агресивними розчинами, а ще й механічну загрузку водними потоками, такими як хвилі, морські течії, припливи та відливи. Це все зумовлює явище стомлення. З'являється сума явища стомлення та фізичної і хімічної корозії, періодичного зволоження та висушування, сульфатного та хлоридного руйнування. За допомогою експерименту встановлено розмір електрохімічного потенціалу, дорівнює активному стану сталі, при якому має місце корозія. Формування та відкладення у трі-

щинах бетону, що експлуатується у морській воді, солей кальцію та магнію робить більш щільну структуру, що добре впливає на довговічність залізобетонних конструкцій. Карбонізація викликає зниження рН бетону і прискорення корозії арматури, особливо в умовах присутності морської води та кисню. Глибина карбонізації визначається залежністю:

$$D_C = A\sqrt{t}, \quad (1)$$

де  $t$  – час карбонізації;  $A$  – коефіцієнт швидкості карбонізації.

Моніторинг глибини карбонізації залізобетонних споруд з строком експлуатації 10 – 60 років показав, що для зовнішніх учасників коефіцієнт швидкості корозії склав 5 – 10 мм на рік. Тонкий захисний шар бетону та низька якість захисного слою бетону може викликати корозію арматури та руйнування бетону. Цей процес може інтенсифікуватись під дією морської солі, що проникає з оточуючого середовища. У зв'язку з цим стандарт Японської Асоціації Будівництва обмежує вміст морської солі у бетоні – до 0,04 %, коли арматура не має спеціального захисту і до 0,1 % для арматури з спеціальним захистом (9).

Для виготовлення робочих електродів взяли зразки сталі Ст 3, як приклад арматурної сталі, що експлуатується в звичайних умовах, наприклад у ненапружених огорожуючих панелях та конструкціях покрівлі. Площа робочої поверхні складала 1 см<sup>2</sup>. Перед тестом поверхня робочого електроду чиститься наждачним папіром, обезжирюється етиловим спиртом та промивається дистильованою водою. Потенціодинамічне моделювання робили за допомогою потенціостата PI 50 з програматором PR-8. Швидкість динаміки потенціалу складає 5 мВ/с, зміна струму фіксується двохкоординатним реєструючим приладом PDA-1. Визначений струм при цьому має часткове відношення до геометричній поверхні досліджуємого зразка. Усі заміри робляться у скляному електрохімічному елементі ISE-2. Допоміжний електрод зроблений з титану. Електродом зрівнювання служить насичений хлоросрібний електрод, потенціал котрого дорівнює 0,2 В. Усі значення потенціалів рахуються по водневому (стандартному) електроду. Визначення рівня рН здійснюється за допомогою рН-метра рН-150. Результатом експерименту є модель порового твердого розчину бетону з гарними захисними якостями та високою лужністю (рис. 1).

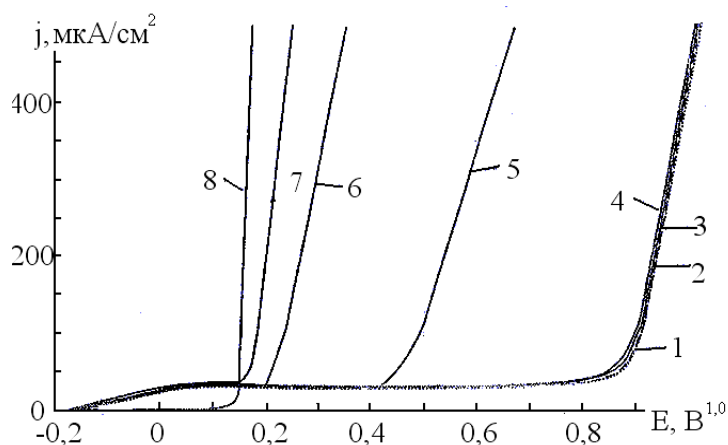


Рис. 1. Анодні потенціалодинамічні криві для сталі Ст. 3 при швидкості розвертки потенціалу 5 мВ/с в розчині NaOH при концентрації NaCl:

1 – 0 %, 2 – 0,025 % (0,0043 моль/дм<sup>3</sup>), 3 – 0,075 % (0,013 моль/дм<sup>3</sup>),  
 4 – 0,1 % (0,017 моль/дм<sup>3</sup>), 5 – 0,3 % (0,051 моль/дм<sup>3</sup>), 6 – 0,7 % (0,112 моль/дм<sup>3</sup>),  
 7 – 1 % (0,17 моль/дм<sup>3</sup>), 8 – 3 % (0,512 моль/дм<sup>3</sup>).

При додаванні 2 % добавки сульфату натрію до високолужного порового розчину також змодельоване випадок проникнення сульфатних вод крізь захисний шар бетону, та отримані дані електрохімічних процесів у приарматурному шарі бетону, що показало інгібуючу дію сульфатних іонів на сталеву арматуру залізобетону, і це є експериментально проілюстрованим прикладом адаптації бетону (дифузійна спроможність), адаптаційних механізмів залізобетону і роботу системи бетон-продукти дифузії та розчинення сталеві арматури [3, 4], як електрохімічної ячейки, робота якої направлена на пасивацію заліза і зменшення швидкості корозії та адаптаційності арматурної напруженої сталі у елементах залізобетонних конструкцій (рис. 2).

Також був розглянутий експериментально спрощений випадок, коли захисний шар бетону повністю карбонізувався і втратив свої захисні властивості, які забезпечуються високою лужністю порового розчину бетону [3, 4].

Для того, щоб краще ілюструвати модельований випадок попадання хлоридів в приарматурний шар бетону, як це характерно для морських споруд; на дорожніх покриттях при застосуванні антильодониторів; атмосферні агресивні дощі з розчиненими продуктами атмосферного забруднення для покрівель з залізобетону – анодні потенціометричні криві при їх аналізі показують, що на поверхні арматури утворюється потенціал, коли вона знаходиться у бетоні.

При застосуванні класичного уявлення темничної електрохімії у забезпеченні адаптивності бетону, можна зробити висновок, що механізм гнучкого

зсуву потенціалу також треба розглядати як пристосовування або адаптацію, при роботі залізобетонної системи.

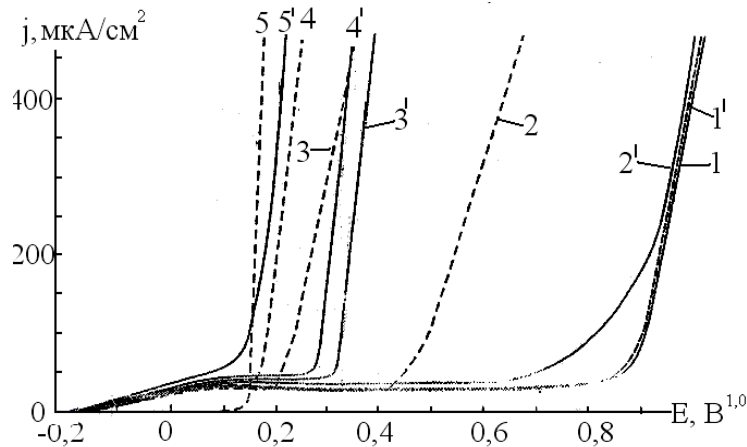


Рис. 2. Анодні потенціалодинамічні криві для сталі Ст. 3 при швидкості розвертки потенціалу 5 мВ/с в розчині NaOH с добавками NaCl (1 – 4) та

2 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1' – 4'), концентрація NaCl:

- 1, 1' – 0,1 % (0,017 моль/дм<sup>3</sup>), 2, 2' – 0,3 % (0,051 моль/дм<sup>3</sup>), 3, 3' – 0,7 % (0,112 моль/дм<sup>3</sup>),  
4, 4' – 1 % (0,17 моль/дм<sup>3</sup>)

Фактично у випадку коли аналізуються анодні потенціодинамічні криві для сталі у розчині хлориду натрію у малолужному розчині можна стверджувати, що зсув потенціалів є такий самий, як і для незахищеної залізної арматурної сталі.

**Список літератури:** 1. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Х.: Высшая школа, 1989. – 117 с. 2. Крушедольская В.Е. Коррозионное поведение арматуры в бетонах на шлакопортландцементе / В.Е. Крушедольская, В.Я. Флакс, В.Л. Чернявский // Бетон и железобетон. – 1993. – № 3. – С. 28. 3. Козинко Л.А. Адаптація бетону. Позитивний вплив адаптаційних механізмів залізобетону на строк експлуатації залізобетонних споруд / Козинко Л.А. // Науковий вісник будівництва ХДТУБА. – 2004. – № 26. – С. 75 – 80. 4. Чернявский В.Л. Адаптація бетону / В.Л. Чернявский. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2002. – 116 с. 5. Защита строительных конструкций от коррозии. СНиП 2.03.11-85. – [Действует с 1986-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 69 с. 6. Алексеев С. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Алексеев, С. Модры, П. Шиель. – М.: Стройиздат, 1990. – 499 с. 7. Wiczorek G. Wplyw chlorków na korozję stali zbrojeniowej w betonie / G. Wiczorek. – Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej, 1992. – 199 с.

Надійшла до редколегії 14.06.11.