

УДК 620.193:691.328

ЕКСПРЕС-МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ КОРОЗІЇ АРМАТУРИ НА ЦІЛІСНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

М. І. ГРЕДІЛЬ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Описано метод та засоби лабораторних досліджень цілісності залізобетонних зразків, порушеної пришвидшеною корозією арматури. Зразок із центральним сталевим стрижнем, до якого прикладений анодний потенціал, витримано у корозивному середовищі. Поляризацією металу пришвидшено його корозію, продукти якої розпирають бетон зсередини, внаслідок чого зразок через певний час розтріскується. Методика передбачає реєстрацію під час експерименту струму корозії, за яким можна відстежувати її інтенсивність.

Ключові слова: залізобетон, арматура, корозія, струм корозії, розтріскування, експрес-методика.

Останнім часом проблема цілісності залізобетонних конструкцій через корозію сталевих арматур особливо загострилася [1–3]. Як відомо, тривалість експлуатації відповідальних залізобетонних споруд наближається чи вже сягає в багатьох випадках сторіччя, тому навіть за незначної корозії їх елементів може згубно впливати на їх цілісність. Залізобетон широко відомий як міцний та довговічний матеріал, який зазвичай не потребує додаткового захисту від впливу довкілля. Сталева арматура знаходиться у пасивному стані під шаром бетону, капілярна рідина якого має лужну реакцію. Однак із часом під дією атмосферної вологи, кислих газів, солей-активаторів корозії її рН знижується і вона втрачає захисні властивості, через що послаблюється міцність залізобетону. Зокрема, знижується тримка здатність металевих стрижнів внаслідок зменшення його робочого перерізу та порушується адгезія з бетоном. Проте такі конструкції проектують із значним запасом міцності, тому ці чинники рідко порушують цілісність конструкцій. Небезпечніші внутрішні напруження у бетоні, спричинені продуктами корозії металу. Відомо, що вони займають більший об'єм порівняно з прокородованим металом [4]. Тоді внаслідок ржавіння арматури та наростання кількості продуктів корозії на межі метал–бетон через появу розтягувальних напружень можливе розтріскування та навіть викришування бетонної матриці.

У лабораторних умовах цей процес можна пришвидшити анодною поляризацією металу залізобетонного зразка, а отже, за порівняно короткий час відстежувати хемомеханічні умови руйнування бетону. Подібні методи [4–6] зорієнтовані на оцінку агресивності корозивних середовищ та оптимізацію складу бетону, однак надзвичайно актуально визначити в такий спосіб залишкову довговічність залізобетонних конструкцій. Нижче розроблена методика визначення довговічності залізобетонних зразків за пришвидшеної корозії арматури з реєстрацією параметрів, за якими можна відстежувати кінетику процесу під час експерименту. Випробовували циліндричні зразки діаметром 100 і висотою 200 mm, по осі яких розміщали арматурний сталевий стрижень так, щоби він у нижній частині зразка виходив на плоску поверхню, а у верхній – виходив з неї (рис. 1).

Залізобетонний зразок з арматурою *I* (анод) закріплювали у каркасі з нержав-

Контактна особа: М.І. ГРЕДІЛЬ, e-mail: mysya@ipm.lviv.ua

ної сталі, що складається з пластин 2 та стрижнів 3, які слугують катодами. Арматурний стрижень контактує з корозивним середовищем 4 лише через шар бетону (бокову поверхню зразка). Щоб запобігти потраплянню розчину безпосередньо до арматури, використали гумові прокладки 5. Струм подавали на електроди за допомогою джерела живлення 6. Позитивний полюс під'єднували до верхньої частини стрижня, яка виходила зі зразка, а негативний – до металевого каркаса, поміщеного в середовище. Підтримуючи напругу постійною, реєстрували зміну струму в часі.

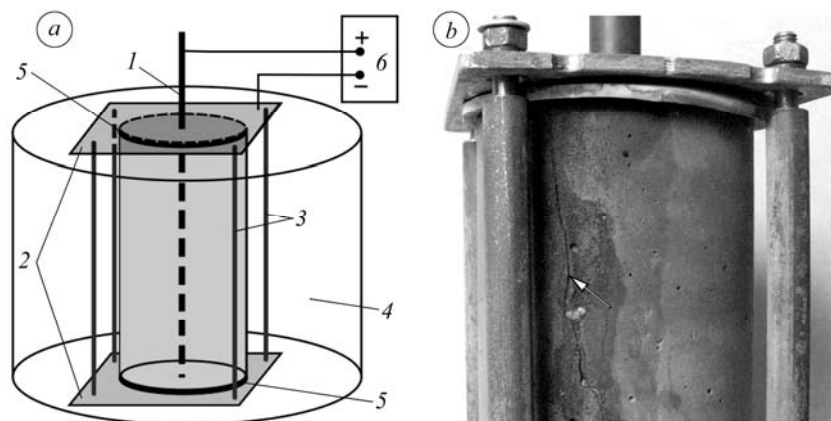


Рис. 1. Схема установки для досліджень (а) та частина зразка із тріщиною (вказано стрілкою) після експерименту (b).

Fig. 1. Testing set-up (a) and the specimen part with a crack (marked by arrow) after experiment (b).

Для апробації методики виготовили зразки, використовуючи бетонний розчин на портландцементі марки ПЦ ІІ/А-К-400 з водоцементним співвідношенням 0,5 та співвідношенням цемент/пісок 1/3. Крупний наповнювач – гравій із максимальним розміром частинок 20 mm. Застосовували гладку арматуру класу А240С діаметром 12 mm та робочою площею 7540 mm². Суміш в опалубці ущільнювали вібрацією впродовж 10 min. Зразок виймали з форми через 7 days після виготовлення, а досліджували не раніше ніж через 28 days, витримуючи в у 3%-му розчині NaCl впродовж 24 h для стабілізації умов, пов'язаних з проникненням середовища до металу від циліндричної поверхні зразка, і тільки тоді анодно поляризували. Застосували два режими поляризації: напругою 10 і 40 V. За жорсткішого режиму вже через 18 h на поверхні зразка появилася тріщина (рис. 1b), тоді як за меншої напруги подібну картину спостерігали тільки після 36 days, що пов'язано з нижчою інтенсивністю корозії арматури. На це вказує і реєстрація струму при швидкій корозії упродовж експерименту (рис. 2). Густина струму на зразку за більшої напруги суттєво вища. Інтегруванням кривих отримали кількість електрики q , витраченої на електрохімічну реакцію розчинення заліза, а звідси за законом Фарадея розрахували його масу m (див. таблицю). Виявили, що за інтенсивнішої корозії необхідна менша кількість її продуктів, щоб створити розклинювальний тиск на межі поділу стрижень–бетон, що призводить до заро-

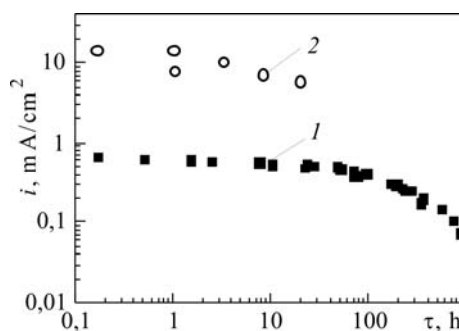


Рис. 2. Залежність густини анодного струму в часі за напруги 10 (1) і 40 V (2).

Fig. 2. Time dependence of anodic current density at the voltage of 10 (1) and 40 V (2).

ривності тиску на межі поділу стрижень–бетон, що призводить до заро-

дження тріщини в бетоні. Вважають, що не усі продукти корозії створюють такий тиск на бетон. Деяка їх частина заповнює пористість і пори навколо арматури, а деякі мігрують у товщу бетону крізь пори [7]. Про пористий прошарок цементного тіста на межі контакту арматура–бетон відомо давно [8], його формування зумовлено підтіканням води під частинки крупного наповнювача та арматури [9]. Очевидно, що за нижчої швидкості корозії її продукти мають достатньо часу, щоб проникнути вглиб бетону, тому критичний тиск, необхідний для тріщиноутворення, досягається за більшої їх кількості. Крім того, не можна не враховувати і вплив повзучості бетону, яка також часом залежна та сприяє релаксації в ньому напружень [10]. Оскільки за реальних умов експлуатації швидкість корозії арматури висока порівняно з лабораторними випробами, тому експерименти за нижчої різниці потенціалів, ймовірно, адекватніше відображатимуть процеси в залізобетоні.

Параметри експерименту

Зразок	V, V	τ, h	q, C	$m (Fe), g$
1	10	864	659	0,19
2	40	18	497	0,14

За цією методикою, по-перше, можна визначити корозійну тривкість самої арматури за певної технології виготовлення залізобетону, а також агресивність робочих середовищ та ефективність протикорозійного захисту, зокрема, інгібування, і, по-друге, оцінювати механічну опірність бетону розтріскуванню та прогнозувати час до руйнування за його механічними властивостями.

РЕЗЮМЕ. Описаны метод и средства лабораторных исследований целостности железобетонных образцов, нарушенной ускоренной коррозией арматуры. Образец со стальной арматурой в центре, к которому приложен анодный потенциал, выдерживали в коррозионной среде. Вследствие поляризации ускоряется коррозия металла, продукты которой растрескивают бетон изнутри, из-за чего образец через некоторое время растрескивается. Методика предусматривает регистрацию во время эксперимента коррозионного тока, по которому можно оценить интенсивность коррозии.

SUMMARY. The laboratory method and facilities for investigations of reinforced concrete specimens integrity disturbed by accelerated reinforcement corrosion are described. A cylindrical concrete specimen with rebar oriented endwise is kept in corrosion environment under anodic potential. Rebar corrosion rate increases due to polarization, and its products wedge the concrete specimen from the inside, as a result the specimen cracks. The method provides registration of corrosion current during the experiment, which allows the estimation of corrosion process intensity.

1. Ahmad S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review // Cement and concrete structures. – 2003. – 25, № 4–5. – P. 459–471.
2. Magnitude of the rebar corrosion problems // <http://corrosion-doctors.org/Concrete/Problem.htm>.
3. Song H.-V. and Saraswathy V. Corrosion monitoring of reinforced concrete structures – a review // Int. J. Electrochem. Sci. – 2007. – № 2. – P. 1–28.
4. Інгібіторний захист сталеві арматури пошкодженого тріщинами залізобетону / В. І. Похмурський, В. І. Маруха, І.М. Зінь та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – 46, № 5. – С. 5–14.
(Pokhmurs'kyi V. I., Marukha V. I., Zin' I. M. et al. Inhibitor protection of the steel reinforcement of armored concrete damaged by cracks // Mat. Sci. – 2011. – 46, № 5. – P. 573–582.)
5. Yuzer N., Akoz F., and Kabay N. Prediction of time to crack initiation in reinforced concrete exposed to chloride // Construction and building materials. – 2008. – 22. – P. 1100–1107.
6. Benea L., Wenger F., and Galland J. Corrosion study of concrete reinforcing steel by electrochemical methods // Proc. 14th Int. Corr. Congress, Cape Town, South Africa, 1999. – 6 p.
7. Weyers R. Service life model for concrete structures in chloride laden environments // Mat. J. – 1998. – 95, № 4. – P. 445–453.
8. Al Khalaf M. N. and Page C. L. Steel/mortar interfaces: microstructural features and mode of failure // Cement and Concrete Research. – 1979. – 9. – P. 197–207.
9. Park R. and Paulay T. Reinforced concrete structures. – New York: John Willey and Sons, 1975. – 769 p.
10. Smadi M. M., Slate F. O., and Nilson A. H. Shrinkage and creep of high-, medium-, and low-strength concretes // Mat. J. – 1987. – 84, № 3. – P. 224–234.

Одержано 08.02.2013