

руйнування поверхні контакту бетону з корозійним середовищем. В місці руйнування бетону стиснутої зони корозія бетону всередині балки не виявлена.

Висновки

Дослідженнями встановлено, що внаслідок дії сірчаної кислоти відбулась інтенсивна корозія залізобетонних зразків. Виконані експериментальні дослідження дали змогу отримати зміну параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних балок при одночасній дії корозійного середовища та зовнішнього силового навантаження на рівні експлуатаційних величин. Встановлено, що історія попереднього завантаження балки не вплинула на картину руйнування та напружено-деформованого стану руйнування при наступній одночасній дії агресивного середовища та силового навантаження. Встановлено, що руйнування при постійній величині силового навантаження відбулося внаслідок досягнення арматурою межі текучості з наступним у часі роздробленням бетону стиснутої зони. Аналіз отриманих результатів та виконані розрахунки показали, що причиною руйнування було зменшення розмірів поперечного перерізу балки, яке відбулося внаслідок корозії бетону. Отримані результати дозволять розробити методику оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при одночасній дії корозійного середовища та силового навантаження.

1. Бліхарський З.Я. Корозія бетонних і залізобетонних конструкцій при дії агресивного середовища та силового навантаження // *Будівельні конструкції: Зб. наук. пр.* – К., 2001. – Вип. 54. – С. 126–131. 2. Бліхарський З.Я. Корозія конструкцій будинків з гальванічним виробництвом // *Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб.* – К., 1999. – С. 195–198. 3. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М. Модры С., Шисиль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М., 1990. – 316 с. 4. Москвин В.М. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций. – М., 1980. – 536 с.

УДК 624.023

І.І. Глагола, Й.Й. Лучко*, С.Є. Ковчик*

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра БКМ,

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ДО ПИТАННЯ КОРОЗІЇ БЕТОНУ І ЗАЛІЗОБЕТОНУ ТА ЇХ ЗАХИСТУ

© Глагола І.І., Лучко Й.Й., Ковчик С.Є., 2002

Наведено механізми протікання корозії бетону (карбонізація) і арматури. Запропоновані матеріали для захисту їх від корозії.

Використання порівняно нового матеріалу, такого як бетон, висуває низку проблем, які з'ясовуються тільки при тривалій експлуатації. Споруда вважається довговічною, якщо вона зберігає свою експлуатаційну здатність протягом розрахункового терміну служби.

Наявність достатньо значної кількості будинків та споруд, будівництво яких було зупинено в 80-х роках з причин припинення фінансування, ставить тепер на перший план проблему дослідження залишкового ресурсу несучої здатності їх конструкцій, які піддавались довготривалій дії шкідливих атмосферних чинників. Серед останніх найбільш

суттєвими, на наш погляд, є просочування вологи через щілини та порожнини замопльованих швів та вузлів, забрудненої агресивними домішками з атмосфери промислових районів і міського середовища. Циклічне замерзання вологи, якою просочувались конструкції, є також шкідливим фактором, який знижує їх міцність.

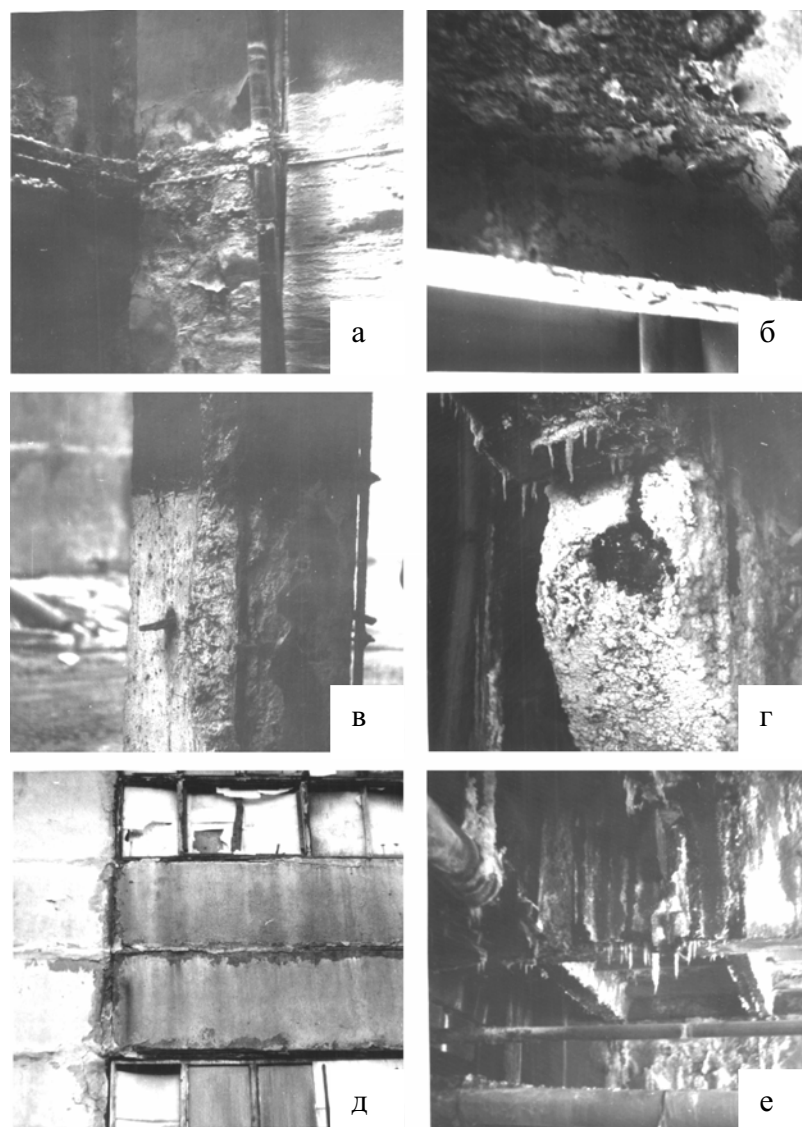


Рис. 1. Характерні типи корозійних пошкоджень елементів залізобетонних конструкцій у Калуському концерні "Хлорвініл"

Довговічність бетону залежить від двох основних показників – непроникності та рівня карбонізації. Непроникність – це здатність бетону протистояти проникненню води крізь його товщу; карбонізація – це зміни в хімічній структурі бетону, які призводять до активізації корозії арматури. Крім цього, бетонні споруди ніколи не складаються тільки з бетону. В них, залежно від типу конструкції, завжди містяться інші матеріали, а саме: арматура, герметик стиків, металеві закладні деталі та інше. Деякі з них менш довговічні, ніж бетон і мають тенденції руйнуватися внаслідок корозії. Окремі частини споруди можуть піддаватися фізичному впливу: стиранню наносами та льодом опор і фундаментів, навалу суден на опори, наїзду автотранспорту на конструкції шляхопроводів.

Як приклад наведемо пошкодження будівельних залізобетонних конструкцій на Калуському концерні “Хлорвініл” при різких агресивних середовищах (рис. 1). Зокрема на рис 1, *а* зображено руйнування лакофарбового покриття на залізобетонних плитах в наслідок дії вологих газів HCl і Cl_2 . На рис. 1, *б* показано результат пошкодження залізобетонних плит в результаті дії сухого хлору. Рис. 1, *в, г* характеризує руйнування опорів трубопроводів внаслідок дії сухого хлору. На рис. 1, *д* показано руйнування панелей стін з лакофарбовим захисним покриттям в цеху виробництва чотирихлористого кальцію та від дії солевої корозії (рис. 1, *е*).

В структурі бетону завжди спостерігається значна кількість дрібних пор, які, об’єднуючись, утворюють канали і служать транспортними артеріями для оточуючого робочого середовища, яке в остаточному результаті знаходить арматуру і починається корозійний процес. Утворення порожнин в бетоні зумовлене зміною кількості вільної води. Справа в тому, що для отримання пластичної суміші, яка б добре заповнювала форму, в бетон додають більше води, ніж потрібно для гідrataції цементу. Під час твердіння бетону частина цієї води залишається у вільному стані, інша – утворює замкнені порожнини. При твердінні цемент втрачає частину надлишкової вологи. Процес іде нерівномірно: відкриті частини конструкції інтенсивно віддають вологу, а центральне ядро знаходиться у вологому стані довготривалий період. У результаті виникають значні поверхневі напруги, які викликають стиск у ядрі та розтяг біля поверхні елемента. Як наслідок цих різнознакових напруг в бетоні появляються мікроскопічні тріщини, що об’єднують між собою порожнини, перетворюючи бетон на матеріал, крізь який може просякати вода.

Однією із складових частин бетону є гідроокис кальцію Ca(OH) . Під час дії на конструкцію вуглекислого газу CO_2 гідроокис кальцію перетворюється у крабонат кальцію, який погано розчиняється у воді і, утворюючись, прагне герметично закрити пори на поверхні бетону. Кислотність або лужність характеризує показник рН. Якщо $\text{pH} < 7$ – кисле середовище, а якщо $\text{pH} > 7$ – лужне; $\text{pH} = 7$ – нейтральне. Бетон є лужним матеріалом. Дані лужності бетону наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Дані лужності бетону

Значення рН	Стадії існування бетону
12...13	Свіжоукладений бетон
10,5–11,5	Бетон після твердіння
9 та менше	Початок карбонізації бетону та корозії арматури

Карбонізації зменшує значення рН до 9 та призводить до початку корозії арматури, тому, що втрачається лужний характер захисного шару. Лужний характер бетону є основним фактором захисту арматури від корозії.

В результаті корозії арматури її об’єм збільшується і розриває захисний шар. Процес перебігає у прихованій формі і призводить до раптової втрати несучої здатності. Аналіз такого явища показує, що арматура або повністю прокородована (при малих діаметрах), або прокородувала частково при більших діаметрах.

Дуже важко з’ясувати час повної карбонізації захисного шару. Проте існують дані, що для бетону низької якості глибина карбонізації може досягати 25 мм за 10 років [1].

В табл. 2 наведено час карбонізації захисного шару залежно від його товщини та водоцементного відношення (В/Ц) [2]. В цій таблиці дані стосуються існуючих типових

проектів, де захисний шар дорівнював 12–14 мм В/Ц = 0,5–0,6 кг/м³. Зауважимо, що вітчизняні норми рекомендують занижену мінімальну товщину захисного шару, тоді як іноземні для аналогічних умов рекомендують товщину в 1,5–2 рази більшу.

Таблиця 2

**Час карбонізації захисного шару залежно від його товщини
та водоцементного відношення**

Витрати цементу, кг/м ³	Час карбонізації (роки) захисного шару залежно від його товщини					
	14 мм	12 мм	14 мм	12 мм	14 мм	12 мм
1	2	3	4	5	6	7
300	59	43	35	26	16	12
350	69	51	42	31	19	14
400	84	61	51	37	23	17
450	99	72	59	43	27	20

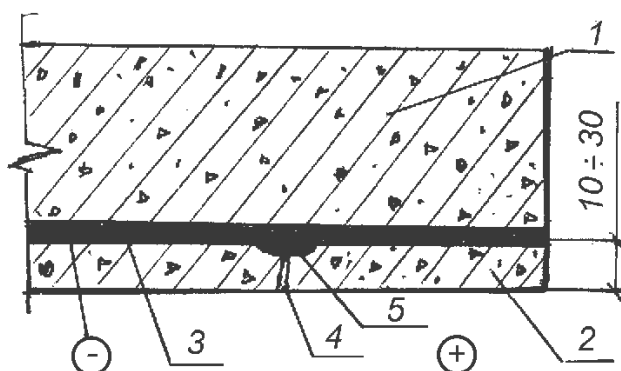
Примітка. У графах 2 і 3 наведено час карбонізації бетону з В/Ц = 0,5; у графах 4 та 5 – бетону з В/Ц – 0,55; у графах 6 та 7 – бетону з В/Ц = 0,6.

Шляхами зниження карбонізації є:

- збільшення кількості цементу;
- зменшення водоцементного відношення;
- збільшення захисного шару.

В залізобетонних конструкціях найчастіше маємо справу з електрохімічною корозією. В умовах експлуатації в більшості конструкцій між двома металами, які перебувають у контакті, виникає електрична взаємодія. Один метал стає анодом, інший – катодом. У багатьох випадках маловуглецева сталь є анодом відносно низьколегованої. При цьому зауважимо, що сама маловуглецева сталь має неоднорідну структуру, що може бути фактором, який сприяє корозії.

Стальну арматуру захищає від корозії захисний шар, який повинен мати високолужне середовище, що гарантується при рН в діапазоні 10,5–11,5. Якщо бетон карбонізує, тобто величина рН зменшується до 9, починається корозія сталі. Другою причиною виникнення корозії є тріщини. Руйнування захисного шару та появи в ньому тріщин призводить до доступу кисню в конструкцію і початку електротехнічної корозії арматури (рис. 2).



*Рис. 2. Початок корозії арматури:
1 – балка; 2 – захисний шар; 3 – арматура;
4 – тріщина; 5 – ділянка корозії*

Швидкість корозії залежить від факторів, що пов'язані з кількістю кисню та проникністю бетону:

- від контакту між сталлю та іонопроникністю водною фазою бетону, яка залежить від складу та кількості води в бетоні;
- наявності анодних та катодних ділянок на металі, що спостерігається при оголенні будь-якої частини арматури;
- присутності кисню, який сприяє реакціям.

Потенціально причиною корозії може бути наявність хлоридів при пористому бетоні. Корозія арматури призводить до зменшення площі її перерізу і, як результат, – падіння несучої здатності елемента конструкції, споруди. Методи боротьби з корозією розглядаються в роботах [6, 9].

Захист залізобетону від корозії

Захист залізобетонних конструкцій від корозії здійснюється захисними покриттями або за рахунок відводу струмів, які виникають в арматурі внаслідок корозії [3–8]. Підвищення корозійної стійкості поверхневого шару конструкції досягається такими способами: гідрофобізацією, силікатизацією, торкретуванням та покриттям хлорвініловими емальями. Гідрофобізація – це надання поверхневого шару здатності не зволожуватися. Для цього використовують такі матеріали:

- водна емульсія ГКЖ-94, що є 50 %-м розчином кремній органічної рідини;
- розчин ГКЖ-94 в уайт-спіриті та гасі.

Такі матеріали наносять за допомогою щітки або пульверизатора на суху захищену поверхню із розрахунку на 1 м² поверхні 250–300 г емульсії в один шар.

Силікатизація поверхневого шару полягає у нанесенні на конструкцію рідкого скла, а отже, – розчину хлористого кальцію. При цьому відбувається хімічна реакція, внаслідок якої виникає силікат кальцію, що заповнює пори і підвищує стійкість конструкції, та сіль, яка змивається водою.

Покриття перхлорвініловими фарбами, як правило, – багат шарові: два шари ґрунтовки та 1–3 покривних. Для першого ґрунтувального шару використовують ґрунтовку ХС-010 або лак ХСЛ. Для другого – ті самі матеріали, але з домішкою цементу у співвідношенні 1:1. Поліхлорвінілові емалі використовують як покривні матеріали.

Підвищення щільності та міцності матеріалу досягають нагнітанням розчинів цементу – цементация рідкого скла – силікатизація. Внутрішня силікатизація складається з розчину рідкого скла, яке нагнітають у пробурені в конструкції отвори. Потім в отвори вводять розчин хлористого кальцію та гель кремнезему, що не розчиняється у воді.

Для запобігання корозії арматури застосовують катодний захист. Його виконують за допомогою постійного струму, який передається через електрод, занурений у ґрунт (анодне заземлення). Негативний електрод (катод) постійного струму приєднується до арматури, що підлягає захисту, а позитивний заземлюється. При такому захисті руйнується позитивний електрод. Як електрод (анод) використовують відходи – шматок рейок, труб тощо. При цьому корозія не припиняється, а лише переноситься на додатковий елемент, який з часом може бути замінений.

Матеріали для захисту

Проблема захисту залізобетону від руйнування у багатьох навіть розвинутих країнах, нині є важливішою, ніж будівництво нових об'єктів. Останнім часом багато всесвітньо відомих фірм, які давно займаються вирішенням цієї проблеми, вийшли на український ринок. Асортимент ремонтних матеріалів дуже великий.

Наведемо загальні принципи, якими слід керуватися, вибираючи матеріали для ремонту пошкоджених елементів [9], а саме:

- основні параметри міцності ремонтних шарів;
- швидкість набирання міцності з часом;
- величина адгезії в умовах відриву та стискання;
- пружність при розтяганні;
- коефіцієнт температурного розширення;
- усадка та повзучість бетону;
- коефіцієнт Пуассона.

Для прикладу наведемо ремонтні матеріали відомих фірм SCHOMBURG та SIKА. Загальна схема відновлюваного ремонту зображена на рис. 3.

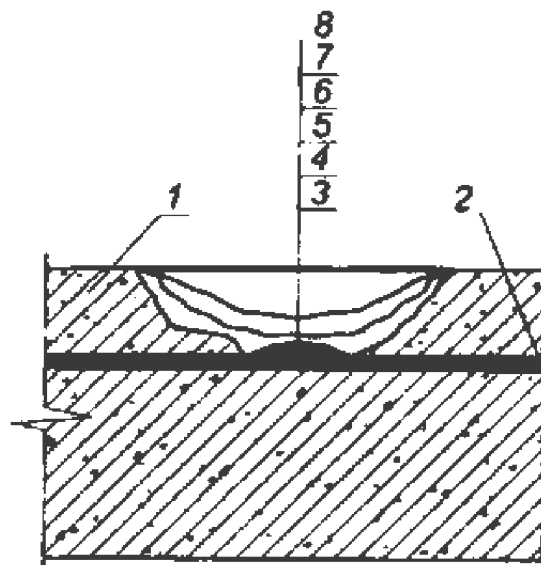


Рис. 3. Загальна схема відновлюваного ремонту:

- 1 – бетон захисного шару; 2 – непошкоджена арматура; 3 – кородована арматура;
 4 – антикорозійний захист; 5 – зв'язуючий шар; 6 – ремонтний розчин;
 7 – ремонтна шпаклівка; 8 – захисний матеріал

Залежно від реальних умов ремонту конструкцій застосування матеріалів є індивідуальним. Зв'язуючий шар ASOCRET – P/HB для захисту залізобетону від корозії – модифікований полімерами дрібнозернистий цементний розчин наноситься рівномірно пензлем або щіткою на поверхню, покриту матеріалом ASOCRET – P/FM30 – дрібнозернистий полімер – цементний розчин для заповнення вибоїн та сколів у бетоні; наноситься відразу після зв'язуючого шару завтовшки 5–40 мм.

Ремонтна шпаклівка – ASOCRET – OS/BF – фарба на основі стиролового акрилата. Захисний матеріал наноситься через 5 діб після ремонтної шпаклівки. Протягом цього часу поверхню треба оберігати від швидкого висихання.

Фірма SIKA пропонує для захисту залізобетонних конструкцій від корозії добірку матеріалів SIKA Mono Top 600. До їх складу входять такі матеріали:

- SIKA Mono Top 601 – розчин для антикорозійного захисту арматури на основі цементу з добавками кремнеземного пилу;
- SIKA Mono Top 602 – розчин для клейового шару на основі цементу, модифікованого полімером;
- SIKA Mono Top 603, 604, 608 – розчини для заповнення раковин у бетоні – на основі цементу та модифікованих полімерів;
- SIKA Mono Top 620 – розчин вирівнювального шару – на основі полімерів з кремнеземним пилом.

Отже, для широкого застосування таких матеріалів необхідно провести дослідження їх властивостей на різних об'єктах з урахуванням кліматичних умов та культури виробництва. Вирішення проблем, які полягають у ремонті пошкоджень бетонних і залізобетонних конструкцій (споруд), особливо важливим є індивідуальний підхід до встановлення причин руйнування та методів відновлення їх експлуатаційних властивостей.

1. Перкинс Ф. Железобетонные сооружения, ремонт, гидроизоляция и защита. – М., 1980. – 256 с. 2. Виноградский Д. Ю., Руденко Ю. Д., Шкуратовский А. А. Эксплуатация и долговечность мостов. – К., 1985. – 104 с. 3. Артамонов В.С. Защита железобетона от коррозии. – М., 1971. – 143 с. 4. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. – Харьков, 1989. – 166 с. 5. Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. – Л., 1986. – 257 с. 6. Лучко Й.Й., Глагола І.І., Назаревич Б.Л. Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд. – Львів, 1999. – 229 с. 7. Мельников Ю.Л., Захаров Л.В. Стыки элементов сборных железобетонных мостовых конструкций. – М., 1971. – 151 с. 8. Чехов А.П., Глуценко В.М. Захист будівельних конструкцій від корозії. – К., 1994. – 224 с. 9. Експлуатація і реконструкція мостів / Н.Є. Стохахова, О.В. Голуб'єв, П.М. Ковальов і ін.; За ред. А.Г. Лантуха-Ляценко. – УТА, 2000. – 384 с.