

З.Я. Бліхарський, Р.Є. Хміль, Р.В. Вашкевич, Я.З. Бліхарський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З МІСЦЕВИМИ КОРОЗІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ

© Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Вашкевич Р.В., Бліхарський Я.З., 2011

Досліджено корозію залізобетонних конструкцій з одночасним ефектом місцевого впливу сірчаної кислоти і силового вантаження. Таке кислотне агресивне середовище характерне для більшості промислових будівель. Наведено експериментальні результати несучої здатності, напружено-деформованого стану залізобетонних зразків, який залежить від ефекту впливу локального агресивного середовища і часу. Також наведено методіку дослідження зразків на одночасний вплив локального агресивного середовища і навантаження.

Ключові слова: конструкції, агресивне середовище, корозія, локальний вплив, сумісна дія, методіка досліджень.

The paper is devoted to the investigation of the reinforced concrete corrosion procedure with the simultaneous effect of the local impact of the sulfuric acid and power loading. There is the aggressive acid environment in the most industrial buildings. The article presents the experimental results of the load capacity, stress-strain state of the reinforced concrete specimens, which depends on the effect of the local aggressive environments and time.

The methodic of investigation on co-influences of the local aggressive environment and the power effect is also presents.

Key words: constructions, aggressive environment, corrosion, local impact, co-influences, methodic of investigation.

Вступ. Реальний стан справ у галузі будівництва висуває перед спеціалістами-будівельниками нові завдання, які зумовлені реаліями сучасного виробництва та економіки, загалом. Так, зокрема, поряд з новим капітальним будівництвом виконуються роботи з добудови, реконструкції та ремонту наявних будівельних конструкцій та споруд.

Під час проведення обстеження та аналізу стану споруди, а також під час виконання конкретних завдань реконструкції неминуче виникають питання, пов'язані з впливом на споруду навколишнього середовища [1, 2]. Під впливом цих та деяких інших чинників відбувається корозія, наслідком чого є зменшення робочого перерізу елементів, зменшення захисного шару, а надалі й зменшення міцності та експлуатаційної придатності. Корозія може відбуватися як у звичайних, природних умовах, так і в умовах, створених внаслідок господарської діяльності людини, особливо в умовах виробничих підприємств, на яких виготовляються чи зберігаються хімічно агресивні речовини. Такі агресивні середовища здатні в короткі терміни пошкоджувати конструкції з непередбачуваними наслідками. Доволі часто дія агресивного середовища може мати локальний характер, найнебезпечнішим з яких є пошкодження ділянок з максимальним напружено-деформативним станом [3].

Зробивши загальний аналіз наукових досліджень та реального стану будівельної галузі останнього часу, можемо зробити висновок, що, переважно, як будівельний матеріал застосовувався бетон та залізобетон, тому дослідження корозії цього матеріалу має важливе практичне значення. Особливо цікавим є вплив на бетонні та залізобетонні елементи конструкцій сильноагресивних кислотних середовищ, які здатні в короткі терміни спричинити руйнування конструкцій [5, 6]. Проходження кислотної корозії, поряд із зменшенням міцності перерізу,

приводить до значного наростання деформацій, що може погіршувати умови експлуатації обладнання, а в окремих випадках навіть унеможливити роботу в цих приміщеннях. Нині дуже мало проведено досліджень напружено-деформованого стану конструкцій, а саме, дослідженню впливу сумісної дії силового навантаження і агресивного середовища [4], локального зокрема. А, оскільки, без оцінювання деформованого стану споруди не можна отримати повної інформації про її стан, то дослідження в цьому напрямку становлять значний практичний інтерес.

Мета досліджень. Основна мета цієї роботи, яка проводиться в лабораторії корозійних досліджень Національного університету „Львівська політехніка”, є визначення експериментально та теоретично параметрів міцності та деформативності залізобетонних конструкцій у разі дії навантаження і локальної дії агресивного середовища.

Матеріали і конструкції дослідних зразків. Для реалізації поставленої мети роботи було виготовлено серію дослідних залізобетонних балок розмірами 2100×200×100 мм. Склад бетону Ц:П:Щ=1:0,99:2,24 при В/Ц=0,30. Пісок кварцовий без домішок з модулем крупності $M_k=2.04$, щебінь гранітний фракцій 5–10 мм – 45 %, 10–20 мм – 55 %. Призмova міцність на момент випробовування становила 48,7 МПа. Залізобетонні балки армувались в розтягнутій зоні 2Ø14 А-III, в стиснутій 2 Ø5 Вр-I. Поперечна арматура Ø5 Вр-I з кроком 75–100 мм. Посередині прогону в верхній зоні балки забетонувались два металеві стержні на відстані 200 мм один від одного з пристосуванням для кріплення приладів і замірювання деформацій бетону. Зразки бетонувались в заводських умовах на віброплощадці поточного виробництва. Набирання міцності відбувалось при t° зовнішнього середовища 20 °С за постійного зволоження. Звільнення бетонних зразків від опалубки відбувалося на 3–4 день після забетонування.

Експериментальні дослідження. Методика випробовування. Для дослідження впливу на напружено-деформований стан у разі локальної дії агресивного середовища було випробовувано балку, не пошкоджену корозією звичайним прикладанням короткотривалого навантаження і дві балки при одночасній довготривалій локальній дії агресивного середовища і навантаження.

Для визначення характеристик напружено-деформованого стану непошкоджених агресивним середовищем конструкцій, а також для визначення максимального зусилля, яке сприймають експериментальні балки, спочатку було проведено випробовування однієї балки на згин короткотривалим навантаженням до руйнування.

Експериментальні випробовування балок на короткотривалі і довготривалі навантаження виконувались на спеціальних стендах (рис. 1). Силове навантаження прикладалося у вигляді двох зосереджених сил у третинах прольоту, який становив 1.9 м, для створення зони чистого згину.



а



б

Рис. 1. Стенд для експериментального випробовування балок:
а – на короткотривалі навантаження; б – на сумісну довготривалу дію
локального агресивного середовища і силового навантаження

Для дослідження впливу локального корозійного середовища при одночасній дії силового навантаження на балках в зоні максимального згинального моменту закріплювалися спеціально запроєктовані ванни з внутрішнім антикорозійним покриттям. В якості корозійного середовища використовувався 10 % розчин сірчаної кислоти. Концентрацію кислоти постійно контролювали. При її зміні більше ніж на 1 % виконувалась повна заміна розчину кислоти. Під час зміни кислоти з ванни видалялись продукти корозії матеріалів балки. Для замірювання деформацій на верхній стиснутій грані балки використовувалися вбетоновані металеві стержні, на яких закріплювався мікроіндикатор з базою замірювання 200 мм. Мікроіндикатори не закріплювалися на розтягнутій робочій арматурі, так як з проведених попередніх досліджень згинальних елементів в агресивному середовищі було встановлено, що єдино можливий спосіб замірювання дає лише якісну картину наростання деформацій, не даючи кількісних характеристик [7]. Крім того, за допомогою індикаторів, закріплених на спеціальних рамках, замірювалися прогини балок.

При довготривалих випробовуваннях дві балки-близнюки (БД-1.2-0.7к, БД-1.3-0.7к) завантажувалися до рівня 0,7 від руйнівного, величина якого визначалася при короткотривалому випробуванні не пошкодженої корозією балки. Цей рівень навантаження перебуває в межах експлуатаційних навантажень даних балок. При цьому в балках в розтягнутій зоні були тріщини максимальною шириною 0.1 мм. Незмінність тривалого навантаження забезпечувалась наявністю на стенді випробовування пружинного пристрою. За досягнення балками проектного рівня навантаження на них закріплювали спеціальні ванни для створення корозійного середовища.

Результати дослідження. Експериментальні величини згинальних моментів для не пошкоджених корозією балок, які відповідають граничному стану за текучістю арматури становили $M_u^{exp} = 23,49 \text{ кН} \times \text{м}$. Розрахункова величина граничного моменту для балок згідно з нормами [8] дорівнювала $M_u^{norm} = 21,97 \text{ кН} \times \text{м}$.

Під час визначення розрахункової несучої здатності в формули підставляли дійсні величини призмової міцності бетону R_b , а в якості розрахункового опору арматури прийнято фактичні значення σ_y границі текучості арматури. Ці величини були встановлені безпосереднім випробуванням експериментальних зразків.

Порівняння величин експериментальних і розрахункових граничних моментів показало задовільну збіжність результатів для балок, не пошкоджених корозією $M_u^{exp} / M_u^{norm} = 1.069$. Відхилення становить +6,9 % в бік перевищення експериментальних величин від теоретичних. Це підтверджує те, що методика СНиП 2.03.01-84* з необхідною точністю визначає граничний згинальний момент балок, не пошкоджених корозією.

Під час випробувань балок, пошкоджених корозією, при одночасній дії локального агресивного середовища і навантаження відбувалося зменшення перерізу, наростання деформацій бетону і прогинів балок. Протягом всього терміну випробувань в агресивному середовищі сірчаної кислоти постійно виділявся осад білого кольору – гіпс. Разом з гіпсом в осад випадали складники бетону – піщинки кварцового піску та гранітний щебінь. Розміри поперечного перерізу бетонних зразків постійно зменшувались. Їх фіксували прямим замірюванням штангенциркулем по цементному каменю з точністю замірів 0,05 мм. Заміряли проводили по довжині балки не менше ніж в 10-ти характерних місцях. Величина розмірів поперечного перерізу зменшувалась протягом часу випробувань майже за лінійною залежністю.

За умовну характеристику балок, що перебували під впливом дії локального агресивного середовища і навантаження, був прийнятий час, за який експериментальний зразок-балка досягала граничного стану – втрати несучої здатності за текучістю арматури. Момент часу, коли напруження в арматурі досягали границі текучості визначався за графіком зміни прогинів від часу. Наближення граничного стану супроводжується різкішим наростанням прогинів. Графіки прогинів у проміжку часу, за який напруження в арматурі наближаються до текучості, мають переломи. Оскільки цей процес не миттєвий, а займає деякий час і графік прогинів має вигляд ламаної лінії, то умовну точку перелому визначали апроксимацією ламаної лінії до двох лінійних ділянок, точка перетину

яких і відповідає значенню часу, коли в балці досягається текучість арматури і відповідно момент, що діє на балку, стає граничним моментом – M_u^{exp} .

Початковий відсоток армування балок під час виготовлення становив $\mu \approx 1,5\%$ ($2\varnothing 14$ мм). Під час випробування змінювався відсоток армування усіх балок-близнюків. Це відбувалося за рахунок корозії поперечного перерізу бетону. Арматура при рівні навантаження $0,7M_u^{exp}$ не кородувала. У разі досягнення експериментальними зразками граничного стану відсоток армування становив ($2\varnothing 14$) – 2,6–3,0%. Досягнення граничного стану за текучістю арматури балками відбулося на 51 і 54 добу.

Експериментальні величини згинальних моментів, які відповідають граничному стану за текучістю арматури, а також їхні порівняння наведені в таблиці. Також в таблиці наведено і розрахункові величини згинальних моментів згідно з СНиП 2.03.03-84*. Визначаючи розрахункову несучу здатність у формули підставляли дійсні залишкові величини перерізу балки, арматури, призмову міцність бетону R_b , і в якості розрахункового опору арматури фактичне значення σ_y границі текучості арматури.

Експериментальні величини згинальних моментів, які відповідають граничному стану за текучістю арматури

Шифр балок	Геометричні розміри перерізу				Згинальний момент, кН·м			$\frac{M_u^{exp}}{M_u^{norm}}$	$\frac{M_u^{exp}}{M_u^{norm1}}$	Час, діб
	не пошкоджений		пошкоджений		експеримент	розрахунок за чинними нормами				
	бетон $b \times h$, мм	арматура, мм	бетон $b \times h$, мм	арматура, мм		пошкоджений	пошкоджений			
					M_u^{exp}					
БД-1.2-0.7к	99,9×200,5	∅14	67,8×168,8	∅14	16,63	18,62	22,51	0.893	0.739	51
БД-1.3-0.7к	100×203,1	∅14	65,7×170,7	∅14	16,22	18,27	22,88	0.888	0.709	54

Для балок, які перебували під одночасним впливом навантаження та агресивного середовища, розбіжність між теоретичними і експериментальними величинами становила -11,2...-10,7% у бік заниження експериментальних величин від експериментальних. Тобто, методика норм [8] не дозволяє з необхідною точністю визначати міцність нормальних перерізів балок, з локальними пошкодженнями корозією за одночасного впливу на них агресивного середовища та навантаження – поєднання, яке існує в реальних конструкціях.

Для дослідження впливу агресивного середовища на деформативність балки-близнюки випробовували на сумісну дію навантаження і агресивного середовища.

Згідно з прийнятою методикою випробувань балок, що перебували під впливом агресивного середовища, граничні величини деформацій бетону і прогинів визначали в момент часу, коли відбувалася втрата несучої здатності балок при текучості арматури. Тобто, коли напруження в арматурі досягали граничної величини – межі текучості s_y . Основними характеристиками деформативності балок, що перебували під впливом агресивного середовища (сірчаної кислоти H_2SO_4), були деформації верхньої грані стиснутої зони бетону і прогини балок.

Протягом періоду між навантаженням балок до проектного рівня і початком впливу на них агресивного середовища, відбувається прирощення деформацій стиснутого бетону (~5...20×10⁻⁵) і прогинів (~0,12...0,48 мм) залежно від рівня навантаження балок. Це пояснюється проявом пластичних деформацій бетону і релаксацією арматури, які присутні в перші моменти після навантаження конструкцій. Далі деформації і прогини балок стабілізуються.

Експериментальні зразки були навантажені до рівня $0,7 M_u^{exp}$.

Деформації бетону в момент втрати несучої здатності за текучості арматури на 51 і 54 добу становили 236×10^{-5} , 256×10^{-5} для балок БД-1.2-0.7к і БД-1.3-0.7к відповідно. Прогини балок становили – 11,53 мм, 11,41 мм відповідно. Графіки зміни деформацій бетону і прогинів балок показано на рис. 2.

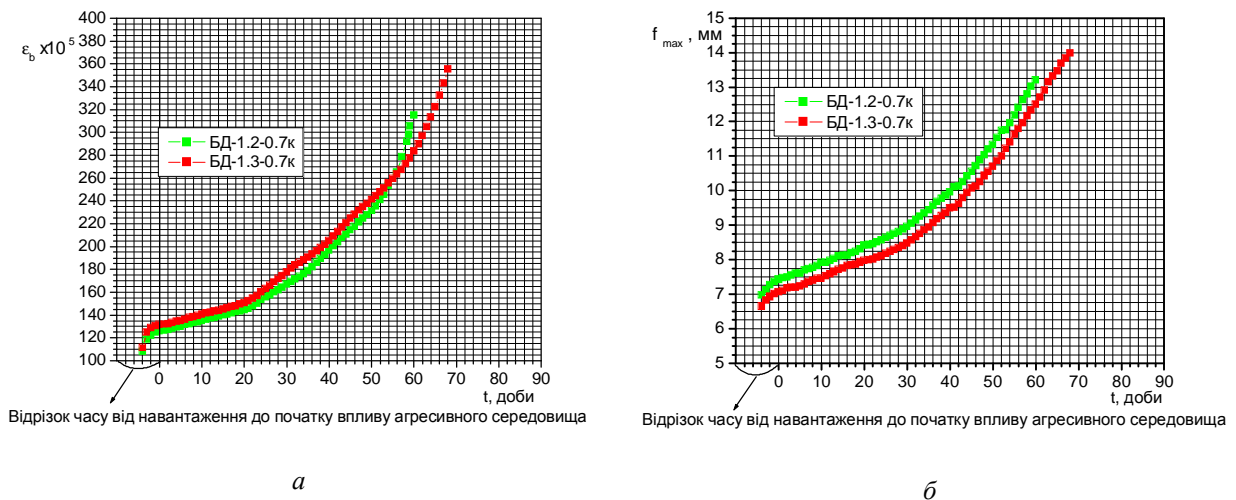


Рис. 2. Деформації експериментальних балок у середовищі H_2SO_4 залежно від виду бетону:
а – деформації бетону; б – прогини

У перші моменти після навантаження експериментальних балок до цього рівня спостерігався приріст деформацій бетону ($\sim 20 \times 10^{-5}$) і прогинів (0,37 мм), що пояснюється швидко наростаючою повзучістю бетону і релаксацією арматури. На момент припинення впливу агресивного середовища деформації бетону становили 225×10^{-5} , 229×10^{-5} для балок БДп-1.2-0.7к та БДп-1.3-0.7к відповідно. Прогини балок становили – 12,56 мм, 12,86 мм відповідно.

Експериментальні зразки балок після руйнування при короткочасному (БЗ-1.1) і тривалому випробуваннях (БД-1.2-0.7к і БД-1.3-0.7к) подано на рис. 3.

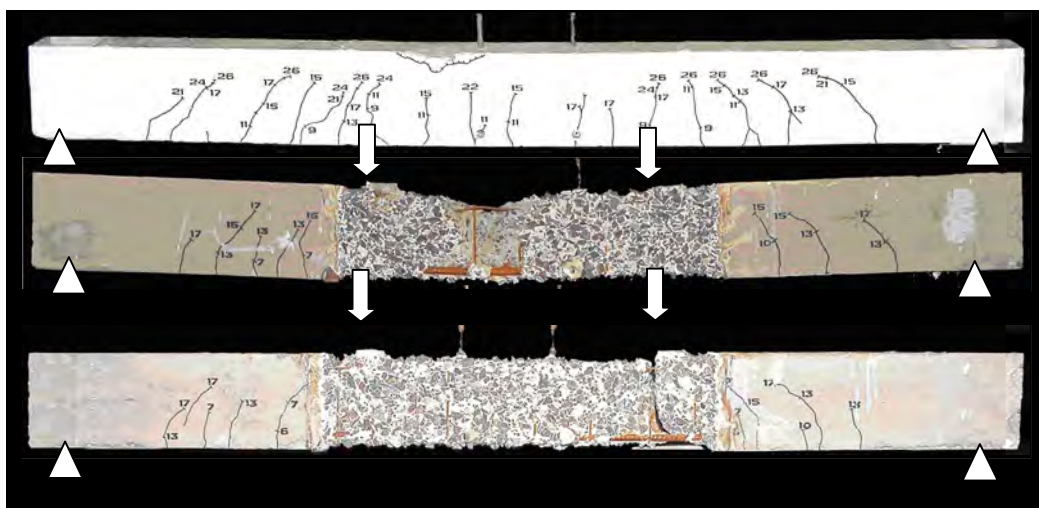


Рис. 3. Характер руйнування експериментальних балок

Висновки. Експериментальними дослідженнями встановлено, що внаслідок дії сірчаної кислоти відбулась корозія залізобетонних балок. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень показує, що руйнування залізобетонних балок в середовищі сірчаної кислоти відбулось внаслідок корозії бетону. Корозія бетону була спричинена хімічними реакціями кислоти зі

складниками цементного каменю, які містять кальцій. Корозія відбувалась поступово від зовнішніх шарів бетону в глибину експериментальних зразків з утворенням контактного шару.

Корозійні процеси зумовили до зменшення розмірів поперечного перерізу балок в часі за лінійною залежністю. Зменшення площі перерізу стиснутого бетону, як і робочої висоти перерізу в цілому, викликало збільшення напружень у бетоні і арматурі. Руйнування балок відбулось за досягнення напружень в арматурі границі текучості з подальшим роздробленням бетону стиснутої зони.

Аналіз також показав, що методика норм [8] під час розрахунку згинальних залізобетонних елементів з локальними корозійними пошкодженнями у разі тривалої одночасної дії агресивного середовища і навантаження не дозволяє з необхідною точністю визначати несучу здатність таких елементів. Розбіжність між теоретичними і фактичними величинами становила до 11,2 % в бік перевищення теоретичних величин від експериментальних, що свідчить про те, що норми завищують несучу здатність конструкцій, які отримали корозійні пошкодження при одночасній локальній дії агресивного середовища і навантаження.

Отримані результати виконаних експериментальних досліджень дозволять точніше оцінювати напружено-деформований стан, а особливо залишкову несучу здатність залізобетонних конструкцій, які експлуатуються в агресивному середовищі.

1. Бондаренко В.М., Назаренко В.Г., Чушиев О.Б. О влиянии коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 27–30.
2. Коваль П.М. Актуальність діагностики мостових конструкцій для забезпечення їх довговічності // Зб. наук. праць: Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів: Каменяр, 2000. – Вип. 4. – С. 598–605..
3. Матвеев И.В. Проблемы технической реабилитации и реконструкции зданий и сооружений // Зб. наук. праць: Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С. 52–59.
4. Мамаев Т.Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, восстановленных после коррозионных испытаний и механических повреждений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / НИИЖБ. – М., 1997. – 19 с.
5. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Гарибов Р.Б. Прочность и долговечность железобетонных элементов конструкций в условиях сульфатной агрессии. – Саратов, 2001. – 163 с.
6. Савицький М.В. Основи розрахунку надійності, довговічності та конструктивно-технологічного проектування залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах // Зб. наук. праць: Будівельні конструкції. Кн. 2. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 235–240.
7. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є. Вплив агресивного середовища на залізобетонні балки в залежності від історії завантаження // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2002. – № 441: Теорія і практика будівництва. – С. 28–34.
8. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.