

Підсилення зразків проводилося з боку стиснутих волокон.

Результати експериментальних досліджень показали, що попереднє напруження під час підсилення значно (в окремих випадках – у п'ять і більше разів) зменшує початкові прогини посилюваних стрижнів, тим самим збільшуючи відповідно межу їх пружної роботи.

Як показали отримані залежності, ефективність попереднього напруження тим вища, чим більша гнучкість підсиленого зразка і чим менший ексцентриситет стискаючого зусилля.

При малій гнучкості збільшення несучої здатності за рахунок попереднього напруження посилюваних зразків виявилось практично незначним, що можна пояснити порівняно малим впливом власних напружень на несучу здатність коротких елементів. Збільшення гнучкості підсилених зразків підвищує ефект попереднього напруження, за рахунок якого зменшуються прогини не тільки від зовнішнього навантаження, але і залишкові зварювальні прогини. Звідси можна зробити висновок, що ефективність підсилення стиснутих стрижнів традиційним способом (без попереднього напруження) із збільшенням їхньої гнучкості знижується.

Підвищення несучої здатності підсилених стрижнів у зв'язку із збільшенням зусилля попереднього напруження також можна пояснити зменшенням початкових і залишкових зварювальних деформацій і напружень.

Залишкові зварювальні прогини зразків, підсилених з попереднім напруженням, виявилися значно меншими (для стрижнів середньої гнучкості – майже наполовину), ніж для зразків, підсилених традиційним способом. Це пояснюється значним негативним впливом на залишкові зварювальні деформації і напруження початкових напружень (від впливу зовнішнього навантаження) у посилюваному елементі.

УДК 624.012:620.193

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

МІЦНІСТЬ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ЛОКАЛЬНИХ ТА СУЦІЛЬНИХ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕННЯХ

© Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Вашкевич Р.В., 2004

Досліджено вплив локальних та суцільних корозійних пошкоджень, отриманих при одночасній дії агресивного середовища і навантаження. Це кислотне середовище притаманне для більшості виробничих будівель. Подано експериментальні результати величин міцності нормальних перерізів залізобетонних балок за вказаних умов. Також подано методичку досліджень на одночасний вплив агресивного середовища і навантаження. Теоретичні величини міцності нормальних перерізів, визначених за чинними нормами, порівнюються з величинами, отриманими експериментально.

Постановка проблеми. Сьогодні для багатьох підприємств постала проблема відновлення основних виробничих фондів, важливою складовою яких є будівлі та споруди виробничого призначення. У багатьох випадках вони перебувають у сильно пошкодженому і навіть аварійному стані. Причиною цього зазвичай є впливи різноманітних агресивних середовищ. Матеріалом для промислових будівель, як правило, застосовується залізобетон. Він успішно виконує несучі функції в будівельних конструкціях при широкому діапазоні силових навантажень. Але при дії агресивного середовища відбувається корозія як бетону, так і арматури конструкції, що і призводить до виникнення аварій будівель та споруд в цілому [1]. При дії середовищ малої концентрації цей процес може розтягуватися на довгі роки, в той самий час при дії висококонцентрованих агресивних середовищ конструкції можуть руйнуватися дуже швидко. Дія агресивного середовища

може мати як суцільний, так і локальний характер. Найнебезпечнішим при локальній дії агресивного середовища є пошкодження ділянок з максимальним напруженим станом.

Аналіз останніх досліджень. У працях багатьох авторів підтверджується думка, що несуча здатність у загальному випадку залежить не тільки від силових навантажень на конструкцію, але і від впливу довкілля [2–4]. Щорічні втрати від корозії завдають серйозної шкоди економіці багатьох країн світу [3]. Часто піддаються впливу корозії конструкції будівель гальванічних цехів, хімічних, енергогенеруючих підприємств та інші елементи будівель, які безпосередньо контактують із агресивними сполуками. Проявами цього процесу поряд із зменшенням робочого перерізу елементів є зменшення міцності, тріщиностійкості та наростання деформацій конструкції в цілому. Нині порівняно мало проведено досліджень напружено-деформованого стану конструкцій, які перебували під впливом сумісної дії навантаження і агресивного середовища [3–4], з локальними чи суцільними корозійними пошкодженнями конструкцій.

Постановка задач досліджень. Тут розглядаються дослідження міцності нормальних перерізів залізобетонних конструкцій, що мають локальні і суцільні корозійні пошкодження, отримані при одночасній дії навантаження і агресивного середовища. А також проводяться порівняння та визначення впливу на міцність залізобетонних балок дії корозійних пошкоджень локального та суцільного характеру.

Експериментальні дослідження. Для реалізації поставлених задач були проведені експериментальні випробовування двох серій залізобетонних балок розмірами 2100×200×100 мм з армуванням у розтягнутій зоні 2Ø14 А-III, у верхній стиснутій 2Ø5 Вр-1, поперечною арматурою Ø5 Вр-1 з кроком 75...100 мм. Серія 1 випробувалася при одночасному впливі навантаження і локального дії агресивного середовища. Склад бетону Ц:П:Щ=1:0,99:2,24 при В/Ц=0,30. Призмova міцність на момент випробовування становила 48,7 МПа. Серія 2 випробувалася при одночасному впливі навантаження і дії агресивного середовища по всій довжині експериментальних зразків. Склад бетону серії прийнято Ц:П:Щ=1:1,01:2,28 при водоцементному відношенні В/Ц=0,32 із застосуванням суперпластифікатора та повітропоглинаючої добавок. Призмova міцність становила 53,6 МПа. Для обох серій використаний цемент марки М500 Миколаївського цементного заводу та пісок кварцевий Славутського кар'єру Хмельницької області без домішок з модулем крупності $M_c=2,04$ і щебінь гранітний Селіщанського кар'єру Рівненської області фракції 5...10 мм – 45 %, 10...20 мм – 55 %.

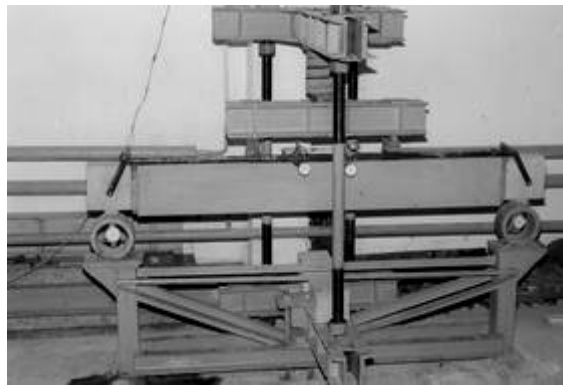
Спочатку для визначення характеристик міцності експериментальних балок без впливу агресивного середовища їх було випробовано на згин короткочасним навантаженням до руйнування. Прикладання короткочасного навантаження відбувалося двома зосередженими силами у третинах прогону. Навантаження прикладалися ступенями. При цьому фіксувалися прогини, наявність та розвиток тріщин, деформації бетону та арматури. Руйнування балок пройшло внаслідок плинності арматури у зоні дії найбільшого згинального моменту з наступним роздробленням бетону стиснутої зони.

Для дослідження впливу на міцність одночасної дії агресивного середовища і навантаження по дві балки кожної серії піддавали впливу дії одночасно агресивним середовищем та силовим навантаженням. При цьому на балки першої серії створювався локальний вплив агресивного середовища, а на балки другої серії – по всій довжині зразка. Як агресивне середовище при випробовуваннях використовувався 10 % розчин сірчаної кислоти. Балки перебували в агресивному середовищі до моменту їх руйнування. Незмінність тривалого навантаження забезпечувалась наявністю на стенді випробовування пружинного пристрою. Схеми спеціальних стендів, на яких проводилися експериментальні випробовування, подано на рис. 1.

а)



в)



б)

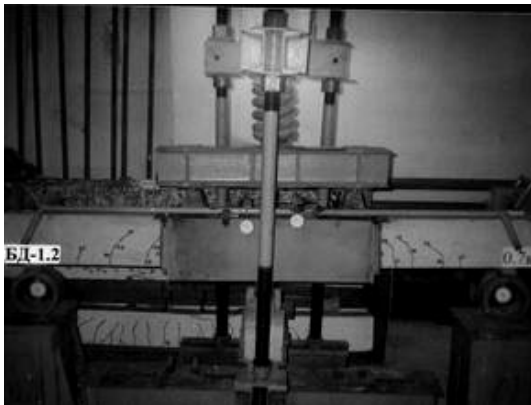


Рис. 1. Стенди для випробовування балок:

а) на короточасну дію навантаження;
 б) на сумісну тривалу дію навантаження і агресивного середовища для створення локальних пошкоджень; в) на сумісну тривалу дію навантаження і агресивного середовища для створення суцільних корозійних пошкоджень

Балки при одночасній дії агресивного середовища і навантаження випробовувалися при рівні 0,7...0,75 від величини руйнуючого навантаження по плинності арматури M_u^{exp} . Величина навантаження контролювалася спеціальними кільцевими динамометрами.

Результати дослідження. Під час аналізу руйнування залізобетонних балок як непошкоджених, так і пошкоджених корозією внаслідок дії агресивного середовища було зафіксовано руйнування внаслідок досягнення балкою граничного стану (вичерпання несучої здатності нормального перерізу при досягненні напружень в арматурі межі плинності) і фізичне руйнування (внаслідок роздроблення стиснутої зони бетону). Експериментальні величини згинальних моментів для не пошкоджених корозією балок, які відповідають граничному стану по плинності арматури становили $M_u^{\text{exp}}=2265,4 \text{ кН}\cdot\text{см}$, для фізичного руйнування становили $M_f^{\text{exp}} = 2639,1 \text{ кН}\cdot\text{см}$. Розрахункова величина граничного моменту для балок згідно з нормами [5] дорівнювала $M_u^{\text{norm}}=2167,3 \text{ кН}\cdot\text{см}$ (табл. 1).

Належить відмітити, що методика норм [5] дає можливість визначати лише граничний момент за плинністю арматури. При визначенні розрахункової несучої здатності у формули підставляли дійсні величини призмової міцності бетону R_b , а як розрахунковий опір арматури прийнято фактичні значення σ_y межі плинності арматури. Ці величини були встановлені безпосереднім випробовуванням.

Порівняння величин експериментальних і розрахункових граничних моментів показало задовільну збіжність результатів для балок, які не пошкоджені корозією $M_u^{\text{norm}}/M_u^{\text{exp}} = 0,893...0,957$. Відхилення становить -4,3...10,7 % у бік заниження теоретичних величин перед експериментальними. Це підтверджує те, що методика СНиП 2.03.01-84* з необхідною точністю визначає граничний згинальний момент балок, непошкоджених корозією.

Міцність експериментальних балок непошкоджених корозією

Серія	Шифр балок	Величина згинальних моментів, кН·см			$\frac{M_f^{exp}}{M_u^{exp}}$	$\frac{M_u^{norm}}{M_u^{exp}}$
		експериментальні		розрахункові		
		граничний (плинність арматури) M_u^{exp}	руйнівний M_f^{exp}	з СНиП 2.03.01–84* M_u^{norm}		
1	БЗ-1.1	2265,4	2639,1	2167,3	1,164	0,957
2	БЗ-2.1	2565,0	2962,7	2291,8	1,155	0,893
	БЗ-2.2	2533,3	2896,9	2305,9	1,144	0,910

Під час випробувань балок, пошкоджених корозією з локальними чи суцільними корозійними пошкодженнями, відбувалося зменшення перерізу внаслідок хімічної взаємодії складників цементного каменю і агресивного середовища. Розміри поперечного перерізу фіксувались прямим замірюванням штангенциркулем по цементному каменю з точністю замірів 0,05 мм. Заміри проводили по довжині балки не менше ніж у 10-ти характерних місцях. Величина розмірів поперечного перерізу зменшувались упродовж часу випробувань майже за лінійною залежністю.

За умовну характеристику балок, що перебували під впливом локальної дії агресивного середовища і навантаження, був прийнятий час, за який експериментальний зразок-балка досягала граничного стану – втрати несучої здатності по плинності арматури. Момент часу, коли напруження в арматурі досягали межі плинності, визначався за графіком зміни прогинів від часу, а також за деформаціями арматури. Наближення граничного стану супроводжується більш різким наростанням графіка прогинів, умовна точка перелому якого визначалася апроксимацією і була моментом часу, коли балка досягала граничного стану – 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. Це відбувалося за рахунок корозії та зменшення поперечного перерізу бетону. Арматура в основному при рівні навантаження $0,7 \dots 0,75 M_u^{exp}$ не кородувала. При досягненні експериментальними зразками граничного стану відсоток армування становив $2,6 \dots 3,0\%$. Досягнення граничного стану по плинності арматури балками відбулося на 54 і 64 добу для балок серії 1 і на 51 і 53 добу для балок серії 2.

Експериментальні величини згинальних моментів, які відповідають граничному стану по плинності арматури і руйнуванню, а також їх порівняння наведені в табл. 2. Також у таблиці наведено і розрахункові величини згинальних моментів згідно з СНиП 2.03.03–84*. При визначенні розрахункової несучої здатності у формули підставляли дійсні залишкові величини перерізу балки, арматури, призмову міцність бетону R_b , і як розрахунковий опір арматури фактичне значення σ_y межі плинності арматури.

Таблиця 2

Міцність експериментальних балок пошкоджених корозією

Шифр балок	Кінцеві розміри перерізу (при плинності арматури)		Згинальний момент, кН·см		$\frac{M_u^{norm}}{M_u^{exp}}$	Час, діб	
			Експеримент	Розрахунок		граничний стан	фізичне руйнування
	бетону $b \times h$, мм	арматури, мм	$M_u^{exp} = M_f^{exp}$	M_u^{norm}			
БД 1.2-0,7к	67,5×172,1	$\varnothing 14$	1663,1	1933,8	1,163	54	59
БД 1.3-0,7к	59,5×169,6	$\varnothing 14$		1812,5	1,096	64	69
БД 2.5-0,75к	66,8×170,9	$\varnothing 14$	1817,7	1971,2	1,084	51	60
БД 2.6-0,75к	71,9×173,9	$\varnothing 14$		2013,1	1,107	53	58

Фізичне руйнування балок з роздроблення стиснутої зони бетону відбулося трохи пізніше, а саме на 59 і 69 добу та 58 і 60 добу, відповідно. Схема руйнування окремих експериментальних зразків балок при короткочасному і тривалому випробуваннях подано на рис. 2.

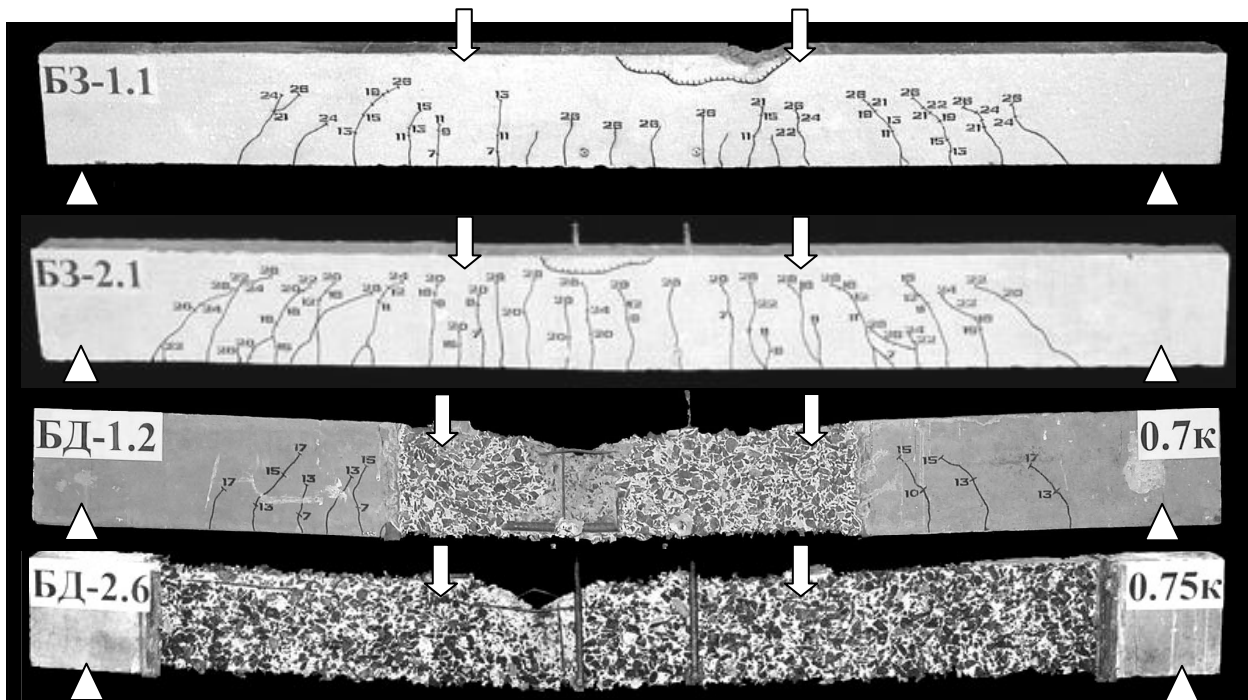


Рис. 2. Характер руйнування експериментальних балок

Необхідно відмітити, що як показали виконані розрахунки розходження між теоретичними і фактичними величинами становило $M_u^{ном} / M_u^{exp} = 1,084 \dots 1,163$, тобто 8,4...16,3 % у бік перевищення теоретичних величин над експериментальними. Отже, методика норм [5] не дозволяє з необхідною точністю визначати міцність нормальних перерізів балок як з локальними, так і суцільними корозійними пошкодженнями, отриманими при одночасному впливі агресивного середовища та навантаження.

Аналіз результатів досліджень дає змогу також стверджувати, що суттєвого впливу локальної дії чи суцільної дії агресивного середовища на характер і час вичерпання несучої здатності залізобетонних балок в умовах одночасного впливу навантаження і агресивного середовища не помічено.

Висновки. Виконані експериментальні дослідження показують, що руйнування залізобетонних балок в агресивному середовищі відбулося внаслідок корозії бетону, інколи в поєднанні з локальними поверхневими корозійними пошкодженнями арматури. Корозія бетону була викликана хімічними реакціями агресивними розчинами зі складниками цементного каменю, які містять кальцій. При цьому корозія відбувалася поступово від зовнішніх шарів бетону в глибину експериментальних зразків з утворенням контактного шару на поверхні бетону. Корозійні процеси привели до зменшення розмірів поперечного перерізу балок в часі по близькій до лінійної залежності. Зменшення площі перерізу стиснутого бетону, як і робочої висоти перерізу в цілому, викликало збільшення напружень в бетоні і арматурі. Руйнування балок пройшло при досягненні напружень в арматурі межі плинності з подальшим роздробленням бетону стиснутої зони.

Аналіз також показує, що методика норм [5] у всіх випадках при розрахунку згинальних залізобетонних елементів з корозійними пошкодженнями при тривалій одночасній дії агресивного середовища (локальної і суцільного характеру) та навантаження не дозволяє з необхідною точністю визначати несучу здатність таких елементів. Розходження між теоретичними і фактичними величинами становило до 16,3 % в бік перевищення теоретичних величин над експериментальними. Отже, виконані експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок, що наявність

тривалої дії навантаження та локальних чи суцільних корозійних пошкоджень впливає на величину міцності балок. Проте суттєвої відмінності впливу локальних чи суцільних корозійних пошкоджень на характер і час вичерпання несучої здатності нормальних перерізів залізобетонних балок в умовах одночасного впливу навантаження і агресивного середовища не було помічено.

1. Бліхарський З.Я. Корозія конструкцій будинків з гальванічним виробництвом // Міжвідомчий науково-технічний збірник. Будівельні конструкції. – Київ: НДІБК, 1999. – С.195–198. 2. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є. Вплив корозійного середовища на стан залізобетонних димових труб // Вісн. Донбаської державної академії будівництва і архітектури. –2001. – Вип. 5(30). – С. 97–101. 3. Москвин В.М. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с. 4. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисиль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М., 1990. – 316 с. 5. СНиП 2.03.01–84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

УДК 624.012

М.О. Бродський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра архітектурних конструкцій

МІКРОСТРУКТУРА БЕТОНУ НА ГРАНУЛЬОВАНОМУ ШЛАКУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Бродський М.О., 2004

Подано результати досліджень мікроструктури контактної зони заповнювач – гранульований шлак теплових електростанцій (ТЕС) та цементний в’язучий комплекс методів.

Постановка проблеми. Властивості конгломерату контактної зони заповнювач – цементний камінь відіграють велике значення для створення оптимальної структури бетону в цілому та його міцності і деформативних характеристик. Використання шлаку ТЕС як заповнювача для бетону не тільки фактор підвищення екологічної безпеки, але і один з факторів здешевлення продуктування як виробів з бетону, так і самої енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільшими забруднювачами довкілля є теплові електростанції. Використання відходів спалювання вугілля на ТЕС (золи і шлаків) один з напрямків екологізації виробництва електроенергії.

Дослідники відмічають, що відходи ТЕС відрізняються широкою гамою властивостей, тому застосування їх як заповнювачів для бетону вимагає комплексу досліджень. Відомо, що руйнування структури бетону є наслідком можливого виникнення перших порушень суцільності на межі контакту заповнювача та цементної матриці.

Механічні властивості бетону залежать не тільки від механічних властивостей цементної матриці та заповнювачів, але також від властивостей контактної зони між ними. Тріщини у зоні контакту цемент – заповнювач можливо спостерігати навіть без прикладеного навантаження – через усадку, зміну об’єму та ін. Зліплення цементу та заповнювача є дуже важливим для утворення бетонного каменю, тому необхідно обумовлювати його природу та фактори, що його формують.

У загальному зліплення цементної матриці та заповнювача виникає як наслідок деяких комбінацій механічного зліплення прогідратованого цементу з поверхнею заповнювача обумовлено силами Ван дер Ваальса між ними та деяких хімічних реакцій між заповнювачем та цементним тістом. Але відносна важливість таких процесів досі не досліджена. Якщо природу зліплення цементного тіста – заповнювач недавно було переглянуто, то зв’язок між природою зліплення та його та його видом у бетоні потрібно досліджувати.