УДК 624.012.45

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ БАЛОК НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ БАЛОК НА ОТХОДАХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

MANUFACTURING TECHNIQUE AND FRACTURE STRENGTH ANALYSIS OF BEAMS' TEST SPECIMEN FROM MINING ORE DRESSING COMBINES' WASTE

Валовой М. О., к.т.н. (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)

Валовой М.А., к.т.н. (Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог)

Valovoj M.A., candidate of technical sciences,. (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

Описано методику проведення досліджень підсилених залізобетонних балок із відходів гірничо-збагачувальних комбінатів. Наведено результати аналізу тріщиностійкості балок з різним рівнем повторного навантаження.

Описана методика проведения исследований усиленных железобетонных балок из отходов горно-обогатительных комбинатов. Приведены результаты анализа трещиностойкости балок с разным уровнем повторной нагрузки.

The tests procedure of strengthened ferroconcrete beams from Mining Ore Dressing Combines' waste is defined. Fracture strength analysis data of beams with different level of repeated load are given.

Ключові слова:
Балка, підсилення, тріщини, аналіз.
Beam, gain, cracks, analysis.

Стан питання та задачі дослідження. Впровадження в будівництво нових матеріалів і технологій вимагає особливої уваги до реконструкції і

модернізації будівель і споруд. У процесі реконструкції виконують відновлення чи підсилення існуючих будівельних конструкцій.

Виконують підсилення залізобетонних конструкцій з метою збільшення їхньої несучої здатності і жорсткості, а також у зв'язку з ушкодженнями, що вони одержують під час будівництва, експлуатації, за рахунок дії агресивного навколишнього середовища і т.п.

Найбільш розповсюдженим методом підвищення несучої здатності залізобетонних елементів, що працюють на згин, є нарощування розтягнутої чи стиснутої зон шаром залізобетону.

У останній час у будівництві виникла проблема дослідження напружено-деформованого стану конструкцій при високому рівні напруг, особливо з урахуванням змін у процесі експлуатації.

Для забезпечення надійності підсилених залізобетонних конструкцій необхідно знати режими навантаження, закономірність зміни міцності і деформативности матеріалів, процеси тріщиноутворення і розвитку тріщин при дії малоциклового навантаження.

У той же час використання більш економічних матеріалів є пріоритетним напрямком розвитку будівництва. Зменшення вартості будівельних конструкцій досягається шляхом економії засобів, будівельних матеріалів і природних ресурсів, тому пропонується ширше використовувати матеріали побіжного видобутку гірничодобувної промисловості для виробництва будівельних конструкцій.

Широке використання відходів гірничодобувної промисловості дозволяє забезпечити будівельну галузь надійними і більш економічними матеріалами і буде сприяти рішенню важливих проблем, таких як: відновлення земельних площ, що використовуються під відвали; більш дбайливе використання природних ресурсів; стабільність постачання якісних і дешевих заповнювачів для бетону.

У Криворізькому басейні налагоджене виробництво класифікованих пісків з відходів збагачення, застосування яких у виробництві залізобетону економічно виправдано.

Аналіз останніх досліджень. Вивченню роботи підсилених залізобетонних конструкцій присвятили свої роботи Л.В.Афанасьєва, А.Я.Барашиков, С.В.Бондаренко, Б.А.Боярчук, О.І.Валовой, Г.В.Гетун, О.Б.Голишев, А.Ю.Еременко, О.Д.Журавський, П.И.Кривошеєв, Е.Ф.Лисенко, Г.А.Молодченко, Л.А.Мурашко, Й.П.Новаторський, Р.С.Санжаровский, П.О.Сунак, Г.Н.Хайдуков, О.Л.Шагин, В.С.Шмуклер, А.Касассбех, Г.В.Чанг, Л.М.Чи, М.А.Максур і ін.

Дослідженню роботи бетонних і залізобетонних елементів при дії малоцикловых навантажень присвятили свої роботи Е.М.Бабич, А.Я.Барашиков, Н.М.Битько, О.І.Валовой, А.В.Войцеховский, А.В.Гергель, А.Б.Григорчук, А.С.Залісів, В.В.Караван, Н.И.Карпенко, А.М.Кокарев і ін.

Дослідженням особливостей роботи залізобетонних конструкцій, виготовлених з бетонів на дрібних заповнювачах - відходах ГЗК займалися ГН.Бондаренко, О.І. Валовой, Г.Т.Стороженко, Л.І.Стороженко, Б.Н.Шевченко й інші.

У той же час вивчення роботи конструктивних елементів з бетону на відходах збагачення залізних руд підсилених у стиснутій зоні при дії повторних навантажень дотепер не проводилося.

Мета досліджень – проаналізувати тріщиностійкість підсилених залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при різних рівнях навантаження.

Методика досліджень. При випробуванні балок повторним навантаженням інтенсивно збільшується ширина розкриття руйнуючої нормальної тріщини, а також зявляються нові тріщіни та розвиваються вже існуючі. Руйнування підсилених балок супроводжується різким розкриттям нормальної тріщини з наступним розривом робочої арматури.

Визначення ширини розкриття нормальних і похилих тріщин експериментальних балок проводили відповідно до стандартних методик. За допомогою переносного мікроскопу МПБ-2 з 24 – кратним збільшенням і ціною поділки 0,05 мм та за допомогою тензорезисторів на базі 50 мм визначали деформації бетону балки за висотою.

Для визначення впливу повторного навантаження на ширину розкриття балок серій БППЦ-0,75 та БППЦ-0,85 отримані значення порівнювали з шириню розкриття трішин випробуваних балок серій БКП, БКПТ і БПКП (монотонне навантаження до руйнування).

Як було сказано вище, до балок усіх серій перед їх підсиленням, було прикладене навантаження 0,7 від руйнівного, при якому утворилися нормальні та похилі тріщіни.

Описуючи картину розкриття тріщин у розтягнутій зоні бетону під час малоциклового навантаження, слід відмітити деякі особливості цього процесу, що спостерігався під час проведення експерименту. Загальним для усіх серій балок було утворення нормальних тріщин які фіксували на більш ранніх стадіях навантаження, ніж похилі тріщини. Утворення нормальних тріщин проходило при навантаженнях $\eta=M_{crc}/M_u$ у циклі, які відповідали значенням η=0,2-0,3, в той час нижня межа виникнення похилих тріщин знаходилась у межах η=0,4-0,5.

На першому циклі навантаження балок серій БППЦ-0,75 і БППЦ-0,85 розкриваються нормальні тріщіни і при переході від циклу до циклу відбувається збільшення ширини їх розкриття та розвиток по довжині з одночасним виникненням нових тріщін.

Додаткове збільшення кількості тріщин відбувається за рахунок ділення більших відстаней між сусідніми тріщинами, а також поява нових тріщин на незначній відстані від "старих".

Для балок серії БППЦ-0,75 ширина розкриття вже існуючих нормальних та похилих тріщин після 5-6 циклів практично не збільшується. Динаміка змінення їх ширини розкриття пропорційна кількості прикладених циклів навантаження. Ширина розкриття тріщин стабілізується після 5-6 циклу і далі не зменшується (рис. 1).

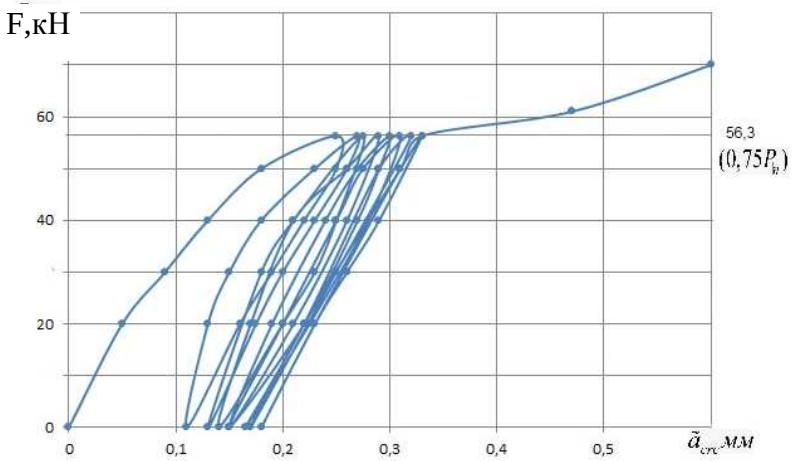

Рис. 1. Середні значення прирощень ширини розкриття тріщин для балок серії БППЦ- 0,75.

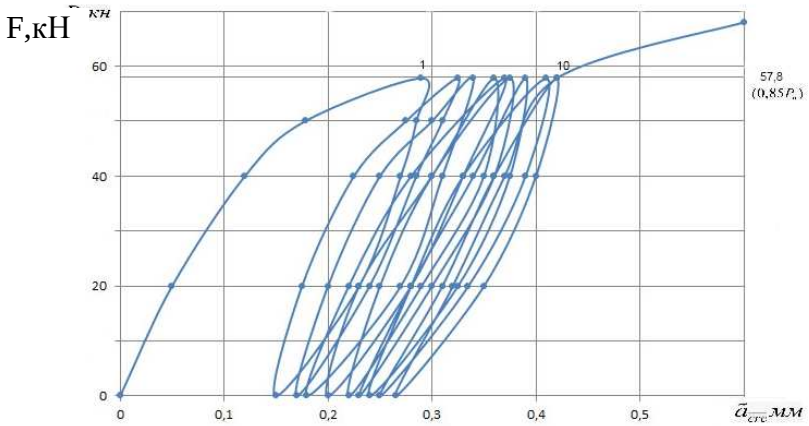

Рис. 2. Середні значення прирощень ширини розкриття тріщин балок серії БППЦ-0,85.

У свою чергу, для балок серії БППЦ-0,85, ширина розкриття нормальних тріщин має тенденцію поступового їх зростання у порівнянні з балками

БППЦ-075 під час циклічного навантаження. При цьому стабілізація ширини їх розкриття сталася трохи пізніше, після 7-8 циклів (рис. 2). Також треба відмітити появу тріщин в зоні контакту основного бетону з бетоном підсилення.

Таблиця 1

Результати розрахунку і порівняння з дослідними ширини розкриття тріщин

№ п/п	Найменування величини	Одиниця виміру	Умовні позначення	Розрахункові та експериментальні величини балок серії			
				БКП-0,5	БПКП	БППЦ-0,75	БППЦ-0,85
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Експериментальний згинальний момент, при якому визначали ширину розкриття тріщин	кН/м	M	24,8	33,8	31,6	32,2
2	Величина навантаження, при якому визначали ширину розкриття тріщин	кН	$F(Q)$	41,3	56,3	56,3	57,8
3	Коефіцієнт армування перерізу	-	$\mu_{s\omega}$	0,01	0,007	0,007	0,007
4	Робоча висота приведеного перерізу	мм	h_{0red}	195	241,8	241,8	241,8
5	Приведена відстань від центру ваги розтягнутої арматури, до точки прикладання рівнодіючої зусиль у стиснутій зоні перерізу над тріщиною	мм	Z_{red}	187,4	224,2	224,2	224,2
6	Напруження в стержнях поздовжньої арматури	МПа	σ_s	261	296	289	292
7	Теоретична ширина розкриття тріщин	мм	$\alpha_{crc\,op}^{me}$	0,396	0,288	0,369	0,414
8	Експериментальна ширина розкриття тріщин	мм	$\alpha_{crc\,cn}^{ек}$	0,393	0,260	0,330	0,410
9	$\alpha_{crc}^{експ} / \alpha_{crc}^{теор}$	-	-	0,99	0,90	0,89	0,99

Отже можна констатувати, що для всіх дослідних балок був відмічений розвиток як нормальних так і похилих тріщин. Для балок серії БППЦ-0,75 (η=0,75) після їх утворення, на стадії циклічних випробувань, розвиток

тріщин, що спостерігався, не відзначався інтенсивністю. Інша картина тріщіноутворення спостерігається для балок серії БППЦ-0,85 (η=0,85), на стадії циклічних випробувань, проходить суттєвий приріст глибини проникнення і ширини розкриття існуючих тріщин, поряд з виникненням нових.

У строчці 7 табл. 1 для зразків балок серій БППЦ-0,75 і БППЦ-0,85 наведена максимальна розрахункова ширина розкриття тріщін з урахуванням її збільшення під впливом повторних навантажень.

Відомо, що ширина розкриття тріщін є дуже нестабільною величиною. У той же час, для успішної експлуатації залізобетонних конструкцій інтерес уявляє максимальна ширина розкриття тріщин, яка спричиняє корозію арматури та знижує експлуатаційні якості конструкції у цілому: зменшує жорсткість, збільшує деформації, переміщення, прогини тощо.

З наведених даних описуваних експериментальних досліджень на кожному циклі були виміряні максимальна ширина розкриття ($a_{crc,\ max}$) та залишкова ширина розкриття ($a_{crc,\ res}$) нормальних тріщин у зоні чистого згину (див. рис. 1,2).

Після аналізу графіків змінення ширини розкриття максимальних і залишкових нормальних тріщин в балках, які зазнавали повторних навантажень, встановлена закономірність збільшення величин $a_{crc,\ max}$ і $a_{crc,\ res}$ за рахунок повторного прикладання зусиль.

Повні величини максимальної та залишкової ширини розкриття нормальних тріщин під впливом повторних навантажень пропонується визначати за формулою

$$a_{crc,1} = a_{crc,1} + \Delta a_{crc,i}(N)(i = \max, res),$$

де $a_{crc,\ i}$ – ширина розкриття нормальної тріщини на першому циклі навантаження, яку визначають за формулою;

$\Delta a_{crc,\ i}$ (N) – прирощення ширини розкриття нормальної тріщини за рахунок повторних навантажень;

i – індекс, який визначає вимірювану ширину розкриття тріщини – максимальну (max) або залишкову (res).

Закономірність прирощення ширини розкриття тріщин при повторних навантаженнях легко піддається описуванню за допомогою експотенціальної функції, яку широко використовують у теорії повзучості при наявності затухання шуканої величини

$$\Delta a_{crc,1}(N) = \Delta a_{crc,1}(\infty)(1 - e^{-\alpha N})(i = \max, res),$$

де α – дослідний параметр, який характеризує швидкість затухання розкриття тріщини зі збігом кількості циклів N;

$\Delta a_{crc,\ i}(\infty)$ – граничне значення ширини розкриття тріщини при $N \to \infty$.

Аналіз досліджень свідчить про те, що швидкість збільшення ширини розкриття як максимальних, так і залишкових тріщин практично однакова для обох серій (БППЦ-0,75 і БППЦ-0,85). Обчислення з використанням методу найменших квадратів дозволяють рекомендувати з округленнями такі значення коєфіціентів α : $\Delta a_{crc,\ max}$ – α=0,5, для і $\Delta a_{crc,\ res}$ – α=0,3.

У той же час значення величин $\Delta a_{crc,\ max}$ (∞) і $\Delta a_{crc,\ res}$ (∞) для згаданих серій відрізняються і залежать від рівня максимального зусилля у циклі. Для визначення розрахункових величин розкриття тріщин за рахунок повторних навантажень (табл. 2).

Таблиця 2

Прирощення ширини розкриття тріщин при повторних навантаженнях

Серія зразка	$\Delta a_{crc,\ i}$ (∞)	α	$K = \frac{\Delta\alpha_i(N)}{a_{crc,1}}$	$\Delta a_{crci} = a_1(k-1)$
БППЦ-0,75	$\Delta a_{crc,\ max}$	0,5	1,375	0,0975
	$\Delta a_{crc,\ res}$	0,3	1,636	0,0700
БППЦ-0,85	$\Delta a_{crc,\ max}$	0,5	1,52	0,1404
	$\Delta a_{crc,\ res}$	0,3	1,60	0,0900

Табл. 2 підтверджує наявність високого розкиду даних з ширини розкриття тріщин. Це вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень для статистичного обгрунтування відповідних величин. Тим не менше, як можна судити пропоновані залежності дають задовільну збіжність.

Висновки. Повторні навантаження суттєво впливають на ширину розкриття нормальних тріщин і після 10 циклів вони зростають в 1,4 рази для балок з інтенсивністю навантаження 0,75 від руйнівного, та у 1,6 – для балок з рівнем максимального навантаження у циклі 0,85 від руйнівного.

1. Гордеева Т.Ф. Исследование изгибаемых железобетонных элементов при повторных статических нагрузках. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1970, – 20 с. **2. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В.** Инженерные методы нелинейной теории железобетона. – М.: Стройиздат, 1982. **3. Валовой А.И.** Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетоном на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с. **4.** ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1980. **5.** Железобетонные конструкции из бетонов на отходах горнорудной и металлургической промышленности / Л.И. Стороженко, Б.Н. Шевченко и др. – К.: Будівельник, 1982. **6. Московитин В.В.** Циклическое нагружение элементов конструкций. – М.: Наука, 1981.