

coefficient of linear expansion of compositions in the given temperature intervals were calculated.

It has been established that the value of the temperature coefficient of linear expansion of compositions with mineralization applications is less than for a composition without additives. The introduction of applications provides an increase in adhesion strength, the highest values of which are recorded for formulations containing  $B_2O_3$  and  $TiO_2$ .

**Key words:** flame retardant, flame retardant, protective layer. Temperature coefficient of linear expansion, adhesion strength, mineralizing additives, silicone organic compositions.

**Артеменко В., Яковчук Р., Демчина Х. Исследование влияния минерализующих добавок на свойства силицийорганических композиций**

Рассмотрены вопросы формирования огнезащитного покрытия на бетонной поверхности и основные физико-химические процессы образования адгезионной прочности на грани покрытия – подклад. Исследовано влияние минерализующих добавок на свойства разработанных силицийорганических композиций. В качестве минерализующих приложений использовано  $B_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $ZrO_2$ .

Определены линейные характеристики материала композиции в процессе нагрева, а также по результатам измерений и расчетов построено кривую линейного свертывания исследовательских композиций при нагревании. На основе дилатометрических кривых расширения были рассчитаны значения температурного коэффициента линейного расширения композиций в заданных интервалах температур.

Установлено, что значение температурного коэффициента линейного расширения композиций с минерализующими приложениями является меньше, чем для композиции без приложений. Введение приложений обеспечивает повышение адгезионной прочности, высокие показатели которой зафиксировано для складов с содержанием  $B_2O_3$  и  $TiO_2$ .

**Ключевые слова:** огнезащита, огнезащитное вещество, защитный слой, температурный коэффициент линейного расширения, адгезионная прочность, минерализующие добавки, силицийорганические композиции.

*Стаття надійшла 26.06.2017.*

УДК 624. 012

**УТВОРЕННЯ І РОЗКРИТТЯ ПОХИЛИХ ТРІЩИН КОМБІНОВАНО АРМОВАНИХ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*В. Білозір, к. т. н.*

*Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Експериментально-теоретичні дослідження [1] показали, що фіброве армування позитивно впливає на тріщиностійкість похилих

перерізів балок. Поява фібрової арматури українського виробництва з кінцевими анкерами потребує додаткових досліджень утворення і розкриття похилих перерізів згинальних комбіновано армованих елементів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Експериментально-теоретичні дослідження тріщиностійкості похилих перерізів комбіновано армованих сталевих-фібробетонних елементів на профільованій фібрі з дроту проводили Г. К. Хайдуков, І. В. Волков, Б. А. Прієв [1–3], а на фібрі з анкерами – Л. Ванделваль [4]. Даних експериментально-теоретичних досліджень утворення і розкриття тріщин у похилих перерізах комбіновано армованих елементів із фіброю українського виробництва поки що немає. Тому їх проведення необхідне для подальшого використання за розробки сталевих-фібробетонних конструкцій.

**Постановка завдання.** Наше завдання – виконання експериментальних досліджень роботи під навантаженням зазначених елементів і розробка методики розрахунку утворення та розкриття похилих тріщин.

**Виклад основного матеріалу.** Програмою випробувань передбачено виготовлення та випробування зразків, армованих арматурою  $\text{Ø}5\text{Bp-1}$  та фіброю українського виробництва (рис. 1), за схемою однопролітної балки, завантаженої зосередженими силами у прогоні, який дорівнював 900 мм (рис. 2).

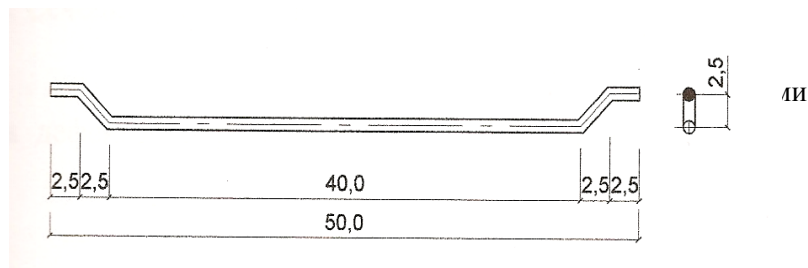


Рис. 1. Геометричні розміри фібри з кінцевими анкерами

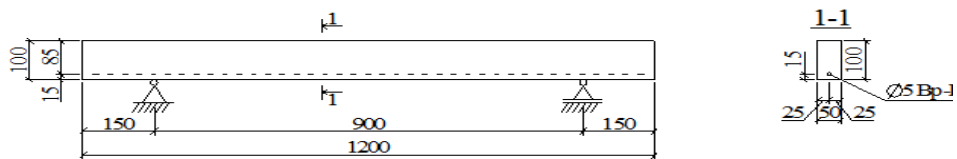


Рис 2. Конструкція дослідного зразка

Відношення довжини до діаметра фібри – 50, міцність фібри: мінімальна – 900, максимальна – 1100 МПа.

Відстань від крайніх розтягнутих волокон до центру ваги стрижня – 15 мм. Контрольованими параметрами під час випробувань були прогини, деформації бетону, ширини розкриття похилих тріщин.

Дослідні зразки (табл. 1) відрізнялися вмістом фібри, причому зразки Б 1.1, F 2.1, F 3.1, F 4.1 випробовували за прогону зрізу 110 мм, а зразки Б 1.2, F 2.2, F 3.2,

F 4.2 – за прогону зрізу 220 мм (рис. 3). Одночасно з виготовленням балок виготовляли три куби 150 x 150 x 150 мм з дрібнозернистого бетону. У результаті випробувань визначили, що їх міцність відповідно дорівнювала 22,1, 23,4 та 21,4 МПа. Середнє значення міцності кубів – 22,3 МПа, що може приблизно відповідати бетонові класу С 16/20.

Таблиця 1

Параметри експериментальних зрізів						
Розміри зразків	Клас бетону	Прогін зрізу $a$ , мм	Відсоток фібрового армування $\mu_{fv}$ , %			
			0	0,7	1,25	1,8
1200x100x50	С 16/20	110	Б 1.1	F 2.1	F 3.1	F 4.1
		220	Б 1.2	F2.2	F 3.2	F 4.2



Рис. 3. Дослідний зразок під час випробувань

Міцність бетону на центровий розтяг визначили за формулою Фере:

$$f_{ct} = 0,27 f_c^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$

де  $f$  – кубова міцність бетону.

Середнє значення міцності  $f_{ct}$  дорівнює 2,14 МПа.

За емпіричною формулою, запропонованою НИИЖБ, визначили, що середнє значення призмової міцності бетону  $f_c$  дорівнює 17,84 МПа. Опір сталє-фібробетону на розтяг  $f_{ct}$  і стиск  $f_{fc}$  визначали за формулами норм [3; 5].

Дані, подані в табл. 2, отримані на основі експериментів та емпіричних формул і використані надалі для аналізу напружено-деформованого стану.

Похилі тріщини у залізобетонних балках утворювалися за відношення поперечної сили, яка викликала тріщиноутворення, до граничної поперечної сили

$V_{cr}/V_u = 0,92$  за прогону зрізу  $a = 1,1d$  і  $V_{cr}/V_u = 0,96$  за  $a = 2,2d$ .

За прогону зрізу  $a = 1,1d$  у сталевібробетонних комбіновано армованих балках тріщини з'явилися за  $V_{cr}/V_u = 0,32-0,37$ , а за прогону зрізу  $a = 2,2d$  – за  $V_{cr}/V_u = 0,59-0,70$  залежно від  $\rho_{fv}$ .

Похилі тріщини утворювалися в усіх балках близько до центру ваги перерізу посередині прогону зрізу. У залізобетонних балках тріщини утворювалися за обох прогонів зрізу практично одночасно на приопорних ділянках. У сталевібробетонних балках іноді похила тріщина біля однієї з опор утворювалася раніше від іншої.

Таблиця 2

Характеристики міцності матеріалів дослідних взірців\*

Марка взірця	$\rho_{fv}$ , %	$f_{c,cube}$ , МПа	$f_c (f_{fc})$ , МПа	$f_{ct} (f_{fct})$ МПа	$a/d$
Б1.1 Б1.2	0	22,3	17,84	2,14	1,1 2,2
Ф2.1 Ф2.2	0,7				18,60
Ф3.1 Ф3.2	1,25		19,36	3,12	
Ф4.1 Ф4.2	1,8				20,42

\* $a/d$  – відносний прогін зрізу.

Характерним було те, що тріщини в залізобетонних балках з'явилися за відносних деформацій бетону (заміри проводилися перпендикулярно до лінії, яка умовно з'єднує опору з точкою прикладання зовнішнього навантаження на рівні центру ваги перерізу)  $\varepsilon_{ct} = 14 \cdot 10^{-5}$  для Б1.1 і  $\varepsilon_{ct} = 16 \cdot 10^{-5}$  для Б1.2. У взірцях, які містили фібру, відносні деформації в момент появи похилих тріщин були більшими ( $\varepsilon_{fct} = 30-52 \cdot 10^{-5}$ ).

Утворення похилих тріщин розраховували за формулою СНиП 2.03.04\*:

$$\sigma_{mt} \leq \gamma_{c4} f_{ct}, \quad (2)$$

$$\text{де } \sigma_{mt(mc)} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}. \quad (3)$$

Оскільки напруження  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$  близькі до 0, то  $\sigma_{mt} \approx \tau_{xy}$ .

Звідси отримуємо:

$$V_{cr} = \frac{f_{ct} b l}{S} = 0,67 f_{ct} b h \quad (4)$$

Дані про експериментальні результати щодо зусиль утворення похилих тріщин подані в табл. 3.

Таблиця 3

Дані про утворення похилих тріщин у балках

Марка взірця	$\rho_{fv}$ , %	$a/d$	$V_{cr}^{(4)}$ , кН	$\varepsilon_{ct,cr}$ ( $\varepsilon_{fct,cr}$ )	$V_{cr}^{exp}$ , кН	$\frac{V_{cr}^{(4)}}{V_{cr}^{exp}}$
Б1.1	0	1,1	8,13	$14 \cdot 10^{-5}$	8,31	1,02
Б1.2		2,2		$16 \cdot 10^{-5}$	8,99	1,08
F2.1	0,7	1,1		$30 \cdot 10^{-5}$	12,61	0,84
F2.2		2,2		$33 \cdot 10^{-5}$	13,10	0,82
F3.1	1,25	1,1		$39 \cdot 10^{-5}$	13,86	0,77
F3.2		2,2		$40 \cdot 10^{-5}$	14,11	0,76
F4.1	1,8	1,1		$50 \cdot 10^{-5}$	14,66	0,73
F4.2		2,2		$47 \cdot 10^{-5}$	14,90	0,72

Як видно з табл. 3, експериментально отримані значення зусиль утворення видимих у мікроскоп МПБ-2 з ціною поділки 0605 мм похилих тріщин сталевібробетонних елементів суттєво більші від розрахованих за формулою (4). У зв'язку з цим доцільно коефіцієнт  $\gamma_{c4}$  у формулі (2) уточнити деяким коефіцієнтом  $k_{f,cr}$ , який, очевидно, залежатиме від  $\rho_{fv}$  (рис. 4). Отже:

$$k_{f,cr} = V_{cr}^{exp} / V_{cr}^{(4)}. \quad (5)$$

Із табл. 3 та рис. 4 отримуємо лінійну залежність:

$$k_{f,cr} = 20\rho_{fv} + 1,19. \quad (6)$$

Відтак отримуємо умову утворення похилих тріщин:

$$\sigma_{mt} \leq k_{f,cr} \gamma_{c4} f_{ct}. \quad (7)$$

Після утворення похилі тріщини розвивалися від опори до точки прикладання зовнішнього навантаження по прямій лінії.

У балках без фібрової арматури розвивалося по одній тріщині. У балках, які містили фібру, розвивалося по декілька похилих тріщин, однак усі вони, крім критичної, мали малу ширину розкриття – 0,02 – 0,04 мм.

Заміряні ширини розкриття похилих тріщин залежали від кількості фібрової арматури і величини прогону зрізу. Експериментально виявлено, що зі збільшенням прогону зрізу ширина розкриття похилих тріщин збільшилася у середньому майже вдвічі.

На стадії, близькій до вичерпання несучої здатності, найбільша ширина розкриття похилих тріщин на рівні центра ваги поперечного перерізу була від 0,02 до 1,1 мм і 0,1–0,2 мм – на протилежних кінцях тріщини.

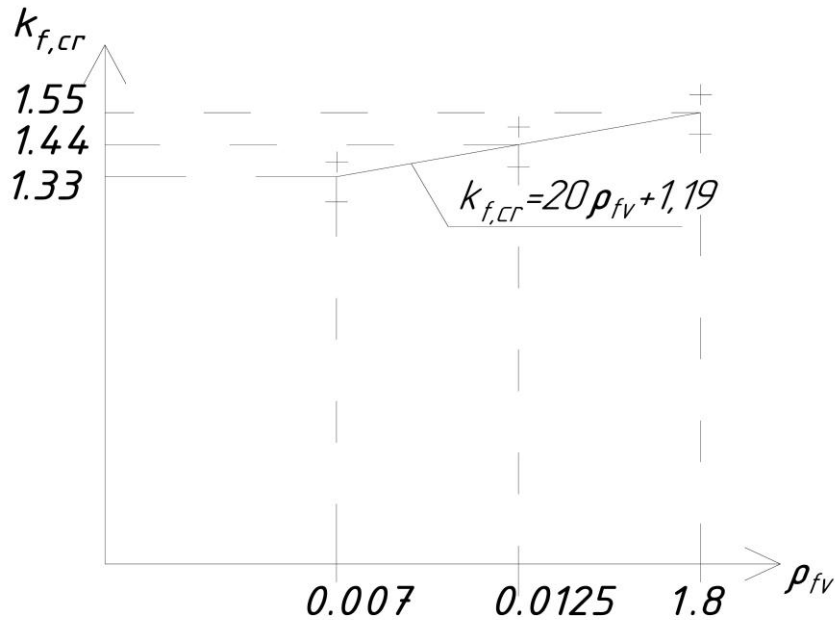


Рис. 4. До визначення коефіцієнта  $k_{f,cr}$

Розвиток похилих тріщин зі збільшенням зовнішнього навантаження показано на рис. 5.

Характерним було те, що за прогону зрізу  $a = 2,2d$  тріщини розвивалися досить інтенсивно, оскільки за даними наших експериментів зусилля тріщиноутворення були не суттєво меншими за руйнівні.

За прогону зрізу  $a = 1,1d$  тріщини розвивалися менш інтенсивно порівняно з балками, в яких прогін зрізу дорівнював  $a = 2,2d$ .

Ширину розкриття похилих тріщин оцінювали за формулою, поданою у [2; 3; 5], і скоректованою Б.А. Прієвим [1] :

$$w = \varphi_e \left( \frac{0,25\alpha}{\rho_{fv}} \right)^{\frac{1}{2}} k_1 (h_w + 30d_f) \frac{\eta_{f1}}{\mu_{fv}} \frac{k_2^2}{E_f^2}, \quad (8)$$

де  $\varphi_e$  – коефіцієнт, який враховує тривалість дії навантаження;  $k_1$  – коефіцієнт, який враховує вид сталеві фібри;

$$\eta_{f1} = \frac{0,5}{0,5 + m}; \quad (9)$$

$$m = \frac{1}{\frac{200d_f (\rho_{fv} + \mu_s)}{\mu_{fv}^2 A} + 1}; \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{M}{Qd}; \quad (11)$$

$k_2$  – коефіцієнт, який враховує інтенсивність напружень від перерізувальних зусиль.

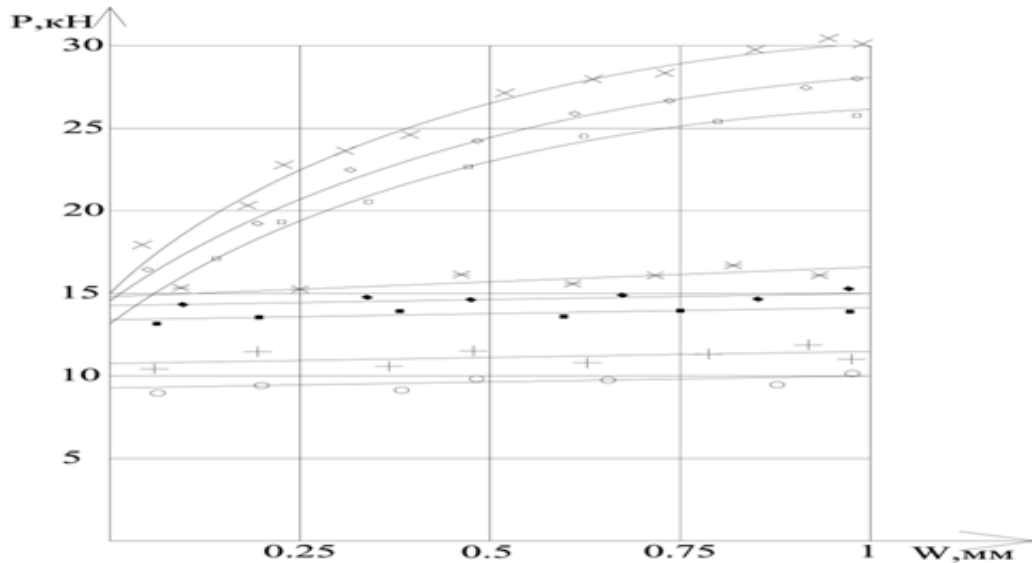


Рис. 5. Розвиток похилих тріщин у дослідних збірках +B1.1; oB1.2; □F2.1; ■F2.2; ◇F3.1; ◆F3.2; XF4.1; \*F4.2

Аналіз показав, що коефіцієнт  $k_1$  для фібри українського виробництва доцільно прийняти таким:

$$k_1 = 10^3(15 - 1200\rho_{fv}); \quad (12)$$

У такому разі в діапазоні можливих експлуатаційних навантажень  $w/w_{\text{exp}} = 0,96 - 0,98$ , що для практики проектування є достатньо точним.

**Висновки.** Проведені експериментально-теоретичні дослідження особливості роботи комбіновано армованих балок на фібри українського виробництва в зоні дії поперечних сил дають підстави для висновків:

- фібра позитивно впливає на тріщиностійкість похилих перерізів балок;
- утворення похилих тріщин доцільно перевіряти за формулою СНиП2.03.01-84\* з урахуванням коефіцієнта  $k_{f,cr}$ , визначеного нами (формула 6);
- ширину розкриття тріщини доцільно визначати за формулою (8) з урахуванням уточненого нами коефіцієнта  $k_1$  (формула 12);
- теоретичні параметри тріщиностійкості, визначені нами, на 1–4% менші, ніж отримані експериментально, що для практики проектування є прийнятним.

### **Бібліографічний список**

1. Приев Б. А. Прочность и трещиностойкость сталефибробетонных тонкостенных изгибаемых элементов по наклонным сечениям : автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук / Б. А. Приев. – М., 1989. – 20 с.
2. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. – М. : НИИЖБ, 1987. – 148 с.
3. Сталефибробетонные конструкции: СП 52-104-2006: Введ. в действие 01.09.2006. – М. : ФГУП НИЦ «Строительство», 2007. – 73 с.
4. Vandewalle L. Recommendations of RILEM TC162- TDF: Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete: bending test (final recommendation) / L. Vandewalle // Materials and Structures. – 2002. – V. 35. –P. 579 – P. 582.
5. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій: ДСТУ-Н Б В.2.6-78: 2009. – Введ. в дію 01.01.2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с.

#### **Білозір В. Утворення і розкриття похилих тріщин комбіновано армованих сталефібробетонних згинальних елементів**

Подані результати експериментально-теоретичних досліджень впливу кількості фібри на утворення і розкриття похилих тріщин балок та рекомендації щодо розрахунку.

**Ключові слова:** згинальний елемент, сталева фібра, похилий переріз, утворення тріщин, розкриття тріщин.

#### **Bilozir V. Formation and opening of tilted cracks in combined fiber reinforced concrete bend elements**

The results of experimental and theoretical researches of the influence of number of fibers on the formation and opening of tilted cracks in beams and recommendations for calculation are presented.

**Key words:** bend elements, steel fiber, tilted cross section, cracks formation, crack opening.

#### **Билозир В. Образование и раскрытие наклонных трещин комбинированно армированных сталефибробетонных изгибаемых элементов**

Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований влияния количества фибры на образование и раскрытие наклонных трещин балок и рекомендации по расчету.

**Ключевые слова:** изгибаемый элемент, стальная фибра, наклонное сечение, образование трещин, раскрытие трещин.

*Стаття надійшла 23.05.2017.*