

УДК 624.012.25

## **ЗЧЕПЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИТНИХ СТЕРЖНІВ З ВАЖКИМ БЕТОНОМ**

### **ASSEMBLY OF METAL AND COMPOSITE STEEL WITH HARD CONCRETE**

**Чапук О.С., к.т.н, доц., Гришкова А.В., асп., Кислюк Д.Я., к.т.н, доц., Задорожнікова І.В. к.т.н, доц., Пахолюк О.А. к.т.н, доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Chapyuk O., Ph.D., Assoc., Grishkova A., PhD student., Kysliuk D., Ph.D., Assoc., Zadorozhnikova I., Ph.D., Assoc., Pakholiuk O., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Наведено експериментальні дослідження випробувань зчеплення металевої арматури та композитної склопластикової з важким бетоном за балковим методом RILEM-CEB-FIP, досліджено розподіл дотичних напружень в контактному шарі бетону з арматурою та виконано порівняльний аналіз поведінки арматурного стержня в бетоні в дослідних зразках сталевий арматури серповидного профілю та композитної склопластикової.

Experimental researches of testing the adhesion of the steel crescent-shaped rebar and a composite fiberglass rebar with heavy concrete by the RILEM-CEB-FIP beam method were conducted. The essence of this method is that during the tests were measured movements of the free ends of the rebar, located at the ends of the beams, which had a rectangular cross section. Each of the beams consists of two halves which are joined in the stretched zone with the rebar  $d=16\text{mm}$  for the steel crescent-shaped profile and  $d=10\text{mm}$  for composite fiberglass rebar (because the tensile strength of fiberglass rebar approximately is 25% higher than metal). In the compressed area are used two embedded parts and the metal cylinder. In each of the halves of beam the rod has grip with concrete in  $10d$  ( $d$  is the rebar diameter), in other areas there is no grip, because the reinforcing bar is placed in a plastic tube. Beams tested by two concentrated forces, the distance between them are 400mm. Loads on the tested samples are applied in steps of 5 kN. The movement of the free ends of the studied reinforcing rebar was measured by a dial indicator with a scale division of 0.001 mm. In the beams at each step of

the load, the longitudinal deformations of the rebar recessed in concrete were measured using strain gauges. The distribution of tangential stresses in the contact layer of concrete with reinforcing rebar in anchoring zones of 10 d length, each of which is divided into separate sections, is investigated. At each it section in the rebar, the force is applied to the concrete, which is passed to the concrete due to the occurrence of the stresses of the grip and to the subsequent parts of the rebar (applies only to the sites located in the anchoring zones). According to the average tension stresses, in each section the diagrams of their distribution along the length of anchoring of the reinforcing rebar in concrete for various loading levels are constructed. A comparative analysis of the behavior of a reinforcing rebar in concrete in experimental samples is performed steel crescent-shaped rebar and composite fiberglass reinforcement.

Ключові слова: арматура серповидного профілю, композитна склопластикова арматура, важкий бетон, балковий метод RILEM-CEB-FIP, зчеплення, дотичні напруження, тензорезистори, тензометрична станція

Key words: crescent-shaped reinforcement, composite fiberglass reinforcement, heavy concrete, RILEM-CEB-FIP beam method, clutch, tensile stresses, strain gauge, strain gauge station

**Вступ.** Залізобетонні конструкції є найбільш поширеними в промисловому, цивільному та гідротехнічному будівництві. Сталева арматура завдяки здатності сприймати великі, в порівнянні з бетоном, розтягувальні зусилля стала основною частиною залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг та на згин. Бетон в свою чергу сприймає стискаючі навантаження на конструкцію та забезпечує довготривале збереження арматури в умовах впливу агресивного середовища. В сучасній світовій практиці поряд з традиційною металевою арматурою все більш широке застосування знаходить композитна неметалева арматура, яка застосовується в конструкціях, що експлуатуються в умовах агресивного середовища.

**Аналіз останніх досліджень.** В останні роки для виготовлення залізобетонних конструкцій широко розпочали використовувати арматурний прокат серповидного профілю згідно з ДСТУ 3760:2006

[1]. Прокат класу А500С рекомендується для використання в якості як ненапруженої, так і для попередньо напруженої арматури.

В Україні освоєно виробництво неметалевої композитної арматури [2]. Для більш широкого її застосування в будівництві необхідні цілеспрямовані експериментальні дослідження зчеплення з бетоном, міцності, жорсткості та тріщиностійкості конструкцій.

**Постановка мети і задач досліджень.** Сили зчеплення створюють у найближчому до арматури бетоні складний напружено-деформований стан [3]. Цей стан призводить до розподілу навантажень по осі арматури, внаслідок яких поздовжні зусилля по арматурі стають змінними по всій довжині стержня. Згідно проведених експериментальних досліджень зчеплення важкого бетону зі сталевією арматурією серповидного профілю та склокомпозитною, в даній статті ставиться задача порівняти напружено-деформовані стани зчеплення обох видів арматури з бетоном в представлених зразках-балках, випробуваних на згин за балковим методом RILEM/CEB/FIP.

**Методика досліджень.** Експериментальні дослідження випробування бетонних балок здійснювались балковим методом RILEM/CEB/FIB на згин (рис. 1).

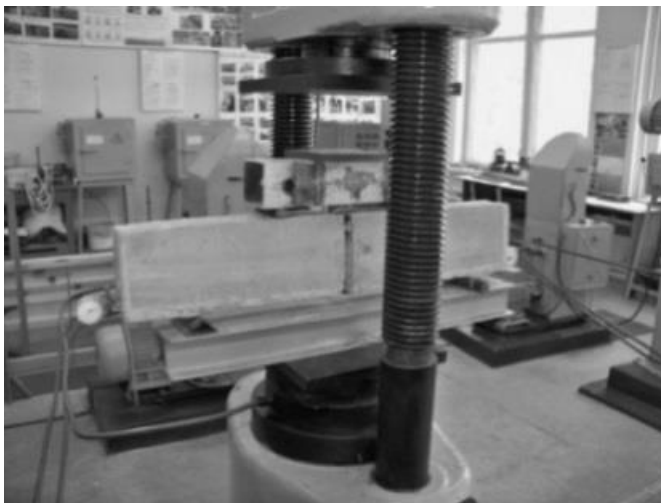


Рис. 1. Загальний вигляд випробування бетонних балок

Суть цього методу в тому, що в процесі випробувань вимірюються переміщення вільних кінців досліджуваного стержня, розташованих на торцях балок.

Для дослідження обраний бетон класу C20/25. Дослідні зразки-балки довжиною 1230мм мали прямокутний поперечний переріз розміром 120x220мм. Балка складається з двох половинок, які з'єднані в розтягнутій зоні арматурним стержнем діаметром  $d=16$ мм для металеві арматури та  $d=10$ мм для композитної (оскільки міцність на розрив склопластикової арматури приблизно на 25% більша ніж металеві). В стиснутій зоні використано шарнір у вигляді двох закладних деталей та металевим циліндром між ними. В кожній з половинок балки стержень має зчеплення з бетоном довжиною  $10d$  ( $d$  – діаметр стержнів), на інших ділянках зчеплення відсутнє, так як арматурний стержень поміщений у пластикові трубки. Конструкція балок наведена на рис. 2.

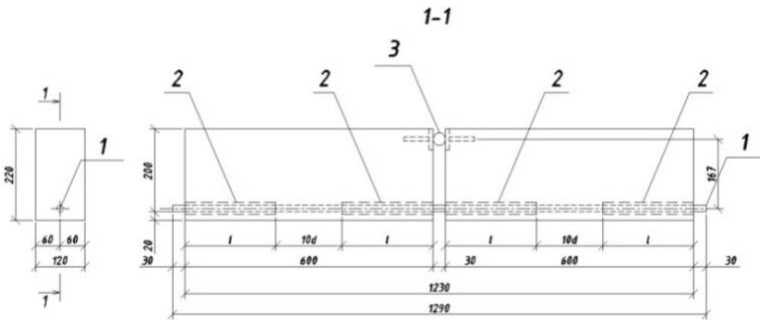


Рис. 2. Конструкція дослідного зразка - бетонної балки:

- 1 – арматурний стержень;
- 2 – пластикова трубка; 3 – сталевий циліндр

Балки випробовувались двома зосередженими силами, відстань між якими становила 400мм. Навантаження дослідних зразків здійснювалось ступенями по 5 кН. В балках на кожному ступені навантаження вимірювали поздовжні деформації стержня, заробленого в бетон, за допомогою тензорезисторів.

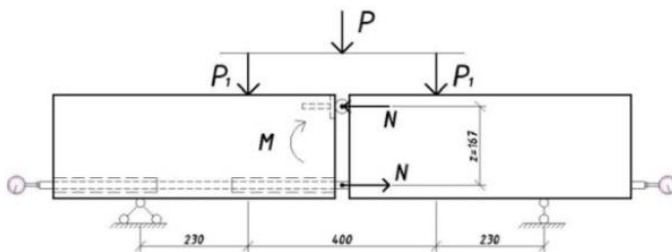


Рис. 3. Схема випробувань бетонних балок

**Результати досліджень.** Під час випробувань зразка – бетонної балки Б1 за допомогою тензорезисторів вимірювалися деформації арматурного стержня  $\varepsilon_{si}$ , які виникають всередині довжини стержня, тобто в точках  $i - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  (Рис. 4).

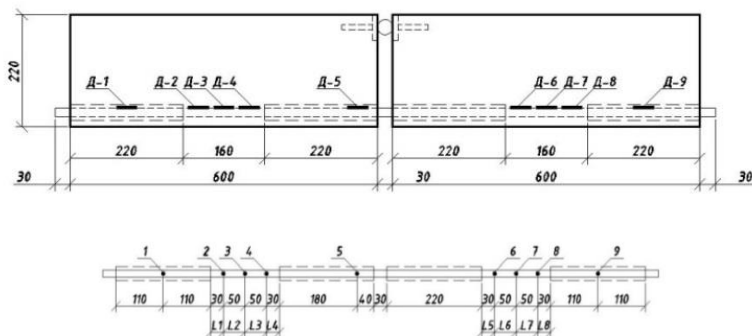


Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів у дослідному зразку – бетонній балці Б1

Для того, щоб оцінити розподіл дотичних напружень зчеплення металевого стержня з бетоном [4], детальніше розглядаються ділянки анкерування (довжиною  $10d$ ), на яких розміщені точки  $i - 2, 3, 4, 6, 7, 8$  для Б1. Ці точки розділили зони анкерування стержня на 8 ділянок. Прийнято, що на кожній  $i$ -тій ділянці в стержні діє зусилля  $f_{ydi} A_s$ , яке передається на бетон внаслідок виникнення напружень зчеплення та на наступні ділянки стержня (стосується лише ділянок, розташованих в зонах анкерування). У цьому

випадку дотичні напруження зчеплення в середині ділянок  $\tau_{ci}$  можна визначити за формулою (1):

$$\tau_{ci} = \frac{(f_{ydi} - f_{yd,i-1}) \cdot A_s}{\pi d l_i}, \quad (1)$$

де,  $f_{ydi}$  і  $f_{yd,i-1}$  - напруження в стержні на  $i$ -тій та попередніх ділянках;

$l_i$  - довжина  $i$ -тої ділянки.

Середні дотичні напруження зчеплення арматурного стержня з бетоном  $\tau_c$  можна визначити за формулою (2):

$$\tau_c = \frac{(f_{yd}) \cdot A_s}{\pi d l}, \quad (2)$$

де,  $f_{yd}$  - напруження в стержні;

$l$  - довжина стержня.

При руйнуванні балки Б-1 ( $P_u = 55$ кН) максимальні дотичні напруження зчеплення досягли найбільшого значення  $\tau_{cm} = 9,3$  МПа в лівій частині зразка, а в правій -  $\tau_{cm} = 8,5$  МПа. Звичайно, руйнування балки відбулося через недостатню довжину анкерування стержня  $10d$ , а для розриву арматури необхідна довжина не менше  $25d$ .

Що стосується зразка – бетонної балки Б2 (див. рис. 5), яка армована склопластиковою арматурою  $\text{Ø}10\text{AKC}800$  [5], то руйнівне навантаження склало  $P = 34$ кН, що на 38% менше граничного навантаження балки Б1.

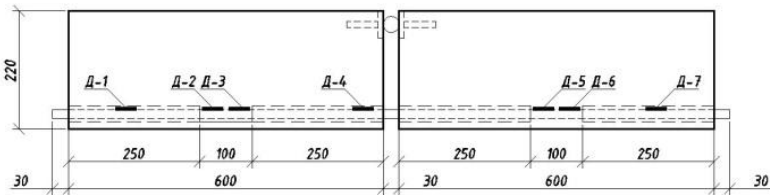


Рис. 5. Схема розташування тензорезисторів в дослідному зразку – бетонній балці Б2

Перед руйнуванням балки Б-2 при граничному навантаженні  $P_u = 34\text{кН}$  максимальні дотичні напруження зчеплення арматури та бетону досягли найбільшого значення  $\tau_{cm} = 9,75\text{МПа}$  в лівій зоні анкерування (Д-2), а в правій -  $\tau_{cm} = 9,15\text{МПа}$  (Д-6).

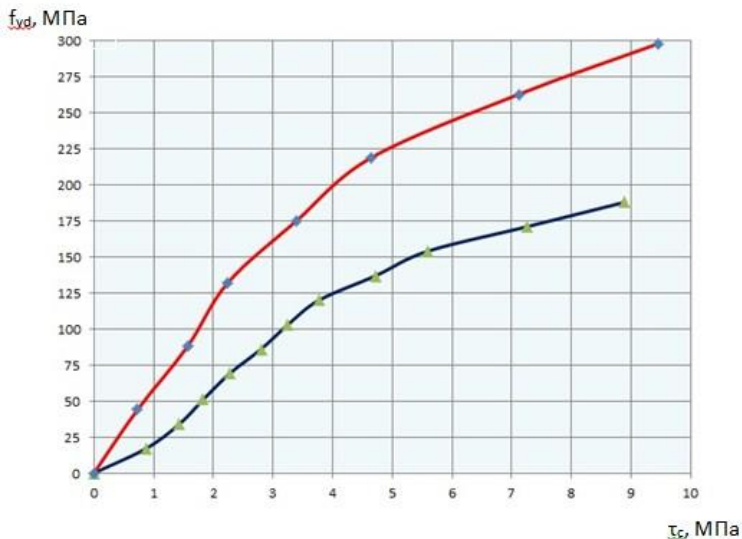


Рис. 6. Залежність середніх значень максимальних дотичних напружень зчеплення арматурних стержнів з бетоном  $\tau_c$ , МПа обох ділянок зчеплення балок Б-1 та Б-2 від напружень в стержнях  $f_{yd}$ , МПа —■— Ø16A500C; —◆— Ø10AKC600

Для проведення порівняння напружено-деформованих станів в дослідних зразках-балках Б1 та Б2 дані щодо отриманих дотичних напружень зведено до таблиці 1.

Створені графіки залежностей середніх значень максимальних дотичних напружень зчеплення арматурних стержнів з бетоном  $\tau_{ср}$ , МПа обох ділянок зчеплення балок Б-1 та Б-2 від напружень в стержнях  $f_{yd}$ , МПа (рис. 6).

Таблиця 1

Значення дотичних напружень зчеплення  $\tau_c$ , МПа  
металевої арматури Ø16A500C та склопластикової Ø10AKC600  
з важким бетоном

Рівень навантаження, кН	Дотичне напруження $\tau_c$ , МПа зчеплення металевої арматури Ø16A500C з бетоном			Дотичне напруження $\tau_c$ , МПа зчеплення склопластикової арматури Ø10AKC800 з бетоном		
	$\tau_{\text{ліве}}$ , МПа	$\tau_{\text{праве}}$ , МПа	$\tau_{\text{сєр}}$ , МПа	$\tau_{\text{ліве}}$ , МПа	$\tau_{\text{праве}}$ , МПа	$\tau_{\text{сєр}}$ , МПа
5	1,14	0,6	0,87	0,88	0,59	0,73
10	1,51	1,35	1,43	1,71	1,44	1,57
15	1,54	2,12	1,83	2,51	1,98	2,24
20	2,04	2,50	2,27	3,77	3,01	3,39
25	2,31	3,29	2,80	4,86	4,44	4,65
30	3,49	3,01	3,25	7,14	7,10	7,12
34				9,75	9,15	9,45
35	4,67	2,88	3,77			
40	4,97	4,47	4,72			
45	6,92	4,27	5,59			
50	8,31	6,19	7,25			
55	9,30	8,49	8,90			

Провівши аналіз кожної з ділянок зчеплення видно, що при збільшенні навантаження бетонної балки на ділянках контакту арматури з бетоном спостерігається переміщення дотичних напружень від початкової до кінцевої зони анкерування і максимальні значення складають в середньому в металевій арматурі Ø16A500C -  $\tau_c = 8,9$  МПа, а в композитній Ø10AKC600 -  $\tau_c = 9,45$  МПа, що на 9,4% більше.

Як видно з графіка на рисунку 6, значні нормальні напруження в композитній арматурі не призводять до збільшення дотичних. Це пов'язано з меншою деформативністю композитної арматури, хоча максимальні дотичні напруження зчеплення з бетоном всього на 9,4% більші порівняно з металевою. Для більш детального порівняння необхідно ще провести додаткові експериментальні дослідження.



## Висновки

1. Розподіл дотичних напружень зчеплення як металевої, так і композитної арматури з бетоном однаковий та має параболічний вигляд.

2. При збільшенні навантаження бетонної балки на ділянках контакту арматури з бетоном спостерігається переміщення дотичних напружень зчеплення з бетоном від початкової до кінцевої зони анкерування і для металевої арматури Ø16A500C вони на 9,4% менші ніж для склопластикової Ø10AKC800.

3. Граничні дотичні напруження на всій ділянці зчеплення у склопластикової арматури Ø10AKC800 з бетоном більші на 38% порівняно з металевую арматурою серповидного профілю Ø16A500C.

1. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. 2. Климов Ю.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном. – [Електронний ресурс] / Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин / Режим доступу: [http://frp-rebar.com/frprebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://frp-rebar.com/frprebar_test_adhesion_concrete.html). 3. Бабич Є.М. Чапюк О.С. Вавринюк Б.А. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 40. – С. 74-82. 4. Чапюк О.С., Гришкова А.В. Характеристика напружено-деформованого стану зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 54. – С.7. 5. Чапюк О.С., Кислюк Д.Я., Гришкова А.В., Орешкін Д.О. Напружено-деформований стан зчеплення композитної склопластикової арматури з важким бетоном / Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – Випуск 4. – С.232-239.