

УДК 624.012.25

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИХ
СТАНІВ ЗЧЕПЛЕННЯ З ВАЖКИМ БЕТОНОМ СТАЛЕВОЇ
АРМАТУРИ СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ ТА
КОМПОЗИТНОЇ СКЛОПЛАСТИКОВОЇ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF STRESSED-DEFORMED
CONDITIONING STATIONS WITH HARD CONCRETE OF
STEEL ARMATURES OF SERVERED PROFILE AND
COMPOSITE GLASS-PLASTIC**

**Чапук О.С., к.т.н, доц., Гришкова А.В., асп. (Луцький
національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Chapyuk O.S, Ph.D., Assoc, Grishkova A.V, PhD student (Lutsk
National Technical University, Lutsk)**

Проведені експериментальні дослідження випробувань зчеплення сталеві арматури серповидного профілю та композитної склопластикової арматури 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 – бетонних балках Б1 (сталева арматура серповидного профілю) та Б2 (композитна склопластикові арматура).

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 i-th 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 - concrete beams B1 (steel crescent-shaped rebar) and B2 (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

Постановка проблеми та задачі дослідження.

Сили зчеплення створюють у найближчому до арматури бетоні складний напружено-деформований стан [1]. Цей стан призводять до розподілу навантаження по осі арматури, в наслідок яких поздовжні зусилля по арматурі стають змінними по всій довжині стрижня [2].

Згідно проведених експериментальних досліджень зчеплення важкого бетону зі сталевую арматурою серповидного профілю та композитною склопластиковою арматурою, в даній статті ставиться задача порівняти напружено-деформовані стани металеві арматури та композитної склопластикові арматури в представлених зразках-

балках, випробуваних на згин за балковим методом RILEM/CEB/FIP [3].

Конструкція дослідних зразків та матеріали для їхнього виготовлення.

Для дослідження обраний бетон класу C20/25. Дослідні зразки-балки мали прямокутний поперечний переріз розміром 120x220мм, довжина балок – 1230мм. Балка складається з двох половинок, які з'єднані в розтягнутій зоні арматурним стержнем діаметром $d=16\text{мм}$ для металеві арматури серповидного профілю та $d=10\text{мм}$ для композитної склопластикової арматури (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, довжина кожної l ($l=220\text{мм}$ – для сталеві арматури $\text{Ø}16$ та $l=250\text{мм}$ – для композитної арматури $\text{Ø}10$). Відстань від осі випробувального стержня до осі металеві циліндра в стиснутій зоні (плече внутрішньої пари зусиль) становить 167мм, довжина кожної з половинок балки – 600мм, відстань між половинками – 30мм. Конструкція балок наведена на рис. 1. Арматура була обладнана тензодатчиками для дослідження поведінки напружень в арматурному стержні.

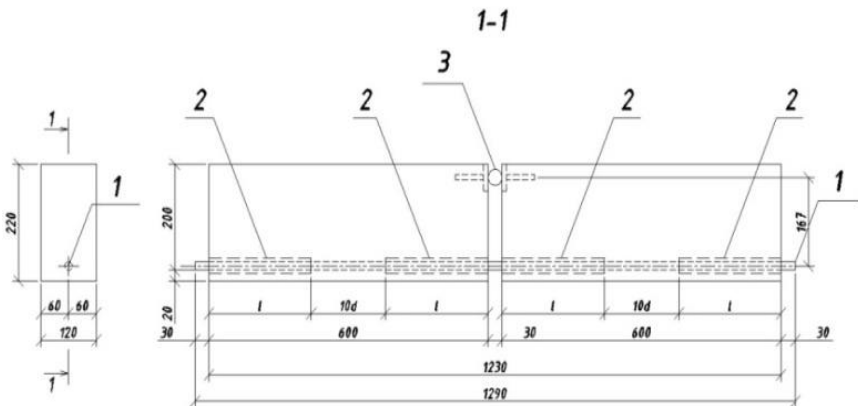


Рис. 1. Конструкція дослідного зразка - бетонної балки:

1 – арматурний стержень;

2 – пластикова трубка; 3 – сталевий циліндр

Методика експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження випробування бетонних балок здійснювались балковим методом RILEM/CEB/FIB на згин (рис. 2).

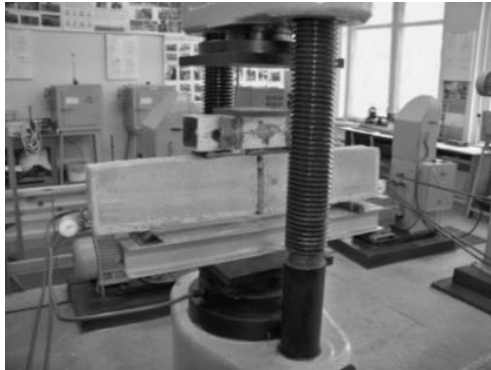


Рис. 2. Загальний вигляд випробування бетонних балок

Суть цього методу в тому, що в процесі випробувань вимірюються переміщення вільних кінців досліджуваного стержня, розташованих на торцях балок. Балки випробувались двома зосередженими силами, відстань між якими становила 400мм. Навантаження дослідних зразків здійснювалось ступенями по 5 кН. Переміщення вільних кінців досліджуваного арматурного стержня вимірювали індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,001мм. В балках на кожному ступені навантаження вимірювали поздовжні деформації стержня, заробленого в бетон, за допомогою тензорезисторів [3].

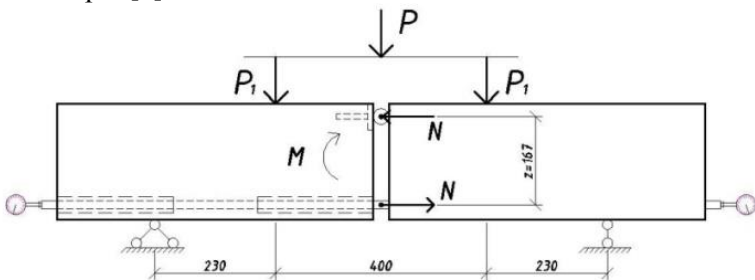


Рис. 3. Схема випробувань бетонних балок

В арматурних стержнях дослідних зразків вибиралися симетрично поздовжні пази глибиною 2мм, в яких розташовувалися тензорезистори для вимірювання деформацій стержня під час випробування на згин бетонної балки (рис. 4).

Тензорезистори приклеювалися клеєм БФ2 та гідроізолювалися епоксидною смолою. Від тензорезисторів влаштовувалися дротяні виводи, які приєднувалися до тензометричної станції.

Дослідження розподілення напружень зчеплення в дослідних зразках Б1 (арматурний стержень серповидного профілю) та Б2 (композитна склопластикова арматура). Під час випробувань зразка – бетонної балки Б1 за допомогою тензорезисторів вимірювалися деформації арматурного стержня ε_{si} [4], які виникають в середині довжини стержня, тобто в точках $i - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ (див. рис. 4).

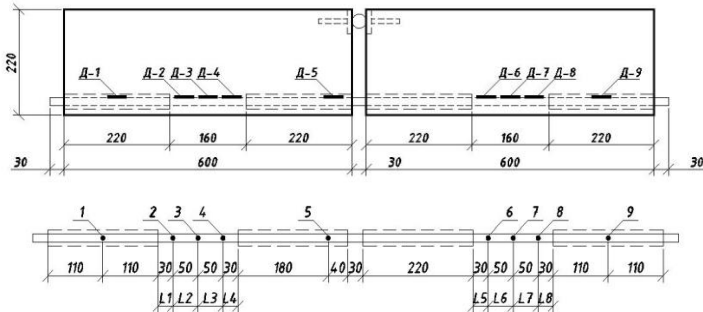


Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів дослідному зразку – бетонній балці Б1

Оскільки необхідно оцінити розподіл дотичних напружень в арматурному стержні при контакті з бетоном, то детальніше розглядаються ділянки анкерування (довжиною $10d = 160\text{мм}$), на яких розміщені точки $i - 2, 3, 4, 6, 7, 8$. Ці точки розділили зони анкерування (зчеплення з бетоном) стержня на 8 ділянок (див. рис. 4). 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). В цьому випадку дотичні напруження зчеплення в середині ділянок τ_{ci} можна визначити за формулою:

$$\tau_{ci} = \frac{(f_{ydi} - f_{yd,i-1}) \cdot A_s}{\pi l_i}, \quad (2)$$

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

l_i - довжина i -тої ділянки.

За знайденими середніми дотичними напруженнями зчеплення на кожній ділянці побудовані епюри їхнього розподілу по довжині анкетування арматурного стержня в бетоні для різних рівнів навантаження, а саме $P = 5, 15, 25, 35, 45, 50$ кН та при руйнівному навантаженні $P_u = 55$ кН (рис. 5).

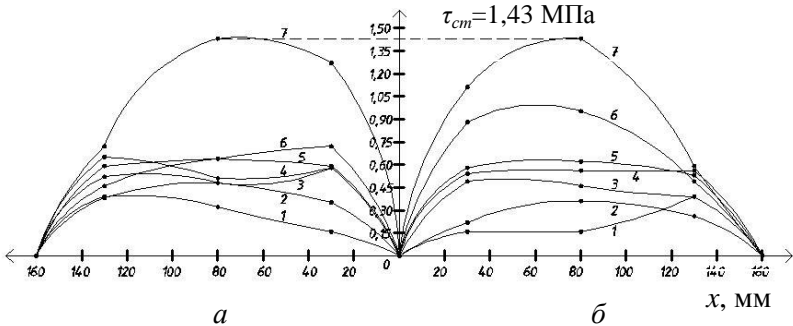


Рис. 5. Графік розподілу дотичних напружень τ_{ci} на ділянках зчеплення сталевго стержня з бетоном залежно від навантаження P : a – ділянка зчеплення 1, на якій розміщені тензодатчики Д-2, Д-3, Д-4; b – ділянка зчеплення 2, на якій розміщені тензодатчики Д-6, Д-7, Д-8; 1 – $P = 5$ кН; 2 – $P = 15$ кН; 3 – $P = 25$ кН; 4 – $P = 35$ кН; 5 – $P = 45$ кН; 6 – $P = 50$ кН; 7 – $P_u = 55$ кН (руйнівне зусилля).

Провівши аналіз кожної з ділянок зчеплення видно, що при збільшенні навантаження спостерігається переміщення дотичних напружень від кінця до середини зон анкерування. Максимальні напруження виникають посередині ділянок зчеплення та за значенням майже однакові ($\tau_{c1} = 1,43$ МПа; $\tau_{c2} = 1,42$ МПа).

Що стосується зразка – бетонної балки Б2, при рівнях навантаження у $P = 5$ кН; 10кН; 15кН за допомогою тензодатчиків також спостерігалась зміна напружень по всій довжині стержня [5]. Зі збільшенням величини прикладеного навантаження поступово кожен із тензодатчиків припиняв свою роботу, при руйнівному навантаженні $P=34$ кН знімалися покази лише з тензодатчика у точці 7 (див. рис. 6).

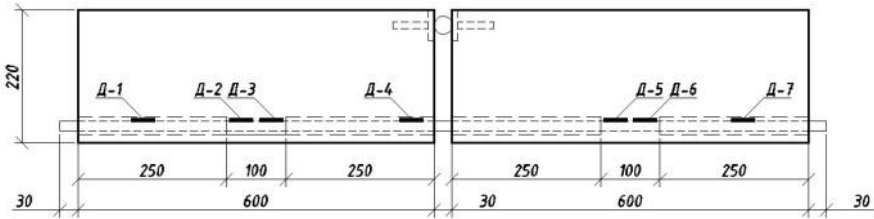


Рис. 6. Схема розташування тензорезисторів в дослідному зразку – бетонній балці Б2

Щоб провести порівняння напружено-деформованих станів в дослідних зразках Б1 та Б2, необхідно також оцінити розподіл дотичних напружень в композитному арматурному стержні при контакті з бетоном. Для цього детальніше розглядаються ділянки анкерування (довжиною $10d = 100\text{мм}$), на яких розміщені точки $i = 2, 3, 5, 6$. Ці точки розділили зони анкерування (зчеплення з бетоном) стержня на 6 ділянок (див. рис. 6).

За знайденими середніми дотичними напруженнями зчеплення на кожній ділянці побудовані епюри їхнього розподілу по довжині анкерування арматурного стержня в бетоні для певних рівнів навантаження, а саме $P = 5, 10, 15\text{кН}$ (рис. 7).

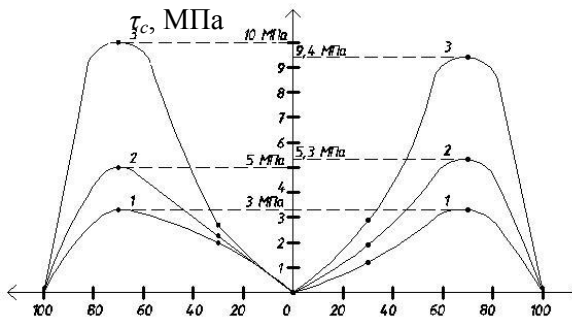


Рис. 7. Графік розподілу дотичних напружень τ_{ci} на ділянках зчеплення стержня з бетоном залежно від навантаження P :
 a – ділянка зчеплення 1, на якій розміщені тензодатчики Д-2 та Д-3;
 b – ділянка зчеплення 2, на якій розміщені тензодатчики Д-5, Д-6;
 1 – $P = 5\text{кН}$; 2 – $P = 10\text{кН}$; 3 – $P = 15\text{кН}$

Провівши аналіз кожної з ділянок зчеплення видно, що при звантаженні ділянок виникають напруження, які збільшуються від початку зони анкерування до середини, тоді вони досягають свого

максимального значення, після цього поступово зменшуються до кінця зони анкерування.

При довжині анкерування 10d границьне руйнівне навантаження в балці Б1 становило 55 кН, а в балці Б2 – 34 кН. Це зв'язано з тим, що зчеплення бетону зі сталевією арматурією дешіо краще, ніж зі склопластиковією, оскілки довжина анкерування та площа контактного шару бетону з металевією арматурією майже вдвічі більша.

Для більш детального порівняння необхідно ще провести додаткові експериментальні дослідження.

Висновки.

1. Характер розподілу дотичних напружень зчеплення як металевієї, так і склопластиковієї арматури з бетоном однаковий і має параболічний вигляд.

2. При збільшенні навантаження бетонної балки на ділянках контакту арматури з бетоном спостерігається переміщення дотичних напружень від кінця до середини зон анкерування і складає відповідно в металевії арматурі - $\tau_c = 1,43$ МПа, а в склопластиковії - $\tau_c = 10$ МПа.

3. Максимальні дотичні напруження склопластиковієї арматури майже в 10 разів більші, ніж металевієї. Це пов'язано з малою відносною видовженістю склопластиковієї арматури.

1. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с. 2. 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. 3. 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. 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., Орешкин Д.О. Напружено-деформований стан зчеплення композитної склопластиковієї арматури з важким бетоном / Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – Випуск 4. – С.232-239.