

І. В. МЕЛЬНИК, Р. З. ДОБРЯНСЬКИЙ, Р. І. КАНАФОЦЬКИЙ,
Н. Б. ДАВИДОВСЬКИЙ (НУ «Львівська політехніка»)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ПОЗДОВЖНЬОЮ АРМАТУРОЮ КЛАСУ А500С, ПІДСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНОЮ СИСТЕМОЮ RUREDIL X MESH GOLD

Підсилення залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А500С композитною системою Ruredil X Mesh Gold суттєво збільшило їх міцність, жорсткість і тріщиностійкість.

Ключові слова: залізобетонна балка, арматура, композитний матеріал, граничний стан, Ruredil

Усиление железобетонных балок с продольной арматурой класса А500С композитной системой Ruredil X Mesh Gold существенно увеличило их прочность, жесткость и трещиностойкость.

Ключевые слова: железобетонная балка, арматура, композитный материал, предельное состояние, Ruredil

Strengthening of reinforced concrete with longitudinal reinforcement class (A500C) composite beam system Ruredil X Mesh Gold substantially increased their strength, hardness and fracture toughness.

Keywords: concrete beam, armature, composite material, marginal state, Ruredil

Актуальність проблеми

Підсилення є одним з ефективних методів відновлення та збільшення міцності, жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних конструктивних елементів.

В останні роки при підсиленні будівельних конструкцій все ширше використовують високоміцні композити з різних матеріалів. Цьому сприяє ряд позитивних сторін композитів: висока міцність на розтяг, у тому числі при змінних навантаженнях, незначна власна вага, легкість транспортування, нескладна технологія підсилення, відсутність обмежень по довжині, висока корозійна стійкість.

Високоміцні композити виготовляють на основі скляних, базальтових, арамідних та вуглецевих волокон. Найчастіше на практиці використовують композити з вуглецевих волокон. На будівельний ринок вони поставляються у вигляді окремих смуг (стрічок) і тканин (матів). Експериментальні дослідження і використання на практиці, проведені у багатьох країнах світу, у тому числі в Україні, підтвердили їх зазначені вище позитивні сторони і високу ефективність [1, 2, 3].

В останні роки на будівельному ринку появились нова композиційна зовнішньоармуюча зміцнююча система італійської фірми Ruredil [4]. В Україні дослідження цієї системи не проводилися.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З інформаційних матеріалів відомо, що система Ruredil X Mesh Gold складається з органічних високоміцних волокон у вигляді сітки і стабілі-

зованої неорганічної матриці, призначеної для з'єднання сітки з поверхнею бетону. Система призначена для зміцнення балкових елементів на згин, зсув, кручення, а також для підсилення позацентрального стиснутих елементів.

В [4] подано схеми підсилення і результати експериментальних досліджень залізобетонних балок, зміцнених системою Ruredil X Mesh Gold. Переріз всіх 4-х експериментальних балок був однаковим – $40(b) \times 25(h)$ см. В залежності від кількості шарів сіток, схеми завантажень (однієї посередині чи двома симетричними зосередженими силами) в цих експериментах зафіксовано збільшення несучої спроможності балок від 10 до 30 %.

В 2009 р. згідно з угодою між НУ «Львівською політехнікою» і ТзОВ «Альпі-Львів», яка є офіційним представником Ruredil в Україні, проведені експериментальні дослідження двох серій балок (I і II) з поздовжньою арматурою різних класів. Результати досліджень балок з арматурою класу А-II, об'єднаних в серію I, подані в попередній публікації [5].

Мета і задачі досліджень. Провести експериментальні дослідження залізобетонних балкових елементів з поздовжньою робочою арматурою класу А500С за ДСТУ 3760-98, зовнішньо армованих різною кількістю робочих волокон сітки Ruredil, і визначити ефект підсилення за основними конструкційними показниками балок: міцності, жорсткості і тріщиностійкості.

Методика досліджень. Базовою (вихідною) конструкцію дослідних зразків є балкові залізобетонні елементи загальною довжиною 2,1 м з

розмірами перерізу $b \times h = 10 \times 22$ см (рис. 1). Балки армовані просторовим каркасом з обірваною верхньою робочою арматурою у середній зоні для дослідження стиснутого бетону без впливу стиснутої арматури. Для упередження руйну-

вання балок по похилих перерізах приопорні ділянки відповідно заармовані з частим розташуванням поперечної арматури. Основна робоча арматура – $2 \times \text{Ø}12$ A500C.

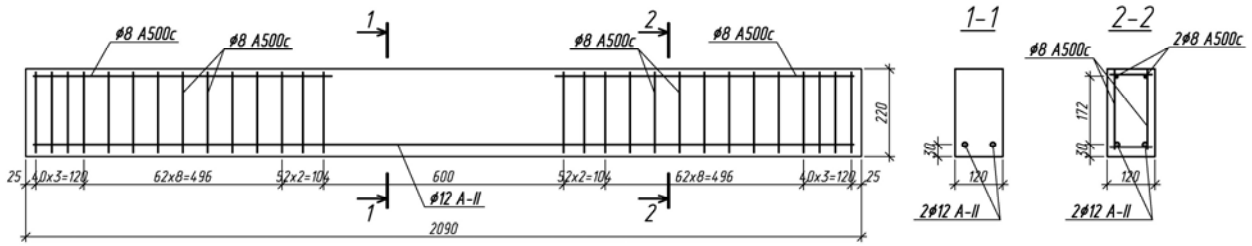


Рис. 1. Вихідна конструкція дослідних балок

Підсилення досліджуваних балок виконували за 3-ма схемами в залежності від кількості підсилюючого матеріалу (рис. 2). У першій схемі (див. рис.2, *b*) в прольотній частині балки наклеювали один шар сітки на всю ширину нижньої

грані балки, у другій – два шари сітки (див. рис. 2, *в*). У 3-й схемі, крім нижнього шару сітки, додатково наклеювали U-подібну сітку, що огортала балку знизу і по боках (див. рис. 2, *г*).

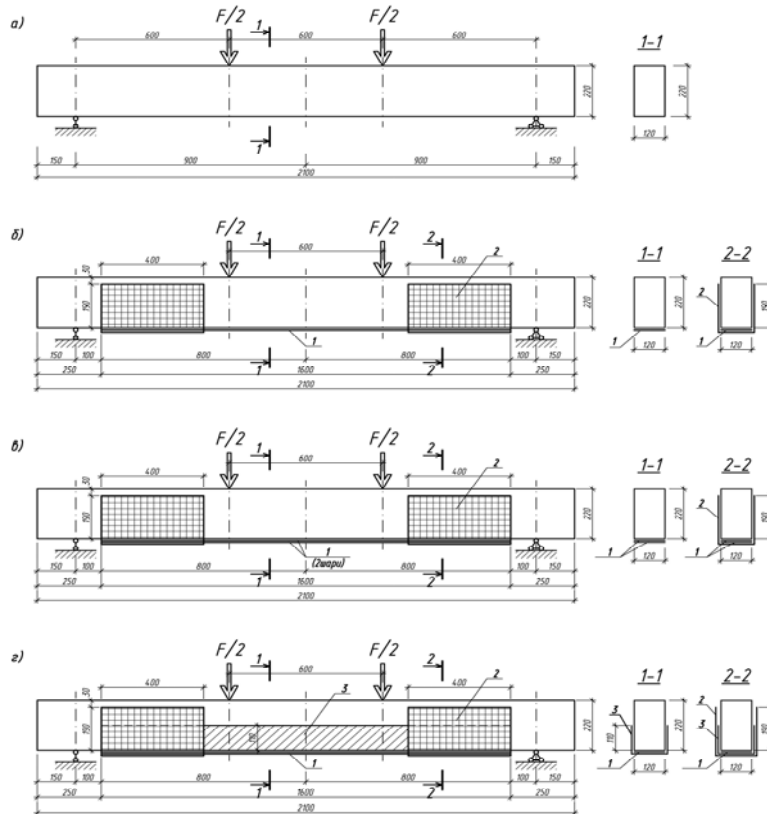


Рис. 2. Конструкція дослідних балок за схемою підсилення:

a – вихідна конструкція (до підсилення); *б* – підсилення одним шаром сітки знизу; *в* – підсилення двома шарами сітки знизу; *г* – підсилення одним шаром сітки знизу і другим U-подібним шаром сітки знизу і по боках; 1 – шар сітки знизу; 2 – анкеруючі U-подібні сітки на приопорних ділянках; 3 – U-подібна сітка в прольотній частині балки

Таким чином, в залежності від кількості підсилюючого матеріалу, отримали три конструктивних схеми підсилених балок. Незалежно від схеми підсилення, на приопорних ділянках наклеювали анкеруючі сітки, які охоплювали знизу і по боках підсилюючі прольотні шари сіток.

Всього випробувано чотири балки: одна для порівняння непідсиленна – марки Б-II (див. рис. 2, *a*) і три підсилені марок Б-II R (див. рис. 2, *b*), Б-II RR (див. рис. 2, *в*), Б-II RRR (див. рис. 2, *г*), які за наведеними далі схемами підсилювали до завантаження.

Використана для підсилення дослідних балок систем Ruredil X Mesh Gold складається з сітки, виготовленої з волокон поліпарафеніленбензооксазолу (Р.В.О) і стабілізованої неорганічної матриці, призначеної для з'єднання (склеювання) сітки з поверхнею бетону. Основні фізико-механічні властивості сітки такі: густина $1,56 \text{ г/м}^3$, міцність на розтяг $5,8 \text{ ГПа}$, модуль пружності 270 МПа , гранична деформація $2,15 \%$. У напрямку основних напружень (деформацій) сітка має у два рази більше волокон, ніж в іншому напрямі.

Стабілізована неорганічна матриця Ruredil X Mesh Gold M750 має такі механічні характеристики: міцність на стиск 28 МПа , міцність на згин $3,5 \text{ МПа}$, модуль пружності 6000 МПа .

Міцність бетону балок на момент випробувань становила $28,3 \text{ МПа}$, модуль пружності бетону $2,05 \times 10^4 \text{ МПа}$.

Балки випробовували на силовому стенді. Навантаження створювали гідравлічним домкратом і через силорозподільчу траверсу прикладали до балок двома зосередженими силами, створюючи таким чином зону чистого згину, у межах якої досліджували деформативність нормальних перерізів по висоті перерізу балок. Для цього до верхньої і бокової граней балки були приєднані тримачі індикаторів і упорів на базі 230 мм . Деформації поздовжньої арматури заміряли на тій самій базі з закріпленням приладів до коротунів, які приварювали до стержнів перед бетонуванням балок (рис. 3).

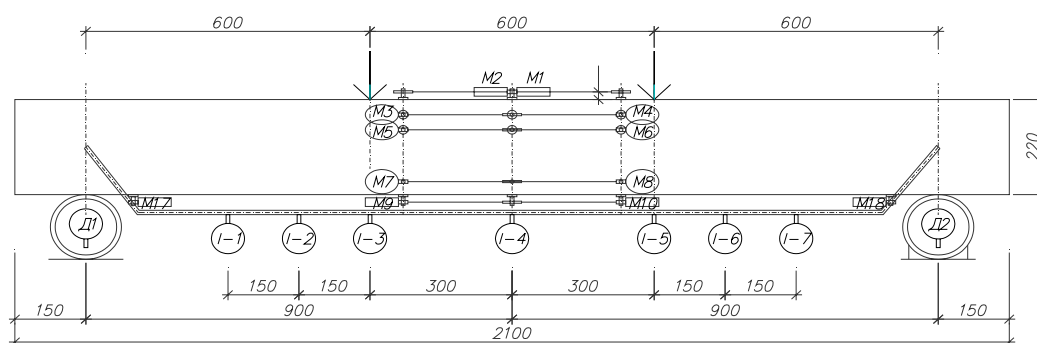


Рис. 3. Схема розташування приладів:

M1-M10 – індикатори годинникового типу з ціною поділки $0,001 \text{ мм}$, для заміру деформацій; I-1-I-7 індикатори годинникового типу для заміру прогинів; D-1-D-2 – динамометри кільцевого типу

Результати випробувань

Результати експериментальних досліджень за показниками міцності, деформацій і тріщиностійкості подані нижче у вигляді графіків, таблиці та порівняльного аналізу цих показників для підсилених і непідсилених балок.

Міцність. Всі випробувані балки зруйнувалися внаслідок втрати несучої спроможності нормальних перерізів. Непідсилена балка марки Б-II зруйнувалася внаслідок текучості поздовжньої робочої арматури з послідувачим дробленням бетону стисненої зони. Іншим був характер руйнування підсилених балок – вичерпання їх несучої спроможності почалося з дроблення стиснутої зони бетону. При цьому порушення зчеплення (зсуву) на приопорних ділянках сіток не спостерігалось. Ефект зміцнення безпосередньо залежав від кількості підсилюючих волокон сітки і становив від $18,4 \%$ до $36,1 \%$ (табл. 1).

Деформативність випробуваних балок подана у вигляді графіків деформацій нормальних

перерізів і прогинів посередині прольоту як інтегруючої величини деформацій у стиснутій та розтягнутій зонах та поперечних деформацій балок.

Таблиця 1

Міцність залізобетонних балок

№ з/п	Марка балки	Руйнівне навантаження F, кН	Ефект підсилення, %
1	Б-II	78,1	-
2	Б-II R	92,5	18,4
3	Б-II RR	95,0	21,6
4	Б-II RRR	10,3	36,1

Графіки зміни прогинів показують, що жорсткість підсилених балок були майже однаковою (рис. 4). Найбільшу деформативність, як і очікували, має непідсилена балка, порівняно з якою жорсткість підсилених балок при навантаженні $40 \dots 70 \text{ кН}$ збільшилася на $14 \dots 22 \%$.

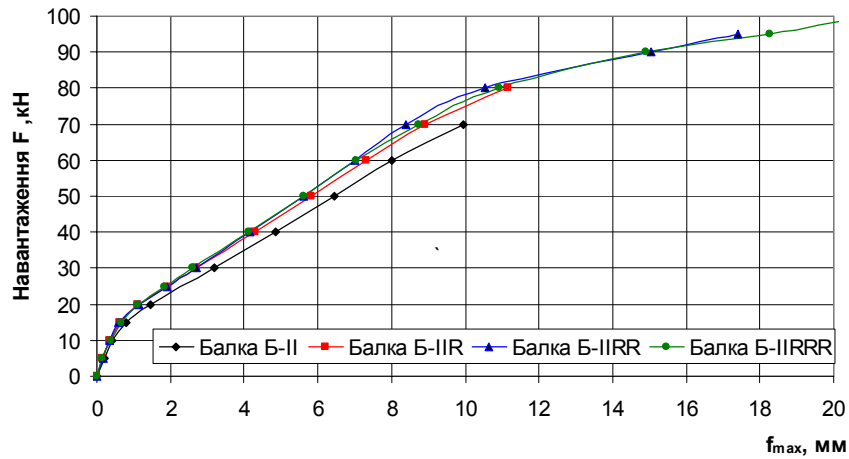


Рис. 4. Графіки прогинів досліджуваних балок

Як бачимо, кількість підсилюючих волокон сітки незначно впливає на загальну жорсткість балок. Графіки деформацій по висоті нормальних перерізів балок це підтверджують (рис. 5, 6, 7, та 8). Так при навантаженні 40...70 кН деформації крайніх волокон нормальних перерізів (стиснутого бетону і розтягнутої стрічки) є бли-

зькими, що і відображається на загальній величині прогинів. Проте при вищих рівнях навантаження по мірі збільшення кількості зміцнюючих волокон в балках Б-ІІRR, Б-ІІRRR деформації хоча і збільшуються, але не є критичними. На величину прогинів вплинули також деформації зсуву приопорних ділянок.

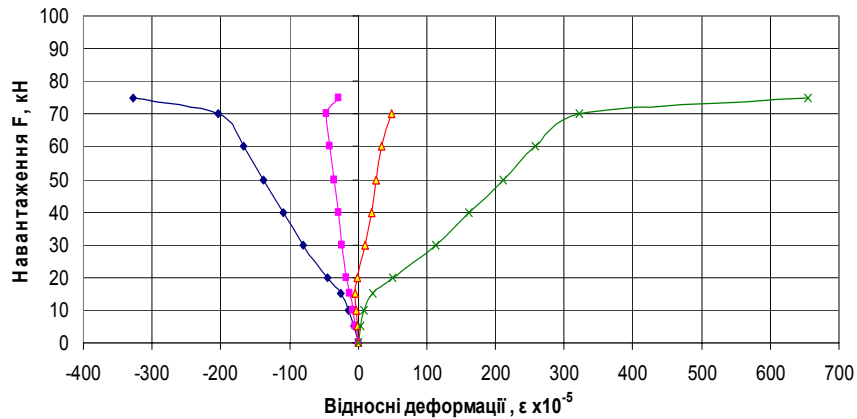


Рис. 5. Деформації нормальних перерізів балки Б-ІІ:
1, 2, 3 – бетону; 4 – арматури

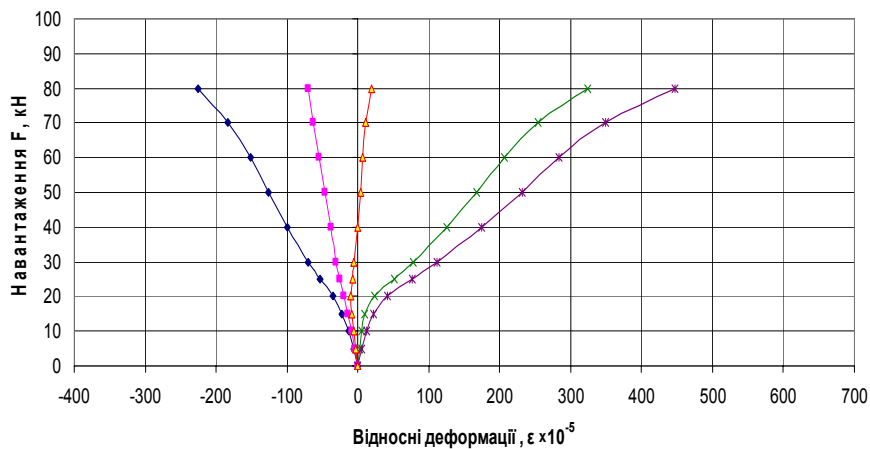


Рис. 6. Деформації нормальних перерізів балки Б-ІІR:
1, 2, 3 – бетону; 4 – арматури; 5 – композитної сітки

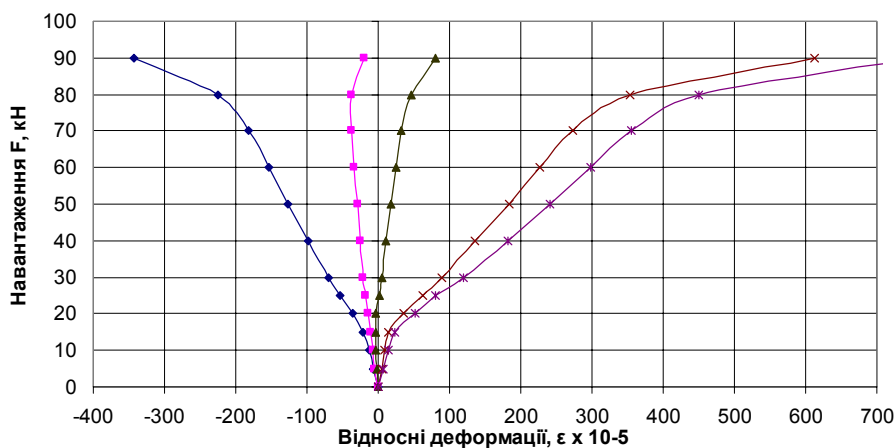


Рис. 7. Деформації нормальних перерізів балки Б-ІІRR:
1, 2, 3 – бетону; 4 – арматури; 5 – композитної сітки

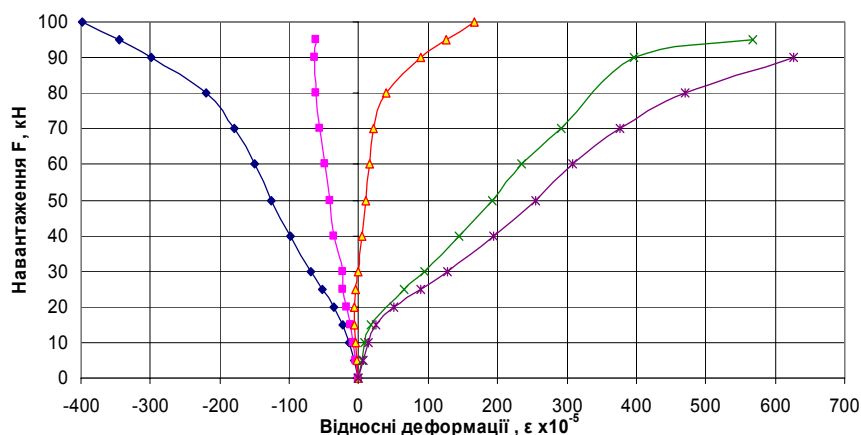


Рис. 8. Деформації нормальних перерізів балки Б-ІІRRR:
1, 2, 3 – бетону; 4 – арматури; 5 – композитної сітки

Тріщиностійкість. Тріщиностійкість балок оцінювали як за величиною навантаження, при якому виникли перші нормальні тріщини, так і за величиною їх розкриття при подальшому збільшенні навантаження.

Перші нормальні тріщини виникли в невідсиленій балці Б-ІІ при навантаженні $F = 7,5$ кН, у балках Б-ІІR і Б-ІІRR – відповідно при навантаженні 10,5 кН і 12,5 кН.

Кількість підсилюючих волокон сіток суттєво вплинула також на ширину розкриття тріщин. Так, при навантаженні $F = 50$ кН максимальна ширина розкриття нормальних тріщин в зоні чистого згину становила для балки Б-ІІ 0,17 мм, для балок Б-ІІ R і Б-ІІ RR відповідно 0,14 мм і 0,12 мм, що порівняно з невідсиленою балкою менше на 17,6 % і 29,4 %.

В балці Б-ІІRRR другий підсилюючий шар сітки наклеювався на половину нижньої висоти бокових граней балки, перекриваючи всю розтягнуту зону. Тріщини в цій зоні не були виявлені навіть на стадіях, близьких до руйнування.

Висновки

Підсилення залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А500С композитною системою Ruredil X Mesh Gold суттєво збільшило їх міцність, жорсткість і тріщиностійкість.

В залежності від кількості наклеєних на розтягнуту зону високоміцних волокон (кількості шарів сітки) міцність нормальних перерізів балок збільшилась від 18 % до 36 %, жорсткість при нормативних рівнях навантаження збільшилась на 14...22 %, ширина розкриття тріщин зменшилась на 18...30 %.

При наклеюванні на нижню і бокові грані балок композитної системи тріщини не виникають навіть на передруйнівних етапах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Meier, U., Strengthening of Structures with CFRP Laminates [Текст] / U. Meier, K. Kaiser. // Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the

- Specialty Conference (ASCE). – Las Vegas, Nevada, 1991. – P. 224-232.
2. Kotynia, R. Niektore aspekty wzmacniania belek na zginanie taśmami CFRP [Текст] / R. Kotynia // XLIII konf.nauk. KILiW PAN i KN PZITB Problemy naukowo- badawcze budownictwa. – Tom IV. Konstrukcje betonowe. – Krynica, 1997. – S.117-124.
 3. Кваша, В. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні [Текст] / В. Кваша, І. Мельник, Ю. Собко, А. Мурин, Р. Добрянський // 9th International Scientific Conference “Current issues of civil and environmental engineering”. – Rzeszow, 3-4 September, 2004. – С. 221-227.
 4. Інформаційні матеріали фірми Ruredil. АЛЬПІ [Текст] – Львів, 2009 р.
 5. Мельник І.В., ТзОВ «Альпі-Львів» випробовування залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А-II, підсилених композитними матеріалами Ruredil X Mesh Gold [Текст] / І. В. Мельник, Р. З. Добрянський, Р. І. Канафоцький, М. О. Кузик, Філіпішин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне НУВГП, 2010. – Вип. 20. – С. 487-492.

Надійшла до редколегії 14.04.2011.

Прийнята до друку 28.04.2011.