

УДК 624.012.45

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗГИНАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ANALYSIS OF MAIN STRENGTHENING METHODS BY COMPOSITE MATERIALS OF INCLINED CROSS SECTION OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Вегера П.І., аспірант, Хміль Р.Є., к.т.н., доцент, Бліхарський З.Я., д.т.н., проф. (Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів)

Вегера П.И., аспирант, Хмил Р.Е., к.т.н., доцент Блхарский З.Я., д.т.н., проф. (Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов)

Vegera P.I., postgraduate student, Khmil R.E., candidate of technical sciences, associate professor, Bliharsskyu Z.Y. doctor of technical sciences, professor (Lviv National Polytechnic University, Lviv),

В даній статті наведені та проаналізовані основні типи підсилення похилих перерізів згинаних залізобетонних елементів з використанням сучасних високоміцних композитних матеріалів.

В данной статье представлены и проанализированы основные типы усиления наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов с использованием современных высокопрочных композитных материалов.

In this paper presenting and analyzing major types of strengthening inclined sections of bending reinforced concrete elements with modern high-strength composite materials are described.

Ключові слова:

залізобетонні балки, похилі перерізи, підсилення, композитні матеріали.
железобетонные балки, наклонные сечения, усиления, композитные материалы.
reinforced concrete beams, inclined cross sections, strengthening, composite materials.

Вступ. Зазвичай, в процесі довготривалої експлуатації, основні несучі конструкції будівель та споруд, значну частину яких складають залізобетонні елементи, отримують пошкодження та потребують відновлення або підсилення. Найменш дослідженим на даний час типом підсилення є підсилення похилих перерізів в згинаних залізобетонних елементах, особливо за допомогою сучасних композитних матеріалів, які мають ряд переваг: високі параметри міцності та деформативності, простота в виконанні підсилення, невелика трудомісткість. З вступом в дію норм [0], які передбачають розрахунок елементів з використанням деформаційної моделі виникає багато запитань, оскільки композитні матеріали, як правило, мають високі анізотропні фізико-механічні властивості. Розглядаючи норми, що встановлюють параметри напружено деформованого стану [0], з'являються нові вимоги щодо підсилення конструкцій, які їх зазнають. В зв'язку з цим виникає потреба в аналізі існуючих методів та матеріалів підсилення похилих перерізів залізобетонних елементів та їх ефективності.

Мета та завдання досліджень. Виконати аналіз способів підсилення композитними матеріалами залізобетонних балок та їх несучої здатності за похилими перерізами.

Огляд методів підсилення. Аналізуючи загальні методи підсилення композитними матеріалами можна виділити їх три основні типи [0]: наклеювання композитного матеріалу на бічну поверхню елемента, наклеювання з утворенням «сорочки» підсилення (U-подібне наклеювання) та підсилення створенням обойми (рис. 1).

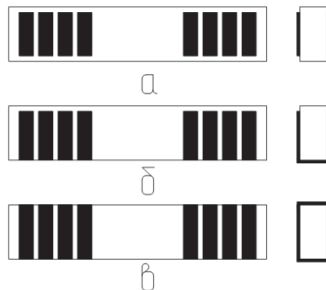


Рис. 1. Основні типи наклеювання композитних матеріалів[3]:
 а – наклеювання на бокову поверхню; б – U-подібне наклеювання;
 в – повне наклеювання (обоймою)

При проектуванні підсилення похилих перерізів, як правило, використовують такі ж типи підсилення проте вони часто варіюються в залежності від характеристик матеріалу підсилення. Дослідження підсилень похилих перерізів композитними матеріалами різних типів займались .Л. Чернявський, Ю.Г. Хаютин, Е.З. Аскельрод [0]. Їхні дослідження подані у вигляді рекомендацій по проектування та виконання підсилення згинаних залізобетонних елементів композитними матеріалами.

Виконуючи підсилення карбоновими композитами, так званими CFRP матеріалами, у роботі [0] досліджували ефективність їх розміщення: виконували підсилення похилих перерізів одним двома та трьома шарами матеріалу проте кожний шар був наклеєний під іншим кутом до осі елемента. Таким чином визначали найбільш ефективний метод розташування матеріалу композиту (рис. 2).

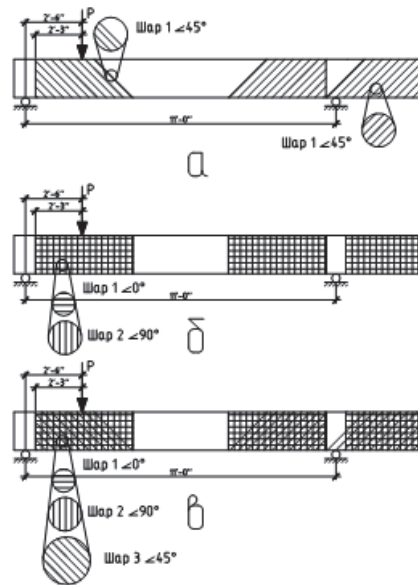


Рис. 2. Підсилення похилих перерізів балки [5]:

- а – наклеюванням одного шару тканини під кутом 45° ;
- б – наклеюванням двох шарів тканини під кутами 0° , 90° ;
- в – наклеюванням трьох шарів тканини під кутами 0° , 90° , 45°

В результаті даних досліджень встановлено, що підсилюючи балку одним шаром під кутом 45° до осі балки ефект підсилення становить 33,2%; підсилення двома шарами композитної тканини з розташуванням тканини перпендикулярно і паралельно до осі балки – 27,8%; розташовуючи тканину під кутами 0° , 90° , 45° , до осі балки – 47,6%.

Отже у роботі [0] найбільш ефективним методом було підсилення балки трьома шарами тканини під кутами 0° , 45° , 90° до осі балки, проте підсилення балки одним шаром під кутом 45° теж дало високі результати підсилення з значною економією матеріалу (в порівнянні з іншими методами).

Особливої уваги заслуговує дослідження підсилення похилих перерізів за допомогою поліпаро-фенілен-бензо-бістріолом (так звані системи PBO-FRCM) [0]. Ефективність застосування такого матеріалу при підсиленні похилих перерізів ґрунтується на тому, що він має розташовані робочі волокна в двох напрямках і ефективно сприймає результуючі зусилля, які

виникають в елементі вже при виконанні підсилення одним шаром тканини. Підсилення виконували U-подібними смужками розташованими перпендикулярно до осі та U-подібним підсилення по всій довжині небезпечного перерізу. (рис.3).



Рис. 3. Підсилення похилих перерізів балки PBO-FCRP [6]:

- а – наклеюванням суцільного шару тканини підсилення;
- б – наклеюванням підсилення у вигляді стрічок.

Ефект підсилення становив в межах 20-25%, що на нашу думку є доволі високим результатом.

Т. Трапко виконував підсилення похилих перерізів залізобетонних балок використовуючи різні схеми підсилення для встановлення найбільш ефективного способу підсилення, використовуючи різне розміщення однакових PBO-смужок [7] (рис. 4).

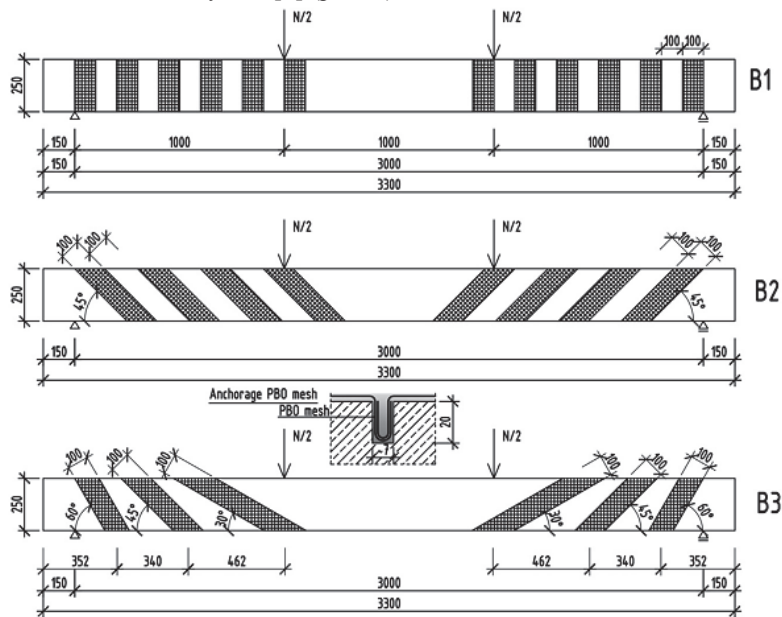


Рис. 4. Підсилення похилих перерізів балки [7]:

- B1 – наклеюванням вертикальних смужок тканини шириною 100 мм;
- B2 – наклеювання смужок тканини під кутом 45°
- B3 – наклеювання смужок тканини під різними кутами.

За результатами досліджень встановлено, що найбільшу несучу здатність показали балки підсилені вертикальними смужками – 257 кН. Несуча здатність при схемі підсилення B2 становить 236,7 кН, а для схеми B3 –

221,9 кН. таким чином можна сказати що найбільший ефект підсилення досягнуто при використанні підсилення вертикальними смужками. Такий ефект можна пояснити тим що вертикальні деформації, які виникають від дотичних напружень в похилому перерізі набувають більших значень ніж горизонтальні.

Для визначення впливу розмірів та ефективності способів підсилення балок на зріз було проведено досліді Годат А. [8] (рис. 5).

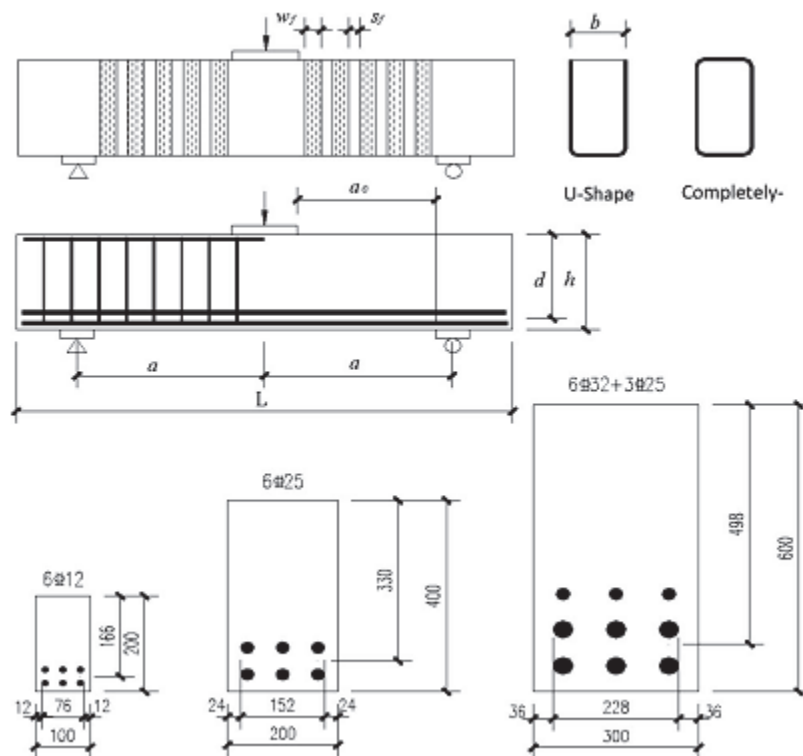


Рис. 5. Підсилення похилих перерізів балки різних розмірів FRCM системою [8].

Досліді проводили на балках різних геометричних розмірів, а підсилення виконували наклеюючи композитну смужку типу CFRP, розміри якої були змінні в залежності від розмірів балки зберігаючи певне співвідношення. Всі балки були виконані з бетону однакового класу проте мали відмінності по армуванні. Для балок підсилених наклеюванням типу «сорочка» (U-shape) ефект підсилення становив: для балок розмірами 200x100x 900мм. - 28%; 400x200x 1800 мм. - 14%; 600x300x2700 мм. - 24%. Отже ефект підсилення не має лінійної залежності від геометричних розмірів балок. Останній дослідний зразок підсилювали також повним огортанням тканиною -

підсилення типу «обойма» (completely). Для такого типу ефект підсилення склав 37 %, що вказує на значне збільшення несучої здатності в порівнянні з наклеюванням на три грані балки (підсилення типом «сорочка»).

Дослідження К.Юнг [9] стосувались підсилення балок гібридною FRP-FRCM системою (рис. 6).



Рис. 6. Компоненти гібридної системи FRP-FRCM [9]: а) цементна частина; б) гібридна тканина CFRP-GFRP.

Підсилення виконувалось наклеюванням системи по всій довжині похилого перерізу. Ефект підсилення для такої системи становив 54%. Такий показник є дуже високим для підсилення похилих перерізів, що свідчить про ефективність виконання підсилення.

Дослідження похилих перерізів проводили також на теренах України. Варто відзначити роботу Є.М. Бабича та Мельника С.В., котрі проводили дослідження похилих перерізів залізобетонних балок, підсилені композитними матеріалами з врахуванням впливу мало циклового навантаження [10,11]. Важливість цього дослідження полягає в тому що конструкції під час свого терміну експлуатації зазнають навантаження яке так чи інакше змінюється в часі. До таких типів навантаження належить кранове, вітрове та снігове. Дослідження проводили використовуючи дві типові схеми підсилення матеріалами фірми Sika (рис. 7).

Аналізуючи подані у роботі [11] системи підсилення слід відзначити що в першому випадку використовується наклеювання матеріалу підсилення на бокову поверхню з застосуванням анкерування для досягнення вищих показників підсилення. В другому випадку виконано підсилення по всій поверхні балки для отримання максимального ефекту підсилення. Ефект підсилення при монотонному навантаженні становив 30% і при малоциклового 50-60%, який в свою чергу залежить від типу малоциклового навантаження. В даній роботі було отримано значний ефект підсилення похилих перерізів.

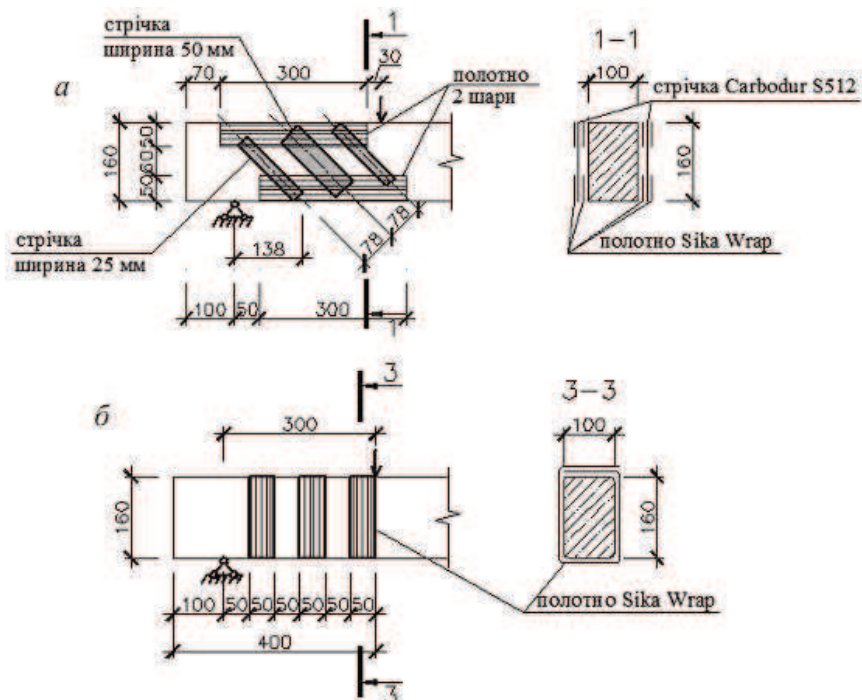


Рис. 7. Підсилення похилих перерізів балки системою Sika CarboDur[9]:
 а – з використанням вуглецевої стрічки; б – композитним полотном

Аналізуючи роботи зауважено, що в більшості випадків відсутні рекомендації для розрахунку досліджуваного типу підсилення, лише в деяких роботах [4,11,12] надавались рекомендації щодо теоретичного встановлення несучої здатності підсилених похилих перерізів, які показали неоднозначну збіжність результатів.

Особливу увагу слід звернути на дослідження Бикова [13], які проводились в сфері встановлення залежностей для розрахунку відшарування композитних матеріалів від балки. Цей напрямок досліджень є особливо актуальний для композитних матеріалів оскільки це найбільш вразливе місце такого підсилення.

Сучасні композитні матеріали є досить дорогими, тому виконувати підсилення необхідно враховуючи чинники, які вплинуть не тільки на ефективність, але і на економічність підсилення, яку можна вирішити шляхом вибору найбільш ефективного методу та кількості матеріалу підсилення.

Висновки. Значна різноманітність композитних матеріалів дозволяє виконувати підсилення похилих перерізів залізобетонних балок з достатньою ефективністю. Вже сьогодні розробляються та впроваджуються окремі методи та схеми для підсилення залізобетонних конструкцій. Такий значний поштовх в розвитку даного напрямку підсилення залізобетонних конструкцій спричинений

доволі високими показниками ефективності підсилення, які досягають до 60%, без значного збільшення поперечного перерізу балок.

Досліджуючи підсилення похилих перерізів залізобетонних балок композитними матеріалами значну увагу слід приділити теоретичному розрахунку.

1. Бетонні та залізобетонні конструкції : ДБН В.2.6 - 98: 2009. –[Чинний від 2011-07-1]. - К.: Мінбудрегіон України, 2011. – 84с. – (Національний стандарт України). 2. 47.Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону.: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. - [чинний від 2011-06-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118с. - (Національний стандарт України). 3. Alzate A. Shear strengthening of reinforced concrete members with CFRP sheets / A. Alzate, A. Arteaga, A. de Diego, D. Cisneros, R. Perera// *Materiales de Construcción*. – 2013. – P. 251-265 4. Чернявський В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / В.Л. Чернявський, Ю.Г. Хаютин, Е.З. Аскельрод, В.А. Клевцов, Н.В. Фаткуллин. – М.: ООО «ИнтерАква», 2006. – 113 с. 5. Shamsher B. Shear response and design of RC beams strengthened using CFRP laminates / B. Shamsher// *International Journal of Advanced Structural Engineering* – 2013. - №5. – P.16. 6. Ombers L. Shear capacity of concrete beam strengthened with cement based composite materials /L. Ombers// *Composite Structures*. – 2011. - №94.- P. 143-145. 7. Trapko T. Shear strengthening of reinforced concrete beams with PBO-FRCM composites /T.Trapko, D.Urbanska, M.Kaminski// *Composites Part B*. – 2015. - №80. – P.63-72. 8. Godat A. Size Effects for Reinforced Concrete Beams Strengthened in Shear with CFRP Strips / A. Godat, Z.Qu, X.Z.Lu, P. Labossière, L.P.Ye, K. W. Neale, M.Asce// *Journal of composites for construction*.-2010.-P.260-271. 9. Jung K Shear strength performance of Hybrid FRP-FRCM /K.Yung, K.Hong,S. Han, J.Park, J.Kim// *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol.2015. – P.1-11. 10. Мельник С.В. Дослідження несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок, підсиленіх наклеєними вуглепластиковими матеріалами /С.В. Мельник// *Галузеве машинобудування, будівництво*. – 2012. – Вип. 2(32), Том 1. – С. 151-158. 11. Мельник С.В. Робота підсиленіх за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях та удосконалення методики розрахунку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.23.01. «Будівельні конструкції будівлі та споруди»/С.В. Мельник. – Львів, 2013. – 22 с. 12. Шилин А.А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов - М: Стройиздат, 2007. – 184 с. 13. Быков А.А. Новая формула для расчета деформаций отслоения композита / А.А. Быков, А.В. Калугин // *Науковедение*. – 2013. - №4. – С. 1-13.