

УДК 624. 012

ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ПРИ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ

SHEAR CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH FIBER REINFORCED POLYMERS (FRP)

Скорук Л.М. к.т.н., доц., Полтавченко Р.В., асп. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Скорук Л.Н. к.т.н., доц., Полтавченко Р.В., асп. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Skoruk L. M., candidate of technical sciences, docent, Poltavchenko R. V., postgraduate (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Розкривається стан питання щодо підсилення залізобетонних балок композитними матеріалами при розрахунку міцності похилих перерізів. Представлені основні нормативні документи в яких наведені методики розрахунку.

Раскрывается вопрос усиления железобетонных балок композитными материалами при расчете прочности наклонных сечений. Представлены основные нормативные документы, в которых представлены методики расчета.

The document shows the substantive provisions shear capacity of reinforced concrete beams strengthened with FRP. The basic guidelines are shown and reviewed.

Ключові слова:

Зсув, похилі перерізи, композитні матеріали, FRP, залізобетонні елементи. Сдвиг, наклонные сечения, композитные материалы, FRP, железобетонные элементы.

Shear, composite materials, FRP, reinforced concrete structures.

Вступ. Розвиток будівництва не можливий без використання нових будівельних матеріалів та технологій. Так, все більшою популярністю користується технологія підсилення залізобетонних елементів композитними матеріалами на основі фібро армованих полімерів (Fiber Reinforced Polymer – FRP). Через маленьку власну вагу, високу міцність на розтяг та простоту монтажу даний метод може зайняти провідну роль серед «класичних» методів підсилення залізобетонних конструкцій. За останні роки була проведена велика кількість досліджень по визначенню впливу композитних матеріалів на основі фібро-армованих полімерів на несучу здатність залізобетонних елементів при роботі на згин. Проте, вплив даного методу на міцність похилих перерізів залізобетонних елементів висвітлений недостатньо, особливо у вітчизняній літературі. Не існує єдиної прийнятної теорії та методики розрахунку визначення міцності похилих перерізів залізобетонних елементів при підсиленні композитними матеріалами на основі фібро-армованих полімерів. Беручи до уваги той факт, що практичне застосування даного методу ускладнюється відсутністю комплексних положень для проектування були проаналізовані вже існуючі зарубіжні методики та визначені основні положення, що потребують подальшого уточнення.

Огляд останніх джерел і публікацій. При підсиленні згинальних залізобетонних елементів для збільшення міцності похилих перерізів, FRP використовують, як правило, в якості зовнішнього армування. В існуючих дослідженнях запропоновані декілька аналітичних методик розрахунку які базуються на різних положеннях. Так в роботах [1-4] основна увага приділена визначенню розрахункових деформацій в композитному матеріалі з врахуванням типу з'єднання FRP і зразка, що підсилюється. Якщо ж розглядати роботи [5, 6], то в них гранична величина деформації FRP задається емпіричними залежностями відповідно до типу руйнування зразка. В ряді робіт [7-9] розрахункова модель базується на нерівномірності розподілу деформацій в FRP.

При роботі підсиленого залізобетонного згинального елемента на зсув зусилля передаються на композитний матеріал. Якість передачі зусиль, в основному, залежить від фізичних та механічних характеристик композитних матеріалів, епоксидного клею та бетону. Саме тому всі розрахункові моделі враховують не лише характеристики міцності та жорсткості бетону, арматури та композитного матеріалу, велику увагу приділено схемі підсилення та зоні контакту між FRP і бетоном.

Основними типами руйнування підсиленних залізобетонних елементів при роботі на зсув може бути відшарування FRP. Тип руйнування залежить від схеми підсилення та від типу композитного матеріалу. Найбільш ефективною є схема повного обгортання композитним матеріалом поперечного перерізу залізобетонного елемента (рис. 1, а), але враховуючи конструктивні особливості будівель і споруд, така схема підсилення не завжди може бути застосована. Тому більш широкого практичного використання набули схеми тристоронньої (U-подібної) чи двосторонньої обгортки поперечного перерізу (рис. 1, б, в).

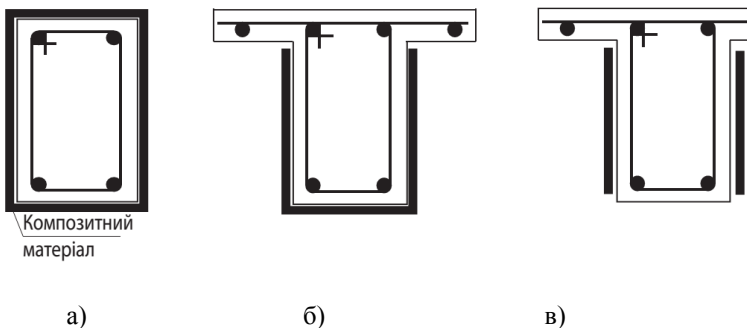


Рис. 1. Схеми підсилення залізобетонних балок композитними матеріалами: а - повне обгортання; б - U- подібне; в - двостороннє

Спираючись на експериментальні дослідження висвітлені в [10] можна зробити висновок, що відшарування є основною причиною руйнування залізобетонних балок підсиленних FRP в яких використана двостороння та U- подібна схеми обгортання. Зразки з повним обгортанням майже ніколи не руйнуються через відшарування композитного матеріалу (рис. 2).

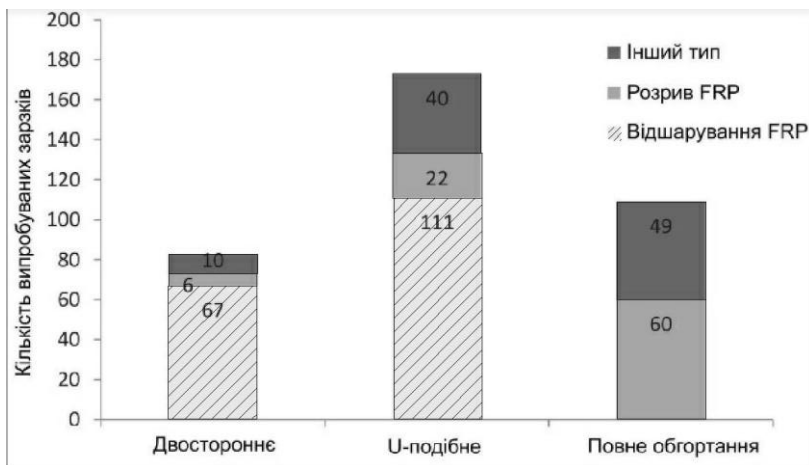


Рис. 2. Руйнування зразків відповідно до схем підсилення

Так як відшарування є передчасним типом руйнування, а схема з повним обгортанням може бути застосована не завжди, рекомендуються (для двосторонньої та U- подібної схем) використовувати різноманітні механічні анкерні пристрої (композитні або сталеві анкерні болти, металеві кутики та пластини), які запобігають передчасному відшаруванню.

Проте під час проектування не лише схема обгортання залізобетонного зразка композитним матеріалом впливає на міцність похилих перерізів. До факторів які істотно впливають на конструктивні особливості підсиленого елемента належать: геометричні властивості залізобетонного елемента та FRP, наявність поперечного армування та величина «плеча зрізу» (відношення відстані від опори до точки прикладання поперечної сили «а» до розрахункової висоти поперечного перерізу «d»).

Так, для елементів з високим відсотком поперечного армування використання FRP в якості способу підсилення міцності похилих перерізів є не ефективним [11]. Тому, що поперечна арматура сприймає більші зусилля зсуву ніж композитний матеріал.

Вплив FRP залежить від величини «плеча зрізу». Так, спираючись на дослідження [12] вплив FRP на міцність похилих перерізів значно більший для «низьких» балок. По мірі зменшення прольоту зрізу в «високих» балках збільшується арочний ефект і руйнування елемента відбувається внаслідок дроблення бетону стиснутої зони. Тому використання FRP для збільшення міцності похилих перерізів обмежується величиною міцності бетону на стик.

Існуючі методики розрахунку залізобетонних згинальних елементів підсилені композитними матеріалами на основі фібро-армованих полімерів на міцність похилих перерізів.

ACI 440 2R (США) [13]. Розрахунок міцності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів підсилені FRP ведеться з умови типу «відмови» елементів підсилення. Для схеми з повним обгортанням основним типом відмови визначено розрив композитного матеріалу, тому при розрахунку міцність FRP знижується послаблюючим коефіцієнтом $\psi_f = 0,95$. Також при розрахунках обмежуються деформації найбільш віддаленого розтягнутого волокна композитного матеріалу до 0,4 ($\epsilon = 0,004$). Це обмеження деформацій базується на експериментальних даних та досвіді. Для U – подібної та двосторонньої схем відповідно вводяться понижуючі коефіцієнти та обмеження деформацій.

CAN/CSA S806 (Канада) [14]. Міцність похилих перерізів залізобетонних елементів підсилені FRP визначається за спрощеним методом представленим в будівельних нормах (CAN/CSA A23.3 [15]). Основними умовами при розрахунку є тип «відмови» композитних матеріалів (відшарування або розрив) та обмеження деформацій до 0,4% при розриві FRP, та до 0,2% при відшаруванні.

Fib-TG9.3 (ЄС) [16] Основою методики є аналітичний метод запропонований в [1]. При розрахунку враховуються схеми обгортання композитними матеріалами, технологію наклеювання, властивості FRP з різними коефіцієнтами надійності по матеріалу. Тип «відмови» враховує ефект від порушення зчеплення між композитним матеріалом і бетоном.

JSCE (Японія) [17]. В нормах запропонована досить складна модель розрахунку, в якій двома методами розглядається вплив композитних матеріалів на міцність похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів підсилених FRP. В першому методі визначаються середні деформації в композитному матеріалі які виникають внаслідок зсуву. В другому методі основна увага прикута до зони контакту між композитним матеріалом та бетоном. Однією з основних гіпотез є те, що процес відшарування композитного матеріалу оцінюється через аналіз напружень за умови, що бетон це тверде тіло, композитний матеріал пружне тіло, і є лінійна залежність між величиною зсуву і напруженнями в композитному матеріалі.

CNR-DT 200/2004 (Італія) [18]. В залежності від типу обгортання залізобетонного елемента в розрахунок вводиться показник «розрахункової міцності FRP (f_{fed}) який враховує можливість відриву композитного матеріалу через появу концентратора напружень в зоні контакту між FRP та бетоном та визначає величину дотичних напруження при початку відшарування.

NCHRP 678 (США) [10]. В документі проведений широкий аналіз існуючих методик розрахунку міцності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів підсилених композитними матеріалами та запропонована власна методика розрахунку. Основна увага приділяється передчасному відшаруванню композитного матеріалу та впливу додаткових анкерних пристроїв.

Так як в Україні не розроблено нормативних документів по розрахунку та конструюванню залізобетонних згинальних елементів підсилених композитними матеріалами рекомендується при розробці такого документу користуватися такими положеннями:

1. При розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних згинальних елементів підсилених композитними матеріалами обов'язково необхідно враховувати наступні параметри: фізичні та геометричні характеристики елементів підсилення, схему обгортання, зчеплення в зоні контакту між композитним матеріалом та бетоном, розрахункову довжину композиту, тип «відмови» FRP.

2. Для полегшення практичного використання методики розрахунку всі параметри повинні, або бути відомими або знаходитися з протих взаємозалежностей.

Більш глибокий аналіз існуючих методик розрахунку показує, що залишається ряд питань, які потребують подальшого уточнення, а саме: вплив додаткових анкерних пристроїв на тип руйнування елементів підсилення; залежність між відсотком внутрішнього поперечного армування та композитними матеріалами при визначенні впливу останніх на міцність залізобетонних елементів при роботі на зсув; тривала робота залізобетонних елементів підсиленних композитними матеріалами з врахуванням появи тріщин на межі зони контакту «бетон-FRP»; вплив композитних матеріалів які розташовані в розтягнутій зоні бетону на міцність похилих перерізів.

Висновок. Підсилення залізобетонних елементів композитними матеріалами на основі фіброармованих полімерів користується все більшою популярністю поряд з «класичними» методами підсиленнями. Основна кількість досліджень присвячена впливу даного підсилення на міцність нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів. При цьому вплив підсилення на міцність похилих перерізів розглянутий не достатньо як теоретично так і практично. Не існує єдиної прийнятої методики розрахунку, а існуючі методики часто показують протилежні результати. Також, є ряд питань, які не висвітлені й дотепер. В Україні не існує жодного нормативного документу в якому б приводилася методика розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних згинальних елементів підсиленних композитними матеріалами, що значно гальмує розвиток даного методу.

1. Triantafillou, T. C., 1998. Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy bonded FRP composites, *ACI Struct J.* 95(2), pp. 107-115. 2. Hutchinson, R. L., Rizkalla, S. H., 1999. "Shear strengthening of AASHTO bridge girders using carbon fiber reinforced polymer sheets", *Proc., 4th Int. Symp. on Fiber reinforced polymer reinforcement for reinforced concrete structures.* ACI publications SP-188, pp. 945-56. 3. Khalifa, A., Tumialan, G., Nanni, A., Belarbi, A., 1999. "Shear strengthening of continuous reinforced concrete beams using externally bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer sheets", *Proc., fiber reinforced polymer reinforcement for reinforced concrete structures, fourth international symposium, SP-188, C.W. Dolan, S.H. Rizkalla, and A. Nanni Eds., ACI, Farmington Hills, Mich.* pp. 995-1008. 4. Khalifa, A., Nanni, A., 2000. Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites, *Cement & Concrete Composites* 22, pp. 165-174. 5. I-Sulaimani, G. J., Shariff, A., Basanbul, I. A., Baluch, M. H., Ghaleb, B. N., 1994. Shear repair of reinforced concrete by fiber glass plate bonding, *ACI Struct J.* 91(4), pp. 458-464. 6. Chajes, M. J., Jansuska, T. F., Mertz, D. R., Thomson, T. A., Finch, W. W., Jr., 1995. Shear strength of RC beams using externally applied composite fabrics, *ACI Struct J.* 92(3), pp. 295-303. 7. Malek, A. M., Saadatmanesh, H., 1998. Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Web-Bonded Fiber-Reinforced Plastic Plates, *ACI Structural Journal* 95(4), pp. 391-399. 8. Deniaud, C., Cheng, J. J., R. 2001. Shear behavior of RC T-beams with externally bonded FRP sheets, *ACI Struct. J.* 98(3), pp. 386-394. 9. Deniaud, C., Cheng, J. J. R., 2004. Simplified shear design method for concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets, *J. Compos. Constr.* 8(5), pp. 425-433. 10. NCHRP Report 678. 2011. Design of

FRP Systems for Strengthening Concrete Girders in Shear. Transportation Research Board. Washington, DC, USA. **11.** Li, A., Diagona, C., and Delmas, Y., 2002. Shear Strengthening Effect by Bonded Composite Fabrics on RC Beams, *Composites Part B: Engineering* 33(3), pp. 225–239. **12.** Chaallal, O., Shahawy, M., Hassan, M., 2002. Performance of reinforced concrete T-girders strengthened in shear with carbonfiber reinforced polymer fabrics, *ACI Struct J.* 99(3), pp. 335-343. **13.** ACI Committee 440. 2002. ACI 440.2R-02-Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. Farmington Hills, MI. **14.** CAN/CSA S806-02. 2002. Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymer, Canadian Standard Association, Rexdale, Ontario, Canada. **15.** CAN/CSA A23.3-94. 1994. Design of Concrete Structures for Buildings. Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada. **16.** Fib-TG9.3. 2001. Design and Use of Externally Bonded Fiber Polymer Reinforcement (FRP EBR) for Reinforced Concrete Structures. Technical Report Prepared by EBR Task Group 9.3, Bulletin 14, Lausanne, Swiss. **17.** JSCE. 2001. Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fiber Sheets. Concrete Engineering Series 41. Japan Society of Civil Engineers. Tokyo, Japan. **18.** CNR-DT 200/2004 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. National Research Council. Advisory Committee On Technical Recommendations For Construction. Rome, Italy.