

УДК 624.014.2:691.32

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.92102>

КЛЕЙОВІ З'ЄДНАННЯ СТАЛІ ТА БЕТОНУ

Д-р техн. наук Л.І. Стороженко, канд. техн. наук Ю.О. Давиденко,
асист. О.Г. Горб, інж. О.О. Горб

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ И БЕТОНА

Д-р техн. наук Л.И. Стороженко, К-т техн. наук Ю.А. Давиденко,
ассист. А.Г. Горб, инж. О.А. Горб

ADHESIVE CONNECTIONS OF STEEL AND CONCRETE

DSc L.I. Storogenko, PhD Y.O. Davydenko, Assistant O.G. Gorb, Eng. O.O. Gorb

У статті наведені відомості про експериментальні дослідження залізобетонних балок підсилених листовим та профільним зовнішнім армуванням, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Випробування проводилися з метою визначення несучої здатності та характеру деформування елементів. Виконане порівняння конструкцій із клейовим з'єднанням та без нього.

Ключові слова: клейове з'єднання, балка, зовнішнє армування, сумісна робота, несуча здатність, прогин.

В статье приведены сведения об экспериментальных исследованиях железобетонных балок усиленных листовым и профильным внешним армированием, в которых совместная работа стали и бетона обеспечивается с помощью склеивания. Испытания проводились с целью определения несущей способности и характера деформирования элементов. Выполнено сравнение конструкций с клеевым соединением и без него.

Ключевые слова: клеевое соединение, балка, внешнее армирование, совместная работа, несущая способность, прогиб.

The article contains information about experimental research on the reinforced concrete beams with steel plates and profile external reinforcement in which joint work of steel and concrete is provided with gluing. Polymer composite, such as acrylic adhesive, was used for the creation of connection. Their usage is most common in modern building practice in strengthening, reconstruction and restoration of bearing structures by high strength, good adhesive and cohesive properties, durability. Tests were conducted to determine the nature of the deformation and bearing capacity elements. As a result of the research were obtained true values of relative deformations of normal sections, deflections for different stages of loading and bearing capacity. Steel and concrete glue connection structure and steel and concrete structure comparison was done.

Keywords: *adhesive bonding, beam, external reinforcement, joint work, bearing capacity, deflection.*

Вступ. На сьогодні в будівельній індустрії все частіше при підсиленні, реконструкції та відновленні залізобетонних конструкцій та при влаштуванні анкерування використовуються різноманітні полімерні розчини. Для забезпечення сумісної роботи бетону і сталі, за рахунок ряду переваг та відносно низької вартості, найбільш раціональним є використання акрилового клею. Досить вузький спектр шляхів його застосування в будівництві поки що не в повній мірі розкрив великий потенціал акрилових полімерів. Отже, існує потреба в нових експериментальних дослідженнях і теоретичному вивченні композитних конструкцій, в яких сумісна робота складових частин забезпечується за допомогою акрилового клею.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідженнями акрилових клеїв, їх складу і властивостей, при забезпеченні сумісної роботи сталі та бетону в будівельних конструкціях, займається ряд наукових шкіл створених в провідних вузах України технічного спрямування сумісно з провідними іноземними фахівцями (Харківська національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Полтавський національний технічний університету імені Юрія Кондратюка, Національний авіаційний університет та ін.). З метою практичного використання набутого в цій галузі досвіду та розширення сфери застосування досліджених полімерів виникає необхідність в теоретичному і експериментальному вивченні з'єднань бетону та сталі влаштованих шляхом склеювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження акрилових клеїв різного складу дозволили довести їх перевагу порівняно з іншими полімерами при забезпеченні сумісної роботи бетону і сталі [1, 9]. Навіть новітні анкерувальні засоби [2, 3, 5-8] не витримують конкуренції щодо економічності, технологічності та матеріалоемності при відновленні перерізів залізобетонних згинальних елементів у порівнянні з клеями. Застосування з'єднань сталі та свіжоукладеної бетонної суміші з допомогою акрилового клею [4] дозволяють обійтися без анкерування. Отже, використання з'єднань на основі акрилових клеїв замість традиційних способів забезпечення сумісної роботи сталі і бетону при підсиленні та реконструкції залізобетонних згинальних елементів є перспективним напрямом експериментальних і теоретичних досліджень.

Визначення мети та задачі дослідження. Експериментальні випробування було проведено з метою дослідження: клейових з'єднань бетонної та сталевих частин залізобетонних згинальних елементів для підвищення їх міцності; сумісної роботи сталі та бетону при їх склеюванні; особливостей деформування на різних стадіях завантаження; характеру руйнування дослідних зразків.

Основна частина дослідження. Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи підсилених залізобетонних елементів із використанням клейового з'єднання бетону та сталі були запроектовані згинальні елементи

прямокутного перерізу прольотом 2,1 м із підсиленням і без нього.

Зразки поділялись на 3 серії, призначення яких відповідає вимогам для окремого вивчення різних факторів, від котрих може залежати ступінь впливу згинального моменту на міцність і деформативність досліджуваних конструкцій. Вивчаючим фактором є наявність та тип підсилення за рахунок клейового з'єднання сталевих та бетонних частини.

Зразки згинальних елементів – залізобетонні балки прямокутного перерізу розміром 200×100 мм. Армування виконане у вигляді каркасу, який складається з двох розтягнутих та двох стиснутих стержнів діаметром 10 мм класу А400С, з'єднаних поперечними хомутами з кроком 200 мм. При цьому захисний шар становить 20 мм. Балки виготовлені з важкого бетону класом за міцністю С16/20. Відрізняються зразки один від одного наявністю та типом підсилення у вигляді приклеєного зовнішнього армування. Тобто зразок Б1 не має підсилення, зразок Б2 підсилений сталевим листом розміром 2100×100×5 мм, зразок Б3 підсилений парою рівнополічкових кутиків 40-5 довжиною 2,1 м (рис. 1).

Для влаштування клейового з'єднання використовується двохкомпонентний акриловий клей з наповнювачем. Найбільш оптимальним складом клею для проведення будівельних робіт є: 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача, 150 – 300 мас-частин наповнювача в залежності від крупності кварцового піску. В нашому випадку ця пропорція становить 1:1:2. Як наповнювач може використовуватися кварцовий пісок із крупністю зерен від 0,16 до 0,63 мм. Пісок повинен бути сухим, без сторонніх домішок і включень. Для підвищення адгезійних, когезійних, технологічних та ін. властивостей можуть застосовуватися модифікатори (наприклад, оксид цинку ZnO).

Наповнюваність акрилового клею залежить від складу компаунда і крупності зерен піску. Так, зі збільшенням кількості затверджувача з 60 до 200 мас-частин на 100

мас-частин полімеру, наповнюваність кварцовим піском із крупністю зерен 0,16 мм збільшується з 160 до 700 мас-частин.

Однією з найважливіших технологічних характеристик клею є його життєздатність, тобто проміжок часу, протягом якого його можна застосовувати для виготовлення конструкцій. Вона залежить від його складу і температури середовища. Наприклад, для одного й того складу клею при зміні температури від 25 до 10°C життєздатність складає 16 – 250 хв., яка також значно зростає зі збільшенням кількості затверджувача. Акрилова пластмаса полімеризується без виділення побічних речовин, що позитивно позначається на якості клейового шва і міцності матеріалу.

Акрилові клеї мають високу довговічність. При багаторазовому заморожуванні і відтаванні міцність на стиск через 20 циклів зменшується на 10%. Потім вона зростає і до 140 циклів досягає свого початкового значення. Збільшення міцності спостерігається до 180 циклів і складає 2,1% у порівнянні з початковою величиною. Надалі до 500 циклів істотних змін міцності не спостерігалось.

Таким чином можна стверджувати, що акриловий клей володіє високими технологічними та когезійними властивостями. Він простий і надійний у приготуванні, має низьку в'язкість, яка не залежить від температури навколишнього середовища, що дозволяє його використання на відкритому повітрі в будь-яку пору року.

Випробування проводилися за схемою однопролітної вільно обпёртої балки, навантаженої двома силами. Розрахунковий проліт балок становив 2000 мм, а зона чистого згину 600 мм. Випробування проводилися на дію короточасних навантажень на пресах лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Під час проведення експериментальних досліджень напружено-деформованого стану зразків на дію згинального моменту відмічались характерні особливості розподілення деформацій по висоті перерізу,

а також інтенсивність зростання прогинів та характер руйнування. Відносні поздовжні деформації із метою виключення зусиль зсуву вимірювалися в зоні чистого згину за допомогою електротензорезисторів (рис. 2). Відліки по електротензорезисторах

знімалися за допомогою приладу "ВНП-8". Вертикальні переміщення згинальних зразків у процесі навантаження фіксувалися за допомогою прогиноміра ПАО-6, який установлювався по середині прольоту.



Рис. 1. Технологія влаштування клейового з'єднання зразка Б3

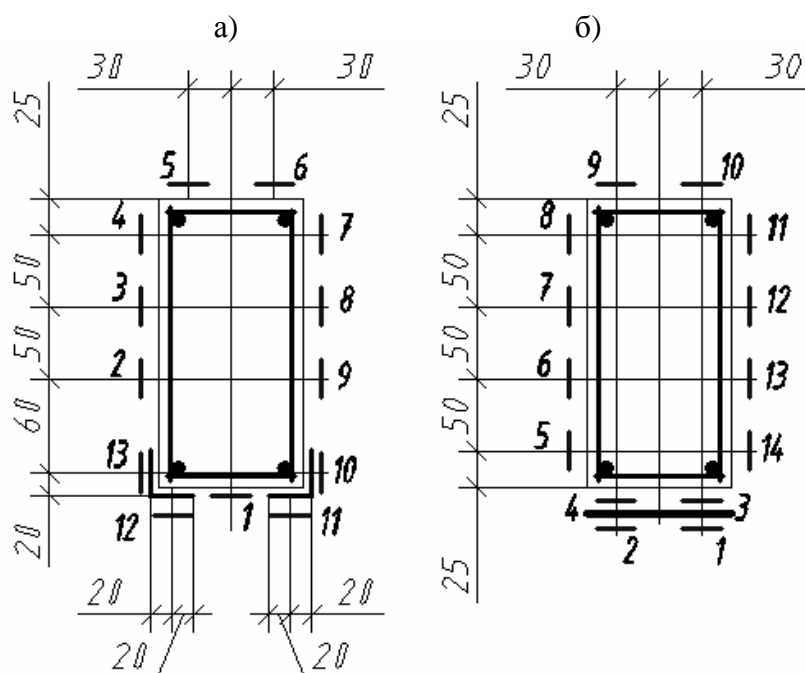


Рис. 2. Схеми розміщення електротензорезисторів: а) зразок Б2; б) зразок Б3

Згідно прийнятій методиці проведення експериментальних досліджень несучої

здатності і деформативності підсилених залізобетонних балок вимірювання

деформацій проводились в зоні чистого згину з метою виключення впливу зусиль зрізу. В ході проведення досліджень напружено-деформованого стану нормальних перерізів експериментальних зразків під дією навантаження відмічались характерні особливості розподілу деформацій по висоті перерізу і довжині елементів, а також інтенсивність росту прогинів.

В результаті вимірювання деформацій досліджуваних залізобетонних балок отримані графіки залежності деформацій від навантаження (рис. 3).

Порівнюючи результати дослідження зразків з використанням підсилення та без нього, можна говорити про можливість

застосування акрилових клеїв для приєднання зовнішнього листового чи профільованого армування для збільшення площі поперечного перерізу небезпечної зони. Як видно із наведених графіків бетон із приклеєним сталевим підсиленням працювали сумісно на всіх стадіях завантаження аж до повного руйнування, яке відбувалось в момент пружної роботи сталі. При цьому спостерігається значне зменшення деформативності конструкцій, в яких використовувалося підсилення кутиками, тобто відносні деформації та прогин в залежності від навантаження зменшувалися приблизно на 40% при тому, що несуча здатність, як видно із табл. 1 збільшилася на 40%.

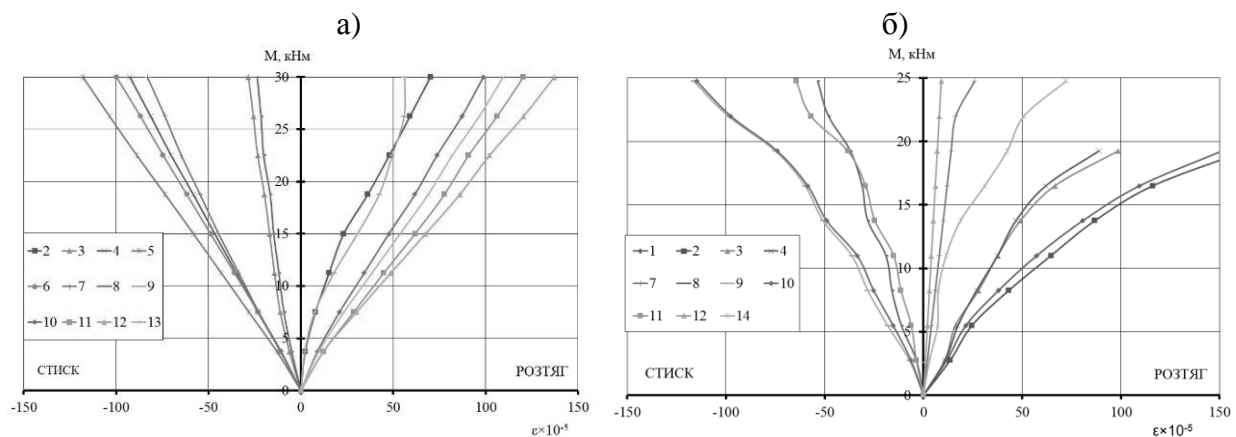


Рис. 3. Залежність відносних деформацій від навантаження нормального перерізу: а) зразка Б2; б) зразка Б3

У випадку використання епоксидного клею несуча здатність зразка зросла ще на 3% однак максимальний прогин був значно

більшим, що можна пояснити руйнуванням зразка (рис. 4) в позакритичній стадії роботи матеріалів.

Таблиця 1

Несуча здатність згинальних елементів по нормальному перерізу

№ п/п	Зразок	Згинальний момент, кНм	Прогин, мм	Приріст несучої здатності, %	Зниження деформативності, %
1	Б1	17,9	10,0	-	-
2	Б2	27,5	8,5	35	15
3	Б3	30,0	6,0	40	40

Підсилення листовою сталлю показало нижчі результати (збільшення несучої здатності на 35%, зниження прогину на 15%), що можна пояснити меншою площею поперечного перерізу листа порівняно з кутиками.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Як і очікувалося, клейове з'єднання виявилось ефективним та надійним, про що свідчить його безвідмовна робота до повного руйнування, яке відбувалось після втрати зв'язку між

бетоном і сталлю (по бетону). Отже, для акрилові клеї, уникаючи використання забезпечення сумісної роботи бетону й сталі анкерних засобів, закладних деталей та в процесі підсилення залізобетонних об'єктів. конструкцій раціональніше використовувати



Рис. 4. Зразки після руйнування: а) Б1; б) Б2; в) Б3

Список використаних джерел

1. Золотов, М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування [Текст] / М.С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.
2. Лапенко, О.І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою [Текст] / О. І. Лапенко – Полтава: АСМІ, 2009. – 360 с.
3. Стороженко, Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
4. Стороженко, Л.І. Конструкції зі сталевих двотаврів із боковими порожнинами заповненими бетоном [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Сб. науч. трудов “Современные строительные конструкции из металла и древесины”. – №14, ч. 2. – Одесса: ОГАСА, 2010. – С. 150–155.
5. Namdeo Adkuji Hedaoo Design of composite slabs with profiled steel decking: a comparison between experimental and analytical studies [Текст] / Namdeo Adkuji Hedaoo // International Journal of Advanced Structural Engineering. – 2012. – № 3. – P. 118–133.
6. Nathan, de Wit A Composite Structural Steel and Prestressed Concrete Beam for Building Floor Systems [Текст] / Nathan deWit – Lincoln: University of Nebraska, 2012. – 112 p.
7. Raed, El Sarraf Steel-concrete composite bridge design guide [Текст] / Raed El Sarraf and other. – Wellington: NZ Transport Agency, 2013. – 252 p.
8. Uy B. Modern design, construction and maintenance of composite steelconcrete structures: Australian experiences [Текст] / Uy B. // 1st International Conference on Modern Design, Construction and Maintenance of Structures – Hanoi, 2007. – P. 151–158.
9. Zolotov, S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements [Текст] / Zolotov S. // Science, Education and Society II International Scientific Conference University of Zilina. – Zilina, 2003. – Part I. – P. 319–322.

Стороженко Леонід Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Давиденко Юрій Олександрович, к-т техн. наук, доцент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Горб Олександр Григорович, асистент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: (0532) 56-20-90. E-mail: alexgor@football.ua.

Горб Олеся Олександрівна, інженер-будівельник, приватний спеціаліст. E-mail: legorta@yandex.ua.

Storogenko Leonid Ivanovich, d-r of techn. sciences, prof. at the chair of "Metal, Timber and Plastic Structures", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Davydenko Yuri Oleksandrovich, ph. doct. of techn. sciences, docent at the chair of "Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Gorb Olexandr Grigorovich, assistant at the chair of "Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Tel.: (0532) 56-20-90. E-mail: alexgor@football.ua.

Gorb Olesya Oleksandrivna, civil engineer, freelancer. E-mail: legorta@yandex.ua.

Стаття прийнята 25.05.2015 р