

МІЦНІСТЬ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ ТА БЕТОНУ**Д-р техн. наук Л.І. Стороженко, асистенти О.Г. Горб, П.С. Білокуров****ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ И БЕТОНА****Д-р техн. наук Л.И. Стороженко, ассистенты А.Г. Горб, П.С. Белокуров****ADHESIVE STRENGTH OF STEEL AND CONCRETE****Doct. of techn. sciences L.I. Storogenko, assistant O.G. Gorb, P.S. Bilokurov**

У статті наведені відомості про експериментальні дослідження залізобетонних балок підсиленних сталевими листами, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Випробування проводилися з метою встановлення характеру деформування та несучої здатності елементів. Виконане порівняння конструкцій із забезпеченням сумісної роботи сталі і бетону за допомогою склеювання та без нього.

Ключові слова: залізобетонна балка, склеювання, сумісна робота, навантаження, несуча здатність, прогин.

В статье приведены сведения об экспериментальных исследованиях железобетонных балок, усиленных стальными листами, в которых совместная работа стали и бетона обеспечивается с помощью склеивания. Опыты проводились с целью определения характера деформирования и несущей способности элементов. Произведено сравнение конструкций с обеспечением совместной работы стали и бетона с помощью склеивания и без него.

Ключевые слова: железобетонная балка, склеивание, совместная работа, нагрузка, несущая способность, прогиб.

The article contains information about experimental research on the reinforced concrete beams with steel plates enhanced in which joint work of steel and concrete is provided with gluing. Two kinds of polymer composites, such as acrylic and epoxy adhesives, were 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: reinforced concrete beam, gluing, joint work, loading, bearing capacity, deflection.

Вступ. В наш час у будівельній індустрії все частіше при підсиленні, реконструкції і відновленні залізобетонних конструкцій та при влаштуванні анкерних засобів використовуються різноманітні полімерні розчини. Серед найбільш поширених в будівництві клеїв, за рахунок ряду переваг та відносно низької вартості, найбільш раціональним є використання, для забезпечення сумісної роботи бетону і сталі, акрилового та епоксидного клеїв.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Вивченням властивостей різноманітних клеїв та способів їх застосування, для забезпечення сумісної роботи сталі та бетону в будівельних конструкціях, займаються наукові школи Харківської національної академії міського господарства, Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, Національного авіаційного університету. З метою використання набутого в цій галузі досвіду та розширення сфери застосування вивчених полімерів виникає необхідність в експериментальних дослідженнях і теоретичному вивченні з'єднань бетону та сталі за їх допомогою та

конструкцій, в яких сумісна робота складових частин забезпечується за допомогою цих з'єднань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багаторічні дослідження акрилових та епоксидних клеїв різного складу та з'єднань на їх основі дали можливість визначити їх основні фізико-механічні властивості та довести їх переваги порівняно з іншими полімерами при забезпеченні сумісної роботи бетону і сталі [1, 10]. Навіть найновіші розробки традиційних анкерувальних засобів [2-5, 8, 9] є надто матеріалоємними та трудомісткими для відновлення несучої здатності залізобетонних згинальних елементів. А останні дослідження [6, 7] з'єднань сталі та свіжоукладеної бетонної суміші з допомогою акрилового клею при виготовленні сталезалізобетонних конструкцій дають можливість взагалі обійтися без анкерування. Отже виникає необхідність перевірити можливість використання з'єднань на основі акрилових та епоксидних клеїв замість традиційних способів забезпечення сумісної роботи сталі і бетону при підсиленні та реконструкції залізобетонних згинальних елементів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою проведення експериментальних випробувань було дослідження:

- можливості застосування клейового з'єднання бетонної та сталеві частин залізобетонних згинальних елементів для збільшення їх несучої здатності;
- особливостей сумісної роботи двох складових комплексної конструкції при клейовому з'єднанні;
- значень прогинів і деформацій на різних ступенях завантаження;
- характеру руйнування дослідних зразків.

Основна частина дослідження. Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи підсиленних 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 сталеві та бетонної 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 в заводських умовах із важкого бетону класом за міцністю С16/20, який було встановлено в результаті набуття бетоном проектної міцності після 28 діб зберігання за нормальних умов, шляхом випробування бетонних кубів та призм на стиск. Потім на розмічені ділянки розтягнутої грані наносився шар акрилового або епоксидного клею із дотриманням технології влаштування з'єднання товщиною 3 мм з подальшим приклеюванням відповідного підсилення. Відрізняються зразки один від одного наявністю та типом підсилення у вигляді приклеєного зовнішнього армування. Тобто зразок Б1 не має підсилення, зразок Б2 підсилений приклеєним акриловим клеєм сталевим листом розміром 2100×100×5 мм, зразок Б3 підсилений аналогічним листом, приклеєним епоксидним клеєм.

Для влаштування клейового з'єднання використовується двохкомпонентний (полімерне в'язуче, наповнювач) акриловий клей з наповнювачем, склад якого розроблений у Харківській національній академії міського господарства. 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.

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.

Для виготовлення дослідних зразків використовувався заводський багатокомпонентний епоксидний клей іноземного виробництва (Польща) Sikadur (Сікадур). Його фізико-механічні характеристики після набуття проектної міцності та основні властивості наближені до акрилового.

Епоксидний клей нескладний в приготуванні та використанні, його можна наносити як на суху, так і на вологу поверхню, має стабільну консистенцію при високій температурі, твердіє без усадки, стійкий до зношування та ударів, має високу хімічну стійкість.

Клей поставляється в герметичних металевих банках масою 1,2 кг у вигляді двох окремо ізольованих компонентів, які надалі змішуються у пропорції 1:2 механічним способом. Готовий клей за консистенцією і кольором подібний до цементно-піщаного розчину. Клей має гарні тиксотропні властивості, тобто не стікає з вертикальних і стельових поверхонь. Життєздатність клею залежить від температури навколишнього середовища і варіюється від 145 хв при + 10°C і 35 хв при + 30°C. Клей не можна використовувати при від'ємних температурах.

При підсиленні та ремонті залізобетонних конструкцій полімерними композиціями акриловий і епоксидний клеї відповідають наступним загальним вимогам:

- адгезійна та когезійна міцність полімер-розчину має бути не нижче міцності бетону залізобетонних елементів, що підсилюються або з'єднуються;

- коефіцієнт лінійного розширення полімерної композиції повинен бути близьким до коефіцієнту лінійного розширення бетону;

- підсилена, відновлена залізобетонна конструкція або її з'єднання повинні бути стійкими до впливу експлуатаційного середовища і в цих умовах забезпечувати необхідну довговічність;

- технологічна життєздатність полімеррозчину повинна відповідати виробничим вимогам та мати можливість до її регулювання в залежності від умов виробництва;

- використовувані в полімерній композиції складові повинні мати мінімальну токсичність, а в затверділому стані полімер-розчин повинен бути абсолютно нешкідливим.

Випробування проводилися за схемою однопролітної вільно обпертої 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 по висоті й ширині елементів із метою виключення зусиль зсуву вимірювалися в зоні чистого згину за допомогою електротензорезисторів типу 2ПКБ 20-200в однієї комплектності з вибірковою повіркою на придатність за ГОСТ 21615-76, схеми розташування яких зображено на рис. 1. Відліки по електротензорезисторах знімалися за допомогою приладу "ВНП-8". Вертикальні переміщення згинальних зразків у процесі навантаження фіксувалися за допомогою прогиноміра "Аистова" типу ПАО-6, який установлювався по середині прольоту.

Згідно прийнятій методиці проведення експериментальних досліджень несучої здатності і деформативності підсилених залізобетонних балок вимірювання деформацій проводилися 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, заміряних за допомогою

електротензорезисторів, отримані графіки (рис. 2).
залежності деформацій від навантаження

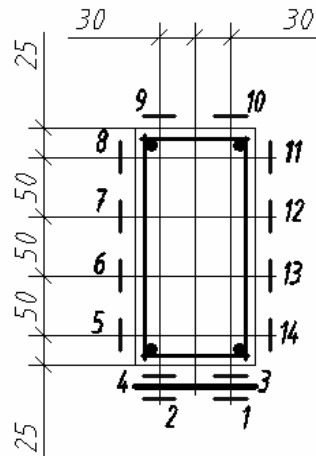


Рис. 1. Схема розміщення електротензорезисторів на зразках Б2 та Б3

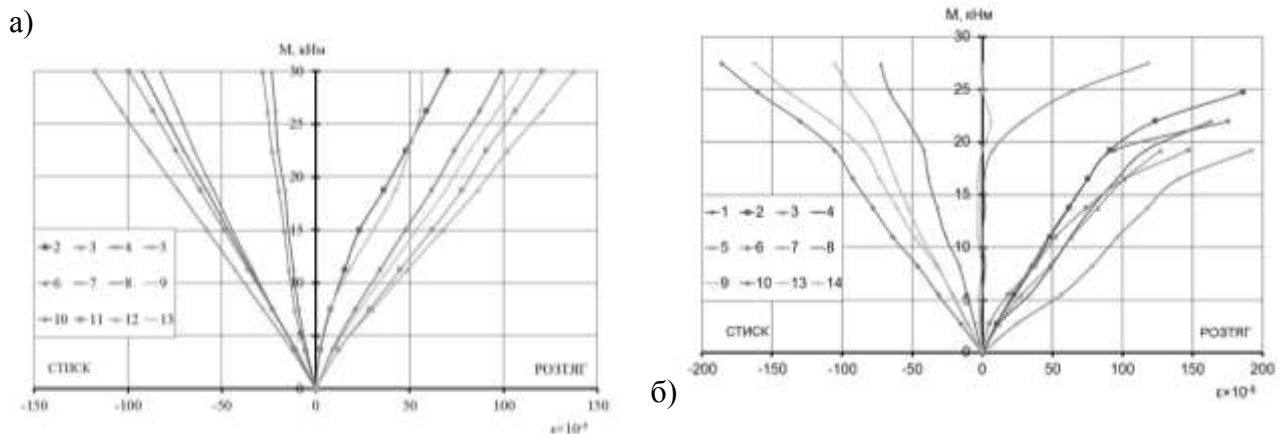


Рис. 2. Залежність відносних деформацій від навантаження нормального перерізу: а) зразка Б2; б) зразка Б3

Порівнюючи результати дослідження зразків з використанням підсилення та без нього, можна говорити про можливість застосування акрилових та епоксидних клеїв для приєднання зовнішнього листового армування з метою 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 використовувався акриловий клей, тобто відносні деформації та прогин в залежності від навантаження зменшувалися приблизно на 15% при тому, що несуча здатність, як видно із табл. 1 збільшилася на 35%.

Таблиця

Несуча здатність згинальних елементів

№ п/п	Зразок	Згинальний момент, кНм	Прогин, мм	Приріст несучої здатності, %	Зміна деформативності, %
1	Б1	17,9	10,0	-	-
2	Б2	27,5	8,5	35	-15
3	Б3	28,9	12,2	38	+22

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

більшим, що можна пояснити руйнуванням зразка (рис. 3) в позакритичній стадії роботи матеріалів.



Рис. 3. Зразок БЗ під час руйнування

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Клейове з'єднання виявилось ефективним та надійним, про що свідчить його безвідмовна робота до повного руйнування, яке і відбувалося після втрати зв'язку між бетоном і сталлю. Як і очікувалось, міцність клейового з'єднання була вищою ніж міцність бетону, тобто

спостерігалось руйнування по бетону. Таким чином можна вважати доведеним, що для забезпечення сумісної роботи бетону й сталі з метою підсилення залізобетонних конструкцій можна використовувати акрилові та епоксидні клеї. При цьому відпадає необхідність використання складних анкерних засобів та влаштування обойм.

Список використаних джерел

1. Золотов, М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування [Текст] / М.С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.
2. Козарь, В. І. Монолітні залізобетонні плити по сталевому профільованому настилу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук [Текст] / Козарь Валентин Іванович. – Полтава. 1999. – 19 с.
3. Нижник, О. В. Стиснуті елементи зі сталевих складених двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.01 [Текст] / Нижник Олександр Васильович. – Полтава, 2005. – 20 с.
4. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетон: збірник наукових праць [Текст] / Л.І. Стороженко. – Полтава: ПНТУ, 2006. – 386 с.
5. Стороженко, Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
6. Стороженко, Л.І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільному настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання [Текст] / Л.І.Стороженко, О.І.Лапенко, О.Г.Горб // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, № 662. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2010. – С. 360–365.
7. 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.
8. 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.
9. Raed, El Sarraf Steel-concrete composite bridge design guide [Текст] / Raed El Sarraf and other. – Wellington: NZ Transport Agency, 2013. – 252 p.

10. 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, доктор технічних наук, професор кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас, 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.

Білокуров Павло Сергійович, асистент кафедри комп'ютерних технологій в будівництві, Національний авіаційний університет

Storogenko Leonid Ivanovich, d-r science, prof. at the chair of “Metal, Timber and Plastic Structures”, 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.

Bilokurov Pavlo Sergiyovich, assistant at the chair of “Computer Technologies of Construction”, National Aviation University.