

УДК 624.074.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ ПІДСИЛЕННІ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ЗАКОРДОННІЙ ПРАКТИЦІ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ УСИЛЕНИИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ**

**STUDYING OF THE ADHESIVE BONDING FOR STRENGTHENING OF
BUILDING STRUCTURES IN FOREIGN PRACTICE**

**Лапенко О.І. д.т.н., Білокуров П.С. асп., Машкова А.І. асп. (Національний
авіаційний університет, м.Київ)**

**Лапенко А.И. д.т.н., Белокуров П.С. асп., Машкова А.И. асп.
(Национальный авиационный университет, г. Киев)**

**O.I.Lapenko, Doctor of Technical Science, P.S. Bilokurov, advanced student,
A.I.Mashkova , advanced student (National Aviation University, Kyiv)**

**В статті розглянуте питання щодо застосування клейового з'єднання при
підсиленні будівельних конструкцій в закордонній практиці.**

**В статье рассмотрен вопрос использования клеевого соединения при
усилении строительных конструкций в зарубежной практике.**

**The article deals with the question of adhesive bonding using for
strengthening of building structures in foreign practice.**

Ключові слова:

підсилення, з'єднуючі суміші, клейове з'єднання, нарощування перерізу,
будівельні конструкції.

усиление, клеевое соединение, наращивание сечения, строительные
конструкции.

strengthening, adhesive mixtures, adhesive bonding, cross-section building-up,
building structures.

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиріч, проблемі забезпечення надійності будівельних конструкцій на стадії їх зведення та експлуатації, особливо у випадках їх підсилення та реконструкції, приділяється багато уваги зі сторони як вітчизняних, так і закордонних вчених.

Проблема підсилення та відновлення експлуатаційних властивостей

будівельних конструкцій полягає у вирішенні такої основної задачі, як підвищення несучої здатності конструкцій, що тісно пов'язано зі зміною функціонального призначення будівлі та збільшенням навантажень на її окремі елементи.

Одним із основних способів підсилення конструкції є нарощування її перерізу. Даний метод підсилення, що виконується шляхом наклеювання сталевих або композитних полімерних волокон, є досить ефективним способом підсилення конструкцій, що є досить популярним та розповсюдженим за кордоном.

Отже, закордонний досвід використання клейових з'єднань на основі різних з'єднуючих сумішей - надасть змогу детальніше проаналізувати їх переваги та недоліки при підсиленні будівельних конструкцій, а також детальніше вивчити їх властивості.

Аналіз останніх досліджень. Питанням використання з'єднуючих сумішей (клеїв) в будівництві при підсиленні конструкцій та вивченні їх властивостей займалось багато закордонних вчених, таких як L.C. Hollaway, M.B. Leeming, R.O. Adams, W.C. Wake, J. G. Al-Sulaimani, A. Sharif, I.A. Basunbul, M.H. Baluch, B.N. Chaleb, Kaiser H. P., H.N. Garden, R. Jones, R.N. Swanmy та ін.[1-10].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. В даній статті розглянуті наступні питання:

- Аналіз закордонного досвіду використання клейових з'єднань при підсиленні конструкцій;
- Переваги та недоліки клейового з'єднання при підсиленні конструкції сталевими пластинами, що визначені на основі досліджень закордонних вчених.

Мета даної статі. На основі проведеного аналізу визначити переваги та недоліки клейового з'єднання при підсиленні конструкції сталевими пластинами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Склеювання – один із ефективних методів з'єднання сучасних конструктивних матеріалів. Однією з важливих переваг використання клейового з'єднання, порівняно з заклепочним та болтовим з'єднаннями, полягає в тому, що таке з'єднання не послаблює робочий переріз конструкції отворами, врізками і, як наслідок, забезпечує найбільш рівномірний розподіл напруг у вузлах під дією навантаження. Процес склеювання ґрунтується на явищі адгезії, тобто, зчепленні в результаті фізичних та хімічних явищ взаємодії клею з різними матеріалами за певних умов. Одна з основних умов отримання міцного клейового з'єднання – це висока адгезія до поверхонь, що з'єднуються.

Історія використання зовнішнього підсилення бере свій початок у 1975 році в період укріплення мостів на автомагістралях. Протягом багатьох років у Транспортній науково-дослідній, дорожній лабораторії, спільно з

виробниками адгезивів та Міністерством Транспорту, проводилась масштабна робота по вивченню, дослідженню та оцінці адгезивів [11].

Підсиленням існуючих конструкцій сталевими пластинами також займалися у швейцарських федеральних лабораторіях. Вчені Ladner та Weder, в 1981 проводили тестування та дослідження адгезивів [12]. Поглибленим вивченням даного методу підсилення залізобетонних конструкцій займалися вчені Німеччини на початку 60-х років ХХ століття. Проводились наступні дослідження: сталеві пластини прикріплювали до бетонної поверхні за допомогою епоксидного розчину, за рахунок чого формувалася нова трьохкомпонентна система – «бетон-клейовий розчин-сталева пластина». Сталеві пластини, які прикріплювались до розтягнутої зони залізобетонних елементів, підвищували їх опір згину, при чому жорсткість балки на згин також виростала, що призводило до зменшення прогинів [13].

Оцінка клею як матеріалу, придатного для використання в конструктивних цілях, має включати ряд розрахункових навантажень, аналіз міцності та жорсткості матеріалів під дією короточасних, постійних або циклічних навантажень, а також оцінку впливу таких факторів як температура, вологість та інших природних умов, що виникають під час експлуатації конструкції (Мейс, 1993) [14]. Одним із основних факторів довговічності властивостей клейового з'єднання є його опір повзучості, текучості та утворенню тріщин. На додаток, параметри температури є важливими на усіх стадіях виготовлення та використання клею. Дані параметри впливають на швидкість застигання, довговічність, та інші важливі характеристики з'єднання, що було доведено (Тао та Крюгером, 1996).

В дослідженнях, що проводились закордонними вченими, використовувались клеї, які застигають при температурі навколишнього середовища. При використанні таких клеїв допускається наявність визначеної кількості вологи, що не впливає на якісні характеристики з'єднання. Та варто зазначити, що умови для влаштування клейового з'єднання безпосередньо на будівельному майданчику будуть менш сприятливими в плані контролю якості з'єднання і тому, склад клею має бути чітко визначеним в процесі його підготовки перед застосуванням.

На сьогоднішній день існує велика кількість доступних випробувань клею та тонких плівок (Адам та Уейк, 1984). Однак, відповідні тестові програми для оцінки міцності з'єднання ускладнюються тим, що умови навантажень, що діють на конструкцію під час експлуатації, досить складно змоделювати, так як одна з поверхонь, що склеюється, а саме, бетон, погано працює на розтяг та зсув, аніж клею чий розчин. Тому, як наслідок, у більшості випадків руйнація конструкції відбувається саме по бетону. Для оцінки міцності з'єднання «метал-бетон» було проведено ряд досліджень на зсув. Для даних випробувань змодельовали дослідні зразки, а результати тестів детально

описав вчений Соломон у 1978.

Вчені Університету Сюррею (Куантрілл, 1995) запропонували методику тестування для дослідження трьох різних клеїв, два з яких – двокомпонентні епоксидні смоли холодної вулканізації, а третій – двокомпонентна акрилова смола. Під час тестування з'єднання «клей-бетон» піддали дії розтягу, а з'єднання «композит-клей-бетон» – зрізу. Епоксидний клей, що використовувався під час випробувань, продемонстрував високу міцність як при розтягу, так і при зрізі, перевершивши показники бетону.

Також було запропоновано декілька методів випробування для вимірювання міцності зв'язку між адгезивом та бетонною конструкцією, при ремонті бетонних конструкцій (Франк, 1986 та Надері, 1986). Дані тести проводились для визначення характеристик клейового з'єднання на міцність при розтягу, зсуві та згині, а також для визначення впливу усадки та температурних показників з'єднань «бетон-бетон» та «метал-бетон».

Проведені наукові досліді показали, що граничний стан підсилених сталевими пластинами залізобетонних балок тісно пов'язаний з геометрією пластини, її поперечним перерізом. При використанні тонких пластин для підсилення, руйнація конструкції зазвичай виникає при згині. Тестування показали, що пружні поздовжні напруження при зсуві – обернено пропорційні ширині пластини. Тому, при зменшенні ширини пластини, поздовжні дотичні напруження збільшуються. Жорсткість сталеві пластини при згинанні також збільшується, у зв'язку з цим, зростають і напруження, перпендикулярні балці.

Очевидно, що конструктивні переваги зовнішнього підсилення сталевими пластинами можна покращити за допомогою використання щільнішого та більшого за розмірами сталевих листу. Для запобігання відокремлення металу на кінцях пластин необхідно влаштувати анкерне кріплення.

Вченим Джонсоном було проведено ряд теоретичних та експериментальних досліджень по вивченню питання анкерування на кінцях сталевих пластин [15]. Він протестував зразки залізобетонних балок для дослідження різних схем анкерного кріплення кінців сталевих пластини. Для цього всі експериментальні зразки підсилювались сталевими пластинами товщиною 6мм, які склеювали за допомогою епоксидного клею. Під час досліджень, було з'ясовано, що деталь анкерування істотно не вплинула на відхилення в роботі балки. Використання болтів не запобігло руйнації зчеплення, проте, повний відрив пластин не відбувся.

Висновки.

Експериментальні та теоретичні дослідження клейового з'єднання, як методу підсилення будівельних конструкцій, шляхом нарощування перерізу, були вперше проведені в середині ХХ століття. Сьогодні, у закордонній практиці, даний метод віднайшов широке застосування при підсиленні конструкцій.

Отже, відновлення та покращення характеристик міцності конструкцій,

шляхом влаштування сталевих пластин є виправданим методом в плані контролю деформацій при згині, ширини розкриття тріщин, а також при збільшенні несучої здатності елементу, що експлуатується під дією руйнівних навантажень. Досвід застосування різних з'єднувальних сумішей при підсиленні конструкції показав, що вищезгадані клеї застосовуються для забезпечення зв'язку між однорідними та різнорідними матеріалами та дозволяють елементам з'єднання працювати як цілісна конструкція.

1. Adams R D and Wake W C (1984) *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Elsevier Applied Science, London. 2. Al-Sulaimani G J, Sharif A, Basunbul I A, Baluch M H and Ghaleb B N (1994) 'Shear repair for reinforced concrete by fiberglass plate bonding', *ACI Struct J* 91(4) 458–464. 3. Arduini M, D'Ambrisi Ambrisi A and Di Tommaso A (1994) 'Shear failure of concrete beams reinforced with FRP plates', in *Infrastructure: New Materials and Methods of Repair*, ed. K Bashan, Proc 3rd Materials Engineering Conf, ASCE, San Diego, 13–16th Nov 1994, pp 123–130. 4. Arduini M, Di Tommaso A and Manfroni O (1995) 'Fracture mechanisms of concrete beams bonded with composite plates', in *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, ed. L Taerwe, E & FN Spon, London, pp 483–491. 5. Baluch M H, Ziraba Y N, Azad A K, Sharif A M, Al-Sulaimani G J and Basunbul I A (1995) 'Shear strength of plated reinforced concrete beams', *Mag Concrete Res* 47(173) 369–374. 6. Jones R, Swamy R N and Salman F A R (1985) 'Structural implications of repairing by epoxy-bonded steel plates', Proc 2nd International Conference on Structural Faults and Repair, London, April/May 1985, pp 75–80. 7. Jones R, Swamy R N and Charif A (1988) 'Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates', *The Struct Eng* 66(5) 85–94. 8. Kaiser H P (1989) 'Strengthening of reinforced concrete with epoxy-bonded carbonfiber plastics', Doctoral Thesis, Diss. ETH, Nr. 8918, ETH Zurich, Ch-8092 Zurich, Switzerland, 1989 (in German). 9. Karbhari V M and Engineer M (1996) 'Investigation of bond between concrete and composites: use of a peel test', *J Reinforced Plastics Compos* 15(2) 208–227. 10. Hollaway L C (1993a) *Polymer Composites for Civil and Structural Engineering*, Blackie Academic and Professional, Glasgow, Scotland. 11. Hollaway L C (1993b) *Use of Advanced Composites in Highway Structures*, Report written for the SERC/DTP/LINK Project, Feb 1993. 12. Strengthening of reinforced concrete structures using externally bonded FPR composites in structural and civil engineering. Edited by L.C. Hollaway and M.B. Leeming. Published by Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH, England. pp.23-24. 13. Ladner M and Weder C (1981) *Concrete Structures with Bonded External Reinforcement*, EMPA Report No. 206, EMPA, Dubendorf, CH-8600, Dubendorf, Switzerland. 14. Ladner M and Weder C (1981) *Concrete Structures with Bonded External Reinforcement*, EMPA Report No. 206, EMPA, Dubendorf, CH-8600, Dubendorf. 15. А.А.Шилин, В.А.Пшеничный, Д.В. Картузов. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Москва ОАО Издательство "Стройиздат" 2004. ст.12. 16. Mays G C and Hutchinson A R (1988) 'Engineering property requirements for structural adhesives', *Proc ICE* 85(2) 485–501. 17. Jones R, Swamy R N and Charif A (1988) 'Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates', *The Struct Eng* 66(5) 85–94.