

УДК 624.378

## ЗАЛЕЖНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ РУЙНУВАННЯ ЗОНИ ЇХ КОНТАКТУ

Є. А. ДМИТРЕНКО, доцент; Т. В. БАКАЙ, аспірант  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail:* [dmytrenko\\_yevhen@nubip.edu.ua](mailto:dmytrenko_yevhen@nubip.edu.ua), [bakay@moduscg.com](mailto:bakay@moduscg.com)

Тріщиноутворення у залізобетонних конструкціях під час їх виготовлення та навантаження є характерним процесом, який має бути врахований під час моделювання, проектування та реконструкції будівель та споруд, які мають у своєму складі залізобетонні несучі елементи [1]. Тріщини можуть бути причиною виникнення корозії арматурної сталі і, таким чином, призводити до погіршення довговічності, експлуатаційної придатності та несучої здатності залізобетонних конструкцій. На поведінку тріщин суттєво впливає зчеплення між арматурною сталлю та бетоном [2]. Тому всебічне вивчення ефектів зчеплення, включаючи локальний і залежний від часу розподіл напружень зчеплення вздовж арматурного стержня, є необхідним для проектування і оцінки елементів конструкцій будівель та споруд, у тому числі, споруд подвійного призначення.

Від початку досліджень залізобетону вчені намагалися кількісно оцінити зчеплення між арматурою та бетоном. Для характеристики цього явища використовується залежність між напруженнями зчеплення  $\tau$  (зумовлена впливом окремих процесів – адгезії, тертя та механічного зачеплення) – та відносним зміщенням, відомим як просковзування  $s$ . Експериментальне визначення цієї залежності здійснюється шляхом випробувань на міцність зчеплення, в яких напруження зчеплення визначаються як відношення сили висмикування  $F$  до площі зчеплення  $A_b$ .

Однак, згідно з [3] більше, ніж 30 параметрів впливають на поведінку зони зчеплення арматури з бетоном в експерименті. На додаток до мінливих властивостей матеріалу і геометричних параметрів бетону та стержня, а також типу навантаження, важливу роль відіграє методика випробування. Таким чином, різні зразки та схеми випробувань призводять до різних залежностей між напруженнями зчеплення  $\tau$  і зміщеннями  $s$ .

Наприклад, одна із найбільш розповсюджених методик експериментального дослідження зчеплення арматури з бетоном RILEM [4] (випробування на висмикування або *pull-out test*) внаслідок наявності великого захисного шару бетону та аркового ефекту від сил реакцій опор (рис. 1, а) призводить до збільшення граничних напружень руйнування зчеплення (рис. 2) і, як наслідок, до завищення міцності зчеплення контакту арматури з бетоном.

На відміну від методики RILEM, такі методики експериментальних досліджень зчеплення, як балкове випробування (*beam test*) та балково-кінцеве випробування (*beam-end test*) ASTM [5], краще відображають характер роботи зони контакту арматури з бетоном при навантаженні (рис. 1, б).

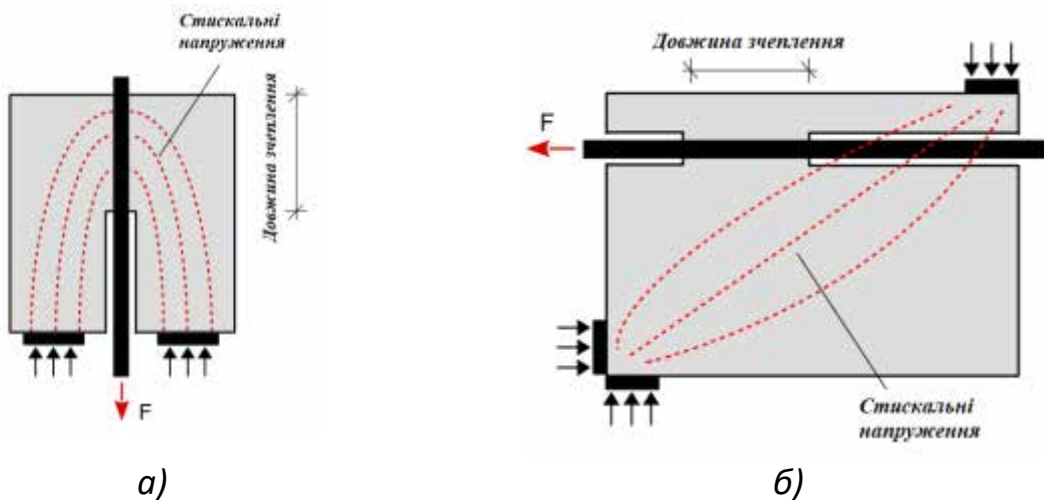


Рис. 1. Схеми експериментальних досліджень зчеплення арматури з бетоном із траекторіями стискальних напружень [6]:

а – методика RILEM [4] *pull-out test*; б – методика ASTM [5] *beam-end test*

Силовий потік всередині експериментального зразка не призводить до появи поперечних напружень в зоні зчеплення, а товщина захисного шару бетону є прийнятною та близькою за значенням до захисного шару бетону в реальних конструкціях. Менші значення товщин захисного шару бетону призводять до зміни виду руйнування в бік більш-менш раптового руйнування-розколювання (*splitting failure*). В залежності від наявності поперечного армування балкового зразка в процесі досліджень також може виникати комбінований вид руйнування, який може бути визначений як «руйнування-висмикування, викликане розколюванням» (рис. 2).

Однак слід зазначити, що вищезгаданий стандарт випробування [5] визначає довжину зчеплення у  $10 \cdot d_s$  при балково-кінцевому випробуванні замість  $5 \cdot d_s$  під час випробування на витягування [4]. Тому порівняння результатів випробувань на зчеплення з різними типами зразків має включати в себе вплив різної довжини зв'язку.

В останні роки в області експериментальних досліджень арматури з бетоном набуває популярності методика розподіленого волоконно-оптичного зондування (DOFS), яка пропонує можливість квазібезперервного вимірювання значень деформації з інтервалом менше одного міліметра. Методика DOFS

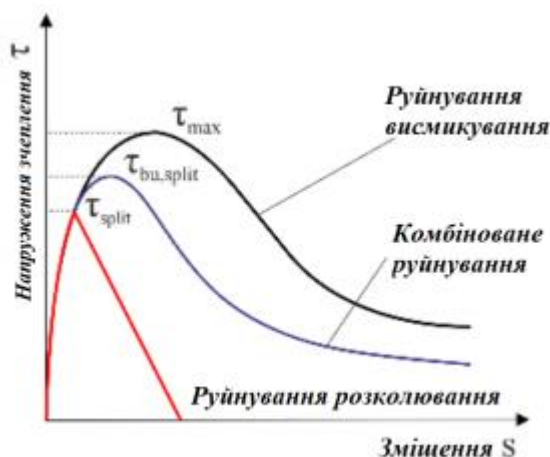


Рис. 2. Залежності зчеплення арматури з бетоном при різних видах руйнування зразків в залежності від методики експериментальних досліджень [3]

успішно застосовується в залізобетоні для виявлення тріщин, вимірювання деформацій в бетоні, а також при випробуваннях на міцність зчеплення [3]. На основі локальної роздільної здатності деформації вздовж вбудованого сталевго стержня можна зробити висновки про передачу зусилля між арматурою і бетоном та побудувати більш точні залежності напруження зчеплення  $\tau$  – зміщення  $s$ , отримані в ході експерименту.

**Висновки.** Характер зчеплення арматури з бетоном суттєво впливає на довговічність і несучу здатність залізобетонних конструкцій, особливо в контексті тріщиноутворення та корозії арматурної сталі. Залежність між напруженням зчеплення  $\tau$  і зміщеннями  $s$  визначається кількома механізмами взаємодії (адгезія, тертя, механічне зачеплення) та може змінюватися під впливом різних методик випробувань, а саме:

- Pull-out тест (RILEM) через арковий ефект та велику товщину захисного шару бетону може завищувати міцність зчеплення;
- Beam-end тест (ASTM) краще відображає реальні умови експлуатації, оскільки виключає поперечні напруження в зоні контакту та дозволяє оцінити різні механізми руйнування.

Методика розподіленого волоконно-оптичного зондування (DOFS) є перспективним підходом для аналізу зчеплення арматури з бетоном, оскільки дозволяє отримувати детальні дані про розподіл напружень і побудову більш точних залежностей  $\tau$ – $s$ .

### Список використаних джерел

1. Dmytrenko Ye.A., Genzerskiy Yu.V., Yakovenko I.A., Bakulin Ye.A. (2023). Strength Calculation of Normal Cross-Sections of Reinforced Concrete Structures at Flat Bending by the Wood-Armer Method in SP "LIRA SAPR". *AIP Conference Proceedings*. 2678, 020006. Issue 1. 9 p. <https://doi.org/10.1063/5.0118680>
2. Колчунов В.І., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Методика експериментальних досліджень зчеплення арматур из бетоном при

висмикуванні (стисненні) арматурного стрижня з бетону (у бетон) з урахуванням низхідної гілки деформування (рос. мов.). *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. 2016. Вип. 33. С. 162–173.

3. Koschemann M., Curbach M. (2022) Bond behaviour and crack propagation of reinforced concrete under long-term loading. In: Jivkov A., Miura N., Panesar D., Weihe St. (eds.) 26th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology. – Div. I. – 10 p. <https://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.20/40309>

4. RILEM (1970). «Essais portant sur l'adhérence des armatures du béton» *Matériaux et Constructions*, France, 3, 169–178.

5. ASTM (2015). A944-10 Standard test method for comparing bond strength of steel reinforcing bars to concrete using beam-end specimens, ASTM international, West Conshohocken, USA.

6. Baktheer, Abedulgader & Spartali, Homam & Hegger, Josef & Chudoba, Rostislav. (2021). High-cycle fatigue of bond in reinforced high-strength concrete under push-in loading characterized using the modified beam-end test. *Cement and Concrete Composites*. 118. 103978. DOI: [10.1016/j.cemconcomp.2021.103978](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.103978)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
118-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***20-21 лютого 2025 року  
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE  
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated  
to the 118th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
KRAMAROV  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 20-21, 2025  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.