

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ: ВПЛИВ ШИРИНИ ШВА ТА КІЛЬКОСТІ ШПОНОК НА МІЦНІСТЬ СТИКІВ**

Довженко О.О., Погрібний В.В., Чурса Ю.В., Кошман Г.А.

Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
м. Полтава, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Викладено результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань, описано вплив ширини шва та кількості шпонок на міцність стиків.

**АННОТАЦИЯ:** Изложены результаты экспериментальных исследований шпоночных соединений, описано влияние ширины шва и количества шпонок на прочность стыков.

**ABSTRACT:** Results of experimental researches of joints of the key have been expounded. Influence of width of gey-sutures and amount of the joints on strength of connection has been described.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Шпонка, стик, міцність, ширина шва, кількість шпонок.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК З ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЗАВДАННЯМИ**

У сучасному будівництві шпонкові з'єднання часто зустрічаються при сполученні залізобетонних елементів збірно-монолітних каркасних систем, таких як «СОРЕТ», «АРКОС», «Казань – ХХІ», «КУБ», котрі широко застосовуються під соціальне житло. Стики, значною мірою, обумовлюють надійність експлуатації будівель. Зазначене передбачає подальших досліджень шпонкових з'єднань і вдосконалення методики їх розрахунку.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ, В ЯКИХ ЗАПОЧАТКОВАНО РОЗВ'ЯЗАННЯ ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ

Питанням роботи окремих шпонок і шпонкових з'єднань присвячені праці Г.І. Ашкинадзе, П.М. Бобришева, В.О. Бондарева, І.Л. Герасимової, Е. Горачека, О.О. Довженко, В.С. Єськова, Л.В. Карабаша, В.Г. Кваші, П.М. Ковалю, В.І. Коноводченка, М.М. Коровіна, В.І. Лишака, Н.Г. Мартинової, Л.С. Махвиладзе, В.П. Митрофанова, В.В. Погрібного, В.Н. Рожка, С.В. Полякова, І.О. Рохліна, О.В. Черкащина, І.А. Юрко, О.В. Яшина та інших.

У ПолтНТУ протягом 1985-2012 рр. проведено комплексні експериментальні дослідження шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів. Згідно отриманих даних [1 – 8] на міцність стиків впливають як характеристики самої шпонки, так і шва.

При випробуванні зразків трьох серій (рис. 1) варіювалися наступні фактори:

- ширина шва  $t_j = 25 \dots 300$  мм;
- кількість шпонок  $n_k = 1 \dots 5$  шт.;
- кут нахилу опорних граней шпонок  $\psi = 0 \dots 45^\circ$ ;
- відсоток армування  $\rho_{sw} = 0 \dots 1,5$  % (арматура при цьому розміщувалася в один і два рівні за висотою шпонки);
- вид і клас бетону (використовувався керамзитобетон і фібробетон на поліпропіленових волокнах);
- відношення глибини шпонки до її висоти  $l_k/h_k = 0,25 \dots 0,5$ .

**Метою статті** є викладення результатів експериментальних досліджень шпонкових стиків, аналіз факторів впливу на їх міцність.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для одношпонкових стиків із змінною шириною шва (перша серія, рис. 1, а) у дослідах спостерігалися три випадки руйнування (рис. 2): при  $t_j = 25$  мм – зріз шпонки за вертикальним перерізом; при  $t_j = 50$  мм і 100 мм – «зріз за похилою площиною» (тріщини з'єднували кути протилежних шпонок); при  $t_j = 150$  мм і 200 мм – похилі тріщини починалися із кута однієї шпонки і розповсюджувалися у міжшпонковий простір. При цьому із збільшенням ширини шва міцність стиків зменшується до 40 % (рис. 3).

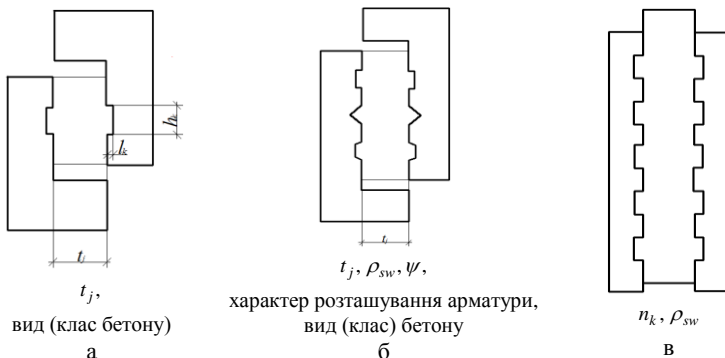


Рис. 1. Дослідні зразки і фактори варіювання: а – одношпонкові стики із змінною шириною шва; б – тришпонкові стики із змінною шириною шва; в – багатшпонкові стики із змінною кількістю шпонок

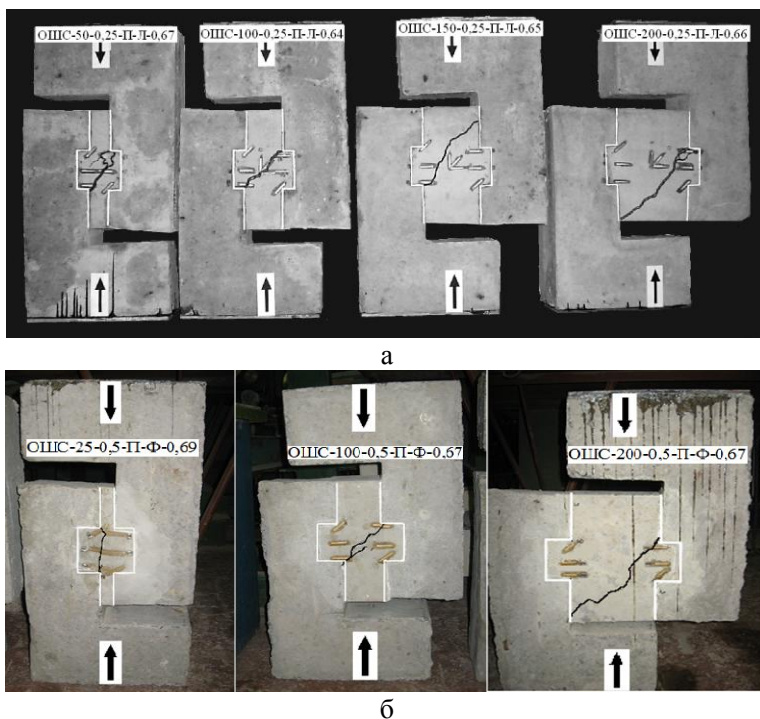


Рис. 2. Характер руйнування одношпонкових стиків прямокутного профілю із змінною шириною шва: а – із керамзитобетону при  $l_k/h_k = 0,25$  і  $\rho_{sw} = 0,67$  %; б – із фібробетону при  $l_k/h_k = 0,5$  і  $\rho_{sw} = 0,67$  %

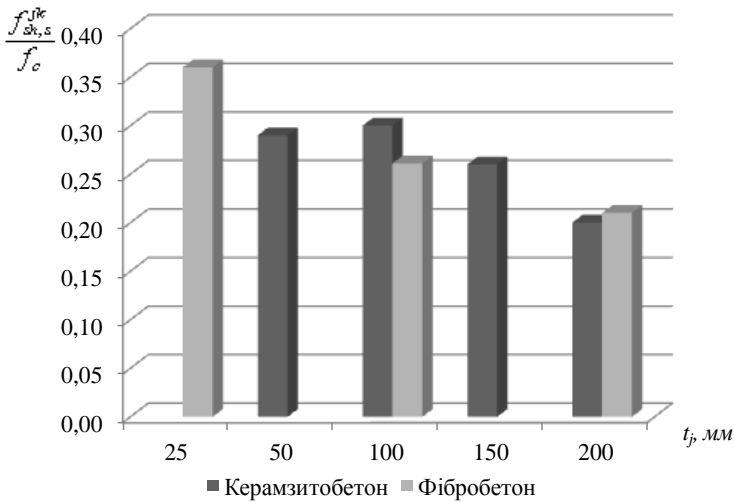


Рис. 3. Міцність одношпонкових з'єднань залежно від ширини шва

При випробуванні трьохшпонкових стиків (друга серія, рис. 1, б) реалізувалася одна з можливих схем руйнування залежно від  $t_j$  (рис. 4, 5):

- зрізалася першою найбільш завантажена шпонка (знизу або зверху стика), потім утворювалася вертикальна тріщина в середній шпонці і похила за швом у межах останньої ( $t_j = 25, 50, 100, 150 \text{ мм}$ );

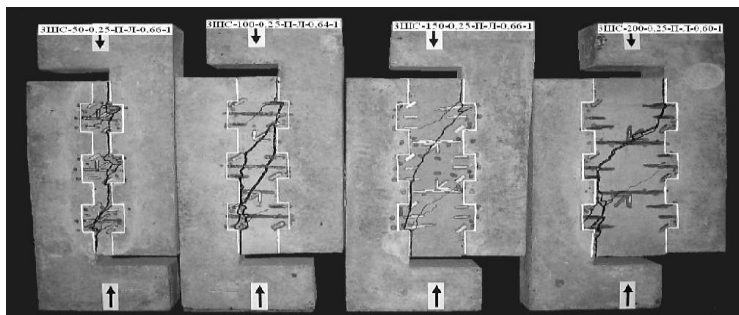
- при ширині шва  $t_j = 100, 150 \text{ мм}$  спостерігалася також руйнування двох крайніх шпонок з утворенням похилої тріщини в межах середньої;

- третій випадок характеризувався зрізом крайньої шпонки із утворенням похилої тріщини в тілі стику в межах двох інших ( $t_j = 150, 200 \text{ мм}$ );

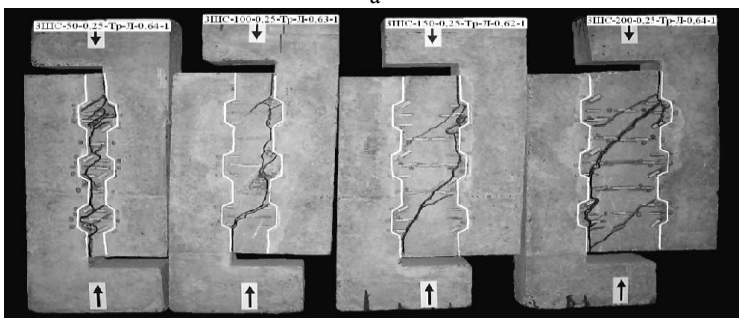
- при  $t_j = 300 \text{ мм}$  руйнування відбулося за похилою площиною в межах усього стика; шпонка при цьому не руйнувалася.

Характер тріщиноутворення зразків із фіробетону був дещо інший, ніж той, що спостерігався при випробуванні стиків із керамзитобетону. Перші, ледь помітні, тріщини утворювалися при навантаженнях більших, ніж у легкобетонних стиках. Це явище пояснюється підвищеною тріщиностійкістю фіробетону.

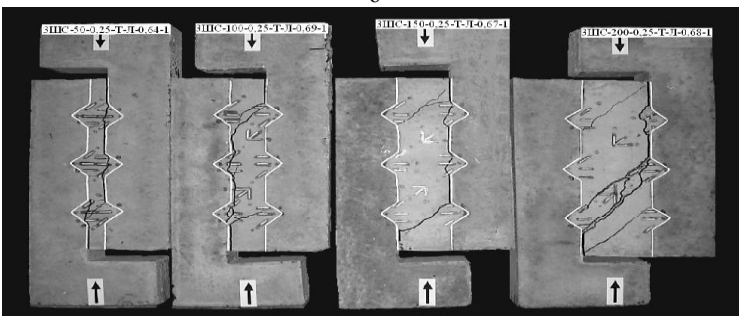
Руйнування таких стиків було більш пластичним, без сколювань і відривів шматків бетону.



а



б



в

Рис. 4. Характер руйнування трьохшпонкових стиків із керамзитобетону при  $l_k/h_k = 0,25$  і  $\rho_{sw} = 0,67\%$ : а – з прямокутними; б – трапецієподібними; в – трикутними шпонками

Отже, ширина шва визначає характер руйнування, і як наслідок, суттєво впливає на граничне навантаження, котре зменшується із збільшенням  $t_j$  (рис. 6).

Кут нахилу опорних граней шпонок  $\psi$  впливає на граничне навантаження. Міцність стиків для зразків з прямокутними шпонками

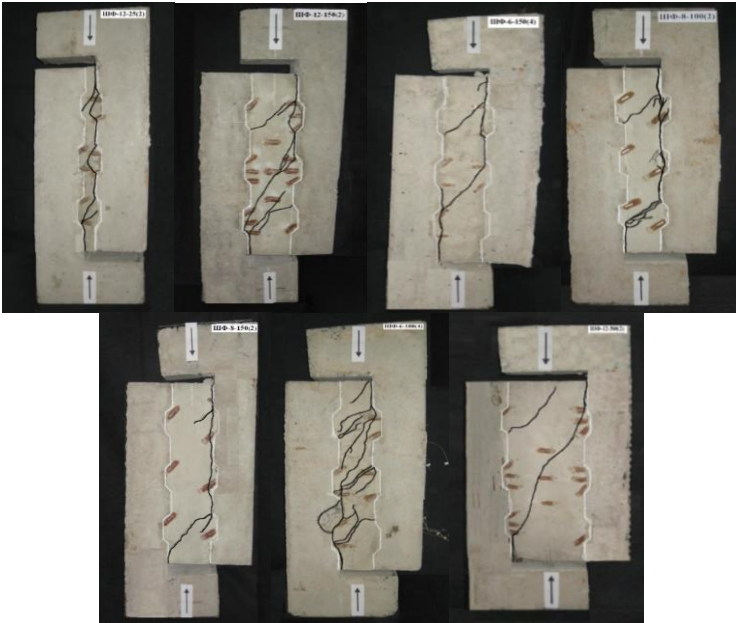


Рис. 5. Характер руйнування трьохшпонкових стиків із фібробетону з трапецієподібними шпонками

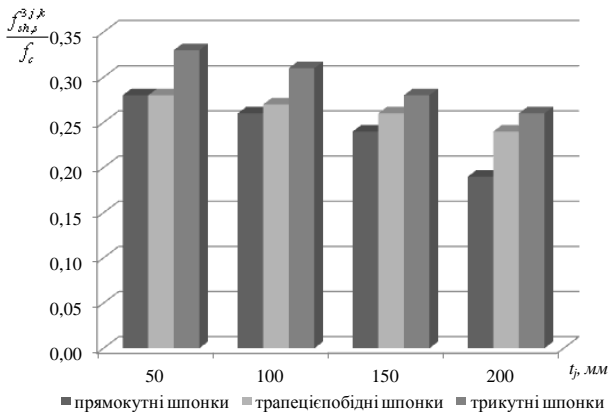


Рис. 6. Міцність трьохшпонкових стиків із керамзитобетону залежно від ширини шва

виявилася меншою, ніж трикутних на 10 %, що підтвердило результати, отримані для одношпонкових контактних стиків [7, 8]. При цьому,

зменшення їх міцності зі збільшенням ширини шва від 25 до 200 мм відбулося на 40 % (як і в одношпонкових зразках), а для зразків із трапецієподібними шпонками – на 15 %, трикутними – на 20 %, що є ще одним аргументом до застосування стиків трапецієподібного профіля.

Шпонкові з'єднання з рознесеною за висотою шпонки арматурою сприймають навантаження дещо більші (до 10 %), ніж аналогічні зразки з її розташуванням по середині шпонки та руйнуються не крихко (рис. 7).

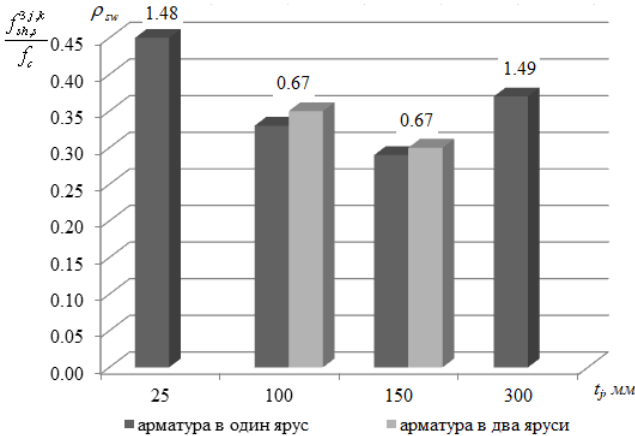


Рис. 7. Міцність трьохшпонкових стиків із фібробетону залежно від ширини шва, коефіцієнта армування та характеру розміщення арматури

При навантаженнях, близьких до руйнівних, деформації бетону в зонах найбільшого стиснення досягають значень  $\varepsilon_c = 120 \dots 200 \cdot 10^{-5}$ . При збільшенні коефіцієнта армування стиків і рознесенні арматури за висотою шпонки спостерігається зростання  $\varepsilon_c$ .

Виявлена нерівномірність розвитку деформацій за довжиною стику, котра більш характерна для з'єднань із меншою товщиною шва. Для всіх шпонок залежність « $V/V_u - \varepsilon_c$ » викривлюється при навантаженнях, близьких до руйнівних, що свідчить про наявність пластичних деформацій. Спостерігається також і нерівномірність роботи поперечної арматури.

На момент руйнування арматура, розташована по середині висоти шпонки та в розтягнутій зоні при її двошаровому розташуванні, досягає межі текучості. В арматурі, розташованій в стиснутій зоні, зафіксовано нагельний ефект.

Всі дослідні зразки третьої серії (контактні шпонкові стики із змінною кількістю шпонок, рис. 1, в) зруйнувалися шляхом зрізу, при

досягненні напруженнями в арматурі більш напружених шпонок межі текучості. Зразки після випробування представлено на рис. 8.

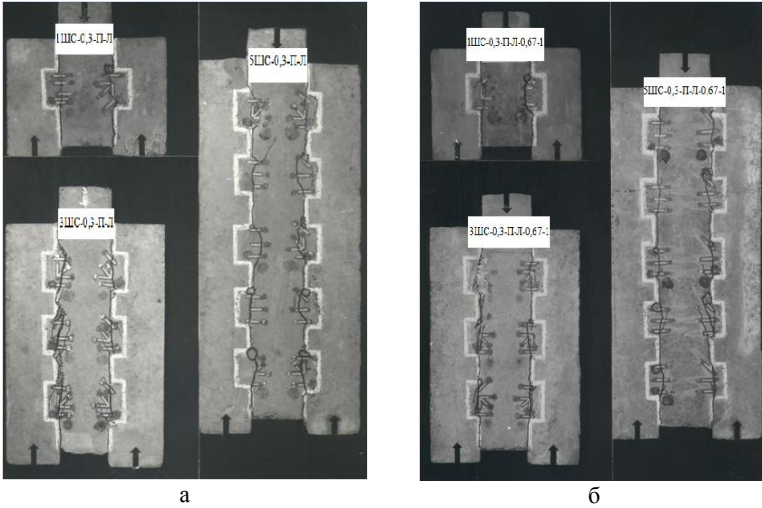


Рис. 8. Характер руйнування зразків із різною кількістю шпонок: а – бетонні; б – залізобетонні

Армовані стики руйнувалися при більшому навантаженні, ніж неармовані. Нерівномірність роботи стика за довжиною приводить до суттєвого (майже в 2 рази) зменшення опору зрізу при збільшенні кількості шпонок від 1 до 5, що необхідно враховувати.

Дослідження в цьому напрямку продовжуються. Запланована серія зразків, кількість шпонок в яких збільшено до 8.

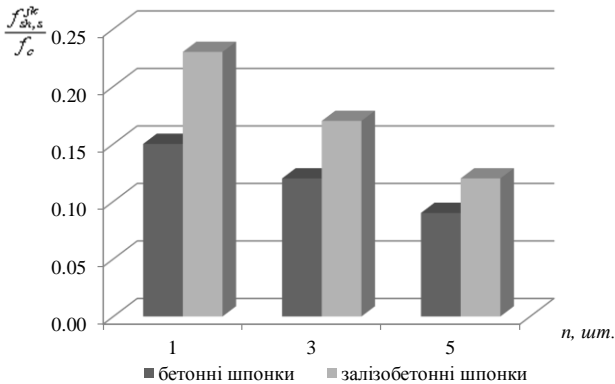


Рис. 9. Міцність шпонкових з'єднань залежно від кількості шпонок



## ВИСНОВКИ

1. Ширина шва обумовлює характер руйнування з'єднання. Для одношпонкових зразків у дослідах реалізуються три форми руйнування: зріз шпонки за вертикальним перерізом (руйнування «за шпонкою»); зріз за похилим перерізом у межах висоти шпонки або всього стику (зріз «за швом»). Для трьохшпонкових стиків можливі наступні варіанти: зріз трьох шпонок, зріз двох (сусідніх або крайніх) найбільш навантажених шпонок та руйнування шва в межах останньої; зріз однієї шпонки та розповсюдження похилої площини руйнування в межах двох інших; руйнування тільки за швом.

2. Із збільшенням ширини шва від 25 до 200 мм опір руйнуванню для прямокутних шпонок зменшується до 40 %, трикутних – до 20 %, трапецієподібних – до 15 %.

3. Стики із трикутним профілем мають міцність до 10 % більшу порівняно із прямокутним.

4. Армування суттєво підвищує несучу здатність стиків. З'єднання з арматурою, рознесеною у два рівня за висотою шпонки, витримують навантаження до 10 % більше, ніж зразки з її одноярусним розташуванням і руйнуються не крихко.

5. Застосування фібробетону у якості бетону замоноличування підвищує тріщиностійкість і міцність стиків, змінює характер їх руйнування із зовні крихкого на пластичний.

6. У багатошпонкових стиках спостерігається нерівномірність розподілу напружень за довжиною стику, котра збільшується при зменшенні ширини шва.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Погрібний В.В. Напружено-деформований стан і граничне навантаження шпонкових з'єднань залізобетонних конструкцій / В.В. Погрібний, О.О. Довженко // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – Вып. 39. – К.: Техніка, 2002. – С. 23-28.
2. Довженко О.О. Експериментальні дослідження багатошпонкових стиків / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, В.Н. Рожко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип. 12. – Рівне: НУВГП, 2005. – С. 271-275.
3. Довженко О.А. Експериментальное изучение влияния ширины шва и формы шпоночного профиля на прочность стыков / О.А. Довженко, В.В. Погрібной, В.Н. Рожко // Тезисы докладов 63-й научно-технической конференции. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. – С. 21-22.

4. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень трьохшпокових стиків із фібробетону / О.О. Довженко, І.А. Юрко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2010. – Вип. 20. – С. 187-193.
5. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень міцності трьохшпокових стиків з урахуванням ширини шва та армування / О.О. Довженко, В.В. Погребній, І.А. Юрко // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – Київ: НДІБК, 2010. – Вип. 73. – С. 541-547.
6. Погребной В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Погребной. – Полтава, 2000. – 236 с.
7. Рожко В. Н. Міцність шпокових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. Н. Рожко. – Полтава, 2008. – 182 с.
8. Юрко І.А. Міцність шпокових стиків із фібробетону на синтетичних волокнах: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / І. А. Юрко. – Полтава, 2012. – 187 с.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2013 р.