

УДК 624.046.3:624.078.34

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ: ХАРАКТЕР ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ, МІЦНІСТЬ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПОНОК

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ: ХАРАКТЕР ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ, ПРОЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПОНОК

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF JOINTS OF THE KEY: CHARACTER OF FORMATION OF CRACKS, STRENGTH OF CONCRETE AND REINFORCECONCRETE JOINTS

Довженко О.О., к.т.н., доц., Погрібний В.В., к.т.н., доц., Чурса Ю.В., магістрантка (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Довженко О.А., к.т.н., доц., Погребной В.В., к.т.н., доц., Чурса Ю.В., магистрантка (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Dovzhenko O.A., candidate of technical sciences, docent, Pogribnoy V.V., candidate of technical sciences, docent, Chursa Yu.V., graduate (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Викладені результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань, описано характер тріщиноутворення та вплив факторів, які визначають міцність бетонних і залізобетонних шпонок.

Изложены результаты экспериментальных исследований шпоночных соединений, описано характер трещинообразования и влияние факторов, определяющих прочность бетонных и железобетонных шпонок.

Expounded results of experimental researches of joints of the key. Character them formation of cracks and influence of factors that stipulate strength of the concrete and reinforceconcrete joints.

Ключові слова:

Шпонка, стик, міцність, фактори впливу.

Шпонка, стык, прочность, факторы влияния.

Joint, connection, strength, factors of influence.

Стан питання та задачі дослідження. Важливими конструктивними елементами будівель і споруд являються стикові з'єднання, що забезпечують надійну сумісну роботу конструкцій. Широкого застосування як при новому будівництві так і при реконструкції набули шпонкові стики, котрі характеризуються підвищеним опором зрізу.

Дослідженням 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. Коваля, В.І. Коноводченка, М.М. Коровіна, В.І. Лишака, Н.Г. Мартинової, Л.С. Махвиладзе, В.П. Митрофанова, В.В. Погрібного, С.В. Полякова, В.Н. Рожка, І.О. Рохліна, О.В. Черкашина, І.А. Юрко, О.В. Яшина та інших [1 – 7].

У ПолтНТУ протягом 1985-2012 рр. проведені комплексні дослідження шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів.

Згідно отриманих даних на міцність стиків впливають фактори, котрі обумовлюються параметрами як самої шпонки так і шва. Дана стаття присвячена дослідженням окремих шпонок. У виконаних експериментах параметри шпонки варіювалися у межах:

– співвідношення глибини і висоти $l_k/h_k = 0,1 - 1$;

– ступінь обтиснення $\sigma/f_c = 0 - 0,47$;

– відсоток армування $\rho_{sw} = 0 - 1,5\%$;

– розміщення арматури в один та два рівні за висотою шпонки;

– кут нахилу опорних граней $\psi = 0 - 45^\circ$;

– вид і клас бетону (важкий $f_c = 22,5 - 56,9$ МПа, керамзитобетон $f_c = 10 - 25$ МПа, фібробетон на поліпропіленових волокнах).

Метою статті є викладення результатів експериментальних досліджень впливу факторів, які обумовлюють міцність окремих шпонок.

Виклад основного матеріалу. Характер руйнування та граничне навантаження шпонок в першу чергу істотно залежить від співвідношення їх глибини l_k і висоти h_k . При $l_k = 0,1 - 0,2$ в дослідах спостерігалось зминання під площадкою навантаження, яке супроводжувалося відколюванням частини елемента вздовж похилої площини (іншими словами, реалізувався зріз за похилою площиною). Зразки з $l_k = 0,3 - 0,5$ руйнувалися

за цілим бетонним перерізом, який знаходився поблизу площини зрізу. При $l_k = 0,6$ руйнування шпонок мало згинальний характер і відбувалося крихко за розтягнутою зоною (рис. 1).

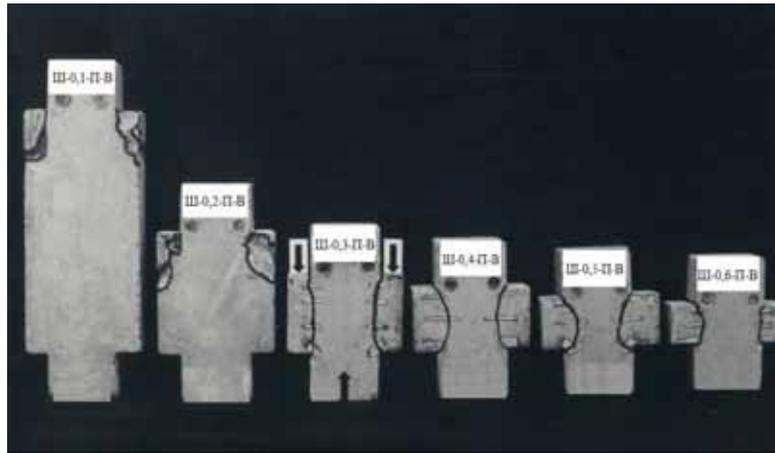


Рис. 1. Характер руйнування бетонних прямокутних шпонок із важкого бетону залежно від l_k/h_k

Із збільшенням l_k/h_k спочатку опір руйнуванню бетонних шпонок f_c^k зростає, а потім зменшується, отже існує максимум на залежності $f_c^k - l_k/h_k$ (рис. 2), і при проектуванні для досягнення максимальної міцності з'єднання слід передбачати $l_k/h_k = 0,25$.

Обтиснення шпонок σ до рівня 0,5 від f_c розширює межі його зрізової форми до $l_k/h_k = 1$ (рис. 3). Спостерігається суттєве підвищення руйнівного навантаження із зростанням обтиснення (рис. 4).

Усі дослідні залізобетонні шпонки зруйнувалися за перерізом, розташованим поблизу площини зрізу, що обумовлено прийнятим співвідношенням $l_k/h_k = 0,5$ (рис. 5), та мали схожий характер тріщиноутворення. При навантаженні $(0,5 - 0,6)V_u$ з'явилися ледь помітні тріщини в розтягнутій зоні під кутом $15 - 25^\circ$ до вертикалі. При подальшому збільшенні навантаження спостерігалось інтенсивне зростання деформацій арматурних в'язей. Поверхня руйнування окреслювалася за кривою, близькою до вертикалі. Руйнування супроводжувалося зміщенням шпонок відносно стовбура при досягненні напруженнями в арматурі межі текучості.

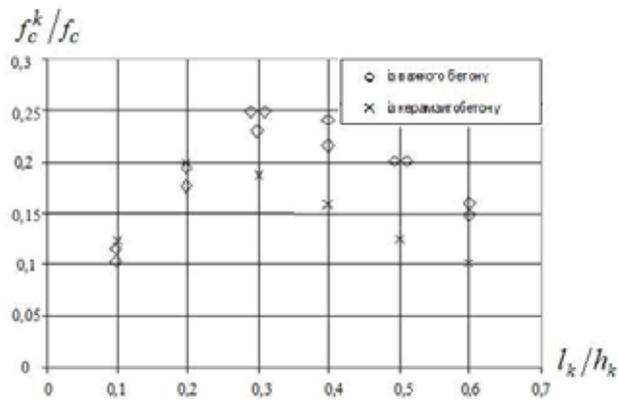


Рис. 2. Залежність опору руйнуванню окремих бетонних шпонок f_c^k від l_k/h_k

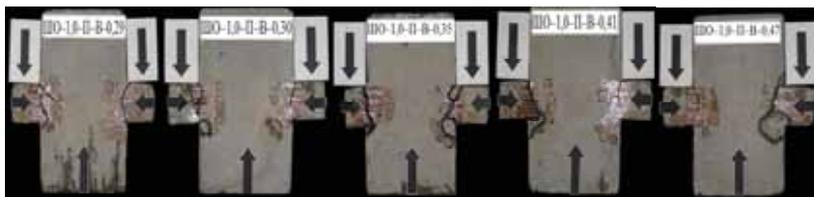


Рис. 3. Характер руйнування обтиснутих шпонок із важкого бетону при $l_k/h_k = 1$ і $\sigma/f_c = 0,29 - 0,47$

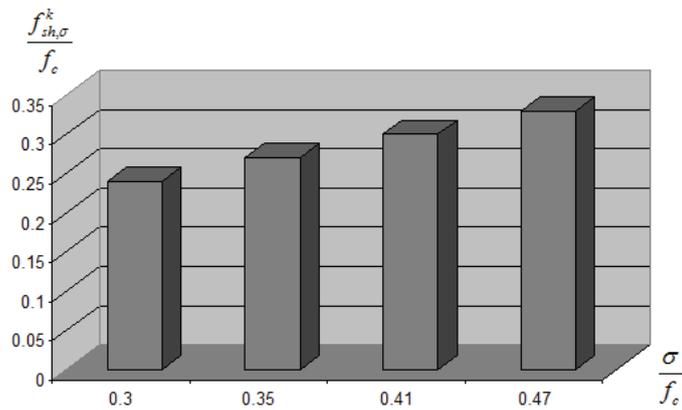


Рис. 4. Залежність опору руйнуванню окремих бетонних шпонок $f_{sh,\sigma}^k$ від рівня обтиснення при $l_k/h_k = 1$

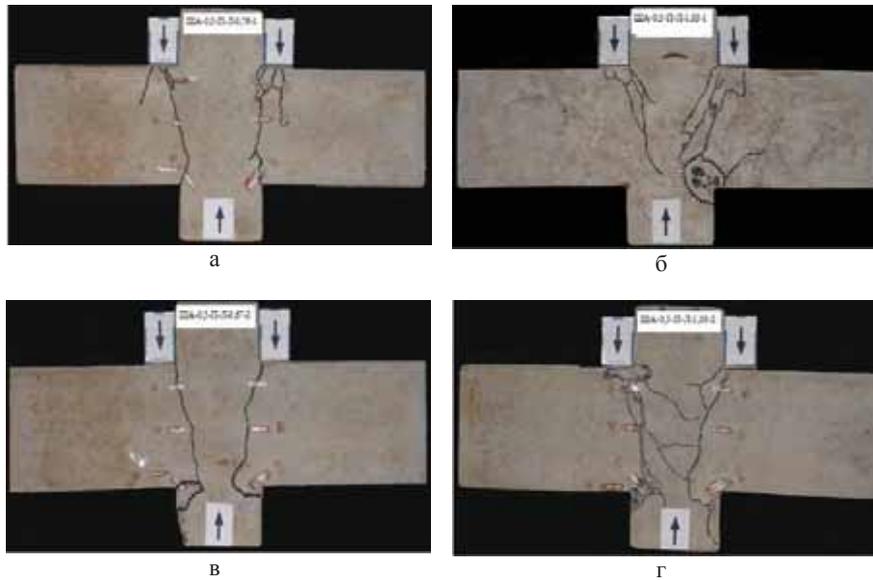


Рис. 5. Характер руйнування залізобетонних шпонок: ША-0,3-П-Л-0,76-1 (а) і ША-0,3-П-Л-1,03-1 (б) при одноярусному розташуванні арматури та ША-0,3-П-Л-0,67-2 (в) і ША-0,3-П-Л-1,03-2 (г) при її двоюрисному розташуванні

Із збільшенням параметра ρ_{sw} до 1,03 % міцність зразків зростала вдвічі (рис. 6).

Граничне навантаження шпонок із арматурою, розташованою у два яруси за їх висотою, виявилося приблизно на 10 % більшим порівняно із шпонками з центральним розміщенням арматури, однак на характер руйнування місце розташування арматури не впливало. Дані отримано на зразках, запроєктованих для моделювання окремих шпонок із забезпеченням надійного анкерування арматури (рис. 5).

Поверхні руйнування бетонних, армованих і обтиснутих шпонок складені із ділянок розтягу та стиску. Розміри останніх зростають із збільшенням обтиснення і коефіцієнта армування.

При навантаженнях, близьких до руйнівних, деформації бетону в зонах найбільшого стиснення (у нижніх вхідних кутах шпонок) досягали $120-290 \cdot 10^{-5}$, причому максимальні їх значення спостерігаються у зразках із вищим ступенем обтиснення (рис. 7) та більшим коефіцієнтом армування (рис. 8).

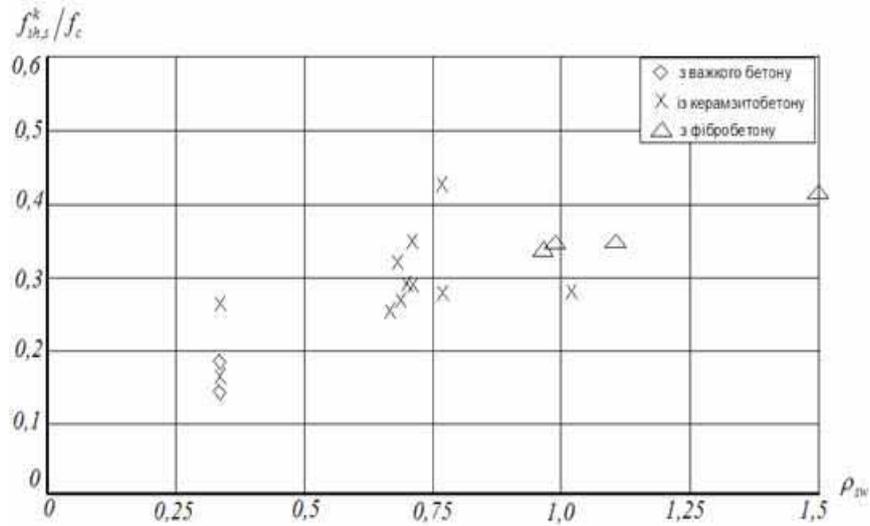


Рис. 6. Залежність міцності залізобетонних шпонок від коефіцієнту армування

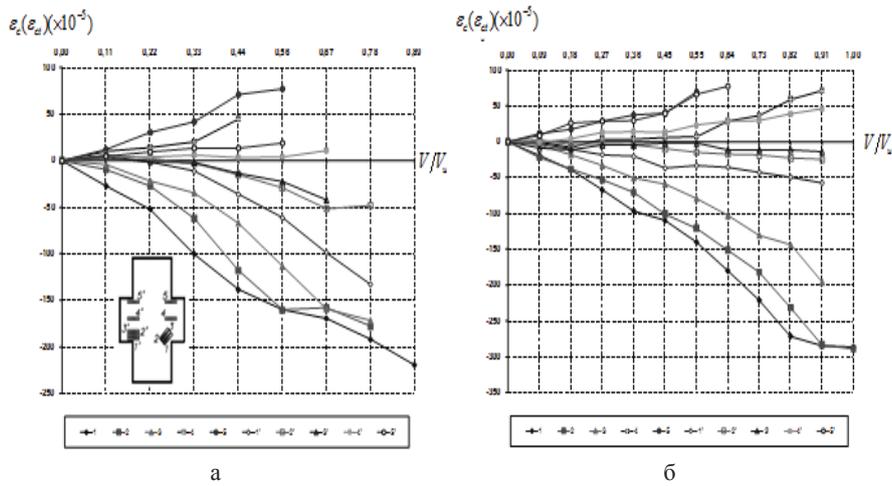
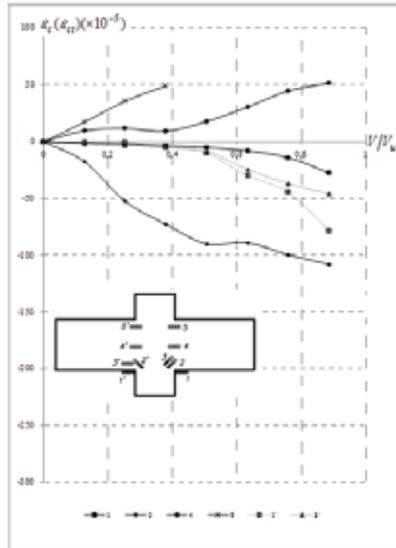
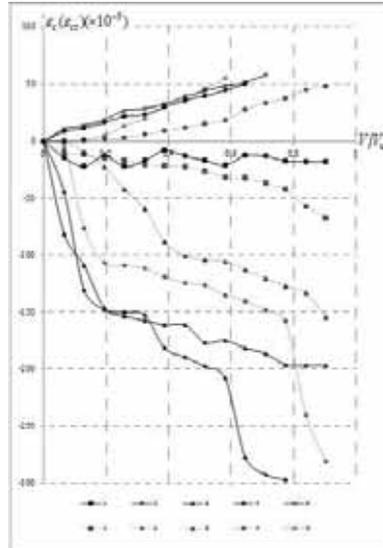


Рис. 7. Залежність відносних деформацій бетону від рівня навантаження „ ϵ_c (ϵ_{ct})– V/V_u ” в обтиснутих шпонках: ШО–1,0–П–В–0,3 (а) і ШО–1,0–П–В–0,47 (б)

Крім того, рознесення арматури за висотою елемента призводить до збільшення пластичних деформацій бетону (рис. 9).

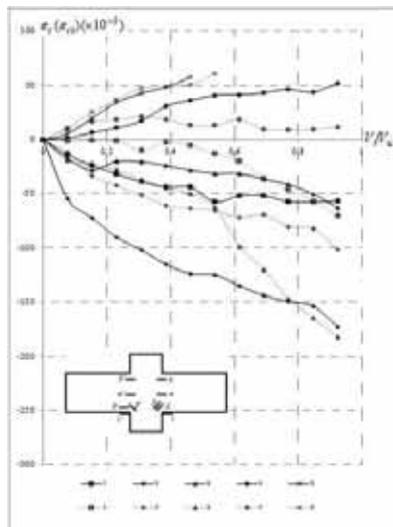


а

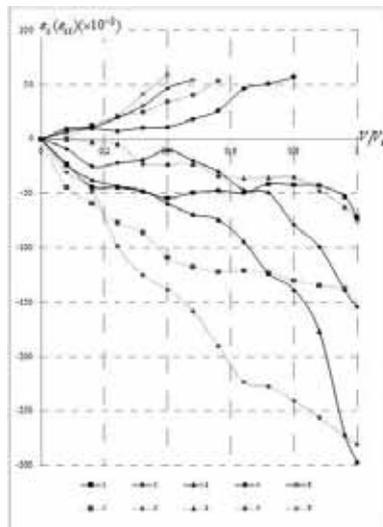


б

Рис. 8. Залежність відносних деформацій бетону від рівня навантаження „ $\epsilon_c(\epsilon_{ct}) - V/V_u$ ” для залізобетонних шпонок: ША-0,5-П-Л-0,34-1 (а) і ША-0,5-П-Л-1,03-1 (б)



а



б

Рис. 9. Залежність відносних деформацій бетону від рівня навантаження „ $\epsilon_c(\epsilon_{ct}) - V/V_u$ ” для шпонок з різним характером розташування арматури: ША-0,5-П-Л-0,76-1 (2 \varnothing 12 A240C) (а); ША-0,5-П-Л-0,67-2 (4 \varnothing 8 A240C) (б)

Напруження в арматурі у стадії руйнування досягли межі текучості, отже, армування в межах 1 % можна вважати ефективним. Включення арматурних стержнів у роботу проходило до появи перших тріщин, а інтенсивне зростання деформацій відбулося після їх утворення (рис. 10, а).

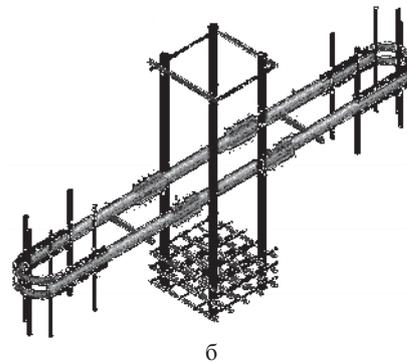
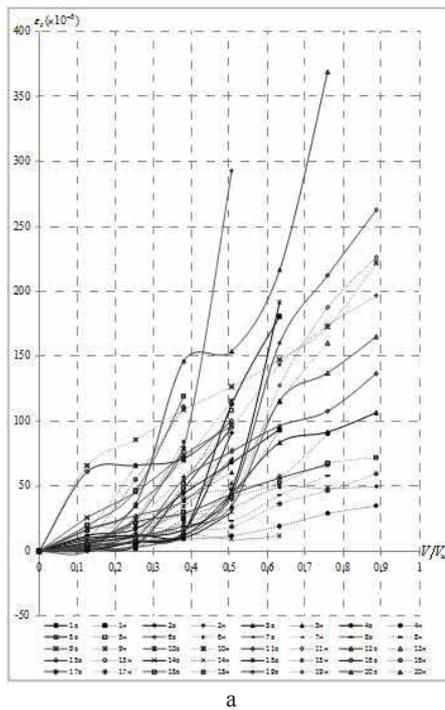
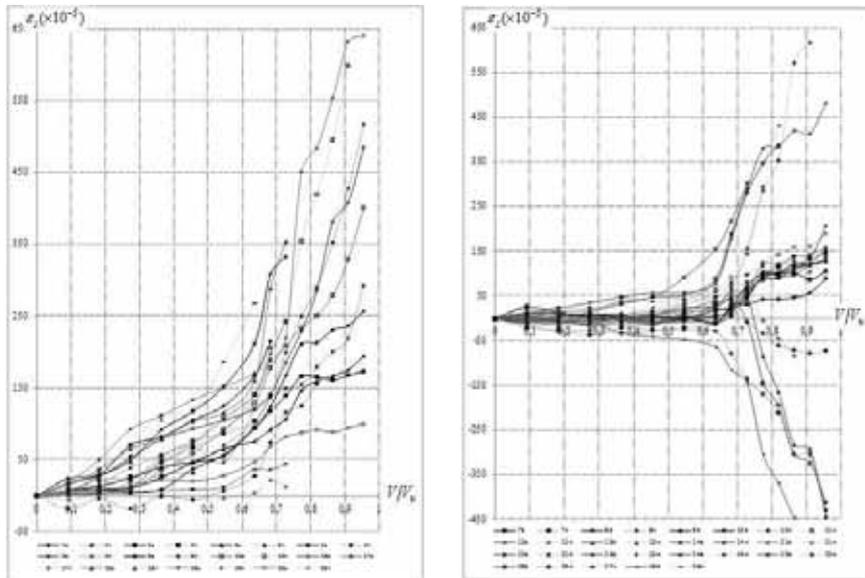


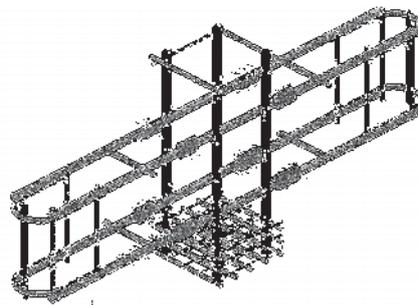
Рис. 10. Залежність „ $\epsilon_s - V/V_u$ ” у шпонці ША-0,5-П-Л-0,34-1 (2 \varnothing 8) (а); схема розміщення тензодатчиків (б)

У зразках із рознесеною за висотою шпонки арматурою в стержнях, розміщених у верхній (розтягнутій) частині шпонки, спостерігалися деформації більші на 20 – 40 %, ніж у стержнів, які знаходяться посередині (рис. 10, б) або в нижній (стиснутій) частині дослідного зразка (рис. 11). Аналіз різниці деформацій за тензорезисторами, котрі розташовані з двох діаметрально протилежних боків одного арматурного стержня, дозволяє зробити висновок про наявність нагельного ефекту в нижній арматурі при її двоярусному розташуванні. Стержні верхнього ряду включаються в роботу на більш ранніх стадіях навантаження, ніж у зразках армованих посередині перерізу.



а

б



в

Рис. 11. Залежність „ $\epsilon_s - V/V_u$ ” у шпонці
 ША-0,5-П-Л-0,39-2 (4 \varnothing 6) для арматури, що розташована у верхньому (а) та
 нижньому (б) ярусах; схема розміщення тензодатчиків (в)

Як видно із випробувань одношпонкових контактних стиків, кут нахилу опорних поверхонь шпонок впливає на величину опору руйнуванню: найбільшу міцність мають шпонки із трикутним профілем, найменшу – із прямокутним (рис. 12).

Форма поверхні руйнування та залежність $V/V_u - \epsilon_c (\epsilon_{ct})$ для бетону стиків свідчать про відсутність відмінностей у розвитку та характері розподілу деформацій для зразків із різним профілем шпонки. Однак

включення арматурних стержнів у роботу для зразків із трапецієподібними та трикутними шпонками відбулося раніше, ніж для стиків із прямокутним профілем.

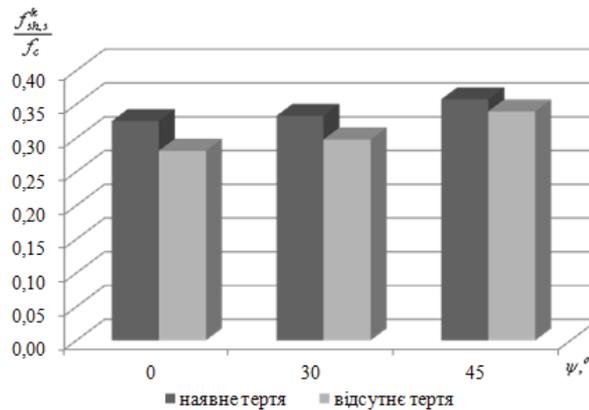


Рис. 12. Залежність міцності одношпонкових контактних з'єднань від кута нахилу опорних поверхонь

Руйнування стиків шляхом зрізу обумовлено прийнятим співвідношенням розмірів шпонок $l_k/h_k = 0,5$ (рис. 13).

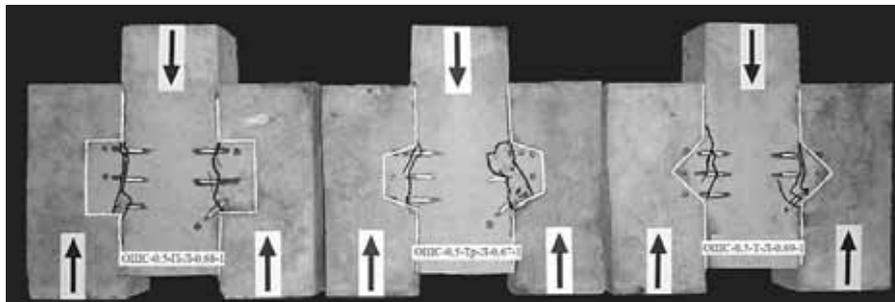


Рис. 13. Характер руйнування контактних стиків із керамзитобетону з різною формою шпонкового профілю

Використання дисперсно-армованого поліпропіленовою фіброю бетону в якості матеріалу для виготовлення шпонкових стиків привело до зміни характеру тріщиноутворення та руйнування зразків. Перші тріщини утворювалися при вищих рівнях навантаження порівняно із стиками із керамзитобетону, руйнування було більш в'язким, розтягнутим у часі.

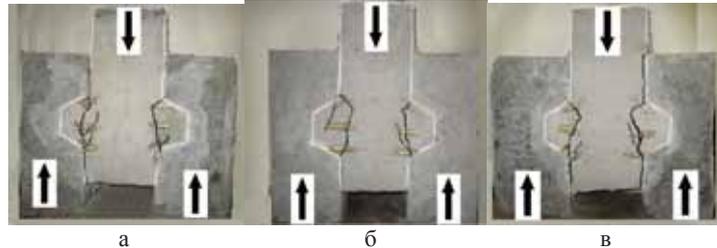


Рис. 14. Характер руйнування одношпонкових фібробетонних стиків з трапецієподібними шпонками: ОШС-0,5-Тр-Ф-1 (а); ОШС-0,5-Тр-Ф-0,99-2 (б); ОШС-0,5-Тр-Ф-0,9-1 (в)

Висновок: аналіз виконаних експериментальних досліджень окремих шпонок дозволяє надати рекомендації, котрі можуть бути використані при проектуванні шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів, та обґрунтувати наступне:

- для досягнення максимальної міцності відношення глибини до висоти шпонки слід передбачати $l_k/h_k = 0,25$;
- армування шпонок в межах 1 % можна вважати ефективним;
- рознесення арматури в два рівні підвищує міцність шпонок до 10 %;
- форму шпонкового профілю слід передбачати трапецієподібною як з точки зору підвищеної міцності, так і технології виготовлення стиків;
- збільшення відсотка армування, рознесення арматури за висотою шпонки (двоярусне розташування), застосування дисперсного армування та обтиснення підвищує міцність та пластичні властивості бетону стика, що є сприятливим для його надійної роботи.

1. Довженко О.О., Погрібний В.В., Рожко В.Н. Міцність обтиснутих бетонних шпонок при зрізі / Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – Вып. 55. – К.: Техніка, 2004. – с. 290-297. 2. Довженко О.О., Рожко В.Н., Віблій О.Ф. Експериментальні дослідження обтиснутих легкобетонних шпонок при зрізі / Сучасне будівництво: конструкції, технології, перспективи: Матеріали Міжнародної студентської наукової конференції – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – с. 95-98. 3. Довженко О.О., Карабаш Л.В., Митрофанов П.Б. Результати експериментальних дослідень міцності окремих прямокутних шпонок з урахуванням особливостей армування // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – Вып. 76. – К.: Техніка, 2007. – с. 16-22. 4. Погребной В. В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ... на соискание учен. степени канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Погребной. – Полтава, 2000. – 236 с. 5. Рожко В. Н. Міцність шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. Н. Рожко. – Полтава, 2008. – 182 с. 6. Карабаш Л. В. Міцність прямокутних залізобетонних шпонок з урахуванням особливостей армування і обтиснення / дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Л. В. Карабаш. – Полтава, 2011. – 175 с. 7. Юрко І.А. Міцність шпонкових стиків із фібробетону на синтетичних волокнах / дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / І. А. Юрко. – Полтава, 2012. – 187 с.