

УДК 621.812:621.981

Нові способи з'єднання легких сталевих тонкостінних конструкцій

Семко О.В., д.т.н., **Семко В.О.,** к.т.н., **Шумейко К.О.,** **Лебединський С.П.**

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Україна

Анотація. У роботі запропоновані нові варіанти з'єднань легких сталевих тонкостінних конструкцій, приведені результати експериментальних досліджень нових з'єднань.

Аннотация. В работе представлены новые варианты соединений легких стальных тонкостенных конструкций, приведены результаты экспериментальных исследований новых соединений.

Abstract. The paper represents new variants of connections of light steel thin-walled structures and the results of experimental researches.

Ключові слова: з'єднання, фальцьові з'єднання, легкі сталеві тонкостінні конструкції.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Легкі сталеві тонкостінні конструкції (ЛСТК) широко використовуються в будівельній індустрії як несучі та огороджувальні конструкції. Робота таких конструкцій, як і з'єднаних стиків, досліджена неповністю. Технологія з'єднання тонкостінних конструкцій передбачає використання зварювання або більш поширеного варіанта з'єднання з використанням різноманітних метизів, також існує спосіб з'єднання типу прес-з'єднання, який є прототипом нових способів, запропонованих у даній статті.

Аналіз останніх досліджень та виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. При монтажі конструкцій з холодноформованих профілів із оцинкованої сталі завтовшки 0,5–2 мм, як правило, з'єднання виконують за допомогою самосвердильних, самонарізних гвинтів та витяжних заклепок [1]. Питаннями дослідження та розрахунку роботи з'єднань ЛСТК займаються фахівці різних країн протягом останніх 60-ти років. Найбільше досліджень щодо роботи та поведінки з'єднань проведено у США, Канаді та у країнах Західної Європи [7]. У Росії це: ЦНДІПСК (м. Москва), І.Г. Катранов (МДСУ) [2], к.т.н., професор Кунін Ю.С., Айрумян Е.Л.

Мета даної статті – запропонувати нові варіанти з'єднань ЛСТК із холодноформованих профілів без використання додаткових кріпильних елементів – метизів (болтів, заклепок, самонарізних та самосвердильних

гвинтів), які реалізуються шляхом виконання отвору та закріплення відігнутих кромки, утворених унаслідок виконання отвору.

Виклад основного матеріалу. Аналогом запропонованих методів з'єднань слугує закордонний досвід експериментальних та теоретичних досліджень так званих безметизних кріплень – прес-з'єднань. Одним із варіантів прес-з'єднання є з'єднання, що виконується механічним защемленням, мовою оригіналу «mechanical clinching», процес виготовлення даного з'єднання зображено на рис. 1. Цей варіант з'єднання був розроблений в Единбурзькому університеті, дослідженнями займалися: Pedreschi, Sinha, Lennon, Davies та Helenius [4, 5]. Другим варіантом є «Rosette-joints» – автоматизований метод виконання з'єднання, який впроваджений у виробництво для з'єднання профілів ЛСТК у вузлах ферм, а також у стінових каркасах.

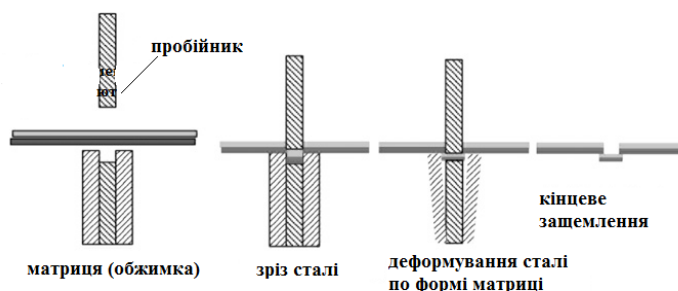


Рис. 1. Процес виконання з'єднання типу механічне защемлення («mechanical clinching») [4]

Він виконується з пари елементів, один із яких має круглий отвір з «комірцем» діаметром 20 мм, а в іншому елементі виконується лише круглий отвір діаметром 22 мм, процес з'єднання продемонстрований на рис. 2. Більш детальне зображення самого конструктиву з'єднання – на рис. 3. Дослідженням даного типу з'єднань займається технологічний університет Гельсінкі, Фінляндія [6].

Для вирішення поставленої задачі були запропоновані наступні види з'єднань: Х-подібні з різними варіантами відгинання кромки, та Н-подібні з кромками та подвійним фальцем на кромках.

Розглянемо деталі для Х-подібного та Н-подібного способу з'єднань. Для випробувань були виготовлені зразки, які складались із пластин розміром 150×40 мм, в яких прорубувався Х-подібний отвір розміром 20×20 мм завтовшки 1 мм або Н-подібний отвір розміром 20×20 мм завтовшки 1 мм, центр якого знаходився на відстані від краю елемента вздовж дії сили на

40 мм та на 20 мм впоперек дії сили. Схеми деталей для Х-подібного та Н-подібного з'єднань зображені на рис. 4 та рис. 5.

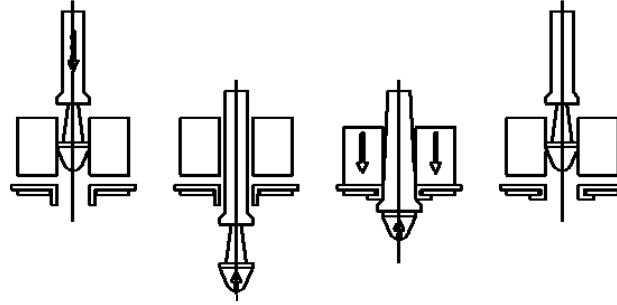


Рис. 2. Процес виконання з'єднання типу «Rosette-joints» [6]

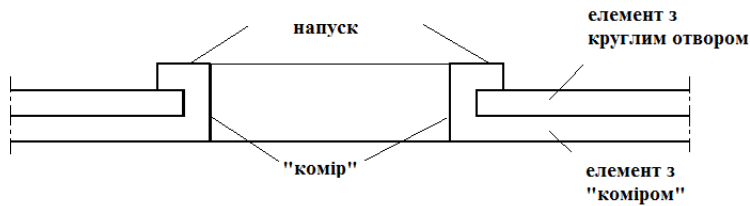


Рис. 3. Детальне зображення «Rosette-joints» [6]

Перший варіант Х-подібного з'єднання наведено на рис. 4 (умовно позначений Х-1). Виконується за допомогою прорізання Х-подібного отвору в тілі конструктивного елемента, після чого два конструктивні елементи сполучають між собою через прорізані отвори, а кромки у вигляді трикутника, що утворилися після Х-подібного прорізу, притискають два краї уверх на лицьову сторону з'єднання і два краї униз на тильну сторону з'єднання, а потім їх загинають. Можливо також спочатку відігнути кромки під кутом 45° , але кромки повинні співпадати за напрямом залежно від роботи з'єднання (стиск-розтяг), скласти два конструктивних елементи, а потім загнути їх. Робота з'єднання відбувається за рахунок спірання конструктивних кромки на несучі. У даному виді з'єднання працюють усі несучі (на які спираються конструктивні) кромки. Конструктивні кромки не беруть участі в роботі і їх можна відрізати, але тоді за рахунок гострої частини деталі, яка спирається на несучу кромку, може знизитись несуча здатність з'єднання.

До переваг відноситься те, що дане з'єднання виготовляється без використання кріпильних елементів – метизів (болтів, заклепок, самонарізних та самосвердлильних гвинтів). До недоліків – габарити з'єднання, форма та розмір отвору, який потрібно закривати.

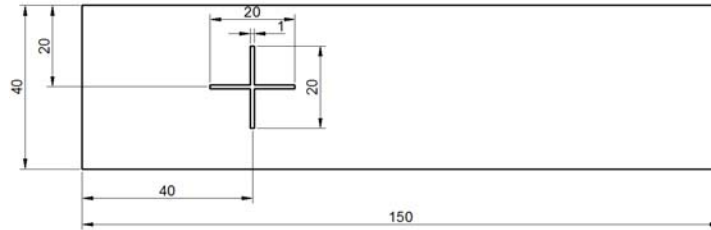


Рис. 4. Схема деталі для з'єднання з Х-подібним з'єднанням

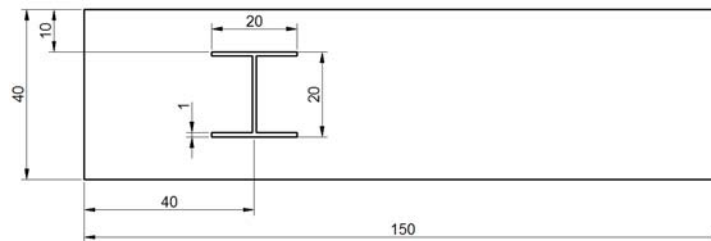


Рис. 5. Схема деталі для з'єднання з Н-подібним з'єднанням

Другий варіант відрізняється тим, що кромки відгинаються та притискаються у протилежні сторони на лицьовій та тильній частинах з'єднання (рис. 7) (умовно позначено Х-2). Дане з'єднання працює на розтяг незалежно від напрямку загинання кромки, за рахунок протилежного загинання кромки різних деталей з'єднання (рис. 7,а,б). Так як працює лише половина несучих кромки, то несуча здатність з'єднання зменшується приблизно в 2 рази, що підтверджено результатами дослідів. Недоліком даного варіанта є незручність та трудомісткість виготовлення.

Третій варіант відрізняється тим, що кромки притискаються в одну сторону на лицьовій або тильній стороні з'єднання (рис. 8) (умовно позначено Х-3). Даний варіант актуальний при з'єднанні елементів різної товщини. Несучі кромки –1 (рис. 8) відповідно елемента, який має більшу товщину.

Перший варіант Н-подібного з'єднання наведено на рис. 9 (умовно позначено Н-1). Виконується за допомогою прорізання Н-подібного отвору в тілі конструктивного елемента, після чого два конструктивні елементи сполучають між собою через прорізані отвори. Кромки у вигляді прямокутників, що утворилися після Н-подібного прорізу, притискають один край угору на лицьову сторону з'єднання, а інший униз на тильну сторону з'єднання, а потім їх загинають. Можливо також спочатку відігнути кромки під кутом 90° , скласти два конструктивні елементи і загнути кромки. У даному з'єднанні працюють усі несучі кромки. Цей варіант з'єднання є найбільш простим у виготовленні.

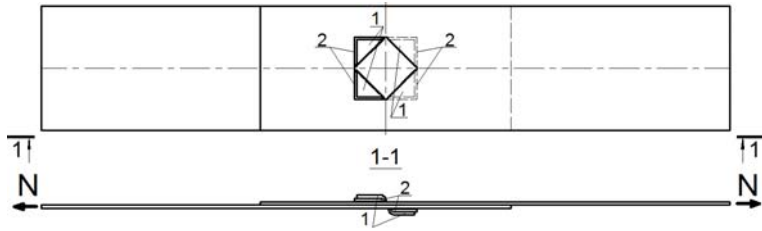


Рис. 6. Схема першого варіанта Х-подібного з'єднання (Х-1):
1 – несучі кромки; 2 – конструктивні кромки

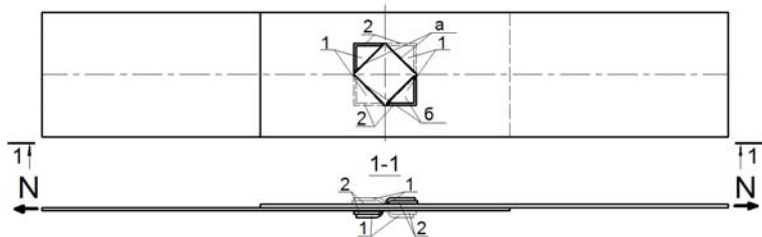


Рис. 7. Схема другого варіанта Х-подібного з'єднання (Х-2):
1 – несучі кромки; 2 – конструктивні кромки; а – кромки лицьові;
б – кромки, що розташовані з тильної сторони

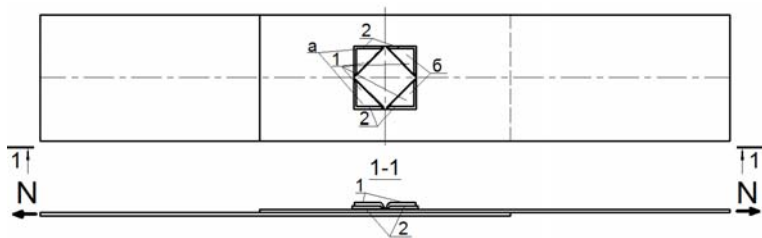


Рис. 8. Схема третього варіанта Х-подібного з'єднання (Х-3):
1 – несучі кромки; 2 – конструктивні кромки;
а – лицьові кромки; б – тильні кромки

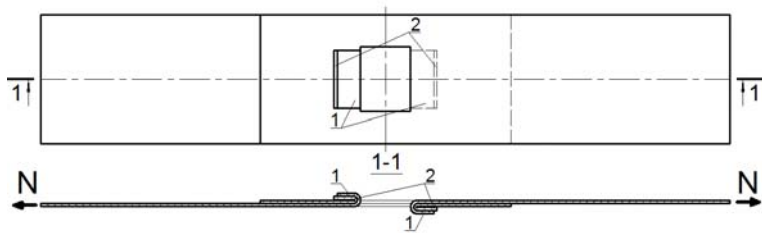


Рис. 9. Схема першого варіанта Н-подібного з'єднання (Н-1):
1 – несучі кромки; 2 – конструктивні кромки

Другий варіант Н-подібного (умовно Н-2) з'єднання відрізняється наявністю фальца та формою отвору (рис. 10), де центральний проріз зміщений від центру отвору (умовно літери Н) на 2–4 мм для можливості загинання фальца [3]. При роботі на розтяг проріз зміщують у бік до більш короткої частини деталі. Спочатку кромки відгинають під кутом 90° , потім з'єднують відповідним чином, щоб коротший елемент спирався на довший. Потім довший елемент відгинають, утворюючи петлю, далі відбувається остаточне загинання, тобто закриття подвійного фальца. Другий варіант з'єднання наведений на рис. 11.

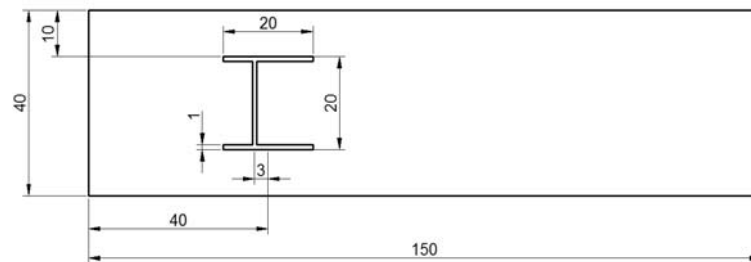


Рис. 10. Схема деталі для зразка для Н-подібного з'єднання з подвійним фальцем (розтяг)

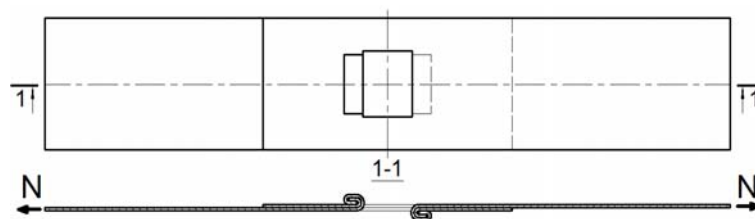


Рис. 11. Схема другого варіанта Н-подібного з'єднання (Н-2)

У рамках експерименту було проведено випробування на розтяг по 7 зразків варіантів: Х-1, Н-1, Н-2 та 3 зразки варіантів Х-2, Х-3. Схема випробувань на розтяг приведена на рис. 12.

Процес випробування зразків показано на рисунках 13–15. Результати випробування наведені в таблиці. Роботу з'єднання під навантаженням можна поділити на два етапи. Під час першого етапу роботи з'єднання не відбувалось жодних змін у геометрії зразків. При досягненні першого контрольного зусилля (позначеного, як зусилля «А» в таблиці) в з'єднанні розпочинались деформації вільних кінців елементів у вигляді відхилення їх від вертикальної площини. На другому етапі несуча здатність з'єднання збільшувалась з одночасним зростанням кута відхилення вільних кінців елементів від вертикалі. Зі збільшенням кута відхилення вільного кінця

елементів, відбувалося поступове відгинання несучих кромок. При досягненні другого контрольного зусилля (позначеного, як зусилля «Б» у таблиці) зростання несучої здатності припинялось і починалась активна фаза збільшення кута відгину несучих кромок. Після чого з'єднання розкривалось. В з'єднанні типу Н-2 відгину фальця не відбувалось, руйнування проходило за рахунок змінання основного металу. На рис. 16 наведено порівняння форми отворів та варіанти закріплення кромок деяких запропонованих варіантів з'єднання та закордонного аналога прес-з'єднання «Rosette-joints».

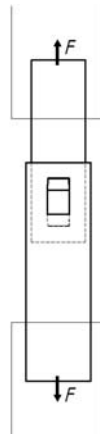


Рис. 12. Схема випробувань зразка на розтяг



Рис. 13. Випробування X-подібного з'єднання на зріз



Рис. 14. Випробування Н-подібного з'єднання на зріз



Рис. 15. Випробування Н-подібного з'єднання з подвійним фальцем на зріз

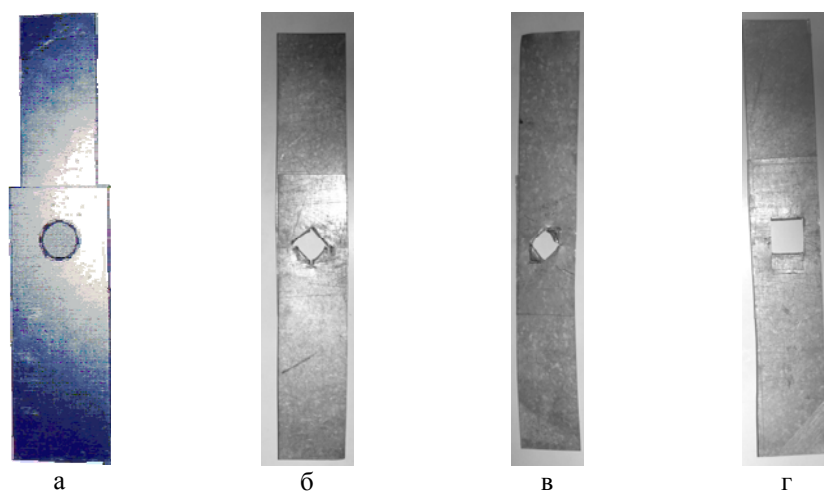


Рис. 16. Графічне порівняння варіантів з'єднань:
а – «Rosette-joints», б – Х-1; в – Х-2; г – Н-2

Таблиця

Результати випробувань на зріз

№ зразка	Товщини з'єднуваних пластин $t_1=t_2$, мм	Вид з'єднання									
		Хрестові						Н-подібні			
		Х-1		Х-2		Х-3		Н-1		Н-2	
		Зусилля А, кН	Зусилля Б, кН	Зусилля А, кН	Зусилля Б, кН	Зусилля А, кН	Зусилля Б, кН	Зусилля А, кН	Зусилля Б, кН	Зусилля А, кН	Зусилля Б, кН
1	0,7	1,36	2,14	0,73	1,17	0,90	1,32	1,36	1,90	1,85	2,40
2		1,41	2,20	0,83	1,34	0,85	1,26	1,19	1,70	1,89	2,52
3		1,67	2,31	0,80	1,27	0,84	1,29	1,15	1,74	1,96	2,80
4		1,71	2,38	-	-	-	-	1,17	1,72	2,04	2,71
5		1,76	2,43	-	-	-	-	1,24	1,80	2,00	2,76
6		1,86	2,58	-	-	-	-	1,34	1,89	2,00	2,74
7		1,83	2,52	-	-	-	-	1,38	1,92	1,98	2,52
Ср.зн		1,66	2,37	0,77	1,26	0,86	1,29	1,26	1,81	1,96	2,63

Порівнюючи отримані результати експерименту для з'єднань, що зображені на рис.16 та закордонного аналога прес-з'єднання «Rosette-joints», можна дійти висновку, що максимальне руйнівне навантаження складає для варіанту а) – 6,9 кН (товщина зразків 1 мм) [6], відповідно для варіантів: б) – 2,37 кН, в) – 1,26 кН, г) – 2,63 кН.

Висновок

На основі результатів проведених експериментальних досліджень було зроблено висновки про характер роботи даних з'єднань, а також встановлено тип відмов роботи з'єднань. У Х-подібних та Н-подібних з'єднаннях відмова роботи розпочиналась при відгині кромки, а в Н-подібних з'єднаннях із подвійним фальцем відбувалось зминання. На основі цих дослідів можна дійти висновку, що з'єднання Х-2 та Х-3 мають меншу несучу здатність та нестабільний характер руйнування, тому в подальшому перспективно досліджувати з'єднання видів Х-1, Н-1 та Н-2. Також до перспективних питань відноситься механізація створення з'єднань за допомогою спеціальних пристроїв.

Література

- [1] ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009 Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів. – К.: НДІБК, 2009. – 73 с.
- [2] Катранов И.Г. Эффективность применения вытяжных заклепок и винтов в соединениях ЛСТК [Текст] / И.Г. Катранов, Ю.С. Кунин // Научные труды XIII международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – М. – МГСУ. – 2010. – С. 108–110.
- [3] Кровельные материалы. Практическое руководство. Характеристика и технология монтажа новейших гидроизоляционных, теплоизоляционных, пароизоляционных материалов / М.В. Панасюк – Ростов-на-Дону: – Феникс, 2005. – 448 с.
- [4] Factors influencing the strength of mechanical clinching / Pedreschi R, Sinha BP, Lennon R, Davies R. // 14th international speciality conference on cold-formed steel structures, Louis Missouri, USA. – 1998. – P. 549–562.
- [5] Helenius A. Shear Strength of clinched connections in light gauge steel. // VTT Research Notes 2029. Technical Research Centre of Finland, Espoo. – 2000.
- [6] Makelainen P., J. Kosti, W. Lu, H. Pastemak : Static and Cyclic Shear Behavior Analysis of the Rosette-Joint // Proceedings of the Fourth Conference on Light-Weight Steel and Aluminium Structures (ICSAS'99), Espoo, Finland. – 1999. – P. 585–592.
- [7] Yu W.-W. Cold-Formed Steel Design : third edition / Wei-Wen Yu. – New York : John Wiley & Sons Inc., 2000. – 645 p.

Надійшла до редколегії 05.06.2012 р.