УДК 624.04

И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, Р.Р. Рамазанов

КазГАСУ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ СОЕДИНЕНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СДВИГ

Аннотация. Несущая способность на сдвиг узловых соединений конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей определяется работой болтового соединения на смятие. Приведены результаты испытаний соединений с увеличенной площадью смятия за счет отгиба участков конца присоединяемого элемента и установки крепежных элементов в виде болтов и самосверлящих самонарезающих винтов (ССВ). Экспериментальные исследования показали, что предложенный подход позволяет увеличить несущую способность соединения в несколько раз.

Ключевые слова: повышение несущей способности на смятие, узлы соединения тонкостенных элементов

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.34-43

В настоящее время в практике строительства увеличивается объем зданий из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Такие конструкции изготавливаются из оцинкованных холодногнутых профилей, обладают малым расходом стали, высокой скоростью возведения и низкими эксплуатационными затратами [1]. Вместе с тем их применение сдерживается рядом факторов, среди которых отсутствие утвержденной нормативной базы по расчету и конструированию ЛСТК. Анализ имеющихся рекомендаций, например в [2], показывает, что одной из проблем при разработке ЛСТК является обеспечение требуемой прочности и деформативности соединений тонкостенных элементов, работающих в основном на сдвиг. Малая несущая способность соединений тонкостенных элементов, работающих на сдвиг, определяется критерием смятия [1], что обуславливает необходимость применения большого числа крепежных элементов (рис. 1) и удороживает стоимость конструкций.

Авторами статьи предложены различные способы повышения несущей способности соединений тонкостенных элементов, такие как устройство шпонок в местах соединений [3], использование специальных конических обжимных шайб [4, 5] и т.п. В настоящей статье рассматривается целый класс новых соединений, приведенных в табл. 1 [6–12], в которых в зоне установки крепежных элементов выполняется отгиб стенок или полок соединяемых тонкостенных элементов, что увеличивает толщину смятия.

В статье приводятся результаты испытаний на растяжение трех типов соединений: без усиления (рис. 2, а); с загибом конца присоединяемого элемента (рис. 2, б); с загибом конца присоединяемого элемента и листовой вставкой (рис. 2, в). Образцы были выполнены из листовой стали классов С245 и С345 толщиной 1,0 и 1,5 мм, соответственно. Экспериментальные образцы выполнялись как с односторонним, так и с двусторонним креплением присо-

едняемых элементов к фасонкам, изготовленным из стали класса С245 толщиной от 3 до 9 мм в зависимости от типа соединения. В качестве крепежных элементов применялись самосверлящие самонарезающие винты (ССВ) $\varnothing 6,3$ мм и болты М6.

Рис. 1. Пример узлового соединения нижнего пояса стропильных ферм на объекте: «Птичник в с. Ленино-Кокушкино Пестречинского р-на РТ» по проекту ООО «Стиллер»

Табл. 1. Новые решения узловых соединений тонкостенных элементов

№ п/п	Описание узлового соединения	Эскизы узлов соединения	Источник
1	В тонкостенном элементе выполняются два продольных реза, и производится отгиб образовавшейся части стенки до контакта с основной стенкой		[6]
2	Модификация п. 1 с увеличенной площадью смятия за счет листовой вставки между основной и отогнутой частью стенки		[7]

№ п/п	Описание узловое соединения	Эскизы узлов соединения	Источник
3	В тонкостенном элементе выполняется один продольный рез и производится отгиб образовавшихся частей стенки до контакта с основной стенкой		[8]
4	Модификация п. 3 с увеличенной площадью смятия за счет листовой вставки между основной и отогнутой частями стенки		[9]
5	На конец сжатого тонкостенного элемента надевается промежуточная деталь в виде скобы, обеспечивающая большую толщину соединяемого пакета		[10]
6	На конце присоединяемого элемента открытого сечения выполняется загиб полки к стенке. Крепежные элементы располагают в пределах отогнутых частей полки		[11]
7	В решетчатых конструкциях, в которых раскос располагается между поясными элементами, в его стенке предварительно выполняются продольный разрез и отгиб образовавшихся частей стенки к полкам до образования совместного плоского участка. Крепежные элементы располагаются на общем плоском участке		[12]

Рис. 2. Схемы экспериментальных образцов узловых соединений: *а* — без усиления; *б* — с загибом конца присоединяемого элемента; *в* — с загибом конца присоединяемого элемента и листовой вставкой; 1 — листовая фасонка; 2 — прикрепляемый тонкостенный элемент; 3 — крепежный элемент; 4 — отогнутая часть прикрепляемого тонкостенного элемента; 5 — листовая вкладка

Экспериментальные исследования узловых соединений были проведены с использованием универсальной испытательной машины марки ИР 5082-500 (рис. 3).

Рис. 3. Общий вид испытательного стенда на базе универсальной испытательной машины марки ИР 5082-500

В ходе испытаний отслеживались перемещения прикрепляемых элементов относительно фасонки в зависимости от прикладываемого усилия. Перемещения определялись с помощью навесного измерителя деформаций (экстензометра) по базе образца 50 мм (см. рис. 3). При этом регистрация изменения нагрузки и перемещений в соединении, а также управление указанными параметрами осуществлялись в автоматическом режиме.

Испытания образцов с односторонним креплением присоединяемых элементов на ССВ показали, что при нагрузках, близких к теоретической несущей способности без усиления (900 кг), перемещения в образцах с усилением оказались ниже на 50 %, однако эффект от усиления незначителен в связи с тем, что потеря несущей способности происходила из-за поворота крепежных элементов при нагрузке 1200...1250 кг. При изготовлении образцов из стали С345 толщиной 1,5 мм было установлено, что пластические свойства данной стали не позволяют выполнить загиб с плотным прилеганием отогнутой части к основной из-за образования трещин вдоль линии загиба (рис. 4).

Рис. 4. Разрушение образца из стали С345 в процессе изготовления

В дальнейшем были изготовлены и испытаны образцы из стали С245 толщиной 1,0 мм с двусторонним креплением присоединяемых элементов к фланцам на ССВ $\varnothing 6,3$ мм и болтах М6.

Испытания соединений на винтах (рис. 5) показали, что несущая способность образца без усиления составила 12,7 кН, при перемещении 0,95 мм; образца с загибом — 19 кН, при перемещении 0,6 мм; образца с загибом и листовой вставкой — 23 кН при перемещении 1,1 мм (рис. 6).

Рис. 5. Фото экспериментальных образцов с соединениями на винтах

По результатам проведенных испытаний соединений на винтах установлено, что несущая способность соединения с загибом выше варианта без усиления на 50 %, а с загибом и вставкой — на 81 %, при этом деформативность соединений с загибом меньше, чем у соединений с загибом и листовой вставкой.

При установке ССВ острием в различных направлениях прирост несущей способности по сравнению с соединениями с сонаправленными винтами составляет 5 %. Это происходит вследствие того, что в последнем случае отогнутые участки стенок элементов теряют устойчивость одновременно (рис. 7).

Рис. 6. Диаграмма работы соединений на винтах

Рис. 7. Виды соединений: *а* — соединение с сонаправленными винтами; *б* — соединение с направленными в противоположных направлениях винтами

При ориентировании отогнутой части внутрь соединения происходит снижение его несущей способности на 16 %. Это происходит вследствие того, что отогнутая часть не полностью включается в работу, поэтому смятие отверстия происходит преимущественно в основной части присоединяемого элемента. Усилия, возникающие в отогнутой части, не приводят к потере ее устойчивости (рис. 8).

Рис. 8. Образец усиленного соединения с отогнутой частью внутрь

Были изготовлены и испытаны образцы соединений тонкостенных элементов с метизами в виде болтов $\varnothing 6$ мм (рис. 9).

Рис. 9. Фото экспериментальных образцов с соединениями на болтах

Рис. 10. Графики работы соединений на болтах

По результатам проведенных испытаний соединений на болтах установлено, что несущая способность соединения с загибом выше, чем у варианта без усиления, на 39 %, а с загибом и вставкой — на 42 %, при этом соединения на болтах по сравнению с соединениями на самосверлящих винтах обладают значительной деформативностью из-за большой области проработки отверстий (рис. 10).

Анализ результатов исследования позволил сделать следующие выводы:

- по результатам проведенных испытаний выявлен значительный прирост несущей способности соединений в зависимости от типа используемого усиления и вида крепежных элементов;
- рациональный тип усиления с позиции трудоемкости изготовления и получаемого эффекта по несущей способности — соединение с загибом конца присоединяемого элемента;
- выявлена необходимость ориентирования крепежных ССВ в симметричных соединениях в противоположных направлениях;
- присоединяемые элементы следует устанавливать отогнутой частью наружу;

• технология изготовления образцов для предлагаемых методов усиления накладывает ограничения на толщину и класс прочности применяемой стали.

Библиографический список

1. Катранов И.Г. Несущая способность винтовых и заклепочных соединений стальных тонкостенных конструкций : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2011. 22 с.
2. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль». М. : ЦНИИПСКА им. Мельникова, 2004. 69 с.
3. Пат. № 2264505 RU, МПК E04B1/00. Способ соединения тонкостенных деталей / И.Л. Кузнецов, Г.Н. Шмелев, Д.А. Пальмов, В.А. Вишневский ; патентообл. КГАСА. № 2003109334/03 ; заявл. 01.04.2003 ; опубл. 20.11.2005. Бюл. № 32. 3 с.
4. Пат. № 2264507 RU, МПК E04B1/58. Соединение тонкостенных элементов / И.Л. Кузнецов, Г.Н. Шмелев, Д.А. Пальмов, Р.Р. Вахтель, В.А. Вишневский. ; патентообл. КГАСА. № 2004111579/03 ; заявл. 09.04.2004 ; опубл. 20.11.2005. Бюл. № 32. 3 с.
5. Пат. № 2329359 RU, МПК E04B1/38. Болтовое соединение тонкостенных элементов / И.Л. Кузнецов, В.А. Вишневский, А.А. Тухватуллин ; патентообл. КГАСУ. № 2007103672/03 ; заявл. 22.01.2007 ; опубл. 20.07.2008. Бюл. № 20.
6. Пат. № 2431720 RU, МПК E04B1/38. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения / И.Л. Кузнецов, Л.Р. Гимранов, А.Э. Фахрутдинов ; патентообл. КазГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2010100011/03 ; заявл. 11.01.2010 ; опубл. 20.10.2011. Бюл. № 9. 3 с.
7. Пат. № 2543236 RU, МПК E04B1/58. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, Р.Р. Рамазанов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2013134907/03 ; заявл. 23.07.2013 ; опубл. 27.02.2015. Бюл. № 6. 3 с.
8. Пат. № 2550118 RU, МПК E04B1/38. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, Р.Р. Рамазанов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2014111009/03 ; заявл. 21.03.2014 ; опубл. 10.05.2015. Бюл. № 13. 3 с.
9. Пат. № 2551175 RU, МПК E04B1/38. Способ соединения тонкостенного элемента открытого сечения / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, Р.Р. Рамазанов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2014114442/03 ; заявл. 07.04.2014 ; опубл. 20.05.2015. Бюл. № 14. 3 с.
10. Пат. № 2436906 RU, МПК E04B1/58. Узел соединения тонкостенного сжатого элемента / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, И.В. Крайнов ; патентообл. КазГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2010107712/03 ; заявл. 10.09.2011 ; опубл. 20.12.2011. Бюл. № 35. 3 с.
11. Пат. № 2543234 RU, МПК E04B1/38. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2013127902/03 ; заявл. 18.06.2013 ; опубл. 27.02.2015. Бюл. № 6. 3 с.
12. Пат. № 2543237 RU, МПК E04B1/38. Способ крепления раскосов в решетчатой конструкции / И.Л. Кузнецов, А.Э. Фахрутдинов, Р.Р. Рамазанов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2013130428/03 ; заявл. 02.07.2013 ; опубл. 27.02.2015. Бюл. № 6. 3 с.
13. Пат. № 2521214 RU, МПК E04B1/58. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения / А.Э. Фахрутдинов, И.Л. Кузнецов ; патентообл. ООО «Лекон». № 2013113074/03 ; заявл. 22.03.2013 ; опубл. 27.06.2014. Бюл. № 18. 3 с.
14. Пат. № 2543225 RU, МПК E04D3/365. Способ соединения консольных участков листов профилированного настила / И.Л. Кузнецов, М.А. Салахутдинов ; патентообл. КГАСУ, И.Л. Кузнецов. № 2013130433/03 ; заявл. 02.07.2013 ; опубл. 10.01.2015. Бюл. № 6. 3 с.

Поступила в редакцию в сентябре 2016 г.

Об авторах: **Кузнецов Иван Леонидович** — доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций и испытания сооружений, **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, kuz377@mail.ru;

Фахрутдинов Аделъ Эдуардович — кандидат технических наук, заведующий кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений, **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, faxrutdinoff@yandex.ru;

Рамазанов Руслан Рашитович — аспирант кафедры металлических конструкций и испытания сооружений, **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, ramrusrash@mail.ru.

Для цитирования: *Кузнецов И.Л., Фахрутдинов А.Э., Рамазанов Р.Р.* Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 34–43. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.34-43

I.L. Kuznetsov, A.E. Fakhrutdinov, R.R. Ramazanov

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH FOR SHEAR STRAIN OF CONNECTIONS OF THIN-WALLED ELEMENTS

Abstract. Bearing capacity for shear of assembly connections of structures made of steel thin-walled cold-formed sections is determined by the bolted connection crush strength. Results of tests of connections with a bearing surface area enlarged due to a bending of the connected element end portions and mounting of fastening elements in a type of bolts and self-drilling screws. Experimental research illustrated that the suggested approach enables to increase the bearing capacity of the connection several times over.

Key words: increasing the bearing capacity for crush, assemblies of connection of thin-walled elements

References

1. Katranov I.G. *Nesushchaya sposobnost' vintovykh i zaklepochnykh soedineniy stal'nykh tonkostennykh konstruksiy : avtoreferat dissertatsii ... doktora tekhnicheskikh nauk* [Bearing Capacity of Screw and Rivet Connections of Steel Thin-Walled Structures : Synopsis of Thesis ... Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2011, 22 p. (In Russian)
2. *Rekomendatsii po proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu konstruksiy karkasa maloetazhnykh zdaniy i mansard iz holodnognutykh stal'nykh otsinkovannykh profiley proizvodstva OOO «Balt-Profil»* [Recommendations for Design, Manufacture and Installation of Frame Structures of Low-Rise Buildings and Attics, Made of Cold-Formed Galvanized Steel Sections of "Balt-Profil"]. Moscow, TsNIIPSKa im. Mel'nikova Publ., 2004, 69 p. (In Russian)
3. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2264505 RU, MPK E04B1/00. Sposob soedineniya tonkostennykh detaley* [Patent No. 2264505 RU, MPK E04B1/00. Thin-Walled Parts Connection Method]. Patent holder KGASA, No. 2003109334/03 ; appl. 01.04.2003, publ. 20.11.2005, bulletin no. 32, 3 p. (In Russian)
4. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2264507 RU, MPK E04B1/58. Soedinenie tonkostennykh elementov* [Patent No. 2264507 RU, MPK E04B1/58. Thin-Walled Elements Connection]. Patent holder KGASA, No. 2004111579/03 ; appl. 09.04.2004, publ. 20.11.2005, bulletin no. 32, 3 p. (In Russian)
5. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2329359 RU, MPK E04B1/38. Boltovoe soedinenie tonkostennykh elementov* [Patent No. 2329359 RU, MPK E04B1/38. Thin-Walled Elements Bolted Connection]. Patent holder KGASU, No. 2007103672/03, appl. 22.01.2007, publ. 20.07.2008, bulletin no. 20. (In Russian)

6. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2431720 RU, MPK E04B1/38. Sposob soedineniya tonkostennykh elementov otkrytogo secheniya* [Patent No. 2431720 RU, MPK E04B1/38. Method of Connection of Thin-Walled Elements of Open Section]. Patent holder KazGASU, Kuznetsov I.L., No. 2010100011/03, appl. 11.01.2010, publ. 20.10.2011, bulletin no. 9, 3 p. (In Russian)
7. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2543236 RU, MPK E04B1/58. Sposob soedineniya tonkostennykh elementov otkrytogo secheniya* [Patent No. 2543236 RU, MPK E04B1/58. Method of Connection of Thin-Walled Elements of Open Section]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2013134907/03, appl. 23.07.2013, publ. 27.02.2015, bulletin no. 6, 3 p. (In Russian)
8. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2550118 RU, MPK E04B1/38. Sposob soedineniya tonkostennykh elementov otkrytogo secheniya* [Patent No. 2550118 RU, MPK E04B1/38. Method of Connection of Thin-Walled Elements of Open Section]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2014111009/03, appl. 21.03.2014, publ. 10.05.2015, bulletin no. 13, 3 p. (In Russian)
9. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2551175 RU, MPK E04B1/38. Sposob soedineniya tonkostennogo elementa otkrytogo secheniya* [Patent No. 2551175 RU, MPK E04B1/38. Method of Connection of a Thin-Walled Element of Open Section]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2014114442/03, appl. 07.04.2014, publ. 20.05.2015, bulletin no. 14, 3 p. (In Russian)
10. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2436906 RU, MPK E04B1/58. Uzel soedineniya tonkostennogo szhatogo elementa* [Patent No. 2436906 RU, MPK E04B1/58. Assembly of Connection of a Thin-Walled Compression Element]. Patent holder KazGASU, Kuznetsov I.L., No. 2010107712/03, appl. 10.09.2011, publ. 20.12.2011, bulletin no. 35, 3 p. (In Russian)
11. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2543234 RU, MPK E04B1/38. Sposob soedineniya tonkostennykh elementov otkrytogo secheniya* [Patent No. 2543234 RU, MPK E04B1/38. Method of Connection of Thin-Walled Elements of Open Section]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2013127902/03, appl. 18.06.2013, publ. 27.02.2015, bulletin no. 6, 3 p. (In Russian)
12. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2543237 RU, MPK E04B1/38. Sposob krepleniya raskosov v reshchatoy konstruktsii* [Patent No. 2543237 RU, MPK E04B1/38. Method of Fastening of Braces in a Framed Structure]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2013130428/03, appl. 02.07.2013, publ. 27.02.2015, bulletin no. 6, 3 p. (In Russian)
13. Fakhrutdinov A.E. *Patent No. 2521214 RU, MPK E04B1/58. Sposob soedineniya tonkostennykh elementov otkrytogo secheniya* [Patent No. 2521214 RU, MPK E04B1/58. Method of Connection of Thin-Walled Elements of Open Section]. Patent holder "Lecon" LLC, No. 2013113074/03, appl. 22.03.2013, publ. 27.06.2014, bulletin no. 18, 3 p. (In Russian)
14. Kuznetsov I.L. *Patent No. 2543225 RU, MPK E04D3/365. Sposob soedineniya konsol'nykh uchastkov listov profilirovannogo nastila* [Patent No. 2543225 RU, MPK E04D3/365. Method of Connection of Console Portions of Shaped Decking Sheets]. Patent holder KGASU, Kuznetsov I.L., No. 2013130433/03, appl. 02.07.2013, publ. 10.01.2015, bulletin no. 6, 3 p. (In Russian)

About the authors: **Kuznetsov Ivan Leonidovich** — Doctor of Engineering, Professor of Steel Structures Department, **Kazan State University of Architecture and Engineering (KGASU)**, 1 Zelenaya Str., Kazan', 420043, Russia; +7 (987) 296-32-34; Kuz377@mail.ru;

Fakhrutdinov Adele Eduardovich — Candidate of Engineering, Head of Steel Structures Department, **Kazan State University of Architecture and Engineering (KGASU)**, 1 Zelenaya Str., Kazan', 420043, Russia; +7 (927) 430-07-33; Faxrutdinoff@yandex.ru;

Ramazanov Ruslan Rashitovich — Postgraduate student of Steel Structures Department, **Kazan State University of Architecture and Engineering (KGASU)**, 1 Zelenaya Str., Kazan', 420043, Russia; +7 (927) 035-16-40; Ramrusrash@mail.ru.

For citation: Kuznetsov I.L., Fakhrutdinov A.E., Ramazanov R.R. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy raboty soedineniy tonkostennykh elementov na sdvig [Results of Experimental Research for Shear Strain of Connections of Thin-Walled Elements]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 12, pp. 34–43. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.34-43