

УДК 624.014, 624.071

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Рамазанов Р.Р. – аспирант

E-mail: ramrusrash@mail.ru

Фахрутдинов А.Э. – кандидат технических наук

E-mail: faxrutdinoff@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Разработка и исследование новых типов соединений тонкостенных элементов**Аннотация**

Рассматриваются способы повышения несущей способности узловых соединений тонкостенных элементов на смятие. Предлагается использовать отгиб конца элемента и устанавливать крепежные элементы в пределах отогнутой части, что увеличивает площадь соединения, работающую на смятие, в два раза. Дальнейшего увеличения площади смятия можно достигнуть путем установки дополнительной промежуточной детали. Экспериментальные и численные исследования подтверждают возможность повышения несущей способности узлов соединения тонкостенных элементов предложенными способами более чем в два раза.

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

В настоящее время происходит интенсивное наращивание производства тонкостенных холодногнутых профилей из оцинкованной стали, а также легких конструкций с их применением [1]. Тонкостенные холодногнутые профили используются при изготовлении ферм [2], рамных конструкций [3], сетчатых куполов [4] и т.п. Особенностью указанных конструкций является то, что их конструктивные решения предусматривают использование в узлах болтовых соединений. Известно, что несущая способность болтового соединения принимается как наименьшее значение из условия обеспечения прочности на смятие или срез (согласно СП 16.13330.2014). В таблице в качестве примера приведена несущая способность одноболтового соединения на смятие ($N_{см}$) и срез ($N_{ср}$) в зависимости от класса стали, диаметра болтов и толщины соединяемых деталей.

Таблица

Несущая способность одноболтового соединения на смятие и срез

Несущая способность, кг	Диаметр болта	Класс стали	Толщина соединяемых элементов						
		класс болтов	0,8 мм	1 мм	1,2 мм	1,4 мм	1,6 мм	1,8 мм	2 мм
$N_{см}$	d=10 мм	C245	297	371	445	519	593	667	741
		C345	390	488	585	683	780	878	976
	d=12 мм	C245	356	445	534	623	712	801	890
		C345	468	585	702	820	937	1054	1171
$N_{ср}$	d=10 мм	кл. 5.6	1680						
		кл. 8.8	2638						
	d=12 мм	кл. 5.6	2419						
		кл. 8.8	3798						

Из приведенной таблицы видно, что основной проблемой при обеспечении несущей способности узлового соединения тонкостенных элементов является смятие. Данная проблема может быть решена несколькими способами. Например, в [5]-[7] это достигается путем использования вдавливаемых элементов, образующих несущие шпонки, или специальных конических шайб, повышающих расчетную площадь смятия. В данной статье рассматривается другой подход к повышению несущей способности узлового соединения тонкостенных элементов на смятие, заключающийся в отгибе концов соединяемых тонкостенных элементов [8], что увеличивает расчетную площадь смятия на данных участках. Для подтверждения эффективности предложенного решения

были проведены численные и экспериментальные исследования работы узловых соединений, параметры которых приведены на рис. 1. Образцы были изготовлены из листовой стали класса С245 с расчетным сопротивлением на смятие 380 МПа. В качестве метизов были использованы болты диаметром 10 мм класса 5.8.

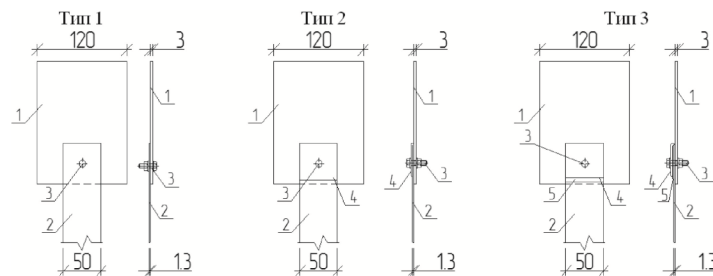


Рис. 1. Схемы экспериментальных образцов узловых соединений (тип 1 – традиционное нахлесточное соединение;

тип 2 – узловое соединение с отгибом конца тонкостенного элемента;

тип 3 – узловое соединение с отгибом конца тонкостенного элемента и установкой листовой детали):

- 1 – фасонка; 2 – прикрепляемый тонкостенный элемент; 3 – болт; 4 – отогнутая часть элемента;
- 5 – дополнительный усиливающий вкладыш

Численные исследования НДС рассматриваемых образцов соединений тонкостенных элементов на программном комплексе «Ansys» показали следующее.

В соединении без усиления по типу 1 изополя нормальных напряжений при работе на сдвиг приведены на рис. 2. Максимальная несущая способность из условия достижения напряжений смятия составила 4,7 кН.

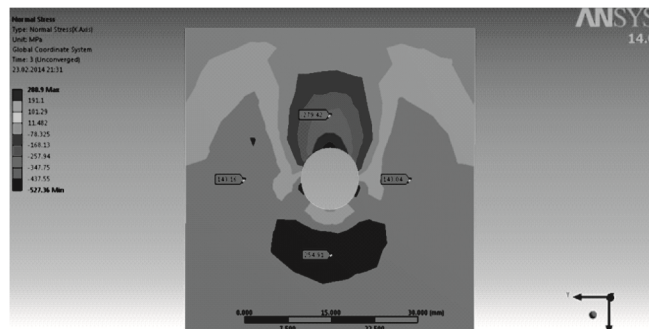


Рис. 2. Изополя нормальных напряжений в зоне болтового соединения по типу 1 (рис. 1)

В соединении с отгибом конца элемента (тип 2) изополя нормальных напряжений при работе на сдвиг приведены на рис. 3. Расчетная нагрузка, при которой произошло исчерпание несущей способности, составила 9,55 кН.

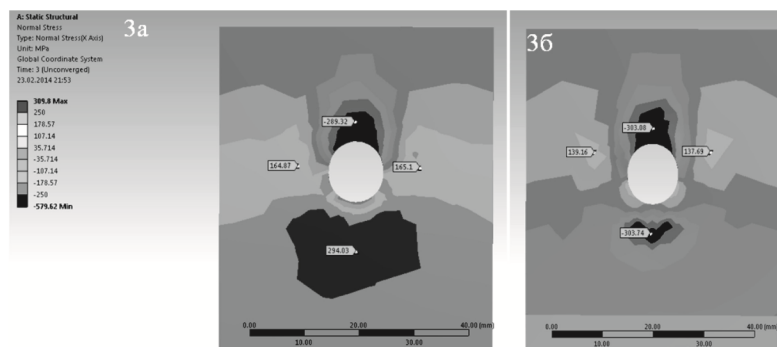


Рис. 3. Изополя нормальных напряжений в соединении по типу 2: а – основная часть; б – отогнутая часть

В образце с отгибом и промежуточной листовой деталью (тип 3) изополя нормальных напряжений в соединении при работе на сдвиг приведены на рис. 4. Расчетная нагрузка для данного типа соединения составила 11,84 кН.

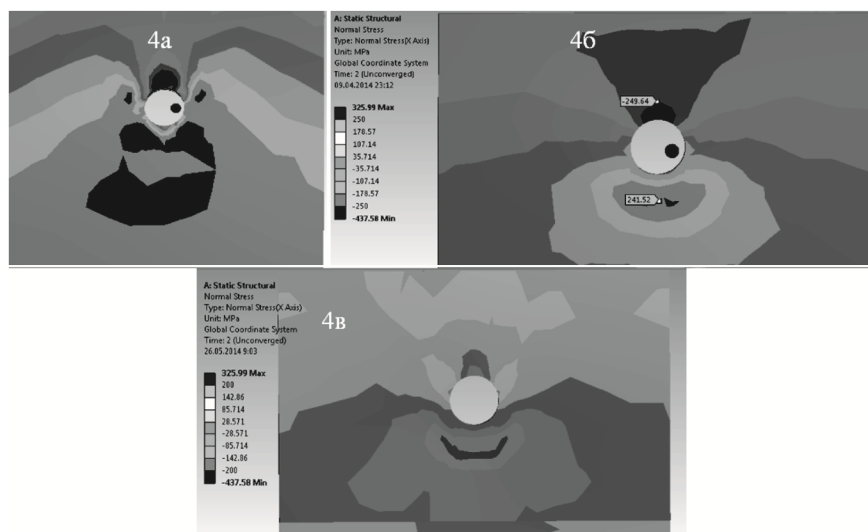


Рис. 4. Изополя напряжений в соединении по типу 3:
а – основной части; б – в усиливающей листовой детали; в – в отогнутой части

Численные исследования показали, что узловые соединения с отгибом конца элемента обеспечивает повышение несущей способности в 2,03 раза, а с дополнительной листовой деталью – в 2,52 раза.

Экспериментальные исследования образцов соединений тонкостенных элементов, выполненных по схемам на рис. 1, проводились на гидравлическом прессе УММ-20. Испытания образцов проводились до разрушения, при этом болтовое соединение воспринимало сдвиг. Характер разрушения образцов приведен на рис. 5, а результаты испытаний приведены на графике (рис. 6). Из приведенного графика следует, что линейная работа узлового соединения по типу 1 длилась до нагрузки 5,4 кН; узлового соединения по типу 2 – 12 кН, узлового соединения по типу 2 – 17 кН.

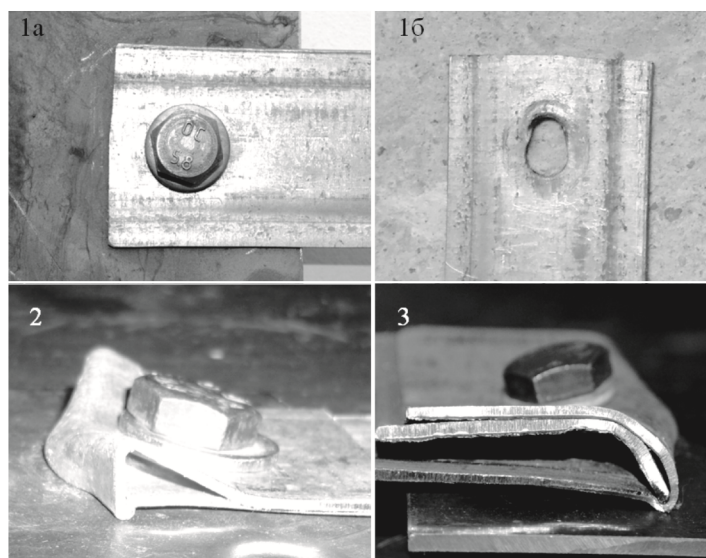


Рис. 5. Характер разрушения образцов соединений:
1а – образец по типу 1 до разборки; 1б – образец по типу 1 после испытания;
2 – образец по типу 2 после испытания, 3 – образец по типу 3 после испытания

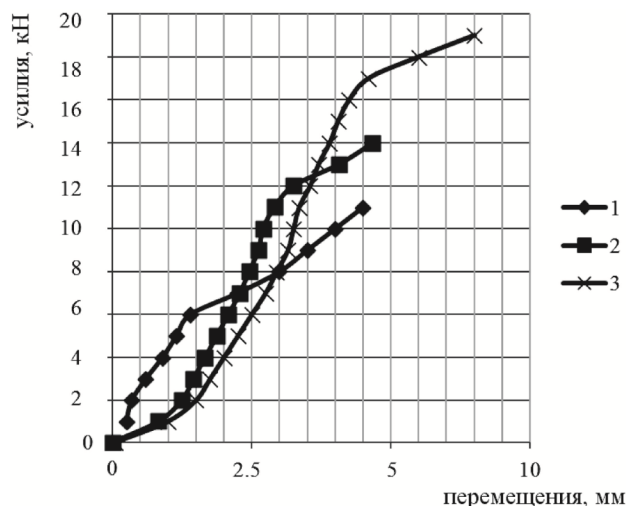


Рис. 6. Графики зависимости перемещений в узловых соединениях от нагрузки

Таким образом, проведенные исследования показали, что предлагаемые способы повышения несущей способности узловых соединений тонкостенных элементов путем отгиба их концов обеспечивает повышение несущей способности более чем в 2 раза. Однако, следует отметить, что наличие отогнутых участков и усиливающих листовых деталей изменяет характер НДС соединения (рис. 3, 4) в сравнении с традиционным (рис. 2). Следовательно, требуются дальнейшие исследования предлагаемых соединений, в частности, с позиции оценки их деформативности и местной устойчивости отогнутых участков.

Список библиографических ссылок

1. Айрумян Э.Л. «Эффективные холодногнутые профили из оцинкованной стали – в массовое строительство» ж-л монтажные и специальные работы в строительстве, 2005, № 1. – С. 10-17.
2. Коротких А.В. Фермы из тонкостенных оцинкованных профилей с перекрестной решеткой на сдвигоустойчивых соединениях. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – Красноярск, 2012. – 22 с.
3. Тарасов А.В. Экспериментально-теоретические исследования рамных конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Томск, 2013. – 22 с.
4. Тур А.В. Совершенствование узловых соединений сетчатых куполов из тонкостенных холодногнутых профилей. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – Казань, 2013. – 20 с.
5. Кузнецов И.Л., Шмелев Г.Н., Пальмов Д.Л. и др. Соединение тонкостенных элементов: 2264505 РФ. № 2003109334/03; заявл. 01.04.2003, опубл.20.11.2004. Бюл. № 32. – 3 с.
6. Кузнецов И.Л., Шмелев Г.Н., Пальмов Д.Л. и др. Соединение тонкостенных элементов: 2264507 РФ. № 2004111579/03; заявл. 09.04.2004, опубл.20.01.2005. Бюл. № 32. – 3 с.
7. Кузнецов И.Л., Вишневский В.А., Тухватуллин А.А. Болтовое соединение тонкостенных элементов: кат. 2329359 РФ. № 2007103672/03; заявл. 22.01.2007; опубл. 20.07.2008. Бюл. № 20. – 3 с.
8. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р., Фахрутдинов А.Э. Способ соединения тонкостенных элементов открытого сечения. 2431720 РФ. № 2010100011/03; заявл. 11.01.2010; опубл. 20.10.2011. Бюл. № 29. – 3 с.

Kuznetsov I.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Ramazanov R.R. – post-graduate student

E-mail: ramrusrash@mail.ru

Fakhrutdinov A.E. – candidate of technical sciences

E-mail: faxrutdinoff@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenya st., 1

Development and research of new types of joints of thin-walled elements

Resume

Currently, there is an intense increase in the production of thin-walled cold-formed profiles of galvanized steel and lightweight structures with their application: trusses, frame designs and mesh domes. The peculiarity of this construction is that their design solutions envisage the use of bolted connections at the nodes. The main problem in the use of thin-walled cold-formed profiles with connection bolt is low bearing ability of the compound to collapse. At the moment there are several ways to increase the strength of such joints. For increase the bearing capacity of nodal connections is assumed to use the limb of the end and install fixing elements (bolts) between the bent parts, which increases an area of the compound working by collapse twice. Further increases area of collapse can achieved by installing additional intermediate parts. To confirm the effectiveness of the proposed solutions were carried out numerical and experimental studies of the nodal connections. Studies have shown that the proposed ways to improve the bearing capacity of thin-walled elements of nodal connections by bending their ends enhances the carrying capacity of more than twice. However, it should be noted that the presence of bent sections and reinforcing sheet metal parts alters the character of VAT compound in comparison with the traditional. Therefore, further studies are required of the compounds, in particular, from the perspective of assessing their deformability and local stability of the bent portions.

Keywords: joints of thin-walled elements, advance of bearing capacity to collapse.

References list

1. Hayrumyan E.L. «Effective cold-formed profiles of galvanized steel in massive construction» mounting and special works in construction, № 1, 2005. – P. 10-17.
2. Korotkih A.V. Farms of thin-walled galvanized profiles with cross lattice on steady shear compounds. Author's abstract on scientific degree competition ktn. – Krasnoyarsk, 2012. – 22 p.
3. Tarasov A.V. Experimental and theoretical research of frame structures of steel thin-walled cold-formed profiles. Author's abstract on scientific degree competition ktn. – Tomsk, 2013. – 22 p.
4. Tur A.V. Improving the nodal compounds of mesh domes of thin cold-formed profiles. Author's abstract on scientific degree competition ktn. Kazan, 2013. – 20 p.
5. Kuznetsov I.L., Shmelev G.N., Palmov D.L. and other. Compound thin-walled elements. The patent 2264505 Russian Federation. № 2003109334/03; it is declared 01.04.2003, it is published 20.11.2004. The bullet in № 32. – 3 p.
6. Kuznetsov I.L., Shmelev G.N., Palmov D.L. Compound thin-walled elements. The patent 2264507 Russian Federation. № 2004111579/03; it is declared 09.04.2004, it is published 20.01.2005. The bullet in № 32. – 3 p.
7. Kuznetsov I.L., Vishnevskiy V.A., Tuhvatullin A.A. Bolting thin-walled elements. The patent 2329359 Russian Federation. № 2007103672/03; it is declared 22.01.2007, it is published 20.07.2008. The bullet in № 20. – 3 p.
8. Kuznetsov I.L., Gimranov L.R., Fakhrutdinov A.E. Way of connecting thin-walled elements open section. The patent 2431720 Russian Federation. № 2010100011/03; it is declared 11.01.2010, it is published 20.10.2011. The bullet in № 29. – 3 p.