

Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях

Бакалавр В.Г. Куражова;
ст. преподаватель Т.В. Назмеева,
ГОУ Череповецкий государственный университет*

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), узловые соединения, болты, винты, заклепки, сравнительный анализ.

В настоящее время все большую популярность в технологии строительства быстровозводимых зданий приобретает каркасная система из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) [1]. Применение холодногнутого тонкостенного профиля в несущих конструкциях бескрановых зданий и сооружений позволяет значительно снизить экономические затраты по сравнению с традиционными стальными конструкциями. Однако их использование в большепролетных конструкциях ограничивается. Это связано с недостаточной несущей способностью узловых соединений, выполняемых в основном при помощи самонарезающих винтов.

К настоящему времени в строительстве известно довольно много видов соединений ЛСТК, тем не менее, наибольшей популярностью пользуются только самонарезающие винты. Попробуем разобраться в причинах подобной популярности. Для этого проведем сравнительный анализ известных видов узловых соединений.

При выборе конструктивного решения соединений (стыков и узлов) легких элементов необходимо учитывать такие факторы, как действие сил в соединяемых сечениях; сечения с наименьшей прочностью в соединениях; прочность на срез стенок балок, поясов и заключенной между ними части стыка; эксцентриситет; концентрацию напряжений; деформируемость частей стыка во время изготовления и эксплуатации [2].

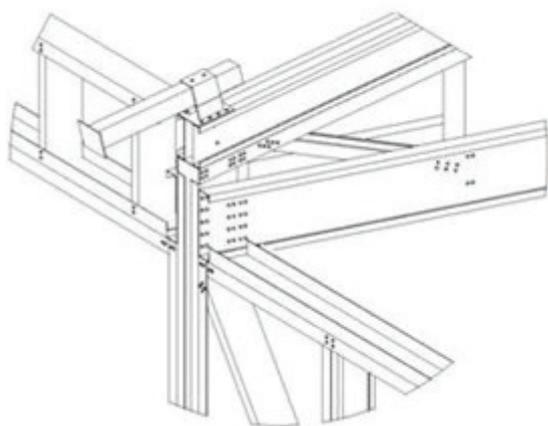


Рисунок 1. Соединения ЛСТК

Соединение профилей ЛСТК (рис. 1) возможно следующими способами: при помощи сварки, склеивания, самонарезающих винтов, заклепок и болтов, а также комбинированием выше указанных видов (клеяболтовые соединения, клеи на сварке и т.д.).

Сварные соединения

Исследования, проведенные за рубежом, показывают возможность применения сварных соединений в ЛСТК [3].

При использовании холодноформованных тонкостенных профилей из тонколистового металла способы выполнения сварных соединений для строительных конструкций различны. Нередко встречаются решения, известные до сих пор только в строительстве легких машин или самолетов.

Благодаря незначительным размерам поперечных сечений стержней, выдерживающих небольшие усилия, швы в соединениях, как правило, короткие и имеют небольшую толщину. Поэтому сварку требуется вести очень тщательно, чтобы предотвратить пористость, подрезы или сплавление отверстий. Правда, тонкостенность элементов в стыке позволяет легче избежать внутренних дефектов шва (например, шлаковых включений в шве, непроваров), но тонкие швы, как правило, пористые.

Сварка листового металла толщиной менее 4 мм, подвергавшегося или не подвергавшегося холодной пластической обработке, требует технологии, приспособленной к быстрому отведению тепла из стыка, быстрому застыванию сварочной ванны и к необходимой большей скорости плавления электродов по сравнению с этими же операциями, имеющими место при соединении листового металла толщиной 4 мм. Поэтому в сварном деле для соединения тонкого листового металла существует соответствующая техника и технология.

Клеевые соединения

Склеивание металлов впервые было применено в авиационной промышленности около 70 лет назад. В течение 60-70-х гг. XX в. многие научно-исследовательские институты разных стран занимались вопросами широкого применения этого метода, в частности в элементах, изготовленных из разных материалов. В строительстве до недавнего времени склеивание для соединения конструктивных материалов применялось только от случая к случаю.

Метод соединения металлических элементов склеиванием по сравнению с другими методами соединения имеет следующие достоинства [3]:

- 1) равномерное распределение напряжений в соединении, достигаемое благодаря действию усилия на всю плоскость прилегания материалов, если только соединяемые листы металла не слишком тонки;
- 2) снижение массы элементов вследствие уменьшения количества фасонки и накладных деталей, но только по сравнению со сварными и заклепочными соединениями;
- 3) полная защита от коррозии прилегающих друг к другу плоскостей;
- 4) возможность соединения стали с другими конструктивными материалами.

Клей, применяемый для соединения металлических конструкций, должен удовлетворять следующим требованиям [3]:

- обеспечить достаточную динамическую и статическую прочность соединений при температуре от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$;
- быть стойким против старения и выкрашивания, воздействия окружающей среды, а также против различных химических агентов и влагуостойчивым;
- исключать воздействие, вызывающее коррозию металла в стыке;
- быть рассчитанным на длительный срок годности при хранении и пригодности в состоянии, подготовленном для склеивания;
- быть безопасным клеевым компонентом для человеческого организма.

Сфера применения склеивания:

- крепление элементов, работающих в комплексных конструкциях, к стальным деталям;
- выполнение стыков элементов из трудносвариваемой стали, в которых заклепочные соединения приводят к увеличению массы конструкции настолько, насколько она снижается благодаря высоким механическим свойствам материала;
- крепление элементов жесткости к оболочкам из тонкого листового металла;
- выполнение стыков в элементах из волнистой стали.

Запрещается склеивать все элементы жесткости, обеспечивающие устойчивость конструкции в зданиях, в которых существует опасность пожара.

Прочность клеевых соединений оценивают на основании следующих принципов:

- 1) прочность на сдвиг стыка должна быть пропорциональна величине склеиваемой поверхности;
- 2) удельная прочность определяется на основании испытаний соединений, выполненных в лаборатории или на заводе легких конструкций, на образцах из того же металла, какие используются для конструкции [3].

Винтовые соединения

Самонарезающие винты, применяемые в существующих конструктивных решениях узлов для соединения элементов из холодногнутых профилей, представляют собой болты небольшого диаметра с резьбой специального профиля по всей длине стержня для завинчивания. Винтами осуществляется крепление профилей каркаса ЛСТК между собой, соединение узлов стропильных ферм, крепление к каркасу стеновых панелей, кровельных покрытий (рис. 2) [4]. Винты обеспечивают в основном неразборное соединение.

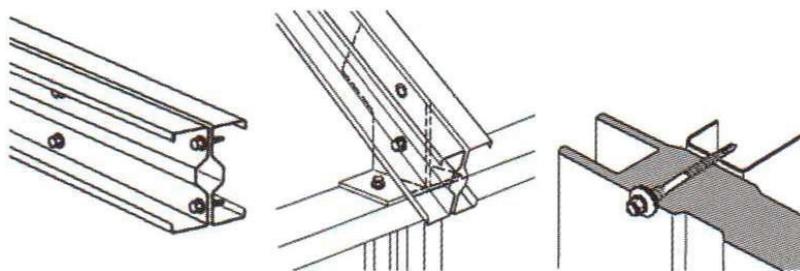


Рисунок 2. Соединения на винтах в ЛСТК

Самонарезающие винты устанавливаются либо в заранее выполненные отверстия, либо без предварительного выполнения отверстий (самосверлящие саморезы). Последние обеспечивают высокую производительность монтажа и позволяют осуществлять соединение элементов, имея лишь односторонний доступ к ним.

В настоящее время в России отсутствует общая нормативная база по расчету соединений с самонарезающими винтами. Приходится руководствоваться лишь рекомендациями производителей, например [5], что вносит определенные трудности в проектирование.

При установке самосверлящих самонарезающих винтов предъявляются требования по допустимому числу оборотов, крутящему моменту и необходимому и достаточному усилию нажатия. При установке обычных самонарезающих винтов предъявляются требования к размеру отверстий, который зависит от толщины соединяемых материалов и их прочностных характеристик [4].

Недостаток винтовых соединений состоит в том, что довольно часто в некоторых узлах не удается разместить требуемое количество винтов для восприятия действующих усилий, а это ограничивает несущую способность конструкции. Повысить несущую способность узлов можно использованием болтов нормальной точности вместо самонарезающих винтов [6].

Заклепочные соединения



Рисунок 3. Вытяжные заклепки

Заклепки – это круглые стержни диаметром 8-25 мм и более, имеющие на одном конце сферическую головку (закладку). В ЛСТК используются в основном вытяжные заклепки (рис. 3). В зависимости от особенностей работы в соединении и назначения вытяжные заклепки бывают следующих видов [7]: стандартная (простая), герметичная (закрытая), лепестковая, распорная, рифленая, многозажимная, усиленная и трубчатая.

Вытяжные заклепки устанавливаются в заранее выполненные сверлением или продавленные отверстия.

Заклепочные соединения с пробитыми отверстиями характеризуются меньшей прочностью, чем со сверленными отверстиями. Снижение прочности особенно велико при повторяющейся статической нагрузке.

В легких стальных конструкциях заклепочные соединения используют в немногочисленных случаях [3]:

- в стыках стальных элементов высокой прочности $80-100 \text{ кгс/мм}^2$, так как обычно сталь этих марок трудносвариваемая или несвариваемая вообще;
- в заводских стыках, выполненных в основном с помощью точечной сварки давлением в тех их частях, где число листов металла превышает 3 или если их суммарная толщина больше 15 мм;
- в монтажных стыках, если нужно давать большое количество болтов. Но даже в этом случае для уменьшения размеров соединительных деталей выгодно применять болты из высокопрочной стали (без сжатия стыка), а не заклепки. В других решениях заклепочные соединения применять не следует.

Массовое применение заклепочных соединений ограничено в связи с отсутствием нормативной базы в России и небольшим числом исследований по действительной работе этих соединений.

Общие принципы проектирования и расчета заклепочных соединений тонких листов металла аналогичны расчету толстых листов. Расстояния между заклепками в стыке должны быть такими же, как между болтами. Для расчета заклепки берется диаметр отверстия в соединяемых элементах [3].

В настоящее время в России проводятся исследования, посвященные винтовым и заклепочным соединениям. Например, испытания, проведенные в МГСУ [8], показали, что несущая способность винтовых и заклепочных соединений во многом зависит от толщины соединяемого материала. При проведении испытаний наблюдалось смятие материала с последующим срезом винта (заклепки). Отказ винтовых и заклепочных соединений может происходить как по крепежу, так и по скрепляемому материалу (рис. 4).

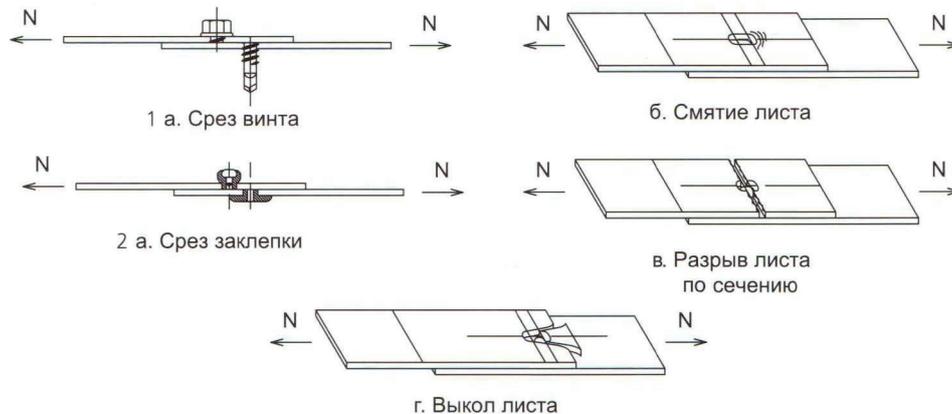


Рисунок 4. Типы отказов соединений ЛСТК, работающих на срез, на вытяжных заклепках и винтах

Болтовые соединения

Болтовые соединения имеют перспективы применения в легких стальных конструкциях для монтажа стыков, выполняемых на строительной площадке. Основное преимущество их применения в ЛСТК перед другими соединениями заключается в возможности расширения области применения легких стальных тонкостенных конструкций в большепролетных конструкциях, например, в покрытиях пролетом 18 м и более (рамы, фермы).

Рассмотрим особенности болтовых соединений.

Известно, что болтовые соединения обладают податливостью, которая оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции в целом. В связи с этим проведены экспериментально-теоретические исследования деформативности болтовых соединений, работающих на смятие, а также их расчет Н.Н. Стрелецким, В.В. Каленовым. Исследования показали, что для болтовых соединений тонкостенных профилей критерием предельного состояния являются деформации смятия элементов в соединении.

На основании опытов, проведенных российскими учеными [6], было доказано, что увеличить несущую способность фермы покрытия из тонкостенных холодногнутых профилей можно путем внесения следующих конструктивных изменений по сравнению с существующими решениями (рис. 5):

- использованием в местах приложения сосредоточенных усилий дополнительных элементов толщиной 4-6 мм;
- применением для соединения тонкостенных холодногнутых профилей болтов нормальной точности или высокопрочных взамен самонарезающих винтов.

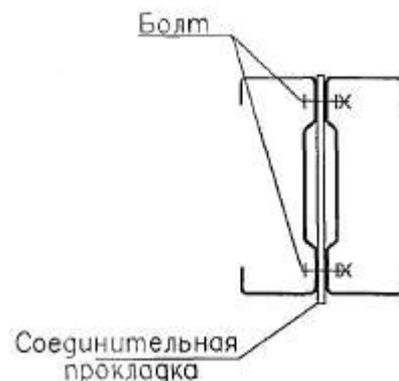


Рисунок 5. Рекомендуемые конструктивные решения соединения тонкостенных холодногнутых профилей

Испытания, проведенные в США, показали, что если расстояние между болтами велико, то разрушение стыка происходит при меньшей нагрузке, чем определяемая прочностью металла в ослабленном сечении. Поэтому американские нормы рекомендуют, чтобы напряжения в таком сечении были меньше допускаемых или установленных по формуле [3]:

$$k_1 = \left(0,1 + \frac{3d}{e}\right)k, \quad (1)$$

где k – допускаемое напряжение для листового металла; d – диаметр стержня болта; e – расстояние между болтами.

Куражова В.Г., Назмеева Т.В. Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях

В отечественных нормативных документах (СНиП II-23-81*) расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом по смятию соединяемых элементов, определяется по формуле

$$N_b = R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot dt, \quad (2)$$

где R_{bp} – расчетное сопротивление смятию соединяемых элементов; γ_b – коэффициент условий работы одноболтового соединения; t – минимальная толщина соединяемых элементов.

В случае $t \leq 4$ мм с учетом рекомендаций Пособия по проектированию стальных конструкций к СНиП II-23-81* (п. 2.7) расчет соединений тонколистовых профилей можно вести в соответствии со СНиП.

По табл. 5 СНиП II-23-81* с учетом рекомендаций Пособия расчетное сопротивление смятию для тонких листов следует определять по формуле

$$R_{bp} = \frac{[0,6 + 340R_{un} / (\gamma_m E)]R_{un}}{\gamma_m}, \quad (3)$$

где γ_m – коэффициент надежности по материалу.

Исследования, проведенные в России [9], показали, что при использовании формулы (3) в соединениях возможен большой запас прочности. По мнению авторов, это связано с тем, что эксперименты, положенные в основу этого подхода, проводились на пластинах существенно большей толщины. Этот подход не учитывал конструктивных особенностей соединения, в значительной части на результат повлиял масштабный фактор.

С другой стороны, свод правил СП 53-102-2004 предлагает упрощенный по сравнению со СНиП II-23-81* подход к определению расчетного сопротивления смятию элементов – $R_{bp} = 1,35R_{un}$ [9]. Также при определении коэффициента γ_b учитывается отношение a/d_h (a – расстояние от края элемента до центра болтового отверстия; d_h – диаметр отверстия под болт).

Результаты экспериментов вышеуказанных авторов показали хорошую сходимость. Очевидно, что и болтовые соединения ЛСТК требуют более детальной разработки нормативной базы в России.

Другие виды соединений

Другие виды соединений используются довольно редко. Их получают, применяя механический зажим, сцепление, винты для механических листов и т.п., – это, как правило, стыки, охраняемые патентными заявками, для строго определенных видов конструкций [3].

Результаты сравнительного анализа видов соединений

Рассмотренные выше сварные соединения ЛСТК требуют качественных сварных швов, которых можно достичь только на заводах по изготовлению легких стальных конструкций, где работают сварщики высокой квалификации, и на заводах, изготавливающих тонкостенные профили с высокими и неизменно сохраняющимися прочностными характеристиками [3]. Поэтому данный способ практически не используется в настоящее время, поскольку трудно осуществим в условиях строительной площадки. К тому же, применение данного способа требует разработки технологического регламента, что влечет за собой дополнительные экономические затраты. Но для заводских конструкций, изготавливаемых в больших количествах, это довольно перспективное направление.

Область применения клеевых соединений ограничивают следующие недостатки: большие затраты, связанные с подготовкой поверхности соединяемых элементов для склеивания, по сравнению с другими методами соединений; значительное снижение прочности клеевых соединений при пожаре.

В настоящее время клеевые соединения в легких стальных тонкостенных конструкциях можно использовать только после предварительного проведения пробных испытаний в научно-исследовательских организациях, что экономически очень дорого.

Проведем экономический расчет применяемых крепежных соединений из расчета их количество на один узел крепления. На представленном графике (рис. 6) приведены результаты по трем видам соединений: болты, заклепки и самонарезающие винты. Сварные и клеевые соединения на диаграмме не представлены в связи с труднодоступностью расчетных формул, которые оберегаются фирмами–производителями.

Согласно диаграмме, болтовые соединения имеют существенный недостаток, ограничивающий их широкое применение, – это довольно высокая стоимость по сравнению с заклепочными и винтовыми соединениями.



Рисунок 6. Результаты сравнительного экономического расчета

Следует отметить, что все соединения ЛСТК требуют, прежде всего, скорейшей разработки нормативной базы для применения в российских условиях, поскольку данные конструкции получают все больше и больше распространение. Увеличение объемов и темпа строительства по технологии легких стальных тонкостенных конструкций отразится на отрасли строительства в целом, что в свою очередь имеет большое значение для экономики страны [10].

Таким образом, очевидно, что виды соединений холодногнутых профилей ЛСТК многообразны. Применение каждого из них зависит от многих факторов, а именно возможности проектирования, производства, изготовления и т.д., которые напрямую связаны с экономической эффективностью. Поэтому саморезы, которые наименее дешевы по сравнению со всеми остальными видами соединений, и пользуются такой популярностью на данный момент.

Литература

1. Мезенцева Е. А., Лушников С. Д. Быстро возводимые здания из легких стальных конструкций // Вестник МГСУ. Спецвыпуск. 2009. № 1. С. 62-64.
2. Carlos Aguirre A. Structural properties of connections for rack structures // Connections in Steel Structures V. Behaviour, Strength & Design. June 3-4, 2004. P. 233-242.
3. Брудка Я., Лубиньски М. Легкие стальные конструкции. Изд. 2-е, доп. пер. с польск. / Под ред. С.С. Кармилова. М.: Стройиздат, 1974. 342 с.
4. Катранов И. Г. Винты в соединениях легких стальных тонкостенных конструкций. Ассортимент и область применения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 3. С. 28-31.
5. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей ООО «Балт-Профиль». М., 2004. 70 с.
6. Семенов А. С. Ферма из холодногнутых профилей повышенной жесткости с болтовыми соединениями // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 2009. С. 3-4.
7. Катранов И. Г., Кунин Ю.С. Вытяжные заклепки в узлах соединений легких стальных тонкостенных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 3. С. 48-50.
8. Кунин Ю. С., Катранов И. Г. Оптимизация применения вытяжных заклепок и самосверлящих самонарезающих винтов в соединениях ЛСТК // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 7. С. 35-37.
9. Ведяков И. И., Одесский П. Д., Соловьев Д. В. Несущая способность болтовых соединений легких конструкций из холодногнутых профилей малых толщин // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 3. С. 19-22.
10. Ватин Н. И., Попова Е. Н. Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях. СПб, 2006. 63 с.
11. Айрумян Э. Л., Камынин С. В., Ганичев С. В. Вытяжные заклепки или самонарезающие винты? // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2009. № 3.
12. Катранов И. Г. Испытания и расчет винтовых соединений легких стальных тонкостенных конструкций на растяжение // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 89-93.
13. Wallace James A., Schuster R.M., La Boube R.A. Testing of bolted cold-formed steel connections in bearing (with and without washers) // Final report by Canadian Cold Formed Steel Research Group, Department of Civil Engineering University of Waterloo, Ontario, Canada. March 2001. 33 p.
14. Ghersi A., Landolfo R., Mazzolani F. M. Design of Metallic Cold-formed Thin-walled Members // Spon press. 2002.

* Вероника Григорьевна Куражова, г. Череповец, Россия

Тел. моб.: +7(909)598-23-17; эл. почта: veroniks07@mail.ru

Node connections of cold-formed steel structures

V. G. Kurazhova, T. V. Nazmeyeva,
Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

Key words

cold-formed structures, CFS, node connections, bolts, screws, rivets

Abstract

The article is comparative analysis of node connections in cold-formed structures. Welded, glued, screwed, rivet, bolted connections are examined.

Peculiarities of bolted connections are considered, comparison of calculation by various techniques is done. The comparative economic analysis is done.

Conclusion about expediency of prompt working out the Standard base in Russia for each of connections is made.

References

1. Mezentseva E. A., Lushnikov S. D. *Vestnik MGSU*. 2009. No. 1. p. 62-64. (rus)
2. Carlos Aguirre A. Structural properties of connections for rack structures. *Connections in Steel Structures V. Behaviour, Strength & Design*. June 3-4, 2004. P. 233-242.
3. Brudka YA., Lubinski M. *Legkie stalnye konstruksii* [Light steel structures]. Moscow : Stroyizdat, 1974. 342 p. (rus)
4. Katranov I. G. *Stroitelnye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2010. No. 3. p. 28-31. (rus)
5. *Rekomendatsii po proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu konstruksiy karkasa maloetazhnykh zdaniy i mansard iz kholodnognutykh stalnykh otsinkovannykh profiley OOO «Balt-Profil»* [Guidelines for the design, manufacturing and erection of skeletons of low-rising buildings and mansards made of light-gauge steel zinked profiles Balt-Profil]. M. , 2004. 70 p. (rus)
6. Semenov A. S. *Ferma iz kholodnognutykh profiley povyshennoy zhestkosti s boltovymi soedineniyami* [A frame made of light-gauge profiles of heightened rigidity with bolted joints]. Theses. Voronezh, 2009. p. 3-4. (rus)
7. Katranov I. G., Kunin YU.S. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2010. No. 3. p. 48-50. (rus)
8. Kunin YU. S., Katranov I. G. *Stroitelnye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2010. No. 7. p. 35-37. (rus)
9. Vedyakov I. I., Odesskiy P. D., Solovev D. V. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2010. No. 3. p. 19-22. (rus)
10. Vatin N. I., Popova E. N. *Termoprofil v legkikh stalnykh stroitelnykh konstruksiyakh* [Thermoprofile in the light-gauge steel structures]. Saint-Petersburg : Izd-vo SPbGPU, 2006. 63 p. (rus)
11. Ayrumyan E. L., Kamynin S. V., Ganichev S. V. *Montazhnye i spetsialnye raboty v stroitelstve*. 2009. No. 3. (rus)
12. Katranov I. G. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 2. p. 89-93. (rus)
13. Wallace James A., Schuster R.M., La Boubé R.A. *Testing of bolted cold-formed steel connections in bearing (with and without washers)*. Final report by Canadian Cold Formed Steel Research Group, Department of Civil Engineering University of Waterloo, Ontario, Canada. March 2001. 33 p.
14. Ghersi A., Landolfo R., Mazzolani F. M. *Design of Metallic Cold-formed Thin-walled Members*. Spon press. 2002.

Full text of this article in Russian: pp. 47-52