

Анализ напряженно-деформированного состояния болтового соединения тонкостенных стальных профилей работающих на растяжение и сжатие

Е.Е. Устименко¹, С.В. Скачков², О.А. Янчук³

¹ ООО «Лёгкие конструкции», г. Новороссийск

² Донской Государственный Технический Университет

³ ЗАО «Южтехмонтаж», г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Данная работа проводится в рамках исследования рамно-стержневой конструкции с элементами из тонкостенных профилей. Приводятся результаты численного исследования трехболтового соединения тонкостенной оцинкованной пластины толщиной 1.5мм с пластиной толщиной 3 мм на болтах с регулируемым напряжением. Расчетные модели созданы объемными элементами в ПО Ansys с учетом прочностных свойств материалов.

Ключевые слова: оцинкованные тонкостенные профили, болтовые соединения, стержневые конструкции, тонкостенный профиль, метод конечных элементов.

Введение

В статье рассматриваются численные исследования особенностей напряженно-деформированного состояния (НДС) двухболтовых и трехболтовых фрикционных соединений в один ряд и два ряда с регулируемым натяжением тонкостенных оцинкованных профилей (ТОП) и фасонного элемента при действии продольных усилий различного знака.

Цели и задачи

Основными задачами исследования являются:

1. Изучение с помощью численного метода особенностей НДС трехболтовых соединений ТОП и перехода их в предельное состояние при различных знаках напряжения.
2. Выработка рекомендаций при проектировании узловых соединений ТОП в шарнирно-стержневой системе для стержней, работающих на растяжение и сжатие.

Обзор литературы

В строительных конструкциях связи сухого трения в соединениях на высокопрочных болтах наиболее широко исследовались в работах [1-3]. Сдвигоустойчивые болтовые соединения нашли большое распространение вследствие высокой надежности при динамических нагрузках [4, 5].

В работе [6] показано, что развитие напряжений во фрикционном соединении может протекать по двух - и четырехстадийным схемам работы.

Четырех стадийная схема работы протекает при превышении значения несущей способности по текучести, над несущей способностью по критерию сдвига.

Двухстадийная схема работы соединения происходит при превышении значения несущей способности соединения по критерию сдвига над несущей способностью по критерию достижения текучести [6]. Двухстадийная схема работы чаще протекает при использовании высокопрочных болтов так, как работа соединения проходит за счет сил трения [7]. Схема, по которой будет протекать работа болтового соединения, зависит и от многих других факторов [8], таких, как время, при котором соединение находилось без нагрузки, зачистка кромок от заусениц, обезжиривание поверхности. Сдвигоустойчивые соединения тонкостенных профилей обладают значительно большей несущей способностью, чем болтовые соединения с нерегулируемой затяжкой [9].

Данные исследования проводились для болтового соединения в элементах, работающих на растяжение. При двухстадийной и четырехстадийной схемах работы в многоболтовом соединении разрушение происходит в районе первого болта в результате разрыва пластины. Разрыв происходит от кромки отверстия в сторону перпендикулярной усилию. Таким образом, протекает разрушение многоболтового соединения, в элементах работающих на растяжение. Работа болтового соединения, в элементах работающих на сжатие, может значительно отличаться, так как

при многоболтовом соединении происходит концентрация усилий на смятие в районе первого болта.

Построение модели и граничные условия.

Для исследований было использовано четыре варианта модели – двух- и трехболтовых соединений в один и два ряда («рис.1 а, б, в, г») в программном комплексе ANSYS. В состав модели входили две пластины разной толщины 1.5мм и 3мм, болты, гайки и шайбы М12. Расстояние между болтами и между кромкой пластины и болтом приняты по (СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов).

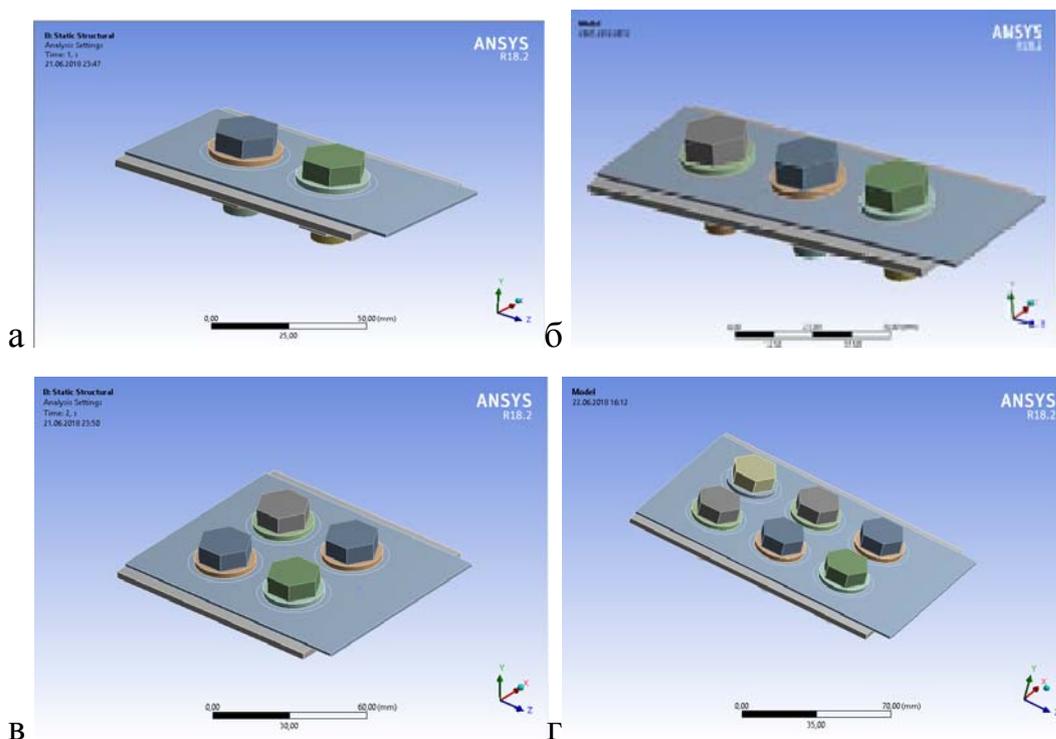


Рис.1 - Модель, построенная в ПО ANSYS: а – однорядное двухболтовое соединение, б – однорядное трехболтовое соединение; в – двухрядное двухболтовое соединение; г - двухрядное трехболтовое соединение.

Задание для расчета.

Для исследования соединения на растяжение пластина толщиной 3 мм была зафиксирована, а к пластине 1.5 мм было приложено усилие различного значения. Затяжка болтов производилась на величину максимального напряжения для болта М12 прочностью 8.8.

Для исследования соединения на сжатие пластина толщиной 3 мм была зафиксирована, а к пластине 1.5 мм было приложено усилие различного значения. Создание напряжения в стержне болта производилось из расчета максимального напряжения в болте М12 прочностью 8.8. Для устойчивости пластины при приложении нагрузки на торец в программном комплексе никаких ограничений не задавалось, так как модель имеет идеальную геометрическую форму без начальных искривлений, из-за которых в натуральных испытаниях пластина может выйти из плоскости [10].

Работа болтовых соединений в стержнях, работающих на растяжение.

Многоболтовое соединение в элементах, работающих на растяжение, имеет концентрацию усилий в районе первого ряда болтов на линии перпендикулярной направлению приложенной силы («рис. 2 а»). В районе воздействия на кромки тонкостенной пластины болтов, напряжения имеют значительно меньший размер, чем в местах их концентрации. Это объясняется тем, что напряжения, воспринимаемые кромками отверстий первого и последующих болтов, суммируются, и возникает концентрация усилий в районе первого болта. Поскольку в металлической пластине возникают пластические деформации, напряжения второго и последующего болтоконтакта снижаются и снижение происходит неравномерно.

Работа болтовых соединений в элементах, работающих на сжатие.

Многоболтовое соединение, работающее на сжатие, также будет иметь концентрацию усилий в районе первого болта, но главным отличием является отсутствие разрывных усилий, вместо которых возникают усилия смятия («рис. 2 б»). Здесь наблюдается подобная зависимость снижения

напряжений во втором и третьем болтоконтакте. Необходимо отметить, что работа соединений работающих, на сжатие, имеет НДС более сложной формы, связанной с крутильными деформациями в тонкостенном профиле.

В результате исследований болтового соединения на сжатие определено, что концентрация усилий в районе первого болта на линии с минимальной площадью сечения не наблюдается

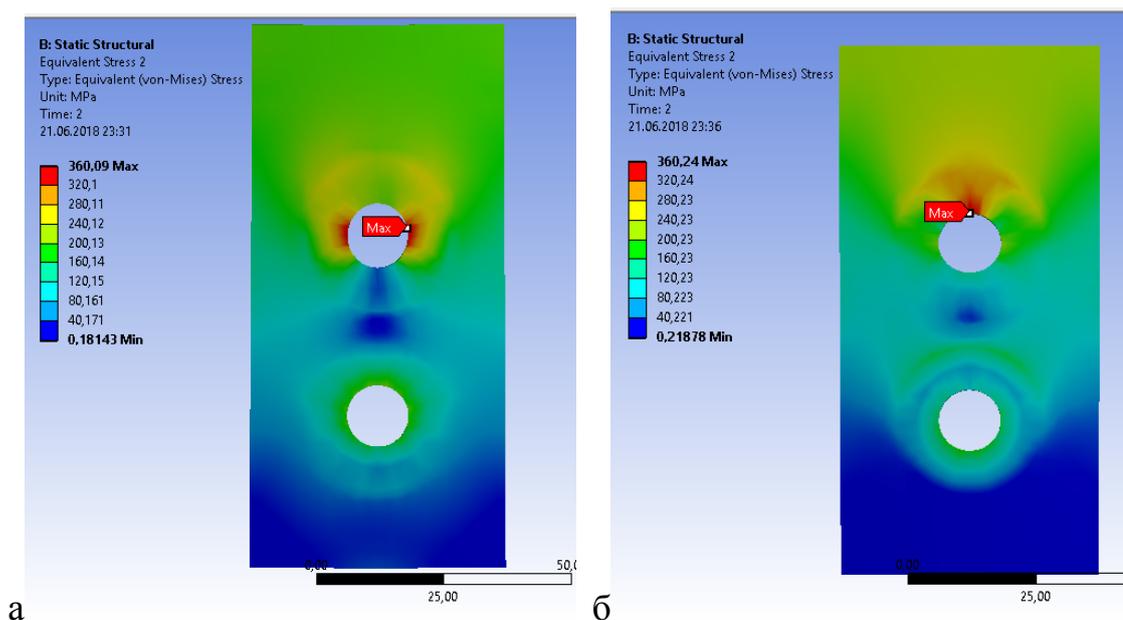


Рис. 2 - Эпюры напряжений болтовых соединений: а – в элементах, работающих на растяжение: б – в элементах, работающих на сжатие.

Таблица № 1.

Результаты исследований

№ п/п	Тип модели	Предел текучести			
		Нагрузка N1, [кН]	Мах.напряжение N1, [МПа]		
			растяжение	сжатие	Разница, [%]
1	2 болта 1 ряд	15,00	360,03	313,5	13
2	3 болта 1 ряд	15,00	360,27	276,5	23
3	2 болта 2 ряда	25,60	360,32	271,23	25

4	3 болта 2 ряда	23,20	360,51	245,23	32
---	----------------	-------	--------	--------	----

Вывод:

В результате исследований было выявлено:

1. При одинаковой величине нагрузки, но разной направленности, работа болтоконтакта протекает по-разному. Так, напряжения, возникающие при сжатии, в зависимости от количества и расположения болтов напряжения меньше на 13- 32%, чем при растяжении.
2. Разница между нагрузками при достижении предела текучести при растяжении и сжатии составляет 9-35% в зависимости от количества и расположения болтов.
3. При сравнении двух однорядных болтовых соединений с одним двухрядным, суммарные напряжения отличаются, как при растяжении, так и при сжатии. На примере сравнения двух 3-х болтовых соединений в один ряд с 3-х болтовым соединением в два ряда видно, что максимальные нагрузки составляют $15+15=30$ кН и 23,20кН соответственно. Этот показатель говорит о том, что два трехболтовые соединения в один ряд, разнесенные на две противоположные полки профиля, работают эффективнее, и разница составляет около 22%.
4. Таким образом, при расчете болтовых соединений следует разделять напряжения растяжения и сжатия для более эффективного проектирования.

Результаты численных исследований необходимо подтвердить натурными испытаниями для уточнения данных.

Пластины, работающие на сжатие, в отличии от пластин, работающих на растяжение, могут, иметь деформации, связанные с потерей устойчивости. По этой причине натурные исследования болтового соединения, работающего на сжатие, отличаются от исследований соединений,

работающих на растяжение тем, что появляется необходимость обеспечить устойчивость тонкостенных пластин. Таким образом, для определения несущей способности болтового соединения, работающего на сжатие, необходимо испытывать конкретные профили.

Литература

1. Вейнблат Б.М. Теоретические и конструктивно-технологические основы повышения эффективности соединений на высокопрочных болтах: Автореф. дис. ... докт.техн.наук. - М, 1981. - 47 с.
2. Bertero V.V., Popov E.P. Effect of Large Alternating Strain on Steel Beams.- Journal of the Structural Division (ASCE), 1965, V.91, NoST1, p.1-12.
3. Popov E.P., Pinkney R.B. Cyclic Yield Reversal in Steel Building Connections.-Journal of the Structural Division (ASCE), 1969, NoST5, p.327-353.
4. Чесноков А.С., Княжев А.Ф. Сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах. - М.:Стройиздат, 1974. - 121 с.
5. Nishiwaki N., Masuko M., Ito Y., Okumura I. A study on Damping Capacity of a Jointed Cantilever Beam.1.Experimental Results.-Bull.JSME, 1978, v.21, No 153, p.524-531.
6. Коротких А.В. Крылов И.И. Черкасов В.Г. Особенности работы двух и трех болтовых фрикционных сдвигоустойчивых соединений тонкостенных оцинкованных профилей // Изв.вузов. Строительство.-2011.-№2.-С.3-14.
7. Чесноков А.С., Княжев А.Ф. Сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах // М., Стройиздат, 1974. С.120.
8. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Исследование двухболтового фрикционного соединения трех пластин с помощью ПО «SolidWorks»// Наука и мир. издательство: Научное обозрение Issn:2308-4804. - 2017. - №2(42), том 1, 4 с. 51-53.

9. Крылов И.И., Кретинин А.Н. Развитие конструктивной формы балочных систем из тонкостенных оцинкованных профилей/ Известия вузов. Строительство. – 2007, №2. С. 88-92.

10. Скачков С.В. Особенности автоматизированных расчетов элементов из тонкостенных стальных профилей. Интернет-журнал Науковедение №3(12), 2012. С. 6.

References

1. Vejnblat B.M. Teoreticheskie i konstruktivno-texnologicheskie osnovy` povu`sheniya e`ffektivnosti soedinenij na vy`sokoprochny`x boltax [Theoretical and structural-technological foundations of increasing the efficiency of joints on high-strength bolts]: Avtoref. dis. ... dokt.texn.nauk. M., 1981. 47 p.

2. Bertero V.V., Popov E.P. Journal of the Structural Division (ASCE), 1965, V.91, NoST1, pp.1-12.

3. Popov E.P., Pinkney R.B. Journal of the Structural Division (ASCE), 1969, NoST5, pp.327-353.

4. Chesnokov A.S., Knyazhev A.F. Sdvigoustojchivy`e soedineniya na vy`sokoprochny`x boltax [Shear-resistant joints with high-strength bolts]. M.:Strojizdat, 1974. 121 p.

5. Nishiwaki N., Masuko M., Ito Y., Okumura I. Bull.JSME, 1978, v.21, No 153, pp.524-531.

6. Korotkix A.V., Kry`lov I.I., Cherkasov V.G. Izv.vuzov. Stroitel`stvo. 2011. №2. pp.3-14.

7. Chesnokov A.S., Knyazhev A.F. Sdvigoustojchivy`e soedineniya na vy`sokoprochny`x boltax [Shear-resistant joints with high-strength bolts]. M., Strojizdat, 1974. P.120.

8. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Nauka i mir. izdatel`stvo: Nauchnoe obozrenie Issn:2308-4804. 2017. №2 (42),tom 1, 4. pp. 51-53.



9. Kry`lov I.I., Kretinin A.N. Izvestiya vuzov. Stroitel`stvo. 2007, №2. pp. 88-92.
10. Skachkov S.V. Internet-zhurnal Naukovedenie №3 (12), 2012, p.6.