

УДК 624.078:539.37:004.94

Т. М. МАРТЫНЕНКО¹, С. А. ПРОНКЕВИЧ², И. М. МАРТЫНЕНКО²,
В. А. МАКСИМОВИЧ¹

¹Университет гражданской защиты МЧС Беларусь, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИСПОЛНЕНИЯХ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ANSYS

Исследуется наиболее распространенный в практике строительства узел примыкания двух симметричных двутавров. Моделируется передача нагрузки через многоболтовое соединение и сварные соединения, выполненные встык и через накладку. Представлены особенности разработанных конечно-элементных моделей в среде ANSYS и результаты расчетов напряженно-деформированного состояния соединяемых деталей под действием приложенной силы.

Ключевые слова: многоболтовое соединение, соединение через накладку, соединение встык, околоузловые области, деформирование накладок соединения.

Введение. Тонкостенные стержни открытого профиля широко применяются при строительстве различных зданий и сооружений. Они воспринимают нагрузки от расположенных выше конструкций и передают их на колонну нижнего яруса или фундамент. В тонкостенном стержне открытого профиля, кроме продольной силы и изгибающих моментов, могут действовать крутящий момент и бимомент, причем напряжения в стержнях зависят от конструкций узлов примыкания балки к колоннам, связям, покрытиям и перекрытиям.

Соединение элементов может быть шарнирным, упругоподатливым или жестким. Оно может выполняться с использованием накладок и сварки или болтов, с применением фланцевых соединений [1]. В шарнирных узлах сечения соединяемых элементов имеют одинаковые линейные перемещения, углы поворота, и депланация соединяемых элементов независима друг от друга [2]. В жестких узлах линейные и угловые перемещения тел в месте сопряжения совпадают, депланация их сечений определяется конструкцией узла сопряжения [3]. Упругоподатливые узлы по характеру своей работы занимают промежуточное положение [4].

В большинстве стержневых конструкций узловые сопряжения выполняются так, что продольные оси, проходящие через центры тяжести стержней, пересекаются в одной точке, а продольные силы, действующие в стержнях, не вызывают появления в них изгибающих моментов. Наиболее просто такое сопряжение стержней осуществляется в плоских рамах из профилей одной высоты с двумя осями симметрии [5, 6]. Целью представленной работы является анализ напряженно-деформированного состояния узла соединения двух двутавровых профилей.

Вычислительный эксперимент. Для решения поставленной задачи была создана объемная модель Г-образной рамы, оси стержней которой перпендикулярны. Нижний и верхние концы стойки рамы жестко закреплены. Конец ригеля свободен, к нему приложена вертикальная сила 1 кН.

Трехмерные модели конструкции созданы в программном комплексе Autodesk Inventor Professional, который позволяет работать со сборкой твердых тел, находящихся в параметрических зависимостях между собой, что дает возможность варьировать геометрические параметры конструкции при проведении модельных экспериментов. Далее проведен экспорт в ANSYS [7] (рисунки 1, 2).

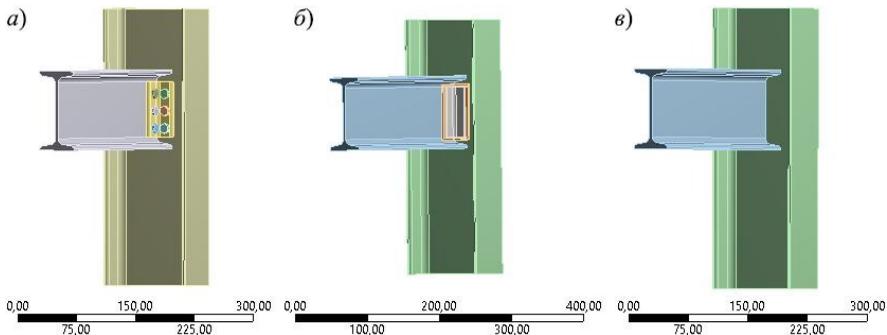


Рисунок 1 – Объемные модели соединений: многоболтового (а), через накладку (б), встык (в), размеры на шкалах указаны в мм

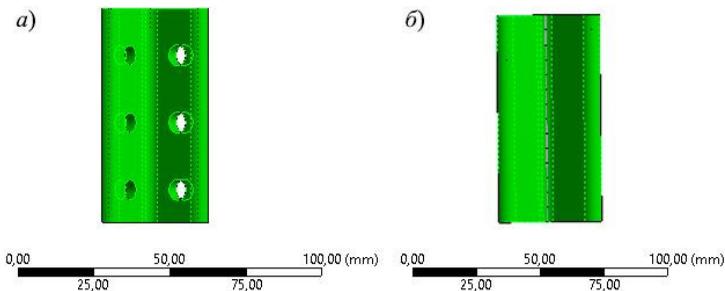


Рисунок 2 – Объемная модель накладок соединения

Каждая построенная модель включала около 37000 конечных элементов двух основных типов: SOLID 186 (трехмерный НДС призматической формы с двадцатью узлами) и SOLID 187 (трехмерный элемент объемного НДС с десятью узлами в форме тетраэдра) [8]. Длины ребер элементов в области соединения составляли около 1 мм, в стержне открытого профиля – 5 мм (рисунок 3). Также были заданы граничные условия, соответствующие жесткой заделке стойки в сечениях В и С и к точке А была приложена вертикальная сосредоточенная сила 1 кН (рисунок 4).

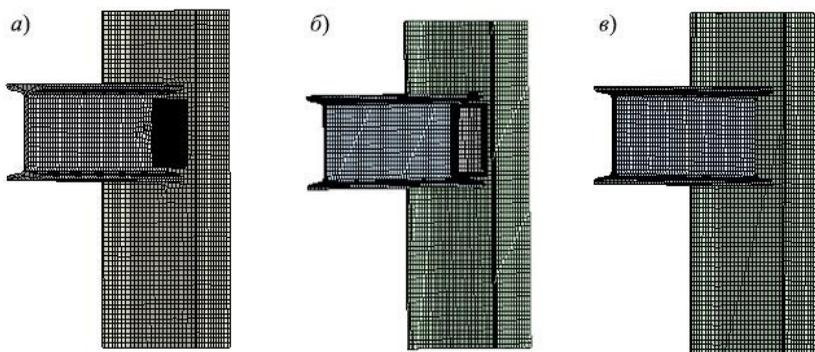


Рисунок 3 – Конечно-элементные модели соединений: многоболтового (а), через накладку (б), встык (в)

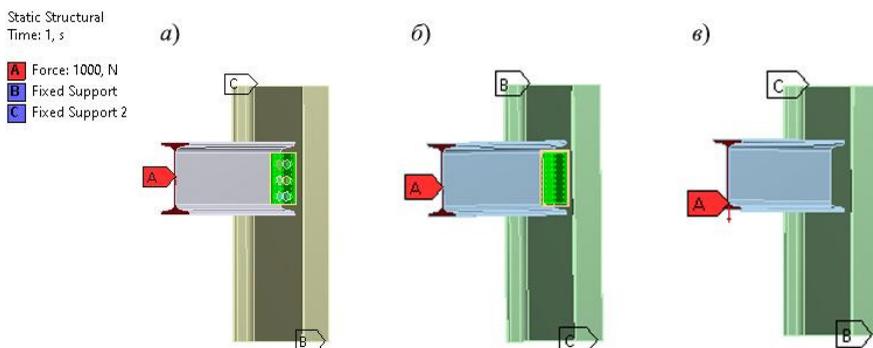


Рисунок 4 – Схемы задания граничных условий и приложения силы к соединениям: многоболтовому (а), через накладку (б), встык (в)

Для разработанных конечно-элементных моделей проведены статические расчеты. На рисунке 5 и 6 представлены результаты расчетов деформаций во всей конструкции и отдельно в накладках, а на рисунке 7 – эквивалентных по Мизесу напряжений.

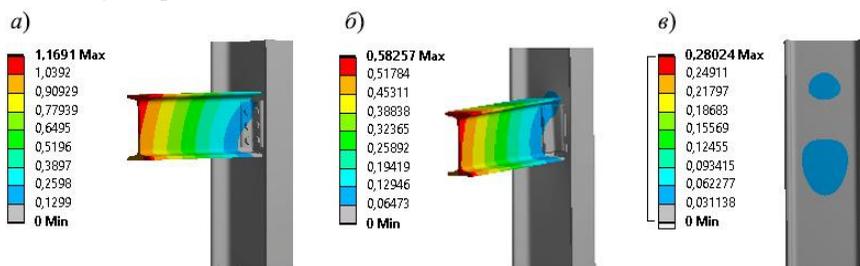


Рисунок 5 – Деформации, мм, полученные при расчетах соединений: многоболтового (а), через накладку (б), встык (в)

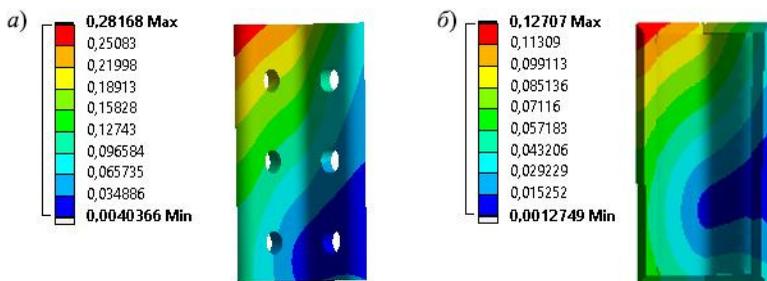


Рисунок 6 – Деформации накладок, мм, многоболтового (а) и сварного (б) соединений

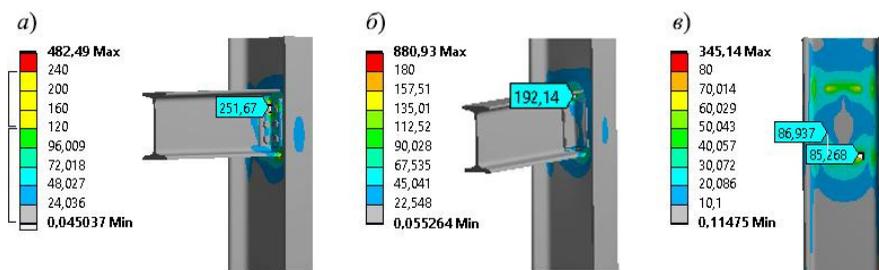


Рисунок 7 – Эквивалентные по Мизесу напряжения в околоузловых областях соединений: многоболтового (а), через накладку (б), встык (в)

Результаты проведенных расчетов показали, что наибольшие деформации под действием приложенной нагрузки имеют место в случае болтового соединения двух двутавров. Они оказываются почти в два раза меньшими при использовании сварки через накладку и еще меньшими при непосредственной сварке встык.

Эквивалентные напряжения, полученные по 4-й теории прочности (Хубера – Мизеса) не должны превышать 1,15 расчетного сопротивления стали [9]. Наличие значительных напряжений вблизи угловых точек мест соединения свидетельствует о необходимости учета возможности появления областей пластической деформации [10, 11].

Заключение. Исследована работа различных видов соединения двух двутавров под действием приложенной статической нагрузки. Установлено напряженно-деформированное состояние тонкостенных балок с открытым профилем и элементов, обеспечивающих их соединение в околоузловых областях от действия приложенной нагрузки, выявлены области упругой и пластической работы материала.

Установлено, что для сварного соединения встык жесткость в околоузловой зоне наибольшая, так как в передаче нагрузок задействована только стенка профиля. Проведенные численные эксперименты продемонстрировали достаточно высокую несущую способность многоболтового соединения,

возможность его работы в пластической стадии в отличие от сварных соединений. В то же время для обеспечения неизменяемости сечения в околоузловых областях целесообразно размещать поперечные ребра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Вольмир, А. С.** Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М : Наука, 1967. – 984 с.

2 **Дарков, А. В.** Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – М. : Высш. шк., 1986. – 607 с.

3 **Перельмутер, А. В.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 618 с.

4 **Prola, L. C.** On the distortional post-buckling behavior of cold-formed lipped channel steel columns / L. C. Prola, D. Camotim // Proceedings of SSRC 2002 Annual Stability Conference, 2002. – P. 233–234.

5 **Cheng, Y.** Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method / Y. Cheng, B. W. Schafer // Journal of Constructional Steel Research. – 2007. – Vol. 63, is. 5. – P. 581–590.

6 **Лещенко, А. П.** Фундаментальная строительная механика упругих систем / А. П. Лещенко. – М. : URSS, 2008. – 976 с.

7 **Дьяков, И. Ф.** К расчету оболочки, укрепленной тонкостенными стержнями / И. Ф. Дьяков, С. А. Чернов // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 1. – С. 16–20.

8 **Басов, К. А.** ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов. – М. : Компьютер-Пресс, 2002. – 223 с.

9 Конструирование зданий и сооружений. Легкие стальные тонкостенные конструкции : учеб. руководство / Н. И. Ватин [и др.]. – СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2012. – 266 с.

10 **Икрин, В. А.** Сопrotивление материалов с элементами теории упругости и пластичности / В. А. Икрин. – М : АСВ, 2004. – 424 с.

11 Residual stresses in welded high-strength steel I-Beams / T. Le [et al.] // Journal of Constructional Steel Research. – 2020. – Vol. 167. – Article 105849. – 14 p.

T. M. MARTYNENKO¹, S. A. PRONKEVICH², I. M. MARTYNENKO², V. A. MAXIMOVICH¹

¹*The University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of Belarus,*

²*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

STRENGTH ANALYSIS OF JUNCTION JOINTS FOR DIFFERENT DESIGN PERFORMANCES ON THE BASIS OF SIMULATION IN THE ANSYS SOFTWARE

The most common in construction practice is the junction of two symmetrical I-beams. The load transfer is simulated through a multi-bolt connection and welded joints made end-to-end and through an overlay. The features of the developed finite element models in the ANSYS environment and the computational results of the stress-strain state of the joined parts under the applied force action are presented.

Keywords: multi-bolt connection, connection through the pad, butt joint, near-nodal areas, deformation of the connection pads.

Получено 21.11.2022