

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ БОКОВИН МОДУЛЯ СЕКЦИИ ТРАМВАЯ

С.С. Загребельный, А.А. Шакиров, А.М. Уланов, М.А. Иванов

Выполнен сравнительный расчет двух вариантов исполнения сборки методом сварки рамы боковины модуля трамвая при помощи конечно-элементного пакета ANSYS. Получены расчетные данные, выбрана сварная конструкция с наилучшими показателями работоспособности конструкции боковины модуля трамвая.

Ключевые слова: модульная секция трамвая, боковина модуля, работоспособность, расчет сварной конструкции, конечно-элементный пакет ANSYS.

При выполнении проекта по разработке новой конструкции трамвайного вагона возникла необходимость проектирования и конструирования новых модулей секций трамвая. Секция состоит из трех отдельных модулей, каждый из которых изготавливается методом сварки. Модуль состоит из двух боковин, основания и крыши. В дальнейшем речь пойдет об изготовлении только боковины модуля секции трамвая.

Для проверки правильности разработки новой конструкции боковины модуля трамвая необходимо было провести ряд численных расчетов для выбора оптимального типа конструкции, в том числе толщины несущих труб профильного сечения, а также проверки работоспособности работы конструкции в целом. Кроме того, необходимо учесть технологические параметры сварки [1], которые определяют возможность ее выполнения наименее ресурсоемким способом, а также возможность автоматизации [2].

Каркас рамы боковины модуля секции трамвая состоит из стоек – труб профильного сечения $80 \times 80 \times 4$ мм, сопряженных с ними под прямым углом стяжек и обечаек. В данной работе сравниваются элементы сопряжения стоек и стяжек.

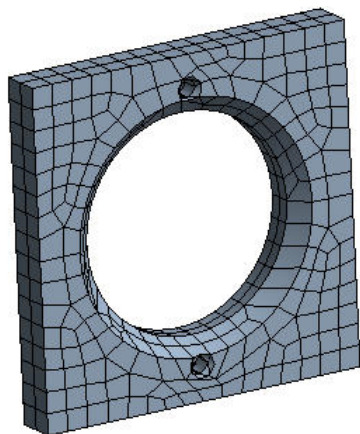


Рис. 1. Конечно-элементная геометрическая модель проставки

Для сравнения различных вариантов выполнения сварных соединений рам боковины каркасов модулей были проведены расчеты конструкции двух вариантов исполнения: соединение элементов рам боковины каркаса в первом случае было осуществлено при помощи сборки встык и последующей сварки. Во втором случае соединения балок выполнялись с применением дополнительных элементов – проставок, показанных на рис. 1. Проставки, которые приваривались к трубам каркаса, выполняют роль промежуточного конструктивного элемента, компенсирующего заложенные при проектировании каркаса допуски на геометрию сопрягаемых элементов.

Конструкции рам боковины приведены на рис. 2 и 3.

Сварные швы в данных конструкциях выполнены упрощенно, в виде «валиков» цилиндрической формы (в соответствии с рис. 2 и 3), наложенных на участок сопряжения элементов конструкции. Данное допущение позволяет провести лишь сравнительные расчеты конструкций из-за наличия в модели геометрических концентраторов напряжений, не свойственных реальной конструкции. Сравнение напряжений для сварных швов проводилось на участках удаленных от мест концентрации напряжений.

Задача решалась в конечно-элементном пакете ANSYS. Материал для сварных швов был взят тот же, что и у стоек и стяжек – конструкционная сталь. Обе модели разбиты оболочечными конечными элементами (КЭ) типа shell (балки) и квадратными объемными типа solid (сварные швы и проставки), как показано на рис. 4, 5 и рис. 1.

Моделирование сварных швов производилось при помощи контактных алгоритмов типа bonded. В случае модели № 1 каждый валик сварного шва соединялся по своим граням с соответствующими стенками стойки и стяжки. В модели № 2 каждый валик сварного шва по соответствующей грани соединялся с гранью проставки и с гранью стойки.

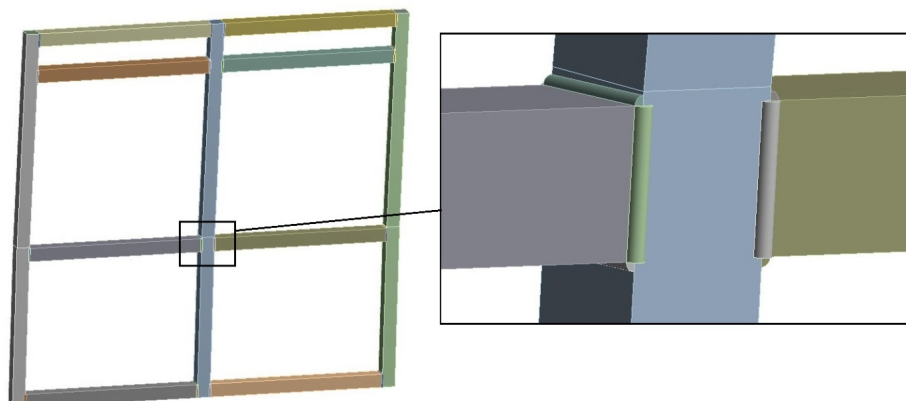


Рис. 2. Модель варианта № 1 конструкции рамы, собранной встык

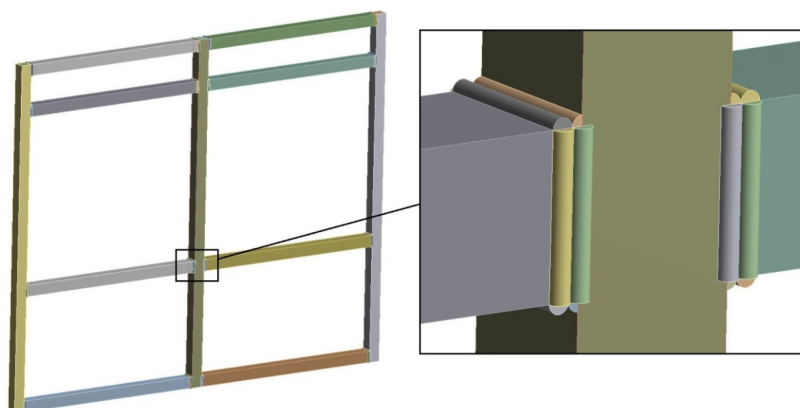


Рис. 3. Модель варианта № 2 конструкции с соединениями через проставки

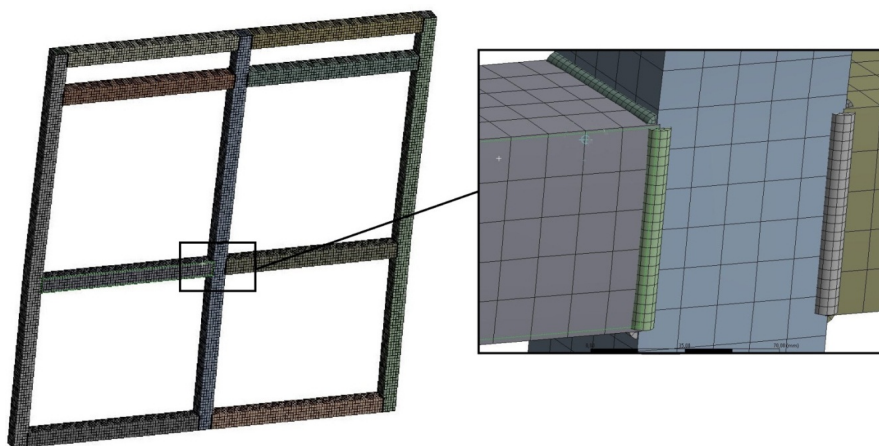


Рис. 4. Конечно-элементная сетка модели № 1

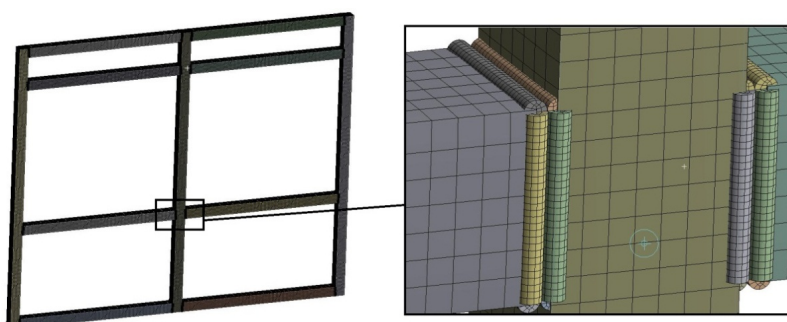


Рис. 5. Конечно-элементная сетка модели № 2

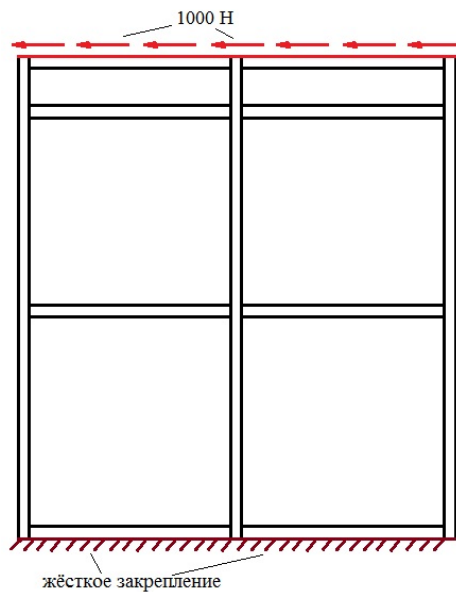


Рис. 6. Расчетная схема модели рамы боковины

Модели рам боковины каркаса модуля подвергались нагружению сдвига, в соответствии с рис. 6, для чего с одной стороны к поперечным сечениям профильных труб модели прикладывалась нормальная сила, равная 1000 Н, а с другой стороны запрещались перемещения поперечных сечений в горизонтальном направлении. Данный вид нагружения был выбран в связи с тем, что он позволяет наиболее корректно выявить различия в напряженном состоянии сравниваемых вариантов выполнения сварных швов и является преобладающим в условиях реальной эксплуатации (согласно расчетам каркаса трамвайного вагона на этапе эскизного проекта).

Интересующие нас напряжения в сварных швах при данном виде нагружения показаны на рис. 7 и 8.

Следует отметить, что в реальной конструкции концентраторов напряжений как на рис. 7 и 8 не будет, в связи с этим напряжения в них при сравнении не учитывались.

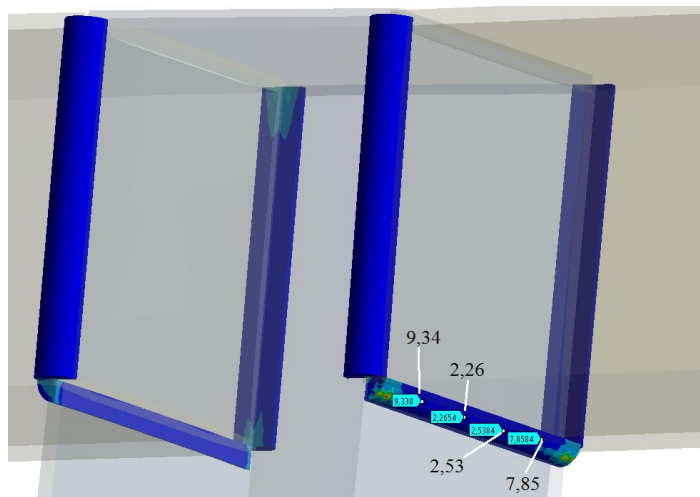


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений в наиболее нагруженных сварных швах модели № 1, МПа

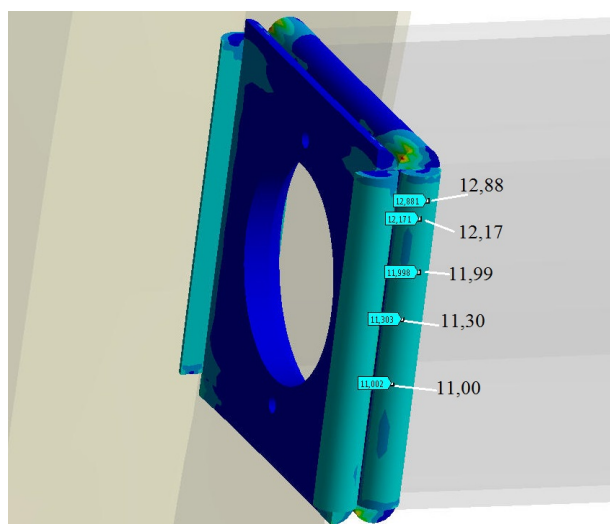


Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений в наиболее нагруженных сварных швах модели № 2, МПа

Как видно из рис. 7 и 8, уровень эквивалентных напряжений в сварных швах модели конструкции № 2 превышает соответствующий уровень напряжений в сварных швах модели № 1 более чем в четыре раза вдали от концентраторов напряжений. Это можно объяснить тем, что проставки обладают гораздо большей жесткостью по сравнению с трубами, что приводит к неблагоприятному переопределению напряжений в месте их соединения.

Такое отличие уровня напряжений в сварных швах при расчетах по статическому и динамическому режимам существенно скажется на прочности всей конструкции. Следовательно, к применению рекомендуется вариант № 1 сопряжения элементов конструкции, а именно – без применения проставок. Такая конструкция имеет высокую технологичность и, соответственно, работоспособность и долговечность.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда энергосберегающих низкопольных трамвайных вагонов модульной конструкции» по договору № 02.G36.31.0002 между Министер-

ством образования и науки Российской Федерации и Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Литература

1. Уланов, А.М. *Современный подход к разработке технологических параметров сварки в производстве труб большого диаметра* / А.М. Уланов, М.А. Иванов // *Вест. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. «Металлургия»*. – 2012. – Вып. 19, № 39 (298). – С. 150–151.

2. Уланов, А.М. *Автоматизация расчета режима двухдуговой сварки под флюсом стыкового соединения* / А.М. Уланов, М.А. Иванов // *Научный прогресс на рубеже тысячелетий: материалы IX междунар. науч.-практ. конф.* – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 2013. – Т. 38. – С. 3–6.

Загребельный Сергей Станиславович, аспирант кафедры прикладной механики, динамики и прочности машин, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2723744. E-mail: shakirov.cmi@gmail.com.

Шакиров Александр Александрович, аспирант кафедры прикладной механики, динамики и прочности машин, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2723744. E-mail: shakirov.cmi@gmail.com.

Уланов Алексей Михайлович, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)7297089. E-mail: uam87@yandex.ru.

Иванов Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679221. E-mail: IvanovM@yandex.ru.

WORKING CAPACITY OF WELDED SIDEWALLS OF A TRAM-CAR SECTION

Zagrebel'nyy S.S., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
shakirov.cmi@gmail.com,

Shakirov A.A., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
shakirov.cmi@gmail.com,

Ulanov A.M., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
uam87@yandex.ru,

Ivanov M.A., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
IvanovM@yandex.ru

A comparative calculation of the two variants of assembly by welding of a sidewall module of a tram-car is performed using finite-element package ANSYS. On the basis of calculation results the welded structure with the best working capacity of the tram-car module sidewall is chosen.

Keywords: modular tram-car section, module sidewall, calculation of welded structure, FEM package ANSYS.

References

1. Ulanov A.M., Ivanov M.A. The Modern Approach to the Development of Technological Parameters of Welding in the Production of Large-Diameter Pipes [Sovremennyy podkhod k razrabotke tekhnologicheskikh parametrov svarki v proizvodstve trub bol'shogo diametra]. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Metallurgy"*, 2012, no. 39, issue 19, pp. 150–151.

2. Ulanov A.M., Ivanov M.A. Automation of Calculation Mode of Twin-Arc Submerged Arc Welding Butt Joint [Avtomatizatsiya rascheta rezhima dvukhdugovoy svarki pod flyusom stykovogo soedineniya]. *Materiály IX mezinárodní vědecko-praktická konference "Vědecký pokrok na přelomu tisyachalety – 2013"*. Díl 38. *Technické vědy*. Praha, Publishing House "Education and Science" s.r.o, 2013, pp. 3–6.

Поступила в редакцию 11 сентября 2013 г.