

УДК 621.791.052

## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАМЫ ВАГОНА ТРАМВАЯ**

*С.И. Ярославцев, М.А. Иванов, Ю.В. Безганс, А.М. Уланов*

По результатам проведенных исследований нагружения типового сварного шва в рамной конструкции вагона трамвая получено поле напряжений и установлены максимальные растягивающие напряжения. Сделан вывод о технологичности использования труб круглого сечения для рамы вагона трамвая.

Ключевые слова: напряжения, сварка, сварное соединение, металлоконструкция, рама, трещина, дефект, вагон трамвая.

При изготовлении рамы вагона трамвая используются профильные и круглые трубы, а так же сваренные из листов протяженные балки. Они являются основой силового каркаса всей конструкции.

Концепция разработки сталей и сварных соединений [4, 5] для деталей рельсового транспорта предусматривает снижение содержание углерода; повышение чистоты металла по вредным примесям; рациональное микролегирование; термомеханическую прокатку; рациональный тепловой режим [6, 7, 15]; использование принципов ресурсосбережения [12–14]; снижение дефектности сварных швов [1, 18]; отсутствие трещин [8]; повышение стойкости сварных деталей против лавинных разрушений [2]; снижение остаточных сварочных напряжений [3]; качественную механическую обработку [9–11].

Проведенный анализ сварных соединений труб профильного сечения [16] выявил, что традиционное использование балок или труб профильного сечения снижает технологичность производства и требует повышенных классов точности на их сборку и сварку. Представляется логичным постепенный переход на трубы круглого сечения.

Сконструируем узел из круглых труб, аналогичный профильным трубам из работы [16], используя трубную деталь – штампованный тройник. Сечения труб подберем таким образом, чтобы моменты инерции сохранили своё значение. Радиус перехода от шва к основному металлу (скругление) обеспечим одинаковым в обоих вариантах – 2 мм.

Проанализируем напряжения в наименее защищенных от разрушения её элементах – сварных швах.

Сохранив все прочие линейные размеры неизменными и, нагрузив одинаковой нагрузкой (рис. 1.), получим картину напряжений рис. 2. Вспомогательная планка ступенчатого сплошного сечения (на рис. 1 показана стрелкой) служит площадкой для приложения нагрузки. Приложен изгибающий момент – пара сил. Показана половина узла – разрез по горизонтальной плоскости симметрии.

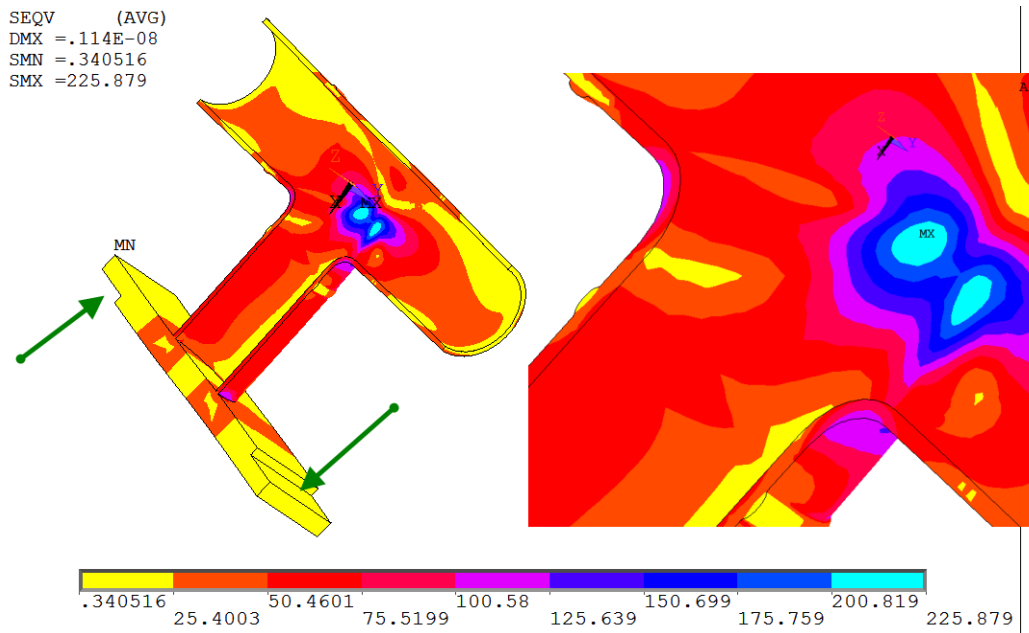


Рис. 1. Схема нагружения сварного узла рамы вагона

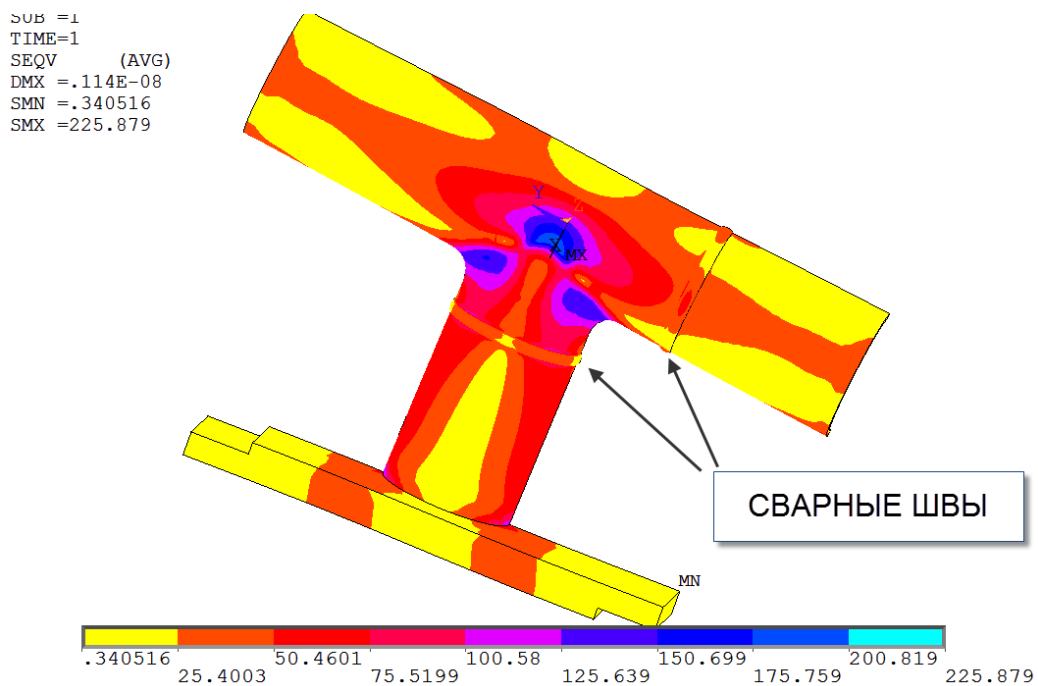


Рис. 2. Интенсивность напряжений по Мизесу в сварном узле рамы вагона, составленной из труб круглого сечения

Если для труб профильного сечения [16], максимальные напряжения были обнаружены в сварных швах и имели величину около 500 МПа, то для труб круглого сечения (см. рис. 2.) напряжения в сварных стыковых швах составили около 50 МПа, а в основном металле 225 МПа.

Судя по результатам, напряжения в сварных швах уменьшаются в 10 и более раз при переходе от квадратного сечения [16] к круглому.

Помимо уменьшения напряжений в сварных швах, применение труб круглого сечения имеет следующие преимущества:

- появляется возможность использовать для изготовления каркаса модулей унифицированные серийные изделия: тройники, переходы, отводы, фланцы и прочие, выпускаемые предприятиями трубной отрасли;
- упрощаются операции подготовки деталей под сварку – токарная обработка взамен фрезерной для квадратного сечения;
- более высокая степень технологичности выполнения сварки труб круглого сечения;
- возможность повышения производительности труда при изготовлении рамы за счет применения пайки. Технология пайки труб круглого сечения достаточно отработана, существует гамма припоев, паст, оборудования, в совокупности обеспечивающих высокую производительность и качество соединений;
- возможность использования нахлесточных (телескопических), муфтовых соединений. Это важно, для позиционирования сварного шва относительно координатной системы робота;
- возможность использования в конструкции рамы трубных узлов, изготавливаемых на специализированных предприятиях, по аттестованным технологиям;
- относительная простота соединения каркасов модулей между собой, например, эксцентриковыми муфтами и сваркой (пайкой);
- снижение коробления конструкции за счет уменьшения протяженности сварных швов [17];
- применение унифицированных сборочно-сварочных приспособлений и стандов, разработанных и применяемых в трубной отрасли, для изготовления рамы вагона трамвая.

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

### Библиографический список

1. Пашков, Ю.И. Разработка классификатора дефектов для сварных труб / Ю.И. Пашков, В.А. Лупин, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 18. – № 15. – С. 37–40.
2. Лупин, В.А. Проблемы лавинных разрушений газопроводов из сварных труб и способы их предотвращения / В.А. Лупин, Ю.И. Пашков, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 18. – № 15. – С. 26–27.
3. Пашков, Ю.И. Остаточные сварочные напряжения и пути снижения стресс-коррозионных разрушений магистральных газопроводов / Ю.И. Пашков, М.А. Иванов, Р.Г. Губайдулин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 18. – № 15. – С. 28–30.
4. Иванов, М.А. Методология расчета геометрических размеров сварных швов по параметрам режимов автоматической дуговой сварки под слоем флюса / М.А. Иванов, А.М. Уланов // IX International congress: Machines, Technologies, Materials 2012. Section «Technologies». Volume 1. – Bulgaria: Varna, 2012. – Vol. 1. – Pp. 86–88.
5. Уланов, А.М. Современный подход к разработке технологических параметров сварки в производстве труб большого диаметра / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19. – № 39. – С. 154–155.
6. К вопросу влияния погонной энергии сварки на скорость охлаждения металла шва / М.А. Иванов, А.М. Уланов, В.В. Роде, П.А. Данилкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19. – № 39. – С. 159–160.
7. Иванов, М.А. Температурные поля изложницы при литье однотонных блоков цилиндра / М.А. Иванов, В.И. Швецов, Б.А. Кулаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2005. – Вып. 6. – № 10 (50). – С. 99–101.
8. Иванов, М.А. Развитие теории трещиностойчивости отливок / М.А. Иванов, В.И. Швецов, Е.Л. Волосатова, Д.В. Изотов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2011. – Вып. 17. – № 36 (253). – С. 48–50.
9. Гузеев, В.И. [Нестационарность напряженного состояния на задней поверхности зуба фрезы, обусловленная деформациями в зоне сдвига](#) / В.И. Гузеев, Д.Ю. Пименов // Технология машиностроения. – 2010. – № 7. – С. 20–24.
10. Пименов, Д.Ю. Изменение напряженного состояния задней поверхности зуба фрезы при торцевом фрезеровании / Д.Ю. Пименов, В.И. Гузеев, А.А. Кошин, П.П. Переверзев // Вестник машиностроения. – 2012. – № 7. – С. 78–80.

11. Пименов, Д.Ю. Определение допустимого износа торцевых фрез для обеспечения требуемой точности / Д.Ю. Пименов, В.И. Гузеев, В.А. Пашнёв // Вестник машиностроения. – 2012. – № 10. – С. 68–72.

12. Ермаков, И.Н. Исследование процесса изготовления литой плиты методом планируемого эксперимента / И.Н. Ермаков, В.М. Ткачев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2010. – Вып. 15. – 2010. – № 34(210). – С. 46–49.

13. Ермаков, И.Н. Ресурсосберегающий аспект в производстве литых плит из стали Гадфильда / И.Н. Ермаков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – № 11. – С. 3–5.

14. Ермаков, И.Н. Ресурсосберегающие принципы в литейном производстве / И.Н. Ермаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – № 39. – С. 139–141.

15. Ермаков, И.Н. Метод измерения температур в исследовании характера затвердевания отливки / И.Н. Ермаков, В.В. Новокрещенов, И.В. Саламатов, Л.Н. Сабирова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – № 39. – С. 124–144.

16. Ярославцев, С.И. Анализ напряженного состояния сварных соединений рамы при изготовлении деталей рельсового транспорта / С.И. Ярославцев, М.А. Иванов, Ю.В. Безганс // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 2. – С. 86–89.

17. Работоспособность сварных боковин модуля секции трамвая / С.С. Загребельный, А.А. Шакиров, А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 90–94.

18. Салимов, Р.Д. К вопросу работоспособности углового сварного шва подкрановой балки / Р.Д. Салимов, М.А. Иванов, И.А. Щербаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 147–150.

[К содержанию](#)