

А. М. Лось, ассистент; Н. П. Вырко, профессор; А. А. Малиновский, магистрант

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩЕЙ РАМЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО СОРТИМЕНТОВОЗА

In this article the grand questions increasing reliability and durability welds of elements carrying farm projected timber carrier are present. The finite element analysis method was used to possess a solution.

**Введение.** Сварка – технологический процесс соединения металлических деталей, основанный на использовании сил молекулярного сцепления и происходящий при сильном местном нагреве их до расплавленного или пластического состояния с применением механического усилия. Она является одним из самых современных прогрессивных и распространенных способов получения различных машиностроительных, строительных и других конструкций. Сваркой изготавливают станины, рамы и основания лесных машин, корпуса лебедок, зубчатые колеса, шкивы, звездочки, маховики, барабаны, фермы, балки, колонны манипуляторов, клещевые захваты, коники и т. п.

**1. Сравнительный анализ соединений.** В настоящее время освоена сварка всех конструкционных, чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов цветных металлов, а также некоторых пластмасс.

По сравнению с заклепочными и литыми сварные конструкции обеспечивают существенную экономию металла и значительно снижают трудоемкость процесса изготовления. Поэтому сварные конструкции в большинстве случаев гораздо дешевле клепаных и литых. При замене клепаной конструкции сварной экономия металла в основном достигается вследствие частичного или полного устранения дополнительных деталей и лучшего использования металла из-за отсутствия отверстий, ослабляющих рабочие сечения. Применение сварки вместо клепки снижает массу конструкции до 10–20% [1]. При замене литых конструкций сварными экономия металла достигается благодаря возможности применения меньших сечений элементов конструкции, так как толщина стенок литых деталей обычно значительно больше, чем у сварных деталей (иногда в 2–3 раза и более). Масса сварных конструкций по сравнению с чугунными литыми снижается до 50%, а по сравнению со стальными литыми – до 30%. Снижение трудоемкости процесса сварки по сравнению с клепкой и литьем обуславливается отсутствием таких операций, как разметка и пробивка (сверление) отверстий для заклепок, изготовление для отливок моделей и стержней, изготовление литейных форм и т. д., а также возможностью автоматизации процесса сварки.

В соответствии с указанными достоинствами сварные конструкции, за исключением не-

которых специальных случаев, вытеснили клепаные как из машиностроения, так и из строительства и во многих случаях их применяют вместо литых. Применение сварки особенно целесообразно при изготовлении конструкций сложной формы, отдельные детали которых получают прокаткой, ковкой, штамповкой и отливкой.

К недостаткам сварных конструкций относятся: появление остаточных напряжений в свариваемых элементах после окончания процесса сварки, коробление, плохое восприятие переменных и особенно вибрационных нагрузок, сложность и трудоемкость контроля качества сварных швов. Поэтому в некоторых случаях вместо сварных предпочитают литые и другие конструкции. Целесообразность применения сварки при изготовлении деталей машин устанавливают в каждом отдельном случае на основании конструктивных и экономических показателей с учетом технологических возможностей предприятия.

Из большого разнообразия существующих видов сварки в машиностроении применяют: ручную дуговую сварку плавящимся электродом, автоматическую дуговую сварку плавящимся электродом под флюсом, электрошлаковую сварку и контактную – стыковую, шовную и точечную. Первые три способа относятся к сварке плавлением, последний – к сварке давлением или давлением.

При конструировании сварных соединений должны учитываться следующие важные факторы [1]:

1) значительная концентрация напряжений появляется на краях и у основания валиковых сварных швов, на концах швов, у внутренних трещин в швах;

2) процесс сварки может вызвать хрупкость на определенной площади поверхности соединения или резко изменить физические свойства металла;

3) при сварке могут появляться включения шлака, уменьшающие усталостную прочность соединения;

4) на прочность швов сильно влияют остаточные напряжения от усадки и коробления.

**2. Предлагаемая конструкция сортиментовоза.** Кафедрой транспорта леса БГТУ разработана конструкция сортиментовоза (рис. 1) на базе лесовозного автопоезда «тягач + прицеп-роспуск».



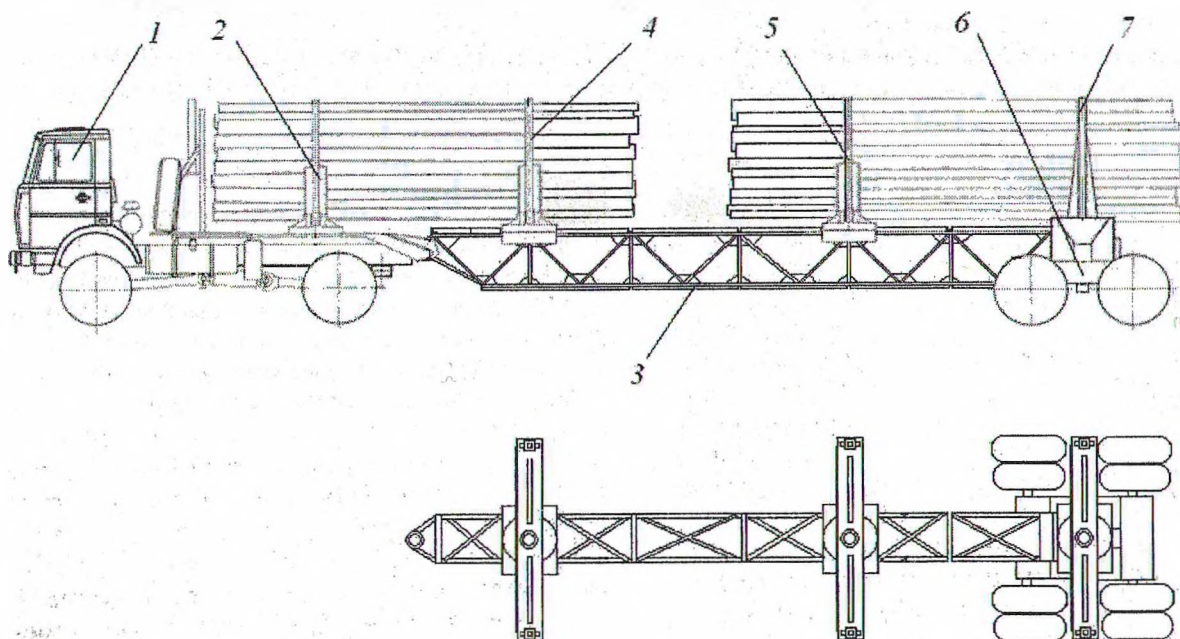


Рис. 1. Конструкция проектируемого сортиментовоза:  
 1 – лесовозный тягач; 2 – коник тягача; 3 – несущая рама; 4, 5 – промежуточные коники; 6 – прицеп-ропуск; 7 – коник прицепа-ропуска

Транспортное средство содержит лесовозный тягач 1, на сварной раме которого установлен коник 2. К прицепу-ропуску 6 вместо дышла коробчатого сечения крепится несущая пространственная сварная рама 3, на которой закреплены промежуточные коники 4 и 5. Данная конструкция позволит транспортировать две пачки сортиментов или, при снятых стойках промежуточных коников, заготовленные хлысты.

Для возможности реализации данного проекта ранее были выполнены расчеты статической и динамической нагруженности несущей рамы и технологического оборудования по методу конечных элементов, который позволяет не только выполнять расчеты прочности элементов конструкций, но и определять собственные частоты и формы колебаний узлов, оценивать напряженно-деформированное состояние модели при движении по виртуальной дороге, что значительно снижает срок проектирования новых машин и конструкций.

Разработана конечно-элементная модель несущей рамы проектируемого сортиментовоза (рис. 2). Здесь различными оттенками показаны напряжения, возникающие в узлах и стержнях рамы под воздействием вертикальных и продольных растягивающих нагрузок. Максимальные растягивающие напряжения в стержнях рамы составляют  $70,3 \text{ Н/мм}^2$ . Наиболее нагруженным, как показали исследования, является узел А.

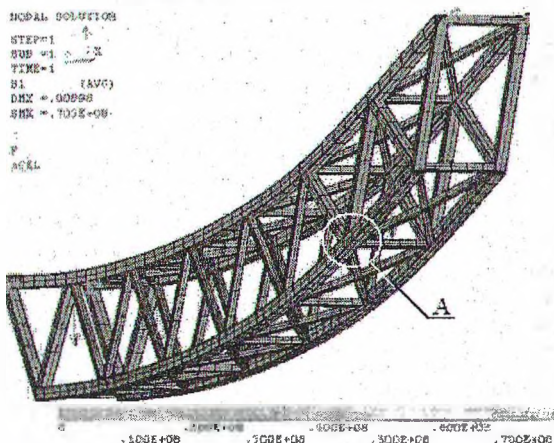


Рис. 2. Конечно-элементная модель несущей рамы проектируемого сортиментовоза

**3. Исследование нагруженности сварных соединений.** Все элементы проектируемой несущей рамы при работе испытывают одновременное воздействие статических и динамических циклически изменяемых нагрузок. Сварные соединения наиболее чувствительны к знакопеременным нагрузкам, поэтому важными являются детальные исследования их нагруженности. Данные исследования проводились с применением средств конечно-элементного анализа.

Компьютерное моделирование и прочностные расчеты по методу конечных элементов позволяют с достаточно высокой степенью точности подобрать размеры и местоположение косынок



для снижения напряжений в области сварных швов, а это напрямую влияет на повышение их надежности и долговечности.

На рис. 3 приведено распределение напряжений в наиболее нагруженном узле. Здесь поперечные стержни приварены к несущим поясам без использования косынок. Максимальные напряжения, возникающие в сварных швах этого узла, численно равны  $\sigma_{\max} = 321 \text{ Н/мм}^2$ . Здесь отчетливо заметны наиболее темные пятна на конечно-элементной сетке. Напряжения в швах сварных соединений в данном случае значительно выше, чем максимальные напряжения в самой раме ( $70,3 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 2)).

На рис. 4 показано перераспределение напряжений при использовании косынок, привариваемых к нижнему несущему поясу и попе-

речным раскосам. В таком случае максимальные напряжения в основном не превышают значения  $75 \text{ МПа}$ , однако концентрация напряжений на краях швов, избежать которой практически невозможно, имеет достаточно большое значение ( $254 \text{ Н/мм}^2$ ).

На рис. 5 приведено распределение напряжений в наиболее нагруженном узле при использовании вертикальных косынок в месте сваривания вертикальных раскосов и нижнего пояса и косынок в месте приваривания поперечных раскосов к нижнему поясу. Напряжения здесь в основном имеют значения от  $15$  до  $45 \text{ Н/мм}^2$ , а концентрации напряжений на краях швов достигают не более  $134 \text{ Н/мм}^2$ .

На рис. 6 приведены кривые выносливости сварных соединений согласно европейскому стандарту prEN 1993-1-9:2004 [4].

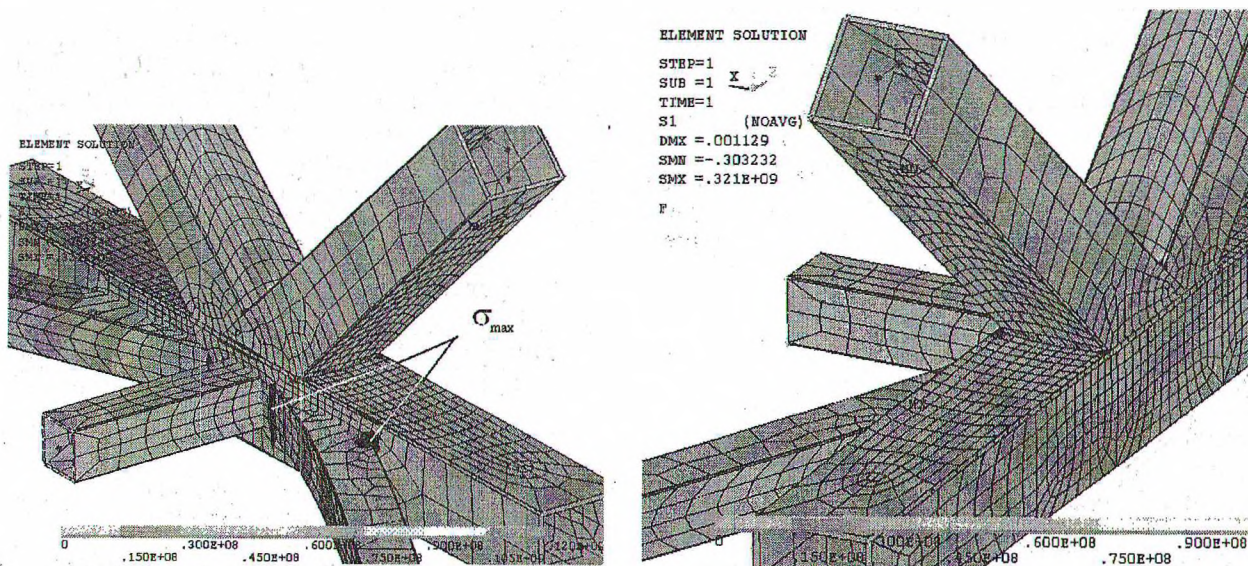


Рис. 3. Напряжения в наиболее нагруженном узле без применения косынок

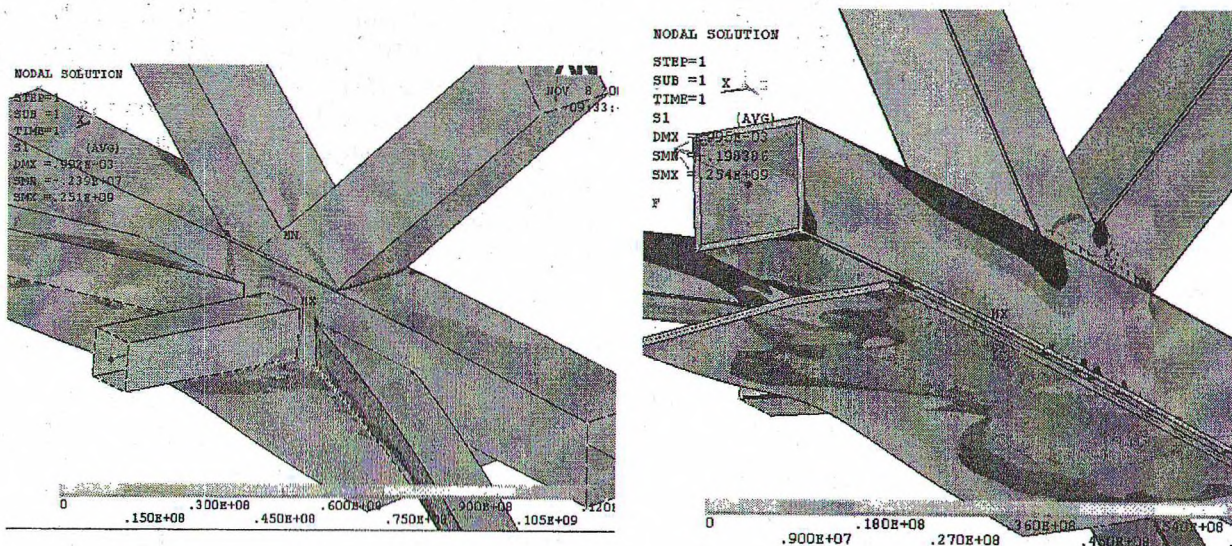


Рис. 4. Напряжения в наиболее нагруженном узле при использовании косынки в месте приварки поперечных раскосов к нижнему поясу



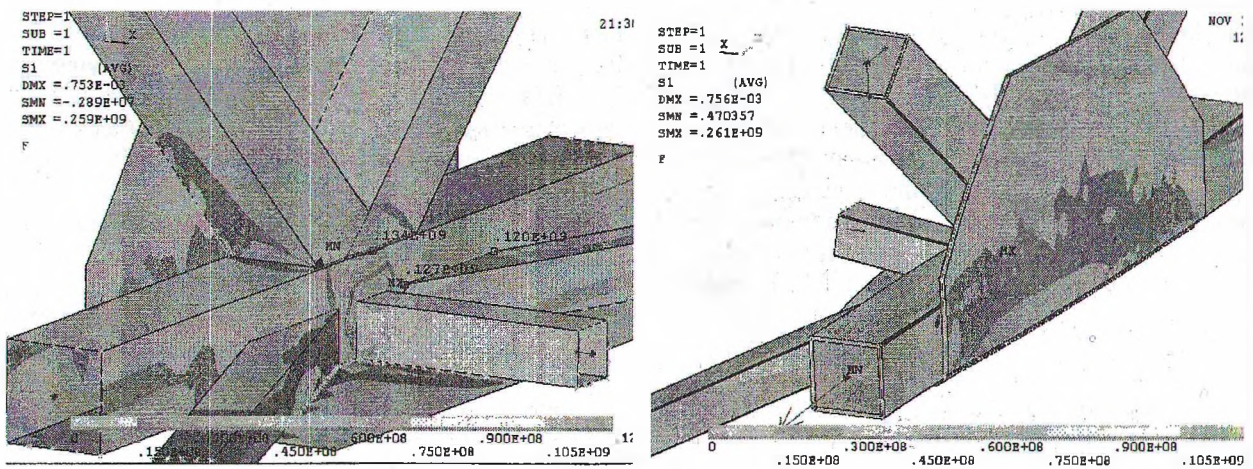


Рис. 5. Напряжения в наиболее нагруженном узле рамы при использовании косынок в местах приварки поперечных и вертикальных раскосов к нижнему поясу

Каждая кривая, приведенная на рис. 6, соответствует категориям сварных соединений, которые выбирают в зависимости от типа соединения и толщин свариваемых деталей. Пользуясь данными кривыми, можно прогнозировать расчетную долговечность соединений в зависимости от действующего на него размаха напряжений  $\Delta\sigma$ .

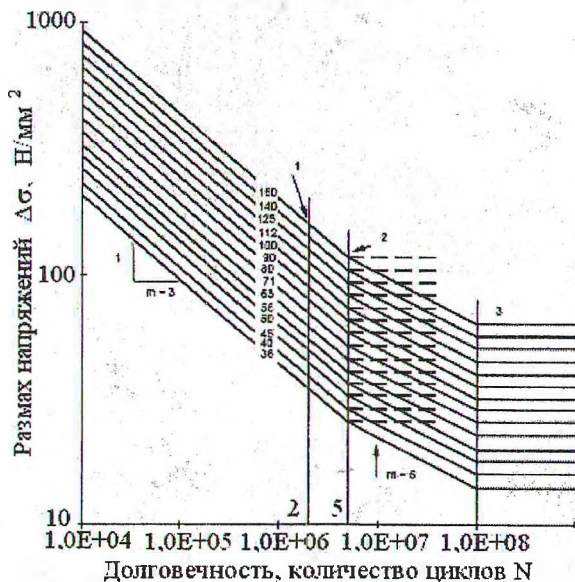


Рис. 6. Кривые выносливости сварных соединений по нормальным напряжениям

**Выводы.** Как показали проведенные исследования, применение вертикальных и горизонтальных косынок позволило значительно снизить нагрузку как на сварные швы, так и на элементы конструкции в целом. Снизить концентрацию напряжений на краях швов, за счет чего дополнительно повышается надежность и долговечность сварных соединений, можно, используя технологию «недовара», т. е. швы между косынками и свариваемыми раскосами и поясами формируются не на полную длину шва по косынке, а на несколько сантиметров не доходя до ее краев.

### Литература

1. Дмитриев, В. А. Детали машин / В. А. Дмитриев. – Л.: Судостроение, 1970. – 792 с.
2. Морозов, Е. М. Метод конечных элементов в механике разрушения. / Е. М. Морозов, Г. П. Никишков. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1980. – 256 с.
3. Метод конечных элементов в статике сооружений / Я. Шмельтер [и др.]; пер. с пол. М. В. Предтеченского; под ред. В. Н. Сидорова. – М.: Стройиздат, 1986. – 220 с.
4. European standard prEN 1993-1-9:2004. Eurocode 3: Design of steel structures. – Brussels: Central Secretariat, 2004.