

УДК 630.36:625.1/7

А. М. Лось, ассистент (БГТУ);
С. В. Ярмолик, ассистент (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАГРУЖЕННОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

В статье приведен сравнительный анализ различных соединений, рассмотрены достоинства и целесообразность применения сварных соединений при проектировании и изготовлении технологического оборудования лесного комплекса. Показана возможность применения метода конечных элементов для конструирования и анализа напряженно-деформированного состояния сварных швов. Рассмотрена компьютерная модель сварного соединения и проведены его исследования на прочность.

The comparative analysis of various connections, advantages and expediency of application of welded connections for designing and manufacturing of the process equipment to wood complex are resulted in this article. The intense-deformed welded seams condition which executed on a method of final elements. Also considered the welded connection computer model and its researches on durability are carried out.

Введение. Сварка является одним из самых современных прогрессивных и распространенных способов получения различных конструкций, применяемых в лесной отрасли. Сваркой изготавливают станины станков, рамы и основания лесных машин, корпуса лебедок, зубчатые колеса, шкивы, звездочки, маховики, барабаны, несущие фермы, пролеты козловых и других кранов, балки, колонны манипуляторов, клещевые захваты, кониковые устройства и т. п. Применение систем конечно-элементного анализа, реализованных в различных компьютерных программах прочностных расчетов, позволяет на стадии проектирования подобрать наиболее оптимальные размеры сварных швов и повысить их надежность и долговечность.

Сравнительный анализ соединений. Современные технологии, применяемые при выполнении сварочных работ, позволяют получать соединения между собой практически всех конструкционных материалов: стали, чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов цветных металлов, а также некоторых пластмасс.

Сварные конструкции в сравнении с клепочными и литыми обеспечивают существенную экономию металла и значительно снижают трудоемкость процесса изготовления. Поэтому сварные конструкции в большинстве случаев гораздо дешевле клепаных и литых. Замена клепаной конструкции на сварную дает экономию металла благодаря частичному или полному устранению дополнительных деталей и лучшему использованию металла из-за отсутствия отверстий, ослабляющих рабочие сечения. Замена клепочного соединения на сварное снижает массу конструкции до 10–20% [1]. При замене литых конструкций сварными экономия металла достигается благодаря возмож-

ности 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%. Процесс сварки является менее трудоемким по сравнению с клепкой и литьем, поскольку отсутствуют такие операции, как разметка и пробивка (сверление) отверстий для заклепок, изготовление для отливок моделей и стержней, изготовление литейных форм и т. д., а также дает возможность автоматизировать процесс сварки.

Благодаря указанным преимуществам сварные конструкции, за исключением некоторых специальных случаев, вытеснили заклепочные как из машиностроения, так и из строительства и во многих случаях применяются 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 учитываются следующие важные факторы [1]:

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

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

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

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

Исследование нагруженности сварных соединений. Сварные соединения наиболее чувствительны к знакопеременным нагрузкам, поэтому важными являются детальные исследования их нагруженности. Наиболее мощным численным методом исследования напряженно-деформированного состояния различного рода соединений в настоящее время является метод конечных элементов, реализованный на замену исследуемого твердотельного объекта совокупностью конечного числа дискретных элементов, связанных между собой в узлах. В таком случае наша задача выполняется по трем основным этапам: 1) построение геометрической модели соединения деталей в узле; 2) установление нагрузок, механических характеристик, граничащих условий, а также получение решения; 3) обзор результатов.

Исследования статической и динамической нагруженности сварных швов выполнялись нами на примере узла несущей фермы. Модель сварного соединения представлена на рис. 1.

На рис. 2 приведено распределение напряжений в стержнях и сварных швах с внутренней стороны узла, а на рис. 3 – с внешней. В рассматриваемой конструкции поперечные стержни приварены непосредственно к несущим поясам без использования фасонки. Максимальные напряжения, возникающие в сварных швах этого узла, численно равны $\sigma_{\max} = 330 \text{ Н/мм}^2$. Здесь отчетливо заметны темные пятна на конечно-элементной сетке.

На рис. 4 показано перераспределение напряжений при использовании фасонки, привариваемых к нижнему несущему поясу и поперечным раскосам. В таком случае максимальные напряжения в основном не превышают значения

$\sigma_{\max} = 90 \text{ Н/мм}^2$, а концентрация напряжений на краях швов $\sigma_{\max} = 301 \text{ Н/мм}^2$.

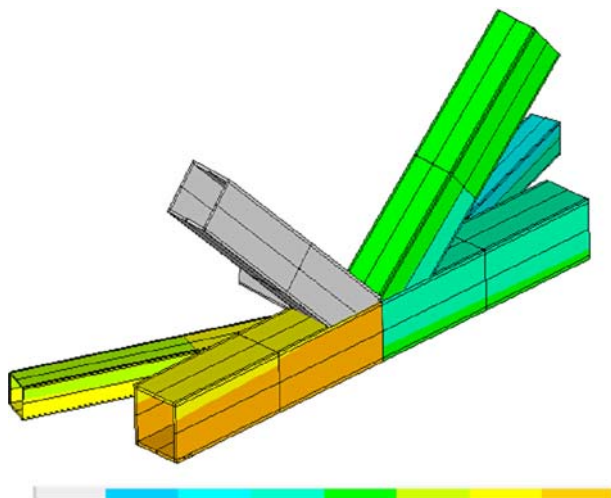


Рис. 1. Конечно-элементная модель сварного соединения

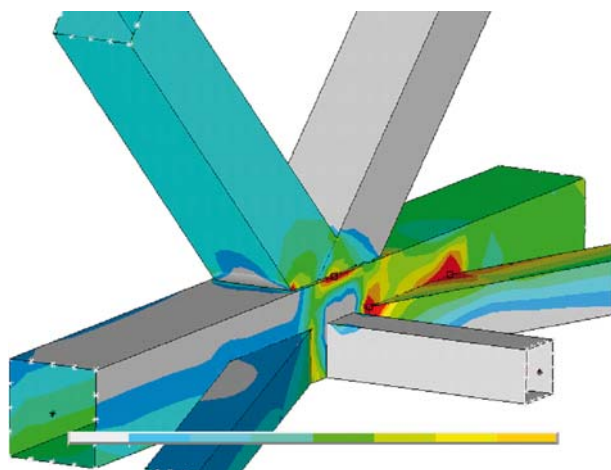


Рис. 2. Распределение напряжений в стержнях и сварных швах с внутренней стороны узла

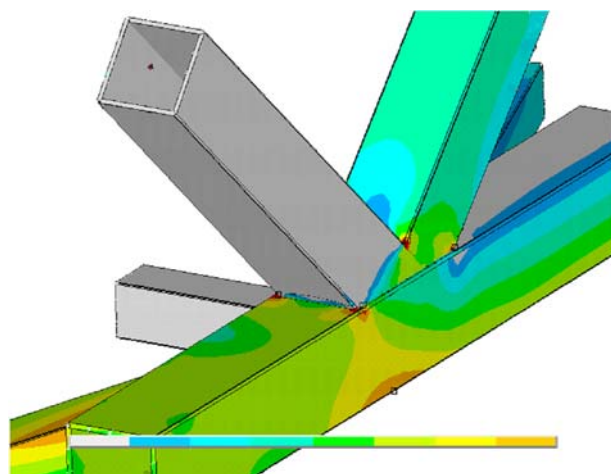


Рис. 3. Распределение напряжений в стержнях и сварных швах с внешней стороны узла

На рис. 5 показано распределение напряжений в узле при использовании не только горизонтальных фасонки, но и вертикальных, расположенных в месте приварки вертикальных наклонных раскосов к нижнему поясу. Напряжения здесь распределены в диапазоне $\sigma = 15\text{--}45 \text{ Н/мм}^2$, а концентрации напряжений на краях швов достигают величины $\sigma_{\max} = 134 \text{ Н/мм}^2$.

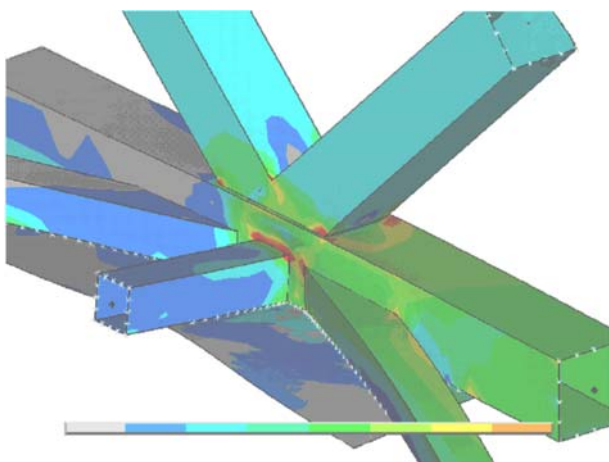


Рис. 4. Распределение напряжений в стержнях и сварных швах после приварки нижней горизонтальной фасонки

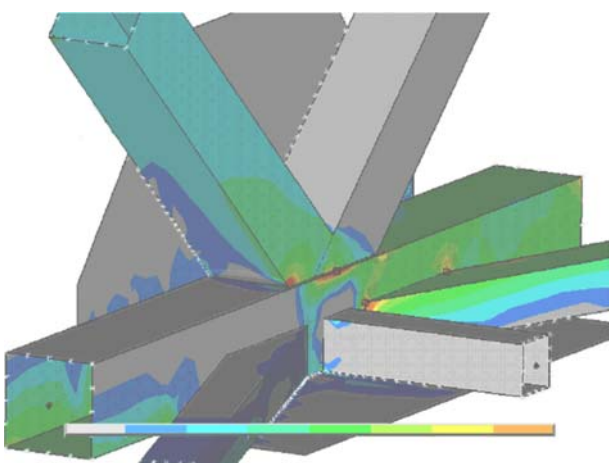


Рис. 5. Распределение напряжений в стержнях и сварных швах после приварки нижней горизонтальной и боковой вертикальной фасонки

На рис. 6 приведены кривые выносливости сварных соединений согласно европейскому стандарту prEN 1993-1-9:2004 [2].

Каждая кривая, показанная 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 $\Delta\sigma$.

По рекомендациям, приведенным в Европейском стандарте [2], размах напряжений следует определять по формуле

$$\Delta\sigma = |\sigma_{\max}| + 0,6|\sigma_{\min}|,$$

где σ_{\max} и σ_{\min} – соответственно максимальное и минимальное напряжения, действующие на соединение, Н/мм^2 .

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.

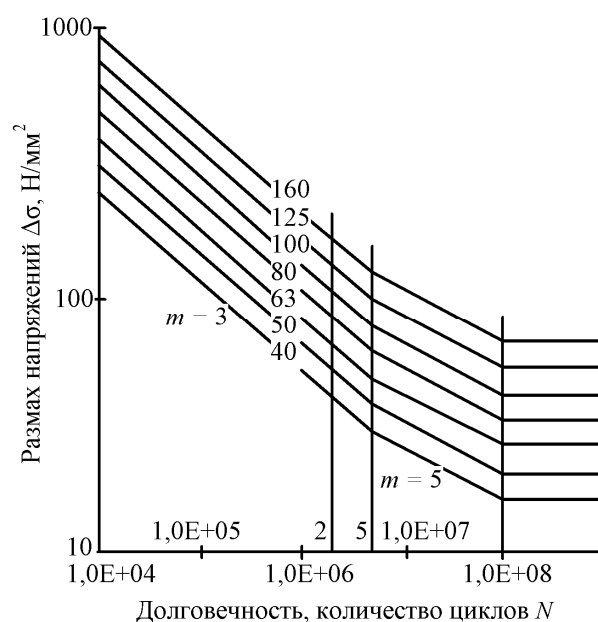


Рис. 6. Кривые выносливости сварных соединений по нормальным напряжениям

Заключение. Проведенные исследования показывают, что применение вертикальных и горизонтальных косынок позволяет значительно снизить нагрузку как на сварные швы, так и на элементы конструкции в целом. Добиться снижения концентрации напряжений на краях швов можно в том случае, если швы между косынками и свариваемыми деталями делать не на полную длину, 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. European standard prEN 1993-1-9:2004. Eurocode 3: Design of steel structures. – Brussels: Central Secretariat, 2004.

Поступила 14.03.2011