

Анализ Z-образных балок из холоднокатаной стали методом конечных элементов

И.З. Трифунович, Л.Ю. Рыбакова

Самарский государственный технический университет

Аннотация: В настоящий момент исследователи и целые строительные отрасли используют передовое программное обеспечение для эффективного анализа и проектирования строительных конструкций. Преимуществ достаточно: высокая структурная целостность конструкции, быстрая оценка состояния при проектировании, оценка способности сопротивляться любой из сред нагружения. Этими качествами обладает метод конечных элементов. В данной статье проводится нелинейный КЭ-анализ холоднокатаных стальных балок Z-профиля при изгибной нагрузке с использованием программного обеспечения ANSYS. Сравнивается способность сопротивляться изгибу двух типов балок - Z-образной балки с полыми полками и Z-образной балкой со сплошными полками. Балка с полыми полками демонстрирует лучшие деформационные характеристики, чем со сплошными.

Ключевые слова: эффективный анализ, метод конечных элементов, Z-профиль, деформационные характеристики, нелинейный КЭ-анализ.

Введение. Использование холоднокатаных стальных профилей в строительной отрасли значительно расширилось благодаря их соотношению прочности и веса, экономичности транспортировки, простоте изготовления и монтажа. Холоднокатаные стальные изделия создаются путем обработки листовой стали с использованием штамповки, прокатки или прессов для деформации листа в пригодную для употребления конструкцию. В строительной отрасли конструкционные и неконструкционные элементы изготавливаются из тонкой листовой стали. Секции ХСП используются в качестве колонн, балок, настилов пола, сборных секций и других компонентов.

Несмотря на широкую распространенность подобных конструкций в России, на сегодняшний день присутствуют существенные недостатки в нормативной, методической и расчетно - вычислительной базах по расчету стальных тонкостенных холодногнутых профилей. Одна из основных проблем развития отрасли в России – это отсутствие общепризнанных норм расчета и конструирования стальных тонкостенных холодногнутых

профилей. В США холодноформованные конструкции изучаются уже более 70 лет. В наших странах все еще идет дискуссия по поводу поиска оптимальной методики проектирования таких конструкций. На данный момент наиболее признанными и авторитетными документами в этой сфере являются Североамериканский стандарт, нормы Еврокод и национальный стандарт Австралии / Новой Зеландии [1-3].

Изучением работы тонкостенных холодногнутых профилей в качестве прогонов занимались многие отечественные исследователи. Туснина О.А. исследовала поведение Z-образных прогонов, раскрепленных из плоскости с помощью сэндвич-панелей [4, 5]. Туснина О.А. производит расчет прогона покрытия C-образного профиля, выполняет физически и геометрически нелинейный численный расчет, определяет составляющие напряженно-деформированного состояния прогона, проводит оценку влияния искривления контура поперечного сечения на величину угла закручивания прогона относительно продольной оси, выполняет расчет общей устойчивости плоской формы изгиба по СП [6].

Среди зарубежных исследователей данная область также актуальна. Somadasa W. изучил поведение при изгибе и конструкцию холодногнутых стальных балок с прямоугольными полыми полками и пришел к выводу, что инновационные балки могут хорошо работать в качестве структурно эффективных элементов, сопротивляющихся изгибу, а также они достаточно экономичны [7]. Mahendran M. представил применение анализа конечных элементов в проектировании конструкций и проиллюстрировал примеры [8].

В зданиях с металлическим каркасом Z-образные и C-образные прогоны обычно используются для устройства панелей кровли и для передачи ветровой и снеговой нагрузки на основные узлы, обеспечивая при этом поперечную устойчивость основных элементов каркаса. Z-образные балки предпочтительнее по той причине, что они легко вкладываются друг в

друга, что создает более компактный комплект для транспортировки, в отличие от комплекта С-образных балок. Кроме того, Z-образные конструкции легко соединяются внахлест и вкладываются друг в друга, что обуславливает экономию непрерывных прогонов или балок. Преимущество использования Z-прогонов заключается в возможности конструирования неограниченной глубины и толщины, что дает инженеру возможность проектирования наиболее экономичных прогонов и благодаря сечению применяется на кровле в многопролетной схеме, рис.1.



Рис. 1. – Z-образный стальной тонкостенный холодногнутый профиль в качестве прогонов

Холоднокатаные стальные балки с полыми полками исследуются экспериментально и аналитически. В то же время исследования балок Z-сечения не распространены. К примеру, в Австралии, только недавно начали использовать полые балки Z-образного профиля. Знания необходимо углублять, так как для проектирования необходимы более точные результаты. Поэтому в данном исследовании была сделана попытка аналитически изучить поведение Z-образной балки с полыми полками.

Моделирование и анализ Z-образных сечений. Размер исследуемых сечений показан на рис. 2, размеры указаны в мм.

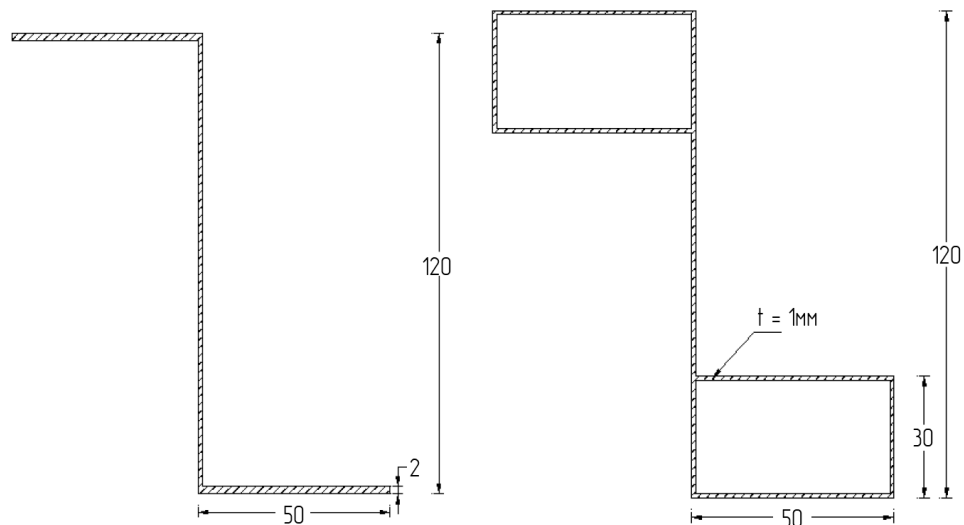


Рис. 2. – Профиль исследуемых сечений

Конечноэлементное моделирование сплошных Z-сечений и сечений с полками выполняется с помощью программы ANSYS [9, 10]. Для лучшего анализа и получения точного результата образец должен иметь сетку. Точность значений / результата зависит от шаблона. В этом исследовании используется треугольная сетка с мелким рисунком. Z-секции испытываются аналитически при 2-точечной нагрузке. Секции балки нагружаются пошагово, и впоследствии исследуются деформационные характеристики.

Результаты. Балки Z-образного сечения, как сплошные, так и полые, подвергаются постепенно увеличивающейся нагрузке, и оценивается зависимость деформации от нагрузки. На рис.3 показано поведение Z-сечения при изгибе. Видно, что при использовании Z-образного сечения с полыми полками наблюдается значительное уменьшение прогиба примерно в 2,5 раза. Жесткость полого Z-образного сечения с полками примерно в 4 раза больше, чем у сплошного.

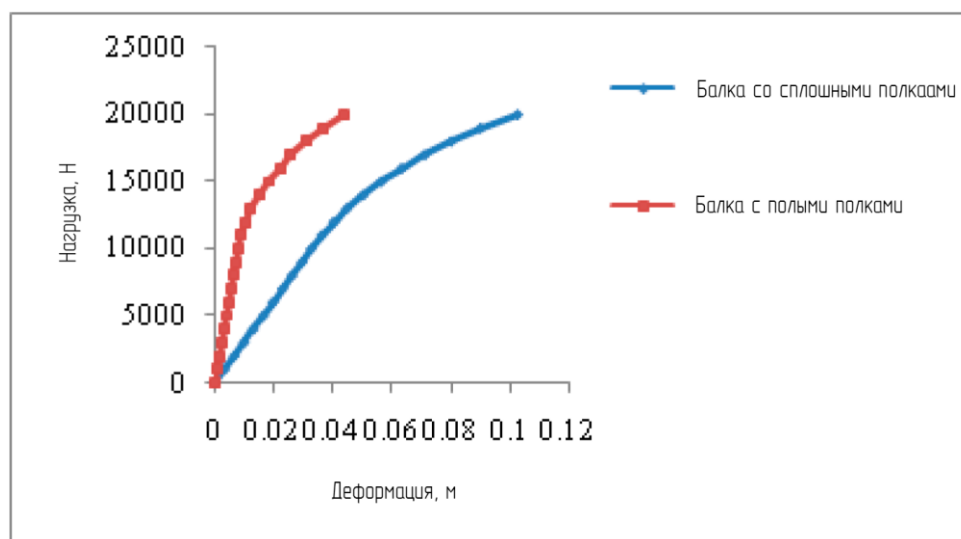


Рис. 3. – Кривая зависимости деформации от нагрузки

Профиль разрушения сплошных и полых Z-образных конструкций показан на рис. 4. Наблюдение показывает, что разрушение имеет двойной профиль в сплошном сечении, тогда как в случае Z-профиля с полыми полками разрушение является однопрофильным.

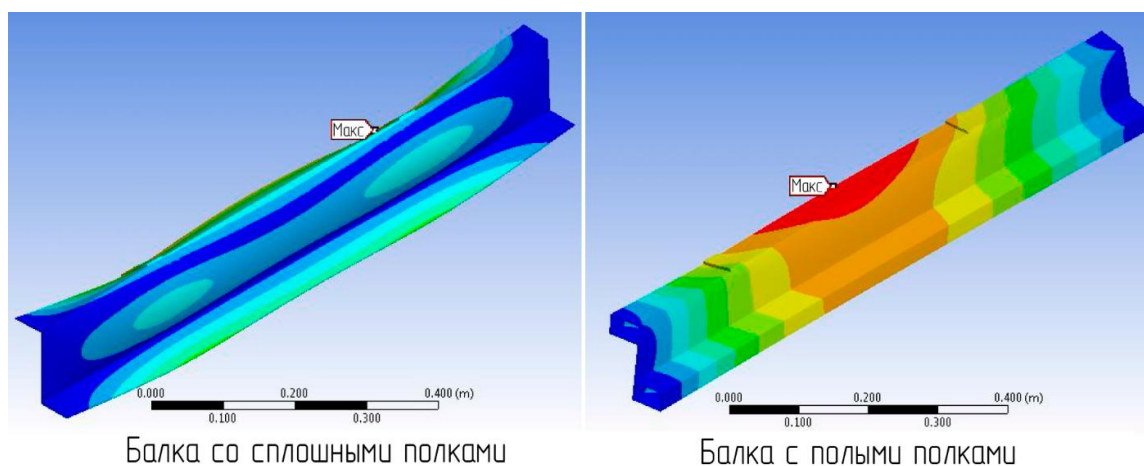


Рис. 4. – Профиль разрушения

Резюме и заключение. Нелинейный анализ методом конечных элементов балок Z-сечения с полками сплошной и полый конфигурации выполняется с помощью программного обеспечения ANSYS. Поведение на изгиб балок со сплошными полками Z-профиля сравнивается с Z-образными

профилями с полыми полками. На основании анализа сделаны следующие выводы:

- Предлагаемый элемент с полыми полками демонстрирует лучшее сопротивление деформации.
- Так как конструкция с полыми полками следует по единой профилированной схеме разрушения, точка разрушения увеличивается.
- Жесткость Z-образного сечения с полыми полками почти в четыре раза больше, чем у Z-образного сечения со сплошными.
- Методика строительства с использованием полых фланцевых профилей, принятая в Австралии, может эффективно применяться и в других странах.

Литература

1. AISI S100-20016. North American Specification for the Design of ColdFormed Steel Structural Members – Washington: American Iron and Steel Institute, 2016. 198 p.
2. EN 1993-1-3:2009. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels: CEN, 2006.
3. AS/NZS 4600:2005 Australian/New Zealand Standard. Cold-formed steel structures. –Sydney/Wellington: Standards Australia/Standards New Zealand, 2005.
4. Tusnina, O. A. An influence of the mesh size on the results of finite element analysis of Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials. 2013. pp. 1483-1486.
5. Tusnina, O.A. A finite element analysis of cold-formed Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials. 2013. pp. 398-403.

6. Туснина О.А. Особенности работы тонкостенного холодногнутого прогона С-образного сечения // Вестник МГСУ, 2014. №10. С.64-74.
7. Somadasa W. Flexural Behaviour and Design of Cold-formed Steel Beams with Rectangular Hollow Flanges // PhD thesis, Queensland University of Technology. 2005.
8. Mahendran M. Applications of Finite Element Analysis in Structural Engineering // Proceedings International Conference on Computer Aided Engineering. 2007. pp. 38-46
9. Лавыгин Д.С., Леонтьев В.Л. Алгоритм смешанного метода конечных элементов решения задач теории стержней // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910
10. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Метод конечных элементов модели тонкостенного профиля с полками объемного фасонного элемента // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768

References

1. AISI S100-2016. North American Specification for the Design of ColdFormed Steel Structural Members – Washington: American Iron and Steel Institute, 2016. 198 p.
 2. EN 1993-1-3:2009. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels: CEN, 2006.
 3. AS/NZS 4600:2005 Australian/New Zealand Standard. Cold-formed steel structures. Sydney/Wellington: Standards Australia/Standards New Zealand, 2005.
 4. Tushina, O. A. Applied Mechanics and Materials. 2013. pp. 1483-1486.
 5. Tushina, O.A. Applied Mechanics and Materials. 2013. pp. 398-403.
 6. Tushina O.A. Vestnik MGSU, 2014. № 10. pp. 64-74.
 7. Somadasa W. PhD thesis, Queensland University of Technology. 2005.
-



8. Mahendran M. Proceedings International Conference on Computer Aided Engineering. 2007. pp. 38-46.

9. Lavygin D.S., Leont'ev V.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910

10. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768