

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ КРИВИЗНЫ ЛИСТОВОГО ЭЛЕМЕНТА СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Мойсейчик А. Е.

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск

Введение. В процессе эксплуатации и изготовления сварных двутавровых конструкций в их элементах появляются дефекты (погибы полок, ребер и др.). Так, в подкрановых, мостовых балках причинами образования таких дефектов являются механические повреждения от удара грузом, воздействия при съезде крана с кранового пути при стертой реборде колеса крана, запроектное деформирование (рисунок 1) и др. [1].



Рис. 1. Вид погиби нижней полки прокатного двутавра

Разработаны различные способы правки таких дефектов [1–4]. Наиболее часто используются механические и тепловые способы правки погнутостей [1–4, 6–8]. Существующие методы механической правки для восстановления нормативной геометрии элементов используют эффект деформирования материала в пластической стадии работы [9–10], усиление дефектной зоны стальными накладками с соединением на электросварке и др. приемы. Для правки погибей мостовых металлоконструкций используют и тепловые воздействия [3; 5; 6]. Однако мониторинг нагрева горелками стали и ее охлаждения не ведется. Новые приемы правки в отдельных случаях требуют научного сопровождения [8].

В настоящей работе рассмотрена технология механической правки с использованием предварительно смоделированного (в ANSYS) упруго-пластического процесса деформирования дефектного элемента. Правка необходима для достижения требуемой плоскостности в используемых

ЗАО «Струнные технологии» конструктивных решениях. На первой стадии нагружения моделируется отклонение от проектной геометрии до имеющихся величин фактической погиби. При этом определяются зоны элемента, достигшего пластического течения и значение пластических деформаций. На второй стадии определяется вид оснастки и требуемое усилие для выравнивания имеющейся погиби, приводящее к обратным пластическим деформациям в определенных на первой стадии зонах.

Постановка задачи. В качестве моделируемой конструкции рассматривается двутавровая сварная балка с поясами различной геометрии. Крепление поясов балки со стенкой сварное, усиленное поперечными укороченными ребрами (рисунок 2).



Рис. 2. Вид крепления стенки балки к поясу укороченными ребрами

Моделируемое сечение балки имеет размеры (в мм): высота балки – 300 мм; размеры полок – верхней – 100×20 мм; нижней – 330×10 мм. Длина моделируемого участка балки подобрана так, чтобы отсутствовало влияние на НДС от закрепления торцов на искривленный участок. Физико-механические характеристики стали приняты по данным таблицы 1.

Таблица 1 – Механические характеристики стали 10ХСНД

Материал	Плотность, кг/м ³	μ	E, МПа	σ_T , МПа	σ_B , МПа	$\epsilon_{ост}$, %
Сталь 10ХСНД	7850	0,3	2×10^5	390	530	19

По представленным в таблице 1 данным пластическую стадию работы материала можно смоделировать линейно (Bilinear hardening), что при существенных пластических деформациях вносит искажения в получаемые при расчете значения. Для повышения точности использована модель упрочнения Multilinear (Kinematic), которая построена по данным диаграммы деформирования для стали 10ХСНД [12]. Отклонение кромки изогнутой полки от проектного положения было измерено в 10 точках с равным шагом по длине погиби, что представлено на рисунке 3.

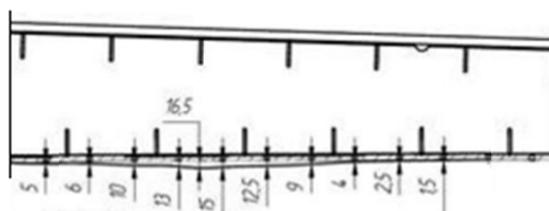


Рис. 3. Фрагмент исследуемой балки с погибью пояса и величинами наибольших отклонений кромки

Используемая схема устранения погиби пояса балки работает следующим образом. На верхнюю полку балки (рисунок 4) устанавливают ряд скоб, к которым с помощью резьбовых элементов подтягивают, опираемые на нижнюю полку, кронштейны. Количество элементов в представленном ряду и прикладываемое к кронштейнам усилие определено пошаговым моделированием в 4 стадиях: на первой стадии к изначально плоской полке прикладывается к нескольким площадкам поперечные силы, деформирующие полку (рисунок 5, рисунок 6, *a*), после снятия усилий на второй стадии приобретенные остаточные перемещения (рисунок 6, *б*) сравниваются с имеющимися. На третьей стадии, с использованием устанавливаемых кронштейнов, полка деформируется в обратном направлении индивидуально подобранными усилиями (рисунок 6, *в*), чтобы после снятия приложенной нагрузки, положение точек полки соответствовало желаемому (рисунок 6, *г*).

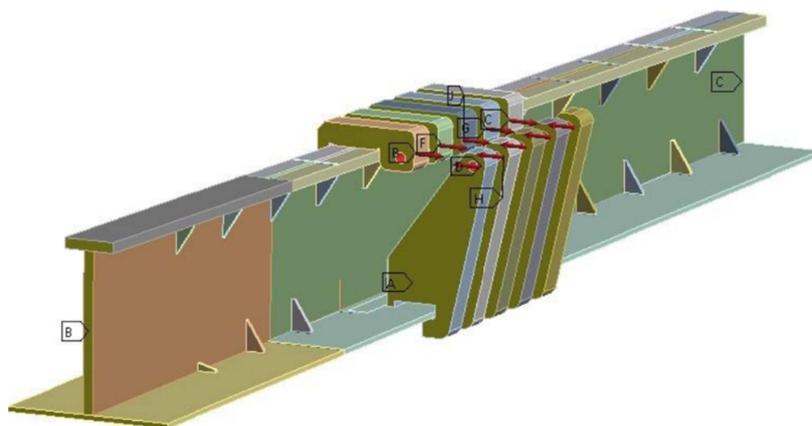


Рис. 4. Схема устранения погиби нижнего пояса исследуемого фрагмента балки

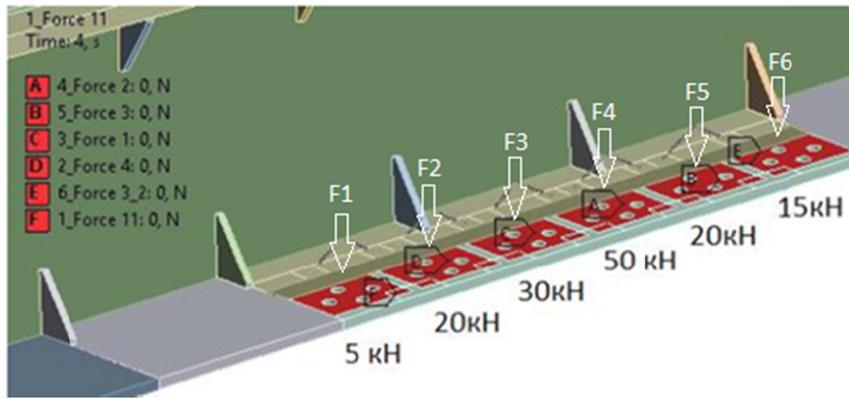


Рис. 5. Схема нагружения изначально плоской полки

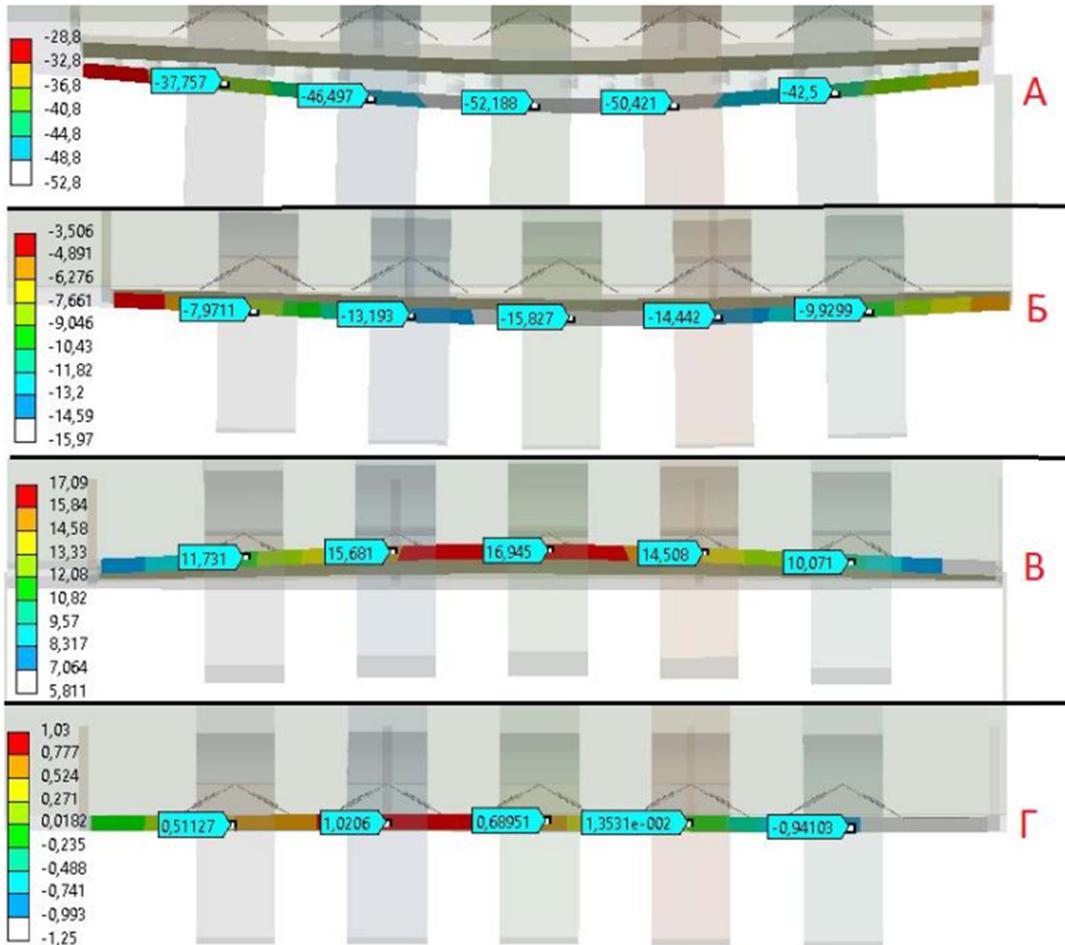


Рис. 6. Перемещения кромки полки на стадиях моделирования: А – нагружение, для придания первоначальной кривизны (рисунок 5); Б – снятие приложенной нагрузки, удаление элементов жесткости; В – выправление полки кронштейнами в обратном направлении; Г – снятие нагрузки

Результаты расчетного моделирования и их обсуждение

Модель погиби, отображающей величины остаточных пластических перемещений кромок пояса в процессе деформирования, приведена на рисунке 7.

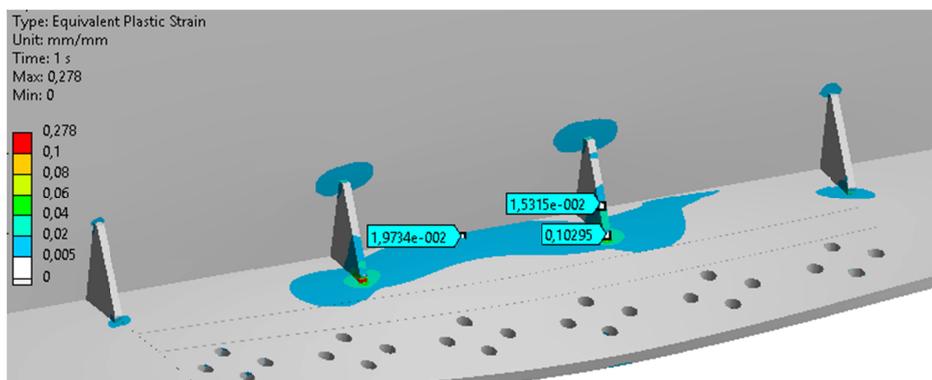


Рис. 7. Эпюра эквивалентных пластических деформаций в конструктивных элементах (деформированное состояние – рисунок 6, а)

Выполненные расчеты показали, что при исправлении кривизны нижней полки балки (погиби) в ней возникают пластические деформации. Их наибольшие значения проявляются в околошовной области и поперечных ребрах жесткости (соответственно – 2 % и 10 % при предельном значении пластических деформаций для стали 10ХСНД 19 %). Максимальная сила в шпильках кронштейнов, необходимая для устранения погиби нижней полки балки, равна 9,9 кН. На рисунке 8 приведено распределение остаточных эквивалентных напряжений в поясе после выправления погиби. Максимальная величина этих напряжений составляет 301 МПа.

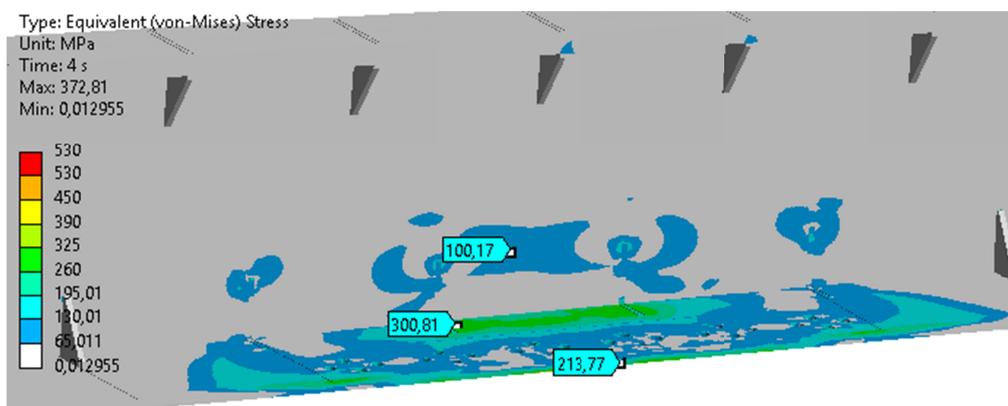


Рис. 8. Эпюра эквивалентных остаточных напряжений в полке балки после выправления (деформированное состояние – рисунок 6, з)

Выводы

1. Разработана методика двухэтапного моделирования процесса выравнивания погиби листового конструктивного элемента с необходимой точностью с учетом пластических характеристик материала.
2. Определено, что в имеющейся погиби металл был пластически деформирован в области сварного шва величиной до 2 %, в зоне ребер жесткости деформации составляют около 10 %.

3. При устранении погиби полки балки рассмотренным в статье приемом необходимо приложить к кронштейнам наибольшее выгибающее усилие величиной 9,9 кН.

4. Рассмотренная технология устранения погиби была успешно применена к натурной конструкции, а использованная оснастка не приводит к дополнительным остаточным деформациям в местах ее крепления.

Благодарность. Автор выражает благодарность руководству ЗАО «Струнные технологии» за создание благоприятных условий при подготовке настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крахмальний, Т. А. Дефекты и повреждения металлических подкрановых балок производственных зданий / Т. А. Крахмальний, С. И. Евтушенко // Строительство и архитектура. – 2014. – Том 2, – Вып. 2 (3). – С. 70–72.

2. Справочник технолога машиностроителя : в 2 т. / А. М. Дальский [и др.]; под ред. А. М. Дальского [и др.]. – М. : Машиностроение – 2001. – Т. 1. – 912 с.

3. СТО 01393674–735–2006. Методика расчета и технологии правки деформаций в стальных конструкциях мостов. – М. : ОАО ЦНИИС. – 2008. – 109 с.

4. Predeleanu M. Advanced methods in materials processing defects / M. Predeleanu, P. Gilormini. – Elsevier Science, 1997. – Vol. 45. – 422 p.

5. Родионов, И. К. Сварочные деформации, метод «фиктивных температур» и усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия / И. К. Родионов // Труды междунар. научно-технич. конфер. (Резниковские чтения). Теплофиз и технолог. Аспекты повыш. эффектив. машиностр. производ. ТГУ. Тольятти. – 2015. – С. 118–123.

6. СТО 01393674–735–2006. Методика расчета и технологии правки деформаций в стальных конструкциях мостов. – М. : ОАО ЦНИИС. – 2008. – 59 с.

7. Максимов, Е. А. Расчет параметров правки толстых листов на роликовой правильной машине с учетом прогиба и износа бочек роликов / Е. А. Максимов, Е. П. Устиновский // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2018. – № 1(10). – С. 60–65.

8. Ремнев, К. С. Устойчивость тонкой полосы из анизотропного материала при правке растяжением / К. С. Ремнев // Известия Тульского государственного университета. Серия Технические науки. – 2013. – № 4. – С. 96–107.

9. Соппротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением / Ю. Г. Калпин, В. И. Перфилов, П. А. Петров [и др.]. – М. : Машиностроение, 2011. – 244 с.

10. Hu J. Mechanics of Sheet Metal Forming. / J. Hu, Z. Marciniak, J. Duncan. – Butterworth-Heinemann, 2002. – 211 p.

11. Lenard J. G. Metal Forming Science and Practice / J. G. Lenard. – Elsevier Science, 2002 – 378 p.

12. Анализ предельных состояний цилиндрических упруго-пластических оболочек при растяжении и комбинированном нагружении внутренним давлением и растяжением / В. Г. Баженов, Д. А. Казаков, С. Л. Осетров [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2002. – № 2. – С. 39–48.

Поступила: 12.03.2024