

к.т.н. **Иванов А.П.**,

Кирияева Л.П.

(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОКАТНЫХ ДВУТАВРАХ

У роботі запропоновано методика експериментально-аналітичного визначення залишкових напружень у прокатних профілях. Наведено результати натурного та чисельного експериментів, які добре узгоджуються.

Ключові слова: методика, визначення, залишкові напруження, натурний експеримент, чисельний експеримент.

В работе предложена методика экспериментально-аналитического определения остаточных напряжений в прокатных профилях. Приведены хорошо согласующиеся результаты натурного и численного экспериментов.

Ключевые слова: методика, определение, остаточные напряжения, натурный эксперимент, численный эксперимент.

Постановка проблемы. Многочисленные эксперименты свидетельствуют о наличии значительных остаточных напряжений в прокатных профилях. Знание этих напряжений позволило бы создавать более надежные, а возможно, и более экономичные проекты конструкций. Поэтому проблема определения остаточных напряжений привлекала и привлекает внимание многих исследователей. Методики экспериментального определения остаточных напряжений и некоторые результаты описаны в работах [1,2].

Одна из наиболее часто используемых методик – определение напряжений с помощью тензорезисторов. Суть ее заключается в следующем: в окрестности места, где определяются остаточные напряжения, наклеиваются тензорезисторы, затем деталь распиливается в непосредственной близости от наклеенных тензорезисторов. По изменению сопротивления тензорезисторов судят об остаточных деформациях и напряжениях в исследуемой детали.

Практическая новизна Следует заметить, что по найденным в месте наклейки датчиков напряжениям нельзя судить о поле напряже-

ний во всей детали и, кроме того, измеренные напряжения не есть остаточные напряжения. Это изменение поля напряжений. На величину измеренных напряжений изменились остаточные напряжения.

В данной работе предлагается методика определения полей остаточных напряжений в прокатных двутаврах экспериментально-аналитическим методом.

Цель работы. Разработка методики определения полей остаточных напряжений в прокатных профилях и экспериментальная проверка этой методики.

Изложение основного материала

1. Методика определения остаточных напряжений в прокатном профиле.

— В образце, имеющем остаточные напряжения, делается разрез.

— Измеряются взаимные перемещения точек, принадлежащих различным берегам разреза.

— В математической модели образца с разрезом определяются напряжения от заданного перемещения узлов – измеренного в эксперименте расхождения берегов разреза. Найденные в модели напряжения – искомые *остаточные напряжения*.

2. Описание эксперимента

Экспериментальные исследования были выполнены на двух одинаковых образцах, изготовленных из двутавра 35Ш2, ГОСТ 26020-83.

Длина образца $L=1400$ мм, толщина стенки равна 11мм, толщина полки – 14мм, ширина полки – 350мм.

На образце №1 тензорезисторы не наклеивались. Ставилась цель установить сам факт наличия остаточных напряжений. В двутавре был сделан продольный разрез по середине высоты стенки. Остаточные напряжения оказались столь значительными, что концы берегов разреза при длине щели 1350мм разошлись в плоскости стенки на 20мм.

Общий вид образца №2, подготовленного к эксперименту, показан на рисунке 1. На этом образце тензорезисторы были наклеены на стенке и на полках.

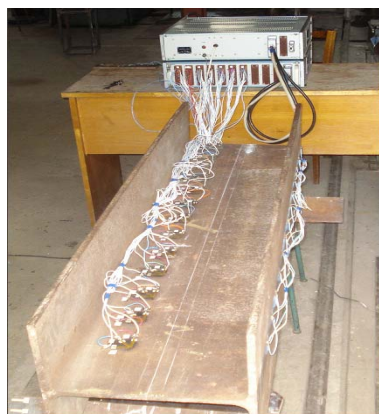


Рисунок 1 - Общий вид образца №2

Разрез в образце №2 был сделан, как и в образце №1, посередине высоты стенки. На этом образце тензорезисторы были наклеены на стенке и на полках.

Разрез общей длиной 1050мм был сделан за четыре приема (300мм + 300мм + 300мм + 150мм). На каждом этапе регистрировались расхождение берегов реза и показания тензорезисторов. По показаниям тензорезисторов определялось изменение остаточных напряжений в процессе разрезания образца.

3. Численное определение остаточных напряжений в образце.

Исследование напряженно-деформированного состояния образца выполнено методом конечных элементов с помощью ВК "Лири 9.4" (НИИАСС, г. Киев).

Задача определения остаточных напряжений в двутавре сведена к исследованию напряженно-деформированного состояния двутавра с разрезом.

Для определения остаточных напряжений была построена, конечно-элементная, модель (рисунок 2), в которой использованы объемные элементы, т.е. решалась трехмерная задача теории упругости. В качестве нагрузки в конечно-элементной модели взяты экспериментально найденные перемещения узлов, находящихся на берегах разреза.

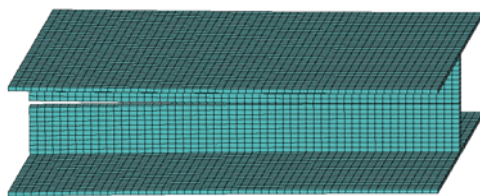


Рисунок 2 - Конечно-элементная модель экспериментального образца

При использовании традиционных конечно-элементных моделей в результате расчета получается информация о напряженном состоянии в центре тяжести элемента, поэтому для того, чтобы определить напряжения на границе, необходимо значительное сгущение сетки узлов у границы. Но и в этом случае мы получаем значение напряжений в точке, близко расположенной к границе, а не на границе. Чтобы избежать этого недостатка, для определения напряжений на наружных поверхностях объемных моделей был использован подход, предложенный в работе [3].

Суть этого подхода заключается в следующем. В том месте, где необходимо определить напряжения, например, на наружной поверхности объемного элемента либо на границе плоского элемента, "наклеива-

ем" плоские либо линейные конечные элементы, жесткость которых пренебрежимо мала по сравнению с жесткостями остальных элементов.

Технически эта работа очень напоминает ту, которую приходится делать при экспериментальном определении напряжений с помощью датчиков сопротивления. В том месте, где экспериментально определяются напряжения, наклеиваются тензорезисторы, по изменению сопротивления которых при нагружении вычисляются напряжения.

В нашем случае в роли тензодатчиков выступают стержневые и плоские конечные элементы – конечно-элементные датчики. Стержневые элементы исполняют роль линейных датчиков сопротивления, а плоские – роль розеток.

На рисунке 3 и в таблице 1 сравниваются полученные в эксперименте и численно значения изменения нормальных напряжений на наружной поверхности полки после выполнения продольного разреза стенки двутавра.

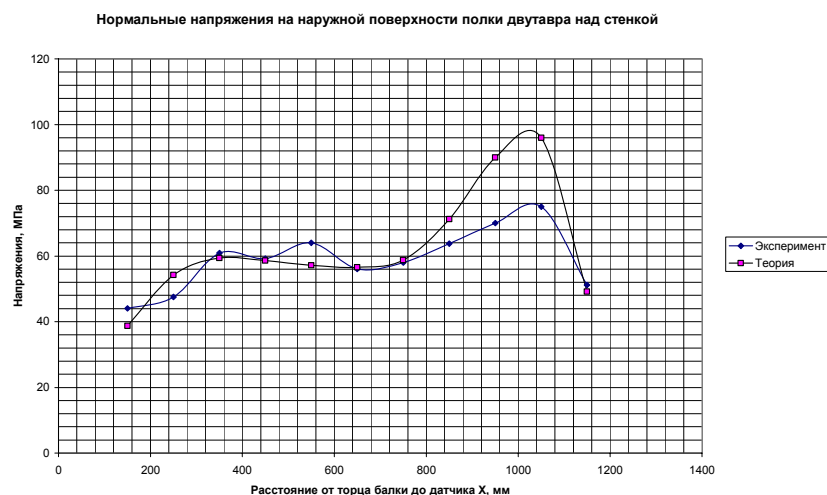


Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и теоретических значений изменения нормальных напряжений на наружной поверхности полки

На рисунке 4 показаны изополя и изолинии остаточных нормальных напряжений в поперечных сечениях балки, найденные с помощью математической модели.

Таблица 1 - Значения изменения нормальных напряжений на наружной поверхности полок двутавра

№ датчика	Расстояние от торца балки до датчика $X, мм$	σ_z <i>эксн.</i> , МПа	σ_z <i>теор.</i> , МПа
0	150	44.1	38.7
1	250	47.5	54.2
2	350	60.9	59.4
3	450	59.2	58.8
4	550	64.0	57.2
5	650	56.1	56.6
6	750	58.0	58.8
7	850	63.8	71.2
8	950	70.0	90.0
9	1050	75.0	96.0
10	1150	51.2	49.1

Изополя и изолинии нормальных напряжений в поперечных сечениях балки σ_z , МПа

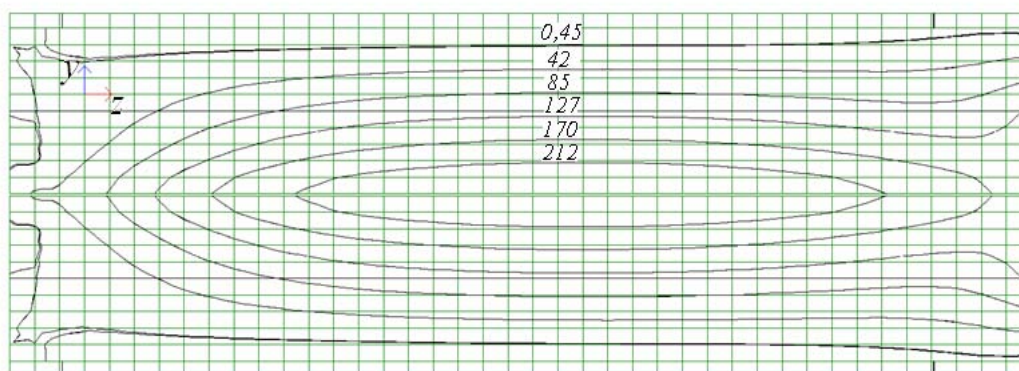


Рисунок 4 – Изополя и изолинии остаточных нормальных напряжений в поперечных сечениях стенки двутавра

Выводы.

Хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая методика применима для определения остаточных напряжений в прокатных профилях.

2. Уровень остаточных напряжений в прокате соизмерим с расчетным сопротивлением материала, что делает необходимым определять эти напряжения и учитывать их с целью создания надежных, а возможно, и более экономичных конструкций.

Библиографический список

1. Подзей А.В. *Технические остаточные напряжения* / А.В. Подзей А.Н. Сулима, М.И. Евстигнеев/ - М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

2. Скороходов А.Н. *Остаточные напряжения в профилях и способы их снижения*/ А.Н.Скороходов, Е.Г.Зудов, А.А.Киричков/ - М.: Металлургия, 1985. - 216 с.

3. Кирьязева Л.П. *Пути совершенствования конечно-элементных моделей в методе конечных элементов в форме метода перемещений.* //Сборник научных трудов: Спецвыпуск: Информационные технологии в научных исследованиях и в учебном процессе (международ. научн.-практ. конф., Луганск-Алчевск, 21-24 ноября 2005 г.). - Алчевск: ДонГТУ, 2005. - С. 84-94.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.