

*д. т. н., доц. Иванов А. П.,
магистр Дозоренко Ю.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРЯЧЕКАТАННЫХ ШВЕЛЛЕРАХ

Приведені результати досліджень залишкових напруг в прокатних профілях після плющення і правки

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Как известно, остаточными напряжениями называются напряжения, существующие в металлических изделиях при отсутствии внешних воздействий (силовых и температурных). Называют их также собственными, внутренними, технологическими напряжениями. Они практически всегда возникают в процессах литья,ковки, прокатки, сварки, термообработки.

Остаточные напряжения практически всегда связанные с упругими деформациями, существующими в металле после полного прекращения внешних воздействий на металл.[1]

Проблема остаточных напряжений – это проблема теории технологии, в частности в силу его интердисциплинарного характера. В связи с этой проблемой остаточными напряжениями занимались и продолжают заниматься специалисты самых разных отраслей знаний: механики-прочности, металлофизики, металловеды, специалисты по обработке металла давлением, резанием, сварщики и т.д.

Образование остаточных напряжений при различных технологических процессах происходит различным образом. В основе их возникновения обычно лежат необратимые объемные изменения в материале. Эти напряжения очень чувствительны к внешним воздействиям и участвуют в той или иной мере практически во всех процессах и явлениях, происходящих в металле на макро- и микроуровнях.[2,3]

Как показывает опыт эксплуатации конструкций и результаты многочисленных экспериментов, остаточные напряжения значительно влияют на надежность и долговечность, на технологичность и металлоемкость конструкций и нормы расхода металла на производство единицы продукции. Изделия современной техники зачастую разрушаются или приходят в негодность из-за значительного изменения

форморазмеров еще при хранении или в первые часы эксплуатации при достаточно низком уровне эксплуатационных нагрузок. Металлургические полуфабрикаты за счет остаточных напряжений претерпевают изменения форморазмеров (коробление) вплоть до разрушения при хранении или механической обработке. Отсюда значительные припуски на полуфабрикатах литейного, кузнечно-штамповочного, прессового и других производств, что при последующей обработке резанием приводит к нерациональному использованию металла, снижению коэффициента использования металла.

Анализ исследований и публикаций.

Как уже отмечалось, наличие остаточных напряжений неоднозначно влияет на надежность и долговечность металлических конструкций. Исследованию влияния остаточных напряжений на работу конструкций посвящены многочисленные публикации и исследования, проводимые как в Украине, так и за рубежом.

Существующие современные экспериментальные методы позволяют получить достаточно полную картину распределения остаточных напряжений в металлопродукции.

Все экспериментальные методы подразделяются на механические и физические методы.

Физические методы позволяют производить измерения без разрушения изделия. К таким методам относятся: акустические, магнитные, радиоволновые, электрические.

Механические методы измерения остаточных напряжений связаны с разрушением изделия. Эти методы позволяют обнаружить остаточные напряжения путем рассечения тела и замера изменений размеров в оставшейся части тела. Классификацию механических методов измерения остаточных напряжений можно произвести (и производят в действительности) различными способами. С практической точки зрения наиболее полезным является, по-видимому, разделение на методы, связанные с полным разрушением изделия, и методы, связанные с частичным разрушением.[4,5]

Разработка методов управления остаточными напряжениями в материалах – это реализация возможностей мощного резерва повышения качества металлопродукции, а значит повышения надежности конструкций. Кроме того, это ускорение разработки и внедрении ресурсосберегающих технологий, это путь к экономии металла.

Постановка задачи.

Определение остаточных напряжений далее он после прокатки и правки на примере горячекатанных швеллеров № 12, 16.

Изложение материала и его результаты.

В качестве экспериментальных образцов использованы швеллера № 16, 12, изготовленные на ОАО АМК г.Алчевска. Длина образцов составляет 1000мм, геометрические характеристики даны в таблице 1.

В результате внешнего осмотра образцов в швеллерах до правки были замечены прогибы, значительная шероховатость поверхности, в образцах после правки отмечено возникновение на поверхности линий Людерса-Чернова (рис. 1), что характерно для металлических конструкций, прошедших пластическую обработку.

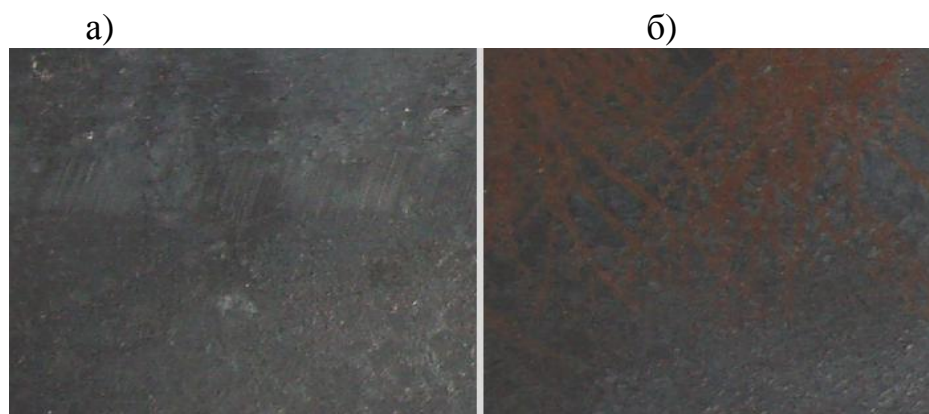


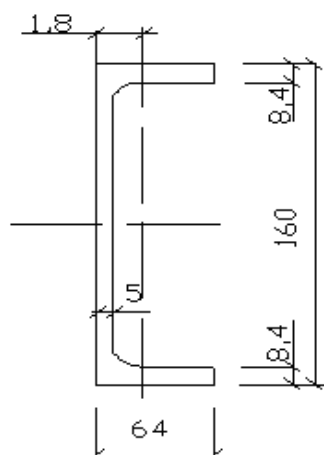
Рисунок 1 - Линии Люрдеса- Чернова на полке балки: а) до правки; б) после правки

Таблица 1 – Основные геометрические характеристики швеллеров ГОСТ 8240-97

№ профиля	h, мм	b, мм	d, мм	t, мм	R, мм	A, см ²	Уд. масса 1м, кг	J _x , см ⁴	J _y , см ⁴	z ₀ , см
[12у	120	52	4.8	7.8	7.5	13.3	10.4	304	31.2	1.54
[16у	160	64	5	8.4	8.5	18.1	14.2	747	63.3	1.8

На рисунке 2 представлены сечения экспериментальных образцов

Швеллер №16



Швеллер №12

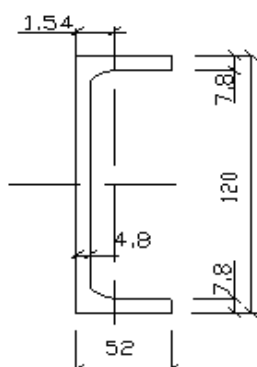


Рисунок 2 – Сечения экспериментальных образцов

Исследования ОН проведены разрушающим методом с использованием тензорезисторов сопротивления с базой 5 мм на бумажной основе и регистрирующей аппаратурой (системы СИИТ-3 с кабелями). Это позволило получить распределение остаточных напряжений в элементах путем измерения деформаций после резки и переводом показаний прибора в напряжения умножением на коэффициент тензочувствительности. Его величина определена экспериментально путем тарировки на консольной тарировочной балке, нагруженной силой на свободном конце. И равна $0,0418 \text{ кН/см}^2$.

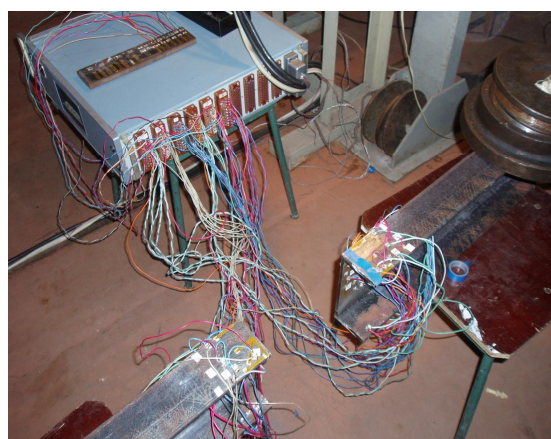
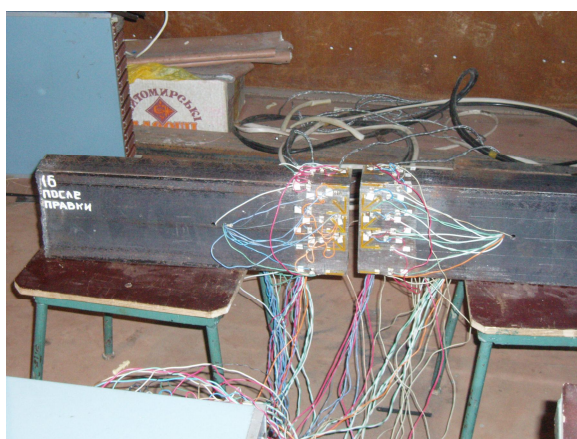


Рисунок 3 – Разрезка образца

Выбор схемы расположения датчиков (см. рисунок 4).

Подготовка и проведение испытаний включали в себя следующие этапы [2]:

Зачистка размеченных шлифовальной машиной с последующей доводкой шлифовальной шкуркой.

1. Обезжиривание и грунтовка зачищенных мест;
2. Группировка и наклейка тензорезисторов (выполнялась согласно инструкции для принятых типов датчиков клеем БФ-2). Для увеличения чувствительности метода применялись датчики с наименьшей базой и располагались на расстоянии 5 мм от линии реза;
3. Полимеризация клея осуществлялась при 120°C после сушки при 20°C;
4. Коммутация и проверка работоспособности электрических цепей;
5. Производился съем показаний с помощью датчиков сопротивления.

Тензодатчики сопротивления наклеивались в одном сечении. Такая схема дает возможность исследовать изменение внутренних напряжений в швеллере в пределах только одного сечения.

Для того чтобы проверить работоспособность датчиков производился съем показаний датчиков при испытании балки на изгиб.

Распиловка образцов осуществлялась с помощью специальной ручной ножовки по металлу, без значительных тепловыделений [2] (рис.3).

Резка производилась в такой последовательности:

- разрезался образец в пределах одного сечения;
- окончательный съем показаний производился после резки образца.

Результатом измерения является разность абсолютных величин двух показаний прибора (ΔX_{li}): начального при сохранении равновесного состояния остаточных напряжений (X_{0i}), т.е. до начала разрушения и повторного после определенного этапа разрушения (X_{li}), нарушившего равновесие остаточных напряжений и приведшего к деформации участка изделия, на котором наклеен датчик.

$$\Delta X_{li} = X_{li} - X_{0i} \quad (1)$$

Остаточное напряжение:

$$\sigma_i = \Delta X_{li} \cdot K \quad (2)$$

Переводной коэффициент $K=0,0418 \text{кН/см}^2$.

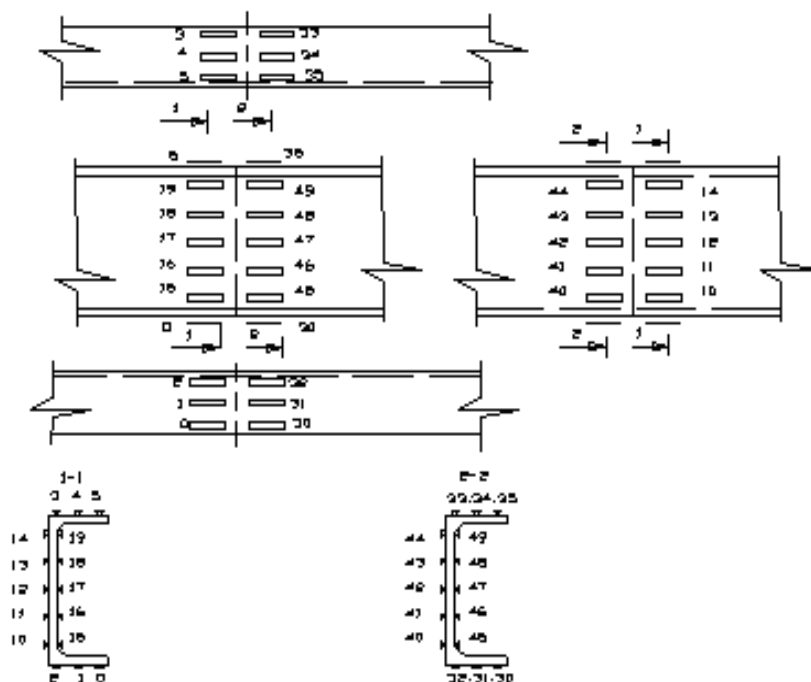


Рисунок 4 - Схема размещения датчиков на швеллере № 12

В таблице 2 -5 даны результаты измерения остаточных напряжений

Таблица 2 - Швеллер № 12 до правки

№	ΔX_{li}	№	ΔX_{li}	$\bar{\Delta X}_{li}$	σ_{li} , кН/см ²
0	32	30	46	39	1.6302
1	-99	31	-97	-98	-4.0964
2	-149	32	-142	-145.5	-6.0819
3	-168	33	-169	-168.5	-7.0433
4	-100	34	-99	-99.5	-4.1591
5	61	35	51	56	2.3408
10	-59	40	-59	-59	-2.4662
11	93	41	105	99	4.1382
12	115	42	159	137	5.7266
13	85	43	105	95	3.971
14	-62	44	-77	-69.5	-2.9051
15	-36	45	-284	-160	-6.688
16	66	46	77	71.5	2.9887
17	137	47	125	131	5.4758
18	124	48	123	123.5	5.1623
19	-53	49	-46	-49.5	-2.0691

Таблица 3 - Швеллер № 12 после правки

№	ΔX_{li}	№	ΔX_{li}	$\bar{\Delta X}_{li}$	σ_{li} , кН/см ²
0	53	30	49	51	2.1318
1	66	31	57	61.5	2.5707
2	97	32	66	81.5	3.4067
3	-37	33	-29	-33	-1.3794
4	-10	34	-8	-9	-0.3762
5	46	35	56	51	2.1318
10	27	40	25	26	1.0868
11	41	41	31	36	1.5048
12	98	42	101	99.5	4.1591
13	111	43	110	110.5	4.6189
14	34	44	49	41.5	1.7347
15	11	45	10	10.5	0.4389
16	21	46	26	23.5	0.9823
17	57	47	36	46.5	1.9437
18	19	48	26	22.5	0.9405
19	11	49	25	18	0.7524

Таблица 4 - Швеллер № 16 до правки

№	ΔX_{li}	№	ΔX_{li}	$\bar{\Delta X}_{li}$	σ_{li} , кН/см ²
0	68	30	76	72	3.0096
1	-96	31	-98	-97	-4.0546
2	-100	32	-168	-134	-5.6012
3	-98	33	-104	-101	-4.2218
4	-11	34	-41	-26	-1.0868
5	41	35	67	54	2.2572
10	-115	40	-76	-95.5	-3.9919
11	113	41	181	147	6.1446
12	204	42	156	180	7.524
13	101	43	163	132	5.5176
14	-72	44	-122	-97	-4.0546
16	101	46	93	97	4.0546
17	94	47	153	123.5	5.1623
18	64	48	98	81	3.3858

Таблица 5 - Швеллер № 16 после правки

№	ΔX_{li}	№	ΔX_{li}	$\bar{\Delta X}_{li}$	σ_{li} , кН/см ²
0	37	30	32	34.5	1.4421
1	-42	31	-56	-49	-2.0482
2	-49	32	-81	-65	-2.717
3	-170	33	-110	-140	-5.852
4	-58	34	-80	-69	-2.8842
5	-16	35	-61	-38.5	-1.6093
10	-40	40	-46	-43	-1.7974
11	65	41	95	80	3.344
12	70	42	118	94	3.9292
13	51	43	69	60	2.508
14	-84	44	-78	-81	-3.3858
16	56	46	12	34	1.4212
17	23	47	19	21	0.8778
18	13	48	43	28	1.1704

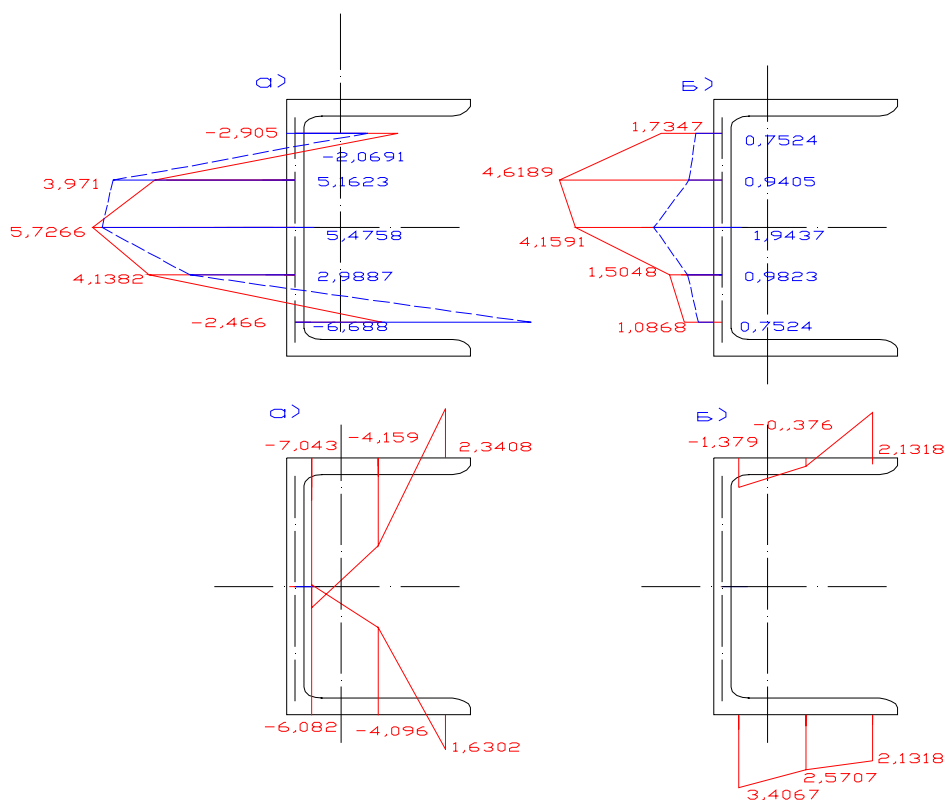


Рисунок 5 – Эпюры остаточных напряжений швеллера № 12 (кН/см²): а) до правки; б) после правки

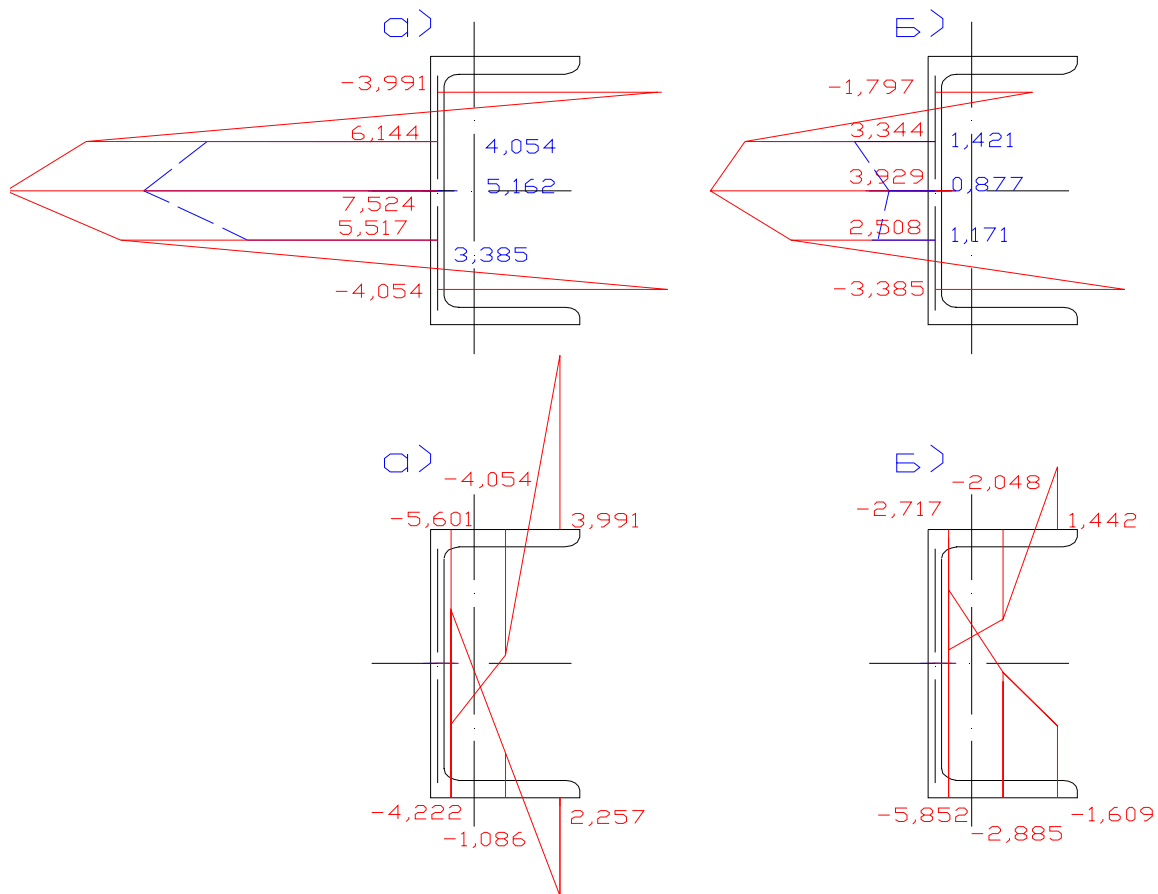


Рисунок 6 – Эпюры остаточных напряжений швеллера № 16 (кН/см²): а) до правки; б) после правки

Выводы и направления дальнейшей работы.

Проанализировав полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Остаточные напряжения существуют;
2. В обоих швеллерах наблюдается общая тенденция: при эксперименте полки швеллеров испытывают сжатие, а стенки – растяжение;
3. Остаточные напряжения меняются по величине и форме в результате правки, после правки швеллеров остаточные напряжения уменьшаются, но только там где происходит контакты с элементом правильной машины;
4. Необходимо продолжить исследование с точки зрения оценки механических свойств стали до- и после правки с учетом распределения напряжений вдоль проката;
5. Рассматривается возможность определения остаточных напряжений неразрушающим методом для учета их в работе конструкции.

Приведены результаты исследований остаточных напряжений в прокатных профилях после прокатки и правки.

Resulted results of researches of remaining tensions in rental types after rolling and correction.

Библиографический список.

1. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М: Металлургия, 1989. – 252 с.

2. Остаточные напряжения в заготовках и деталях крупных машин. Сборник статей под ред. канд. тех. Наук О.Н. Михайлова. Свердловск, НИИТЯЖМАШ Уралмашизавода, 1971.

3. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машизгиз, 1963. – 232 с.

4. А. с. 1682834 СССР, МКИ³ G 01 L 1/00. Способ определения остаточных напряжений / Ф.П. Смагленко, М.Г. Сторчак (СССР); № 4629082/10, заявлено 30.12.88; опубликовано 07.10.91. Бюл. № 37 – 2 с.

5. А. с. 1693404 СССР, МКИ³ G 01 L 1/00. Способ определения остаточных напряжений / А.И. Архипов, А.Б. Пряжников, Ю.Н. Темис, В.В. Чернавский (СССР); № 4689864/10, заявлено 16.05.89; опубликовано 23.11.91. Бюл. № 43 – 4 с.

*Рекомендовано к печати
д. т. н., проф. Луценко В.А.*