

УДК 624.072.002.2

## **Регулирование остаточного напряженного состояния в прокатных швеллерах**

**Иванова И. А.**

ООО «Укринсталкон им. В.Н. Шимановского», Украина

**Аннотация.** Изложены результаты исследований изменения остаточного напряженного состояния в сечениях швеллеров (поперек и вдоль испытываемых образцов) в зависимости от положения сварных швов.

**Анотація.** Викладено результати досліджень зміни залишкового напруженого стану в перетинах швелерів (упоперек і уздовж випробовуваних зразків) залежно від положення зварних швів.

**Abstract.** The results of researches of the residual stresses state change are expounded in the sections of channels (broadwise and along the tested specimens) depending on the position of the welds.

**Ключевые слова.** Швеллер, сварной шов, остаточные напряжения.

**Введение. Постановка проблемы.** В настоящее время накоплен большой научный потенциал, посвященный исследованиям возможных напряженно-деформированных состояний в твердых телах.

В нормативных документах (ДБН В.2.3-14:2006 [1]) приведено разграничение коэффициентов продольного изгиба для двутавровых элементов с остаточными напряжениями и без них, причем коэффициенты для одного и того же профиля могут отличаться до 15...17%.

Однако изменения, происходящие при распределении остаточных напряжений в элементах конструкций после применения локальных температурных воздействий (ЛТВ), остаются проблемными из-за недостаточной изученности [2, 3, 4, 5 и др.]. Для швеллеров таких исследований не проводилось, что позволило сделать вывод о необходимости проведения исследований в области определения остаточного напряженного состояния, возникающего в прокатных швеллерах после наплавки холостых валиков.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Проведенный анализ последних достижений и публикаций позволил сделать вывод о том, что изучение остаточных напряжений началось еще с середины XIX в. [5] с работ В. И. Родмана (1857 г.) и И. А. Умова (1871 г.).

В 1887 г. Н. В. Калакуцким впервые был разработан метод расчета остаточных напряжений. Систематические исследования остаточных

напряжений начали проводиться в 30-е годы XX столетия после появления сварки как основного вида соединений стальных конструкций. Толчком к их развитию послужила, с одной стороны, разработка расчетных методов определения остаточных напряжений в работах Н. Н. Давиденкова и Г. Закса [5], а с другой стороны – участившиеся случаи проявления остаточных напряжений при короблении и разрушении различных конструкций.

Большой вклад в изучение остаточного напряженного состояния, возникающего в элементах металлических конструкций после изготовления, и его влияния на работу конструкций внесли К. П. Большаков, В. Н. Васылев, В. А. Винокуров, А. И. Голоднов, А. Г. Григорьянц, В. С. Игнатьева, А. А. Казимиров, Б. С. Касаткин, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека, Г. А. Николаев, Н. О. Окерблом, Е. О. Патон и др. [2].

Как уже говорилось выше, по изученным материалам видно, что недостаточно внимания уделялось вопросам, связанным с распределением остаточных напряжений в элементах конструкций, особенно при изучении локальных температурных воздействий (ЛТВ). То что эти проблемы остаются мало изученными, свидетельствует о необходимости продолжения исследований в данном направлении для усовершенствования методов решений, чтобы сделать правильные выводы о несущей способности элементов конструкций и остаточном ресурсе всего сооружения.

В работе предлагается один из способов решения задачи о распределении остаточных напряжений в элементах конструкций швеллерного сечения, в частности, после регулирования ЛТВ.

**Цель работы.** Экспериментальное определение величины остаточных напряжений в элементах конструкций швеллерного сечения после регулирования ЛТВ.

**Основная часть.** Поставленная цель достигалась экспериментальным путем в лабораторных условиях. Определение остаточного напряженного состояния в элементах конструкций было выполнено разрушающим методом. Решение задачи в такой постановке выполнено впервые [2, 3 и др.].

Испытания проводились на образцах швеллерного сечения, которые отличались друг от друга местом расположения сварных холостых валиков, а именно:

- образец 1 – без наплавки холостых валиков (в состоянии поставки);

- образец 2 – наплавлены холостые валики на перьях;
- образец 3 – наплавлены холостые валики посередине полок;
- образец 4 – наплавлены холостые валики посередине стенки.

После наплавки валиков определение остаточных напряжений проводилось экспериментально разрушающим методом, сущность которого заключается в том, что при разрезке элемента в оставшихся частях освобождаются деформации обратного знака по отношению к остаточным.

Для регистрации получаемых при эксперименте изменений остаточных напряжений применялись тензодатчики, подключенные к информационной системе СИИТ-3.

Тензодатчики располагались на внешней стороне полок, а также на внешней и внутренней стороне стенок исследуемых образцов. Расположение датчиков на каждом образце было одинаковым.

Для получения полной картины распределения остаточных напряжений в исследуемых образцах были сделаны два реза – поперечный и продольный. Разрез испытываемых образцов проводился угловой шлифовальной машиной (круг для резки толщиной 1,2 мм). Схема расположения датчиков приведена на рис. 1.

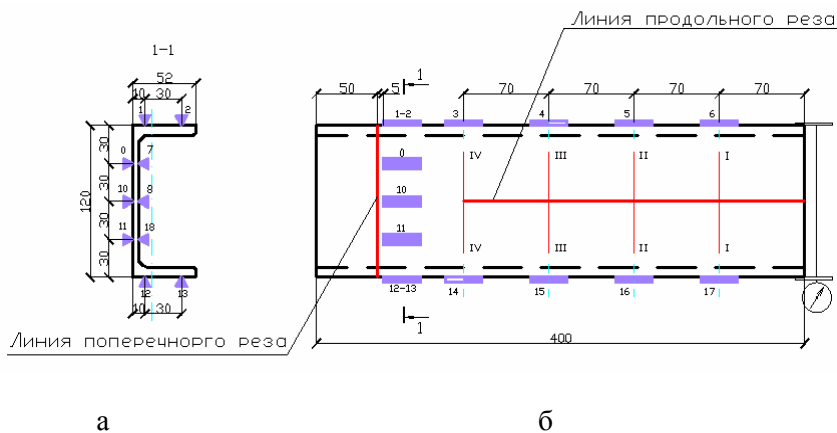


Рис. 1. Схема расположения датчиков на исследуемых образцах:  
а – расположение датчиков при поперечном резе;  
б – расположение датчиков при продольном резе

Первым выполнялся поперечный рез. Показания с прибора СИИТ снимались до начала реза и после его завершения. На рис. 2 – вид одного из образцов после поперечного реза.

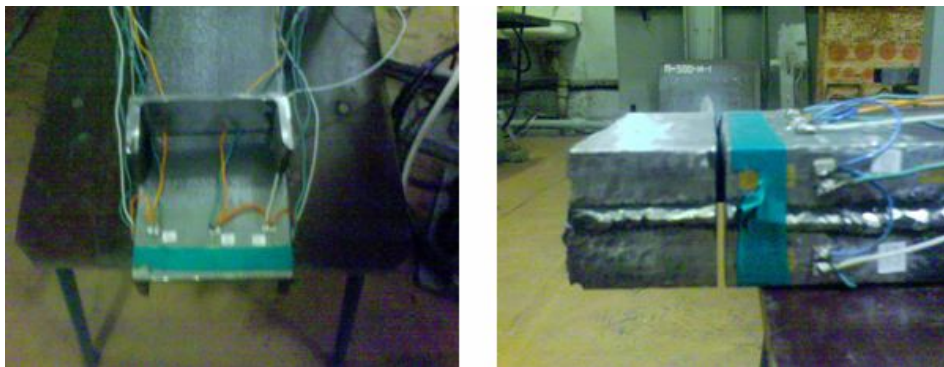


Рис. 2. Общий вид одного из образцов после поперечного реза

Полученные результаты были обработаны и на их основе построены эпюры остаточных напряжений, которые приведены на рис. 3.

Из приведенных эпюр остаточных напряжений видно, что в зависимости от места термического воздействия на элементы швеллера изменяется остаточное напряженное состояние. Наиболее существенные изменения остаточного напряженного состояния произошли после наплавки валика посередине стенки. Здесь изменился не только уровень напряжений, но и знак остаточных напряжений. Сжимающие напряжения в стенке швеллера в состоянии поставки оказались равными  $1,51 \text{ кН/см}^2$ , а при наплавке валика стали растягивающими и составили  $24,91 \text{ кН/см}^2$ . При наплавке валиков на полки швеллера также произошли изменения по уровню и по знаку напряжений. На одной полке растягивающие напряжения повысились с  $1,31 \text{ кН/см}^2$  (в состоянии поставки) до  $11,49 \text{ кН/см}^2$  (с валиками на полках), а на другой полке растягивающие напряжения были  $5,22 \text{ кН/см}^2$  (в состоянии поставки), а стали сжимающими величиной  $8,23 \text{ кН/см}^2$  (с валиками на полках).

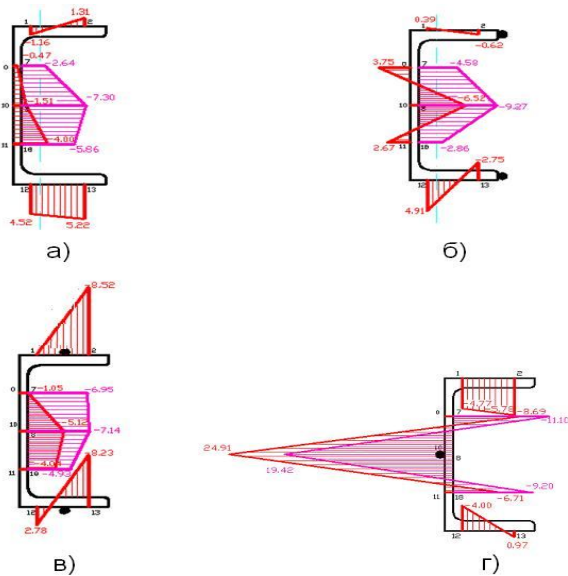


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений по сечению образцов с различным расположением валиков:  
а) без наплавки валиков (в состоянии поставки);  
б) с наплавкой валиков на перьях;  
в) с наплавкой валиков посередине полки;  
г) с наплавкой валиков посередине стенки

Затем был сделан продольный рез. До конца ни один из образцов не разрезался, потому что на противоположном краю (противоположный тому краю, с которого начинали делать продольный рез) располагался ряд датчиков.

В этом случае показания прибора также снимались перед началом реза и после разрезки каждой зоны (длина зон 70 мм, края этих зон совпадали с серединой датчиков), на которые условно был поделен образец (рис. 4а). При разрезке в начале каждой зоны замерялась ширина раскрытия краев реза. Такой подход позволил определить не только влияние расположения сварных швов в профиле на распределение остаточных напряжений по длине образца, но и на раскрытие краев реза. По полученным данным можно сделать вывод об изменении уровня и знака остаточных напряжений. Вид швеллера после продольного реза приведен на рис. 4б).

По результатам експеримента були побудовані графіки залежності розкриття країв реза і змінення рівня остаточної напруженості від місця наплавки валиків.

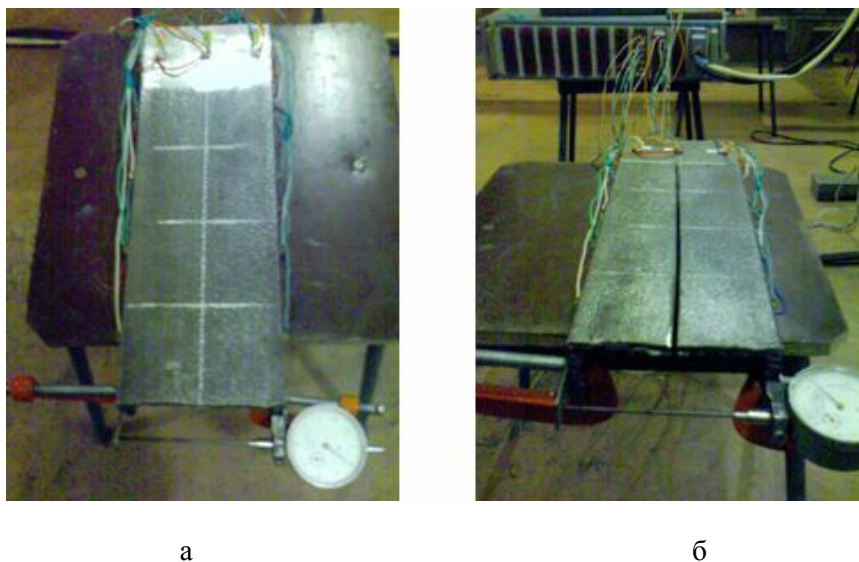


Рис. 4. Продольна розрезка швеллеров:  
а – вид образця до розрезки;  
б – вид образця после розрезки

Ширина розкриття країв реза во многом залежить від місця нанесення сварного шва на окремих елементах швеллера (перо, середина полки або стінки). При наплавці сварних швів краю реза розширилися на величину від 0,9 мм (образец в стані поставки) до 2,55 мм (образец з наплавленим валиком посередині полки). Змінення ширини розкриття країв реза і кінцевий рівень остаточної напруженості після продольного реза приведені на рисунках 5, 6 і в таблицях 1, 2.

На основі проведених експериментальних досліджень отримані дані про остаточно напружене стані швеллерів в стані поставки і після різних видів регулювання. Змінення остаточно напруженого стані досліджувалися як в продольному, так і в поперечному напрямках шляхом продольного і поперечного резов випробовуваних образців. Найбільш суттєві змінення спостерігалися при наплавці валиків посередині полки і посередині стінки. В разі с

наплавкой валиков посередине полки в ней появлялись растягивающие напряжения, а в случае с наплавкой валиков посередине стенки – сжимающие, при этом в стенке возникали растягивающие напряжения.

Таким образом, характер остаточного напряженного состояния после регулирования зависит от места наплавки валиков. В зоне сварных швов возникают остаточные растягивающие напряжения высокого уровня, соизмеримого с пределом текучести стали, которые существенно меняют характер суммарной эпюры остаточных напряжений.

В заключение можно отметить следующее. Особенность распределения остаточных напряжений по сечению, когда в зоне сварного шва возникают остаточные растягивающие напряжения высокого уровня, планируется использовать для повышения несущей способности сжатых элементов из швеллеров.

Таблица 1

**Ширина раскрытия краев при продольном разе у образцов с различными видами регулирования остаточного напряженного состояния, мм**

Образцы	Номера точек, в которых делаем замеры ширины				
	1	2	3	4	5
	0,9	0,6	0,4	0,3	0
	- 0,15	-0,05	-0,05	0,05	0
	2,55	1,25	0,7	0,3	0
	-1,85	-1,45	-0,75	0,15	0

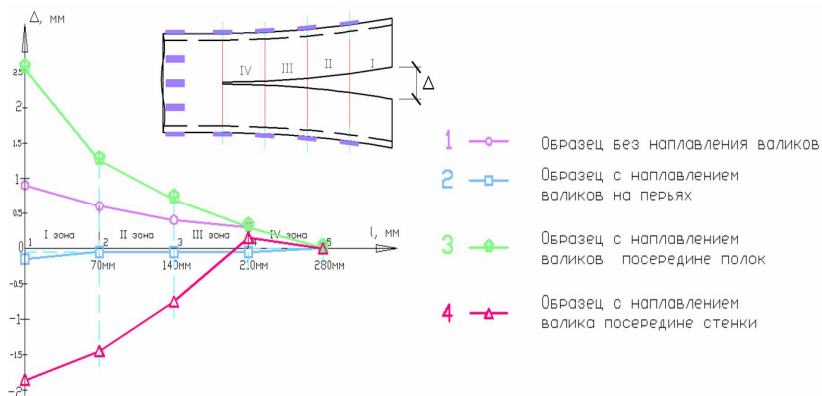


Рис. 5. График зависимости раскрытия краев реза от положения наплавки валиков:

$l$  – расстояние между точками, в которых измерялись остаточные напряжения при продольной разрезке;  $\Delta$  – ширина раскрытия краев реза без учета толщины режущего круга, мм

Таблица 2

**Изменения остаточных напряжений в зависимости от положения валиков при продольном резе образцов, кН/см<sup>2</sup>**

Образцы	Номера точек, в которых снимали отсчеты			
	2	3	4	5
	-1,489	-2,417	-2,94	-3,558
	0,387	0,541	0,561	1,624
	-6,094	-7,852	-8,084	-7,581
	9,244	10,521	11,449	12,726



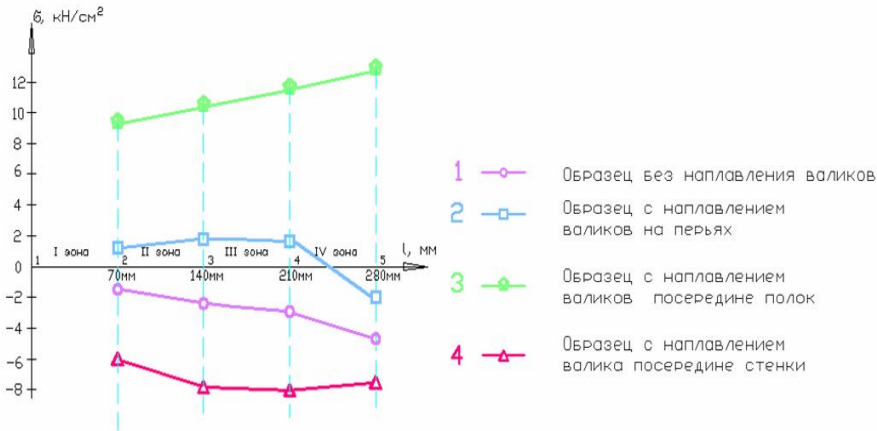


Рис. 6. Графік залежності зміни залишкових напружень по довжині профілю від положення валиків:

$l$  – відстань між точками, в яких знімалися показання з тензодатчиків с помощью інформаційної системи СІІТ-3;  $\sigma$  – залишкові напруження в досліджуваних профілях

В першу чергу, це стосується стиснутих елементів із швеллерів коробчатого сечення. Зварка двох продольних швів створює зони залишкових розтягуючих напружень по перьям і урівноважуючі їх зони залишкових розтягуючих і стискаючих напружень в рештній частині сечення. Зміна залишкового напруженого стану може статися і при приварці з'єднаних пластин в колоннах сквозного сечення.

## Висновки

1. Розроблена методика експериментальних досліджень залишкового напруженого стану, виникаючого в сеченні швеллера після різних видів регулювання (наплавки холостих валиків). Дослідження залишкового напруженого стану проводилися руйнівним методом шляхом розрізки експериментальних зразків з наклеєними тензодатчиками в продольному і поперечному напрямках. Після розрізки відбувалося звільнення елементів з залишковими напруженнями, що фіксувалося тензодатчиками і системою СІІТ-3.

2. Дослідження проводилися як в продольному, так і в поперечному напрямках, що дозволило встановити найбільш суттєві зміни залишкового напруженого стану, виникаючі після наплавки валиків в полках і посередині стінки.

3. Встановлено, що після наплавки валиків посередині полки в ній виникають залишкові розтягуючі напруження, а після наплавки

валиков посередине стенки – остаточные сжимающие. В стенке после такого вида регулювання виникають остаточные растягивающие напряжения.

4. Установлено, что в местах наплавки холостых валиков виникають остаточные растягивающие напряжения высокого уровня, соизмеримого с пределом текучести стали, которые существенно меняют характер суммарной эпюры напряжений. Подобное обстоятельство позволит выполнить такое регулювання остаточного напряженного состояния, которое будет способствовать повышению несущей способности сжатых элементов стальных конструкций, изготовленных из швеллеров.

### **Литература**

- [1] Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 359 с. – (Споруди транспорту. Державні будівельні норми)
- [2] Голоднов А. И. Регулювання остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. – К. : Сталь, 2008. – 150 с.
- [3] Голоднов А. И. Распределение остаточных напряжений в сечениях прокатных уголков при предварительном напряжении локальными термическими воздействиями / А. И. Голоднов, С. В. Козлов // Вісн. Придніпр. Держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ПДАБтаА, 2003. – № 10–11. – С. 37–41.
- [4] Биргер И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. – М. : Машгиз, 1963. – 232 с.
- [5] Давиденков Н. Н. Избранные труды : в 2 т. / Н. Н. Давиденков. – Т. 2. Механические свойства материалов и методы измерения деформаций. – К. : Наукова Думка, 1981. – 704с.

*Надійшла до редколегії 19.08.2011 р.*