

А. П. ИВАНОВ, В. В. ПСЮК (Донбасский государственный технический университет, Алчевск),  
И. А. ИВАНОВА (УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского, Киев)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ШВЕЛЛЕРАХ ПРИ НАНЕСЕНИИ СВАРНОГО ШВА

У статті розглянута зміна залишково-напруженого стану швелерів (упоперек та вздовж зразків, що випробовувались) у залежності від положення зварних швів.

*Ключові слова:* сталева конструкція, зварний шов, температура, остаточне напруження, швелер

В статье рассмотрено изменение остаточного-напряженного состояния швеллеров (поперек и вдоль испытываемых образцов), в зависимости от положения сварных швов.

*Ключевые слова:* стальная конструкция, сварной шов, температура, остаточное напряжение, швеллер

In the article the change of the remaining-tense state of channels (across and along the tested specimens) depending on position of the weld-fabricated guy-sutures is considered.

*Keywords:* steel construction, weld bead, temperature, residual stress, channel bar

Остаточные напряжения элементов строительных конструкций оказывают существенное влияние на их устойчивость и деформативность. Это влияние может носить неоднозначный характер, как снижать, так и повышать перечисленные параметры. В этом случае, актуальным становится вопрос об изучении распределения остаточных напряжений в сечениях элементов конструкций и их регулирование [1-4]. Одним из технологических процессов, оказывающих существенное влияние на появление в конструкциях и отдельных частях сооружений остаточного напряжённого состояния является сварка. При этом температурный цикл сварки, неоднородные структурные превращения в металле шва и в зонах термического влияния являются основными факторами, влияющими на величину остаточных напряжений в элементах строительных конструкций.

В настоящее время выполнено большое количество научных исследований, посвященных остаточному напряжённому состоянию стальных конструкций. Большой вклад в изучение остаточного напряженного состояния и его влияния на работу конструкций внесли: К. П. Большаков, В. Н. Васильев, В. А. Винокуров, А. И. Голоднов; А. Г. Григорянц, В. С. Игнатъева, А. А. Казимиров, Б. С. Касаткин, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека, Г. А. Николаев, Н. О. Окерблом, Е. О. Патон и др.

В некоторых нормативных документах даны рекомендации по учёту остаточных напряжений при расчёте конструктивных элементов.

Так в ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування» [5] приведено разграничение коэффициентов продольного изгиба для двутавровых элементов с остаточными напряжениями и без них, которые могут отличаться до 15...17 %.

Работ, посвящённых исследованию остаточных напряжений в швеллерах и их влиянию на устойчивость не так много. Учитывая, что данный профиль часто используется для производства сварных металлических конструкций, данные исследования являются актуальными.

В данной работе рассмотрено влияние различного положения сварных швов в швеллерах на распределение остаточных напряжений по их сечению.

В качестве образцов приняты швеллеры № 12. Исследуемые образцы отличались друг от друга местом расположения сварных холостых валиков. Схема их расположения приведена на рис. 1.

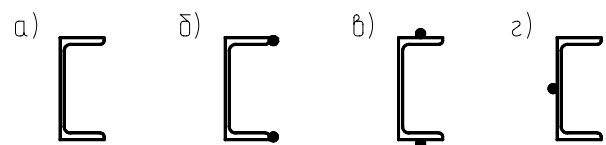


Рис. 1. Схема расположения наплавки сварных холостых валиков на швеллерах:

- а) – без наплавки валиков; б) – на перьях профиля;  
в) – посередине полки профиля; г) – по середине стенки профиля.

Для определения остаточного напряжённо-деформированного состояния использовался

разрушающий метод. Сущность данного метода заключается в разрезке элемента конструкции для освобождения связей, препятствующих свободному перемещению фрагментов.

Регистрация деформаций при определении остаточных напряжений определялась с помощью тензометрической системы СИИТ-3, состоящей из блока дистанционного релейного переключения (БДРП), измерительного блока (БИ) и блока печати (БП). Схема подключения приведена на рис. 2, где  $R_{Ai}$  – активные тензометрические датчики, расположенные на исследуемых прокатных профилях,  $R_K$  – компенсационный датчик, установленный за пределами исследуемых прокатных профилей, но на таком же материале.

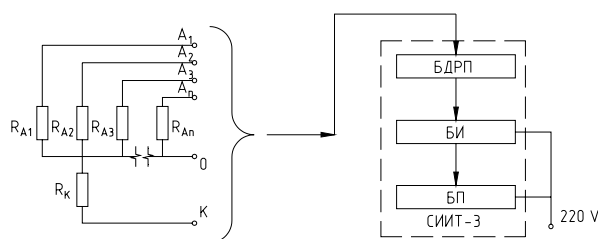


Рис.2. Схема подключения тензометрической системы СИИТ-3.

Тензодатчики располагались на внешней стороне полок, а также на внешней и внутренней стороне стенок исследуемых образцов. Расположение датчиков на каждом образце было одинаковым и приведено на рис.3.

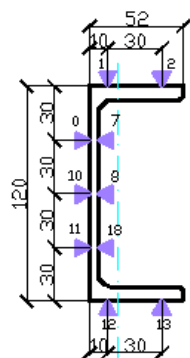


Рис.3. Расположение датчиков на исследуемых образцах.

Разрез испытываемых образцов проводился угловой шлифовальной машиной (круг для резки толщиной 1,2 мм). До и после реза образцов снимались показания деформаций с помощью тензометрической системы СИИТ-3. На рис. 4 приведен швеллер после поперечного реза.

Результаты распределения остаточных напряжений по сечениям образцов в зависимости от места нанесения сварных холостых валиков

на швеллерах приведено в табл. 1. На основе полученных результатов были построены эпюры остаточных напряжений приведенные на рис. 5.

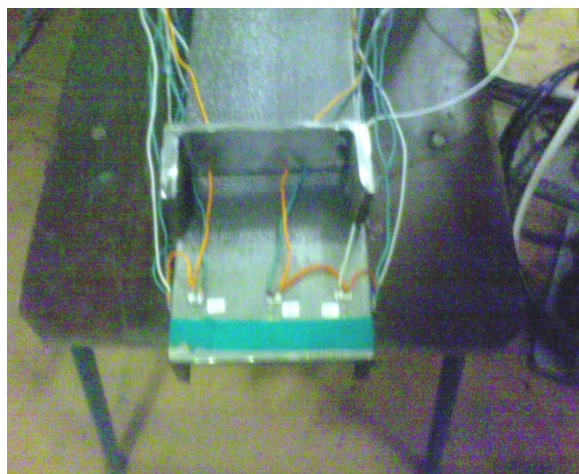


Рис. 4. Общий вид швеллера после поперечного реза.

Таблица 1

Распределение остаточных напряжений в сечениях образцов

Место определения остаточных напряжений	Средняя величина остаточных напряжений в зависимости от положения сварных швов, кН/см <sup>2</sup>			
Перо	2,50	-2,97	5,95	1,80
Обушок	-4,20	4,95	-2,47	-4,70
Стенка у обушка	-4,20	4,21	-3,19	-10,2
Средняя часть стенки	-7,30	-9,27	-7,14	24,91

Анализируя полученные результаты, распределения остаточных напряжений по сечению исследуемых образцов, следует отметить изменение в них остаточно-напряженного состояния в зависимости от места приложения температурного воздействия. Наиболее существенные изменения остаточно-напряженного состояния получены при наплавление валика в средней части стенки, при этом изменился не только уровень напряжений, но и знак воздействия. Сжимающие напряжения в стенке швеллера без сварных швов, равные 7,3 кН/см<sup>2</sup>, при наплавлении валика становятся растягивающими и составляют 24,91 кН/см<sup>2</sup>. В ситуации при наплавлении валиков на полки швеллера также

произошли изменения по уровню и по знаку напряжений.

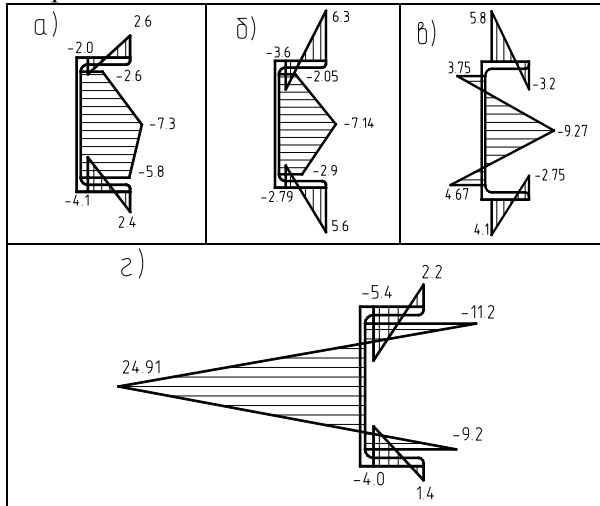


Рис. 5. Распределение остаточных напряжений по сечению образцов с различным положением наплавки валиков:

- а) – без наплавки валиков; б) – с наплавкой валиков на перьях; в) – с наплавкой валиков посередине полки; г) – с наплавкой валиков посередине стенки

Для получения более полной картины распределения остаточных напряжений в испытуемых образцах выполнялись продольныерезы по стенке швеллеров.

Резка испытуемых образцов выполнялась с одной стороны. На противоположной стороне располагался ряд датчиков для оценки остаточного напряжённого состояния. Показания деформаций снимались с помощью тензоцентрической системы СИИТ-3 перед началом реза, и после разрезания каждой зоны (длина зон 70 мм, края этих зон совпадали с осью установки датчиков), на которые условно был поделен образец. Схема продольной резки швеллеров приведена на рис.6.

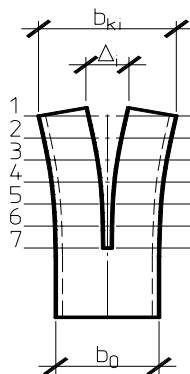


Рис. 6. Схема продольной резки швеллеров:  
1-7 – границы зон реза;  $b_0$  – высота полки швеллера в целом сечении;  $\Delta i$  – ширина раскрытия краёв реза;  $b_{ki}$  – высота полки швеллера после реза

При разрезе в начале каждой зоны замерялась ширина раскрытия краев реза. Данная программа проведения эксперимента позволила определить не только влияние различного положения сварных швов на распределение остаточных напряжений по длине образца, но и на раскрытие краев реза, по которым можно делать вывод об изменении уровня остаточных напряжений. Вид швеллера после продольного реза приведен на рис. 7.

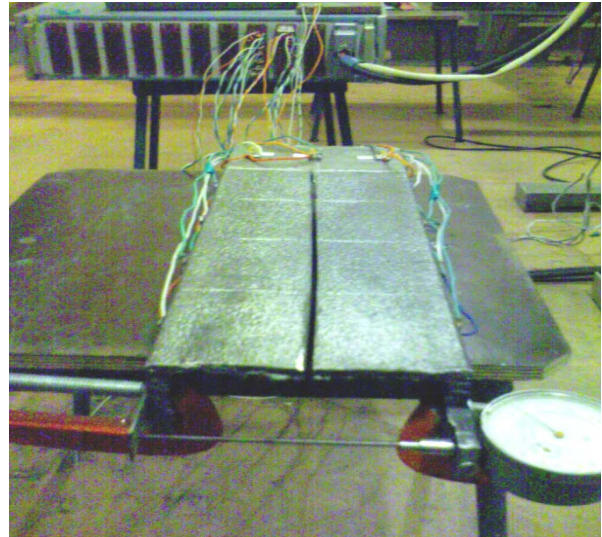


Рис. 7. Общий вид швеллера после продольного реза

Ширина раскрытия краев реза во многом зависит от места нанесения сварного шва на отдельных элементах швеллера (перо, середина полки или стенки). Края реза расходились на величину от 0,9 мм для образцов без наплавления валиков и до 2,55 мм для образцов с наплавленным валиком посередине полки. Изменения ширины раскрытия краев реза и конечный уровень остаточных напряжений после продольного реза приведены в табл. 2 и 3.

В работе представлены результаты исследования изменения остаточно-напряжённого состояния прокатных швеллеров в зависимости от различного положения сварных швов.

Наиболее существенные изменения наблюдаются при наплавке швов на середину полки и шва на середину стенки. В случае с наплавкой швов на середину полки в ней развиваются растягивающие напряжения, а в случае с наплавкой шва на середину стенки – сжимающие, а в стенке – растягивающие.

В месте нанесения валика сварных швов образуются большие растягивающие напряжения, которые значительно меняют характер распределения напряжённого состояния по сечению суммарной эпюры напряжений.

Таблица 2

**Ширина раскрытия краев реза (при продольном разрезе) швеллеров с локальными температурными воздействиями (ЛТВ)**









Образцы	Ширина раскрытия краев реза $\Delta i$ в точках замера ширины, мм				
	1	2	3	4	5
	0,90	0,60	0,40	0,30	0
	-0,15	-0,05	-0,05	0,05	0
	2,55	1,25	0,70	0,3	0
	-1,85	-1,45	-0,75	0,15	0

Таблица 3

**Величина остаточных напряжений в сечениях швеллеров в зависимости от положения сварных швов при продольном разрезе**

Образцы	Величина остаточных напряжений в точках снятия отсчётов, кН/см <sup>2</sup>			
	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

В дальнейшем эту особенность распределения остаточных напряжений, полученной при нанесении валиков сварных швов в различных местах по сечению горячекатаного швеллера, планируется проверить на работе конструктивных элементов (сквозные колонны, сваренные из двух швеллеров полками наружу с нанесенными на них сварными швами, таким образом, как рассмотрено в данной работе) при центральном и внецентренном сжатии. Это позволит определить возможность повышения несущей способности элементов конструкций за счет регулирования их остаточно-напряженного состояния с использованием локального термического воздействия.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Голоднов, А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках [Текст] / А. И. Голоднов. – К.: Сталь, 2008. – 150 с.
2. Козлов, С. В. Повышение устойчивости сжатых элементов ферм из уголкового профиля локальными термическими воздействиями [Текст]: Дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01. – К., 2004. – 168 с.
3. Биргер, И. А. Остаточные напряжения [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
4. Давиденков, Н. Н. Избранные труды [Текст] в 2 т. Т. 2. Механические свойства материалов и методы измерения деформаций / Н. Н. Давиденков. – К.: Наукова Думка, 1981. – 704 с.
5. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Введ. 2007-02-01. – К.: Мінбуд архітект. та жи-тлово-комун. госп-ва, 2006. – 217 с.

Поступила в редколлегию 03.05.2011.

Принята к печати 16.05.2011.