

*к.т.н. Иванов А.П.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),  
Иванова И.А.  
(УкрНИИПСК, г. Киев, Украина)*

### **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ПРОКАТНЫХ ШВЕЛЛЕРАХ ПОСЛЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

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

***Ключові слова:** швелер, зварний шов, напружено-деформований стан.*

*В статье рассматриваются изменения остаточного напряженного состояния швеллеров (поперек и вдоль испытываемых образцов), в зависимости от положения сварных швов.*

***Ключевые слова:** швеллер, сварной шов, напряженно-деформированное состояние.*

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 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування») уже 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%.

Изучение остаточных напряжений началось с исследований В.И. Родмана (1857 г.) и И.А. Умова (1871 г.), хотя с ними уже сталкивались очень давно. За рубежом научные исследования остаточных напряжений были начаты с работ Гейна.

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. Толчком к их развитию послужила, с одной стороны, разработка расчетных методов определения остаточных напряжений в работах Н.Н. Давиденкова и Г. Закса, а

с другой стороны - участвовавшие случаи проявления остаточных напряжений при короблении и разрушении различных конструкций.

Большой вклад в изучение остаточного напряженного состояния, возникающего в элементах металлических конструкций после изготовления, 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].

Актуальность предложенной работы заключается в потребности дальнейшего изучения остаточного напряженного состояния, возникающего в элементах металлических конструкций, после его изготовления и в зависимости от метода, способа изготовления, вида конструкции и дальнейшего влияния их на работу конструкции в целом.

К одному из этих наиболее проблемных вопросов при проведении исследований в области определения остаточных напряжений, можно отнести вопросы, возникающие с образованием остаточных напряжений в них, от наплавки холостых валиков (сварных швов).

В основу задачи при проведении исследований положено рассмотрение и изучение остаточного деформированного состояния в швеллерах, полученного сваркой, влияния различного положения сварных швов на распределение остаточных напряжений по их сечению, что позволит по новому подойти к решению поставленной задачи и усовершенствовать методику расчета.

Цель данной работы заключается в усовершенствовании методики расчета при изучении остаточного деформированного состояния, но уже в швеллерах, полученного сваркой, влияния различного положения сварных швов на распределение остаточных напряжений по их сечению.

Достигалась поставленная цель использованием образцов отличающихся друг от друга местом расположения валиков сварных швов по сечению, а именно:

- образец 1 – без наплавки валиков;
- образец 2 – наплавлены валики на перьях профиля;
- образец 3 – наплавлены валики посередине полки профиля;
- образец 4 – наплавлены валики по середине стенки профиля;

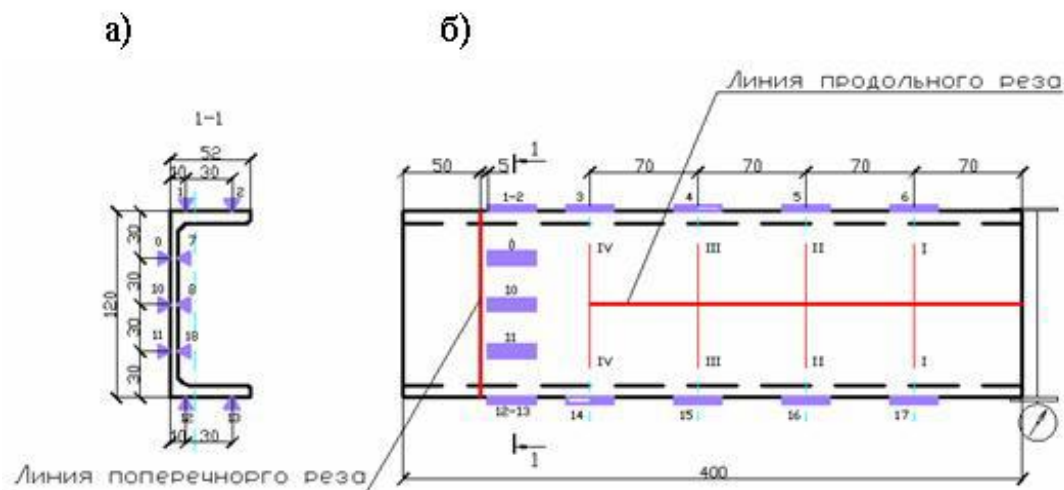
После наплавки валиков определение остаточных напряжений проводилось экспериментально разрушающим методом.

Основной его принцип заключается в том что, при разрезке элемента в оставшихся частях освобождаются деформации обратного знака к остаточным.

Для регистрации получаемых при эксперименте изменений остаточных напряжений применялась система 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 более 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 1.2мм). Схема расположения датчиков приведена на рисунке 1.



- а) расположение датчиков для поперечного реза;
- б) расположение датчиков для продольного реза;

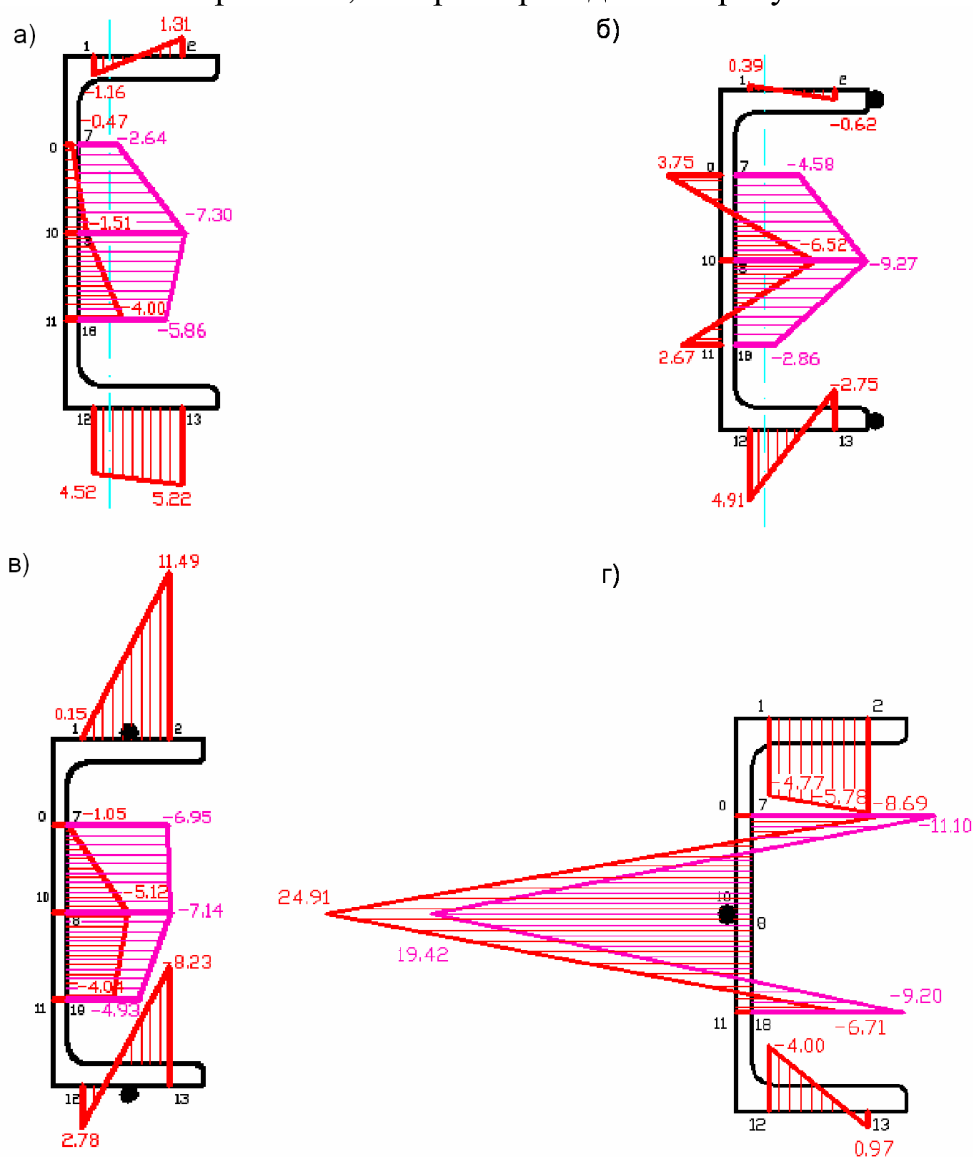
Рисунок 1 – Схема расположения датчиков на исследуемых образцах.

Первым делался поперечный рез. Показания с прибора СИИТ снимались до начала реза и после его завершения. На рисунке 2 приведен швеллер после поперечного реза.



Рисунок 2 – Общий вид швеллера после поперечного реза.

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



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

Рисунок 3 – Распределение остаточных напряжений по сечению образцов с различным положением наплавки валиков.

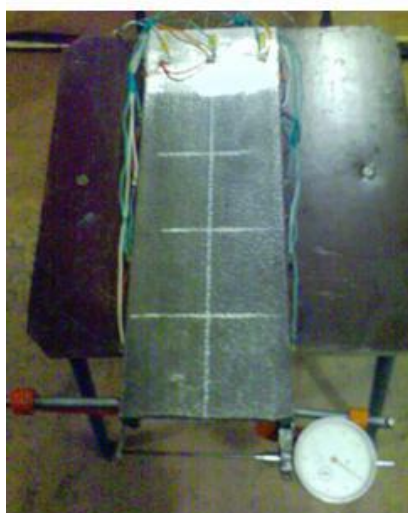
Из приведенных эпюр распределения остаточных напряжений по сечению видно, что в зависимости от места термического воздействия на элементы швеллера изменяется их остаточно-напряженное состояние. Наиболее существенные изменения остаточно-напряженного со-

стояния произошли при наплавление валика на середину стенки. Здесь изменился не только уровень напряжений, но и знак воздействия. Сжимающие напряжения в швеллере без сварных швов, равные  $1,51 \text{ кН/см}^2$ , при наплавлении валика становятся растягивающими и составляют  $24,91 \text{ кН/см}^2$ . В ситуации при наплавлении валиков на полки швеллера также произошли изменения по уровню и по знаку напряжений. На одной полке растягивающие напряжения повысились с  $1,31 \text{ кН/см}^2$  (профиль без валиков) до  $11,49 \text{ кН/см}^2$  (профиль с валиками на полках), а на другой полке растягивающие напряжения равные  $5,22 \text{ кН/см}^2$  (профиль без валиков) стали сжимающими –  $8,23 \text{ кН/см}^2$  (профиль с валиками на полках).

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

В этом случае показания прибора так же снимались и перед началом реза, и после разрезания каждой зоны (длина зон 70мм, края этих зон совпадали с серединой датчиков), на которые условно был поделен образец (рисунок 4а). При разрезе в начале каждой зоны замерялась ширина раскрытия краев реза. Такая программа 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 рисунке 4б.

а)



б)




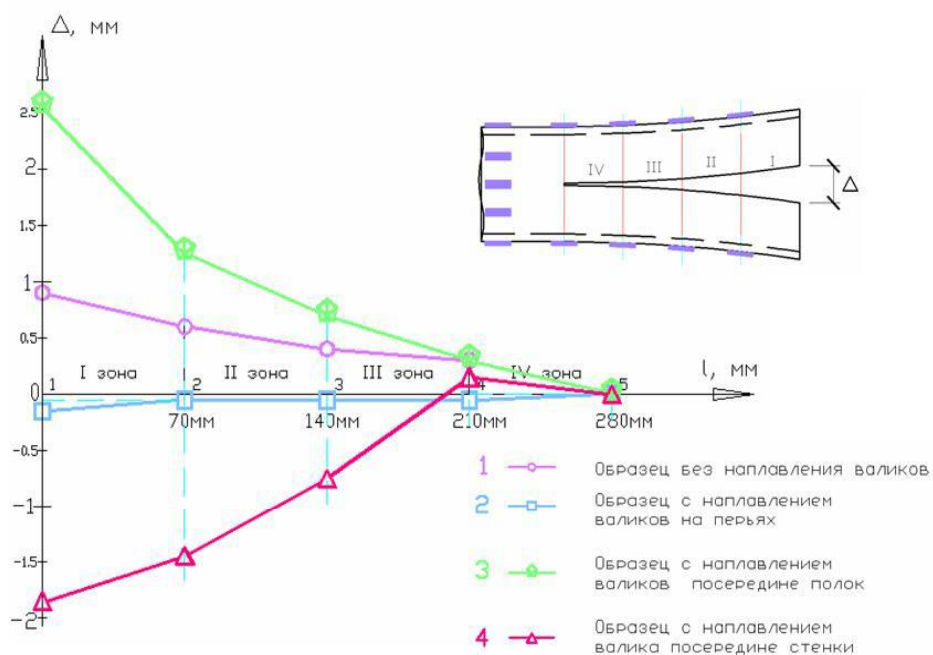
Рисунок 4 – Продольный разрез швеллеров

По результатам эксперимента были построены графики зависимости раскрытия краев реза и изменение уровня остаточных напряжений от места наплавления сварных швов.

Ширина раскрытия краев реза во многом зависит от места нанесения сварного шва на отдельных элементах швеллера (перо, середина полки или стенки). При наплавке сварных швов края реза расходились на величину от 0,9мм (образец без наплавления валиков) до 2,55мм (образец с наплавленным валиком посередине полки). Изменения ширины раскрытия краев реза и конечный уровень остаточных напряжений после продольного реза приведены на рисунках 5, 6 и в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Ширина раскрытия краев реза (при продольном разрезе) швеллеров с локальными температурными воздействиями (ЛТВ) в различных местах, 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



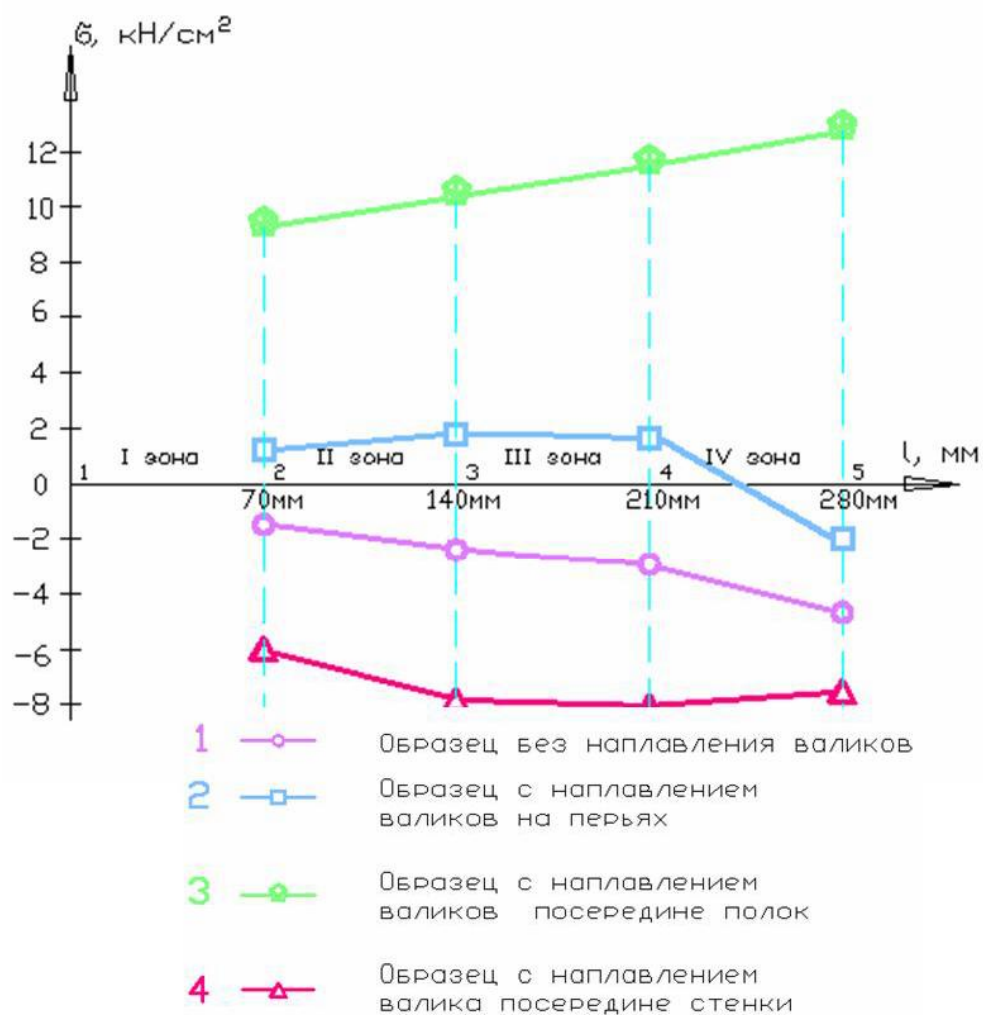
$l$  – расстояние между точками, в которых измерялись остаточные напряжения при продольном разрезе;

$\Delta$  – ширина раскрытия краев реза (без учета толщины режущего круга), мм.

Рисунок 5 – График зависимости раскрытия краев реза от положения наплавки валиков

Таблица 2 – Изменения остаточных напряжений в зависимости от положения сварных швов при продольном разрезе швеллеров, 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



$l$  – расстояние между точками, в которых снимались показания с тензометрического прибора СИИТ-3

$\sigma$  – остаточные напряжения в исследуемых профилях

Рисунок 6 – График зависимости изменения остаточных напряжений по длине профиля от положения наплавки валиков.

В данной работе представлены результаты исследования изменений остаточно-напряженного состояния швеллеров. Изменения связаны с различным положением сварных швов и исследовались как в продольном, так и в поперечном направлении испытываемых образцов. 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.



### **Выводы.**

1. В местах нанесения сварных швов образуются большие растягивающие напряжения, которые значительно меняют характер суммарной эпюры напряжений.

2. В дальнейшем полученные результаты будут использованы в исследовании работы сварных, сквозных колоннах, составленных из горячекатаных швеллеров при действии центральной и внецентренно сжатой нагрузке.

Это позволит определить, возможно, ли повышение несущей способности элементов конструкций за счет изменения их остаточно-напряженного состояния путем локального термического воздействия в различных местах составных сечений конструкций и уточнить методику расчета.

### **Библиографический список.**

1. Голоднов А.И. *Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках.* / А.И. Голоднов. – К.: Сталь, 2008. – 150с.

2. Козлов С.В. *Повышение устойчивости сжатых элементов ферм из уголковых профилей локальными термическими воздействиями: Диссертация канд. тех. наук: 05.23.01.* – К., 2004. – 168с.

3. Биргер И.А. *Остаточные напряжения.* / И.А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232с.

4. Давиденков Н.Н. *Избранные труды. В 2-х т. Т.2. Механические свойства материалов и методы измерения деформаций.* - К.: Наукова Думка, 1981. – 704с.

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