

*Усенко М.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛЕГКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ОТКРЫТОГО СЕЧЕНИЯ

Описано методика, проведені експериментальні дослідження та отримані результати визначення залишкового напруженого стану в гнутих профілях відкритого перерізу.

***Ключові слова:** холодногнутий швелер, залишковий напружений стан, тензометричні вимірювання.*

Описана методика, проведені експериментальні дослідження і отримані результати визначення остаточного напруженого стану в гнутих профілях відкритого сечення.

***Ключевые слова:** холодногнутой швеллер, остаточное напруженное состояние, тензометрические измерения.*

В настоящее время разработаны общие принципы расчета строительных тонкостенных конструкций, которые основаны на последних достижениях строительной механики. Эти принципы положены в основу проектирования рациональных тонкостенных элементов, которые широко применяются в промышленном и гражданском строительстве. К таким элементам относятся оболочки, пластинки и тонкостенные стержни. Тонкостенные стержни открытого профиля представляют собой эффективную конструктивную форму, которая совмещает высокую прочность и жесткость с малым весом.

При изготовлении стальных конструкций в результате выполнения операций, связанных с изменением формы изделия – гнутья, прокатывания, профилизации и т. д. неизбежно возникает остаточное напруженное состояние (ОНС) [1].

Анализ исследований и публикаций. Вопросами изучения влияния ОНС в элементах металлических конструкций после изготовления, на их несущую способность, занимались отечественные и зарубежные ученые. Считается, что изучение их начато Родманом В.И. в 1857 г. и Умовым И.А. в 1871 г., а Калауцким Н.В. в 1887 г. были начаты систематические исследования остаточных напружений и впервые разработан метод их расчета. Большой вклад в исследование остаточных на-

пряжений был внесен в 1930-е годы Давиденковым Н.Н. и Заксом Г. [2, 3] В настоящее время вопросами изучения величин и распределения остаточных напряжений занимаются Голоднов А.И., Иванов А.П., Козлов С.В., Астахов И.В., а также ряд других специалистов в этой отрасли.

Характер распределения деформаций и напряжений, возникающих в элементах после изготовления, лучше всего изучать экспериментально. По результатам правильно поставленного эксперимента можно судить о степени влияния того или иного явления на процесс развития деформаций и напряжений, приемлемости различных гипотез и упрощений, используемых в расчетных методиках, справедливости существующих и т. д. В некоторых случаях исследования остаточных деформаций и напряжений сложных конструкций экспериментальный метод является единственно возможным в виду сложности расчета.

Цель работы – выявить особенности распределения остаточных напряжений в легких металлических конструкциях из гнутых профилей открытого сечения.

Изложение материала и его результаты. В качестве экспериментальных образцов использовались 6 холодногнутых швеллеров 100×50×3 мм по ГОСТ 8278-83 «Швеллеры стальные гнутые равнополочные», изготовленные на ОАО «Запорожсталь». При проведении экспериментальных исследований (поперечный распил швеллера длиной $L = 250$ мм) определялись остаточные напряжения в сечении данного швеллера в состоянии поставки.

На основе анализа существующих методик определения остаточных напряжений в металлических конструкциях был выбран метод измерения деформаций через разрушение путем освобождения элементов конструкций с остаточными напряжениями после разрыва связей, позволяющий производить роспуск швеллера (разрезание ножовкой) без значительных выделений тепла.

Подготовка и проведение испытаний включали в себя следующие этапы:

- разметка, зачистка, обезжиривание и грунтовка мест наклейки тензодатчиков;
- группировка и наклейка тензодатчиков выполнялась согласно инструкции для принятых типов датчиков клеем БФ-2 в местах определения деформаций на подготовленную поверхность;
- подключение тензодатчиков к регистрирующей аппаратуре и съем начальных результатов. В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась система информационно-измерительная тензометрическая – СИИТ-3;
- поперечная разрезка участка швеллера, позволяющая освободить элементы с остаточными напряжениями в пределах одного накле-

енного тензодатчика и снятие показаний в процессе и после распиловки. Процесс разрезки образца показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Процесс разрезки образца

После каждого этапа производилась выдержка продолжительностью 15-20 минут, а затем брались отсчеты по всем тензодатчикам исследуемого образца. Окончательный съем показаний проводился после полной распиловки швеллера и выдержки в течение 24 часов [4]. Схема наклейки тензодатчиков показана на рисунке 2.

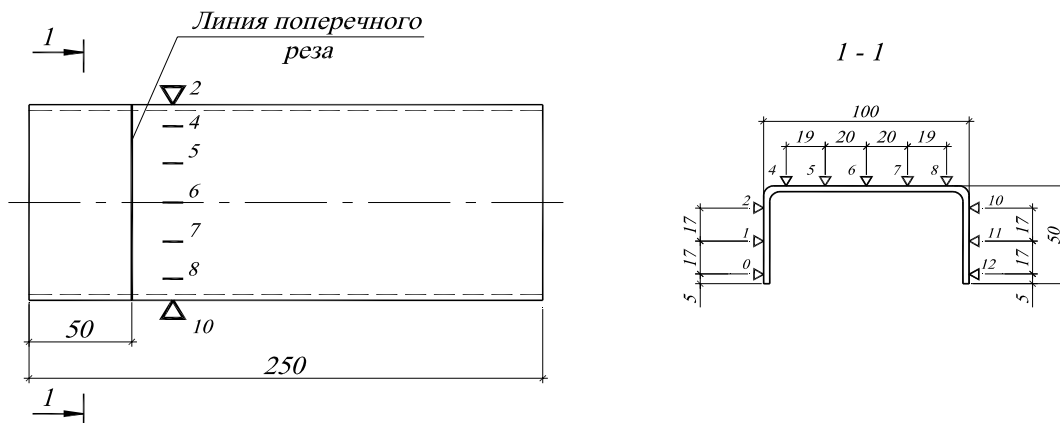


Рисунок 2 – Схема наклейки тензодатчиков при проведении эксперимента

Полученные в ходе проведения эксперимента данные (приращение деформаций) были переведены в напряжения путем умножения на коэффициент тензочувствительности, величина которого была определена экспериментально путем тарировки тензодатчиков на консольной тарировочной балке с переменным сечением, загруженной силой на свободном конце. Характерные эпюры остаточных напряжений в некоторых образцах в состоянии поставки представлены на рисунке 3.

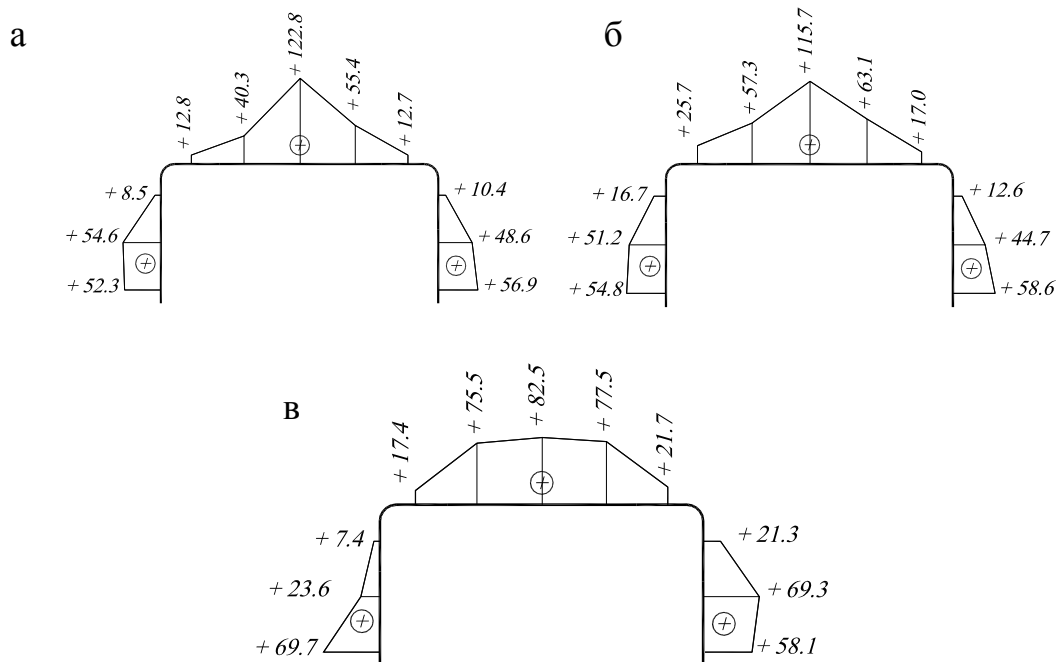


Рисунок 3 – Эпюры остаточных напряжений в испытуемых образцах в состоянии поставки (а – напряжения в образце ГШ 1.1, МПа; б – то же в ГШ 1.2; в – то же в ГШ 1.3)

Как видно из этого рисунка, в сечениях швеллеров после гнутья и правки возникает сложное напряженно-деформированное состояние.

Корреляционная связь находится с помощью статистического анализа экспериментальных данных сопоставляемых параметров для 6 швеллеров. Результаты, полученные с помощью регистрирующей аппаратуры СИИТ-3, обрабатывались по нижеприведенной методике расчета.

1. Определялось среднее значение измеряемых параметров

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}$ – среднее значение напряжений, n – количество точек, в которых производилось определение напряжений в образце.

2. Определялось среднеквадратичное отклонение найденных параметров

$$X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n-1}}. \quad (2)$$

3. Вычислялся коэффициент вариации

$$k_X = \frac{X}{\bar{\sigma}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Обобщение результатов вычислений приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Обобщение полученных результатов

Положение тензодатчиков	Среднее напряжение МПа	на- $\bar{\sigma}$,	Средне- квадратичное отклонение σ_σ , МПа	Коэффициент вариации k_σ , %
Полка перо (датчики 0; 12)	53.9		12.73	23.6
Полка обушок (датчики 2; 10)	14.85		1.95	13.13
Стенка обушок (датчики 4; 8)	17.8		5.08	28.4
Стенка середина (датчики 5; 7)	62.55		14.36	22.96

Выводы.

1. Метод измерения деформаций путем освобождения элементов конструкций с остаточными напряжениями после разрыва связей (распиловки образцов) позволяет определить наличие значительных напряжений во всех элементах швеллера.

2. Гнутые металлические профили открытого сечения в исходном состоянии имеют неравномерную линейно-кусочную эпюру остаточных напряжений со средними значениями 17–62 МПа.

3. Большие значения коэффициента вариации остаточных напряжений для исследованных металлических швеллеров свидетельствует о необходимости обоснования и применения достоверных методов контроля этих напряжений.

Библиографический список

1. Давиденков Н.Н. *Механические свойства материалов и методы измерения деформаций* / Н.Н. Давиденков. – К.: Наук. думка, 1981. – 656 с. – (Избранные труды в 2-х т., т. 2).

2. Абрамов В. В. *Остаточные напряжения и деформации в металлах*. / В.В. Абрамов. – М.: Машгиз, 1963. – 356 с.

3. *Сварные строительные конструкции* / [В. Н. Шимановский, Э. Ф. Гарф, В. А. Пермяков и др.]; под ред. Л. М. Лобанова. – К.: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. – 680 с. (Типы конструкций, т. 2).

4. Касаткин Б.С. *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: [справ. пособие]*. / Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л.М. Лобанов. – К.: Наук. думка, 1981. – 583 с.

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