

УДК 624.014.2 + 624.046.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КВАДРАТНЫХ ТРУБ ПОСЛЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КВАДРАТНИХ ТРУБ ПІСЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУГ**

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STABILITY COMPRESSED ELEMENTS OF SQUARE TUBES AFTER ADJUSTMENT RESIDUAL STRESS**

**Псюк В.В., к.т.н., доц., Голоднов А.И., д.т.н., проф., Никишина И.А., аспирант (Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск)**

**Псюк В.В., к.т.н., доц., Голоднов О.І., д.т.н., проф. Нікішина І.О., аспірант (Донбаський державний технічний університет, м. Алчевськ)**

**Psuk V.V., candidate of engineering sciences, associate professor, Golodnov A.I., doctor of technical sciences, professor, Nikishina I.A., postgraduate (Donbass State Technical University, Alchevsk)**

**В статье приведена методика проведения экспериментальных исследований и результаты определения несущей способности элементов из труб квадратного сечения.**

**У статті наведено методику проведення експериментальних досліджень і отримані результати визначення несучої здатності елементів із труб квадратного перетину.**

**The article describes a method for experimental studies and the results obtained determine the bearing capacity of elements are brought from of square tubes.**

**Ключевые слова:**

Устойчивость, остаточные напряжения, квадратная труба.

Стійкість, залишкові напруження, квадратна труба.

Stability, residual stresses, square tube.

**Состояние вопроса и задачи исследования.** Снижение материалоемкости конструкций и сооружений является важным направлением совершенствования ресурсосберегающих технологий в строительстве. Широкое распространение и использование в мировой инженерной практике получили тонкостенные конструкции. Такие конструкции экономичны, обладают технологическими преимуществами в изготовлении и при использовании. Одной из разновидностей тонкостенных конструкций являются холодноформованные профили, использование которых позволяет создавать конструкции, близкие к оптимальным по весу.

Устойчивость конструкции, в которой использована профильная прямоугольная труба, зависит от толщины стенки профиля [1]. Исчерпание несущей способности может происходить из-за наступления в процессе нагружения потери местной устойчивости, которая может предшествовать потере общей (пространственной) устойчивости. Изготовление стальных конструкций с использованием существующих технологических процессов (прокатка, резка, сварка) связано с возникновением остаточных напряжений (ОН) в сечениях их элементов.

Отдельным перспективным направлением является формирование заданного ОНС элементов конструкций, которое позволит повысить несущую способность элементов без увеличения площади их сечения как при изготовлении новых конструкций, так и при ремонте и реконструкции.

Известно, что регулирование ОНС ЛТВ наплавкой валиков или прогрева кромок до температуры выше критической точки  $A_{C3}$ , позволяет создать зоны остаточных растягивающих напряжений (ОРН) на участках элементов. При последующем сжатии эти зоны способствуют повышению местной и общей устойчивости элементов и конструкций в целом [3].

При этом в нормах проектирования стальных конструкций (ДБН В.2.6-163:2010) [2] методика определения коэффициента продольного изгиба не учитывает технологию изготовления конструкций, т.е. наличие ОНС.

**Целью** данных исследований являлось экспериментальное определение несущей способности стоек из труб квадратного сечения в исходном состоянии и после правки (выравнивания) испытанных образцов.

В процессе достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Определены величины и характер распределения ОН в сечениях стоек из труб квадратного профиля.

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований на устойчивость элементов из труб квадратного сечения.

3. Разработана методика правки предварительно испытанных образцов, имеющих стрелу остаточного прогиба, путем регулирования ОНС путем наплавки валиков сварных швов.

**Изложение материала и его результаты.** В качестве экспериментальных образцов использовались трубы квадратного сечения  $80 \times 80 \times 3$  по ГОСТ 30245-2003 [4].

В процессе подготовки экспериментальных исследований были выполнены следующие подготовительные работы:

1. уточнены физико-механические характеристики образцов согласно ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжение» и химического состава;
2. уточнены геометрические характеристики образцов труб квадратного сечения и оценка соответствия их ГОСТ 30245-2003 [4];
3. определены остаточные напряжения в поперечных сечениях стоек;
4. разработана оснастка для испытания образцов.

Определение механических свойств и химического состава материала образцов осуществлялось в Центральной лаборатории комбината ПАО «АМК». Марка стали образцов труб квадратного сечения 3 Сп. Предел текучести материала образцов 350 МПа.

Для определения ОН в сечениях образцов использовался разрушающий метод. Сущность данного метода заключается в наклеивке тензодатчиков с последующей разрезкой элемента и освобождением связей, препятствующих свободному перемещению фрагментов.

Регистрация деформаций при определении ОН определялась с помощью тензометрической системы СИИТ-3.

Типичное распределение ОН в поперечных сечениях стоек из квадратных труб в исходном состоянии приведено на рис. 1.

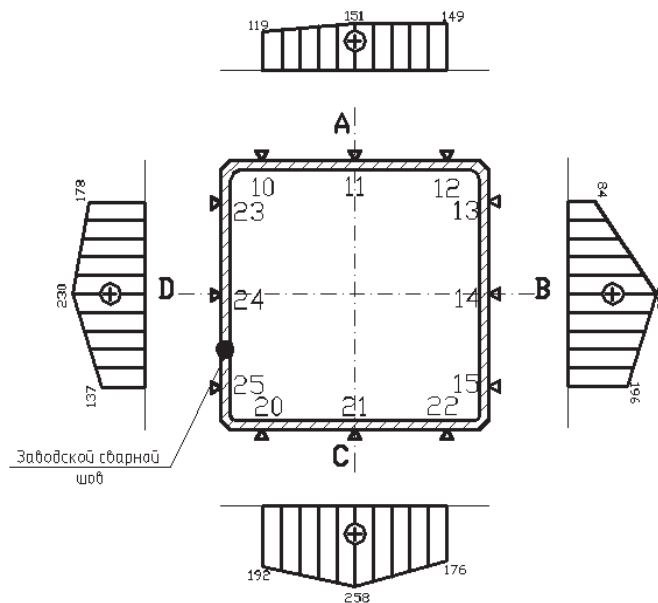


Рис.1. Эпюра остаточных напряжений ( $\text{кг/см}^2$ ) в образце из трубы квадратного сечения в исходном состоянии

Полученные результаты свидетельствуют о наличии ОН сжатия по всей наружной поверхности в пределах от 84 до 281 кг/см<sup>2</sup> (для образцов в состоянии поставки). Таким образом, величина ОН, возникающих в результате технологического процесса изготовления квадратных труб, достигает 8% от предела текучести материала.

Испытания образцов на устойчивость проводились в такой последовательности:

1. На образцы устанавливались и закреплялись опорные части, разработанные с учетом возможности внецентренного приложения нагрузки.

2. Образцы с опорными приспособлениями устанавливались в испытательный пресс ИПС-500 с заданными эксцентриситетами приложения нагрузки.

3. На образцы устанавливались прогибомеры ПАО-6 и индикаторы часового типа ИЧ-10, с помощью которых производилось центрирование стоек. Центрирование образцов производилось с целью их установки по физической оси для обеспечения деформирования с учетом заданного значения случайного эксцентриситета [2].

4. Нагружение образцов производилось поэтапно по 1т до значения нагрузки  $0,6 R_{кр}$  и по 0,5 т до полной потери устойчивости. На каждом этапе нагружения выдержка составляла 10 минут, что соответствует требованиям ДСТУ Б В.2.6-10-96. "Конструкции зданий и сооружений. Конструкции стальные строительные. Методы испытания нагружением".

5. Испытания завершались после достижения максимума на кривой состояния (прогибы растут без увеличения нагрузки) или после потери местной устойчивости стенки.

6. После достижения критической нагрузки, производилась разгрузка образца и измерялся остаточный прогиб.

Общий вид испытательной установки ИПС-500 с образцом приведен на рис. 2.

Правка элементов выполнялась путем наплавки холостых валиков сварных швов на растянутой стороне образцов.

Технологические параметры наплавки валиков сварных швов подбирались по общим принципам расчета сварочных деформаций, предложенных Н.О. Окербломом [5].

Для правки образцов с остаточным прогибом холостой валик наплавлялся на части длины элемента от его центра к краям (рис. 3).

Энергия, необходимая для правки и величина сварочного тока подбирались таким образом, чтобы обеспечить максимальное выравнивание погнутых образцов в состояние, близкое к исходному.

Результаты испытания образцов с различной гибкостью ( $\lambda=70$ ,  $\lambda=80$ ,  $\lambda=90$ ) на устойчивость в состоянии поставки и после правки приведены на рисунках 4, 5, 6 соответственно.

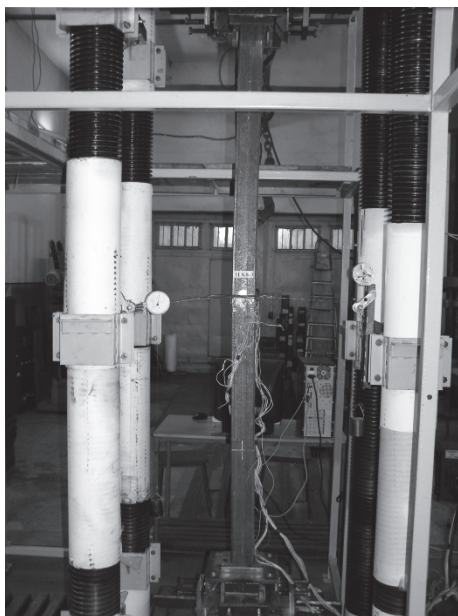


Рис. 2. Общий вид установки ИПС-500 с образцом



Рис. 3. Правка образцов с остаточным прогибом с помощью наплавки холостых валиков сварных швов

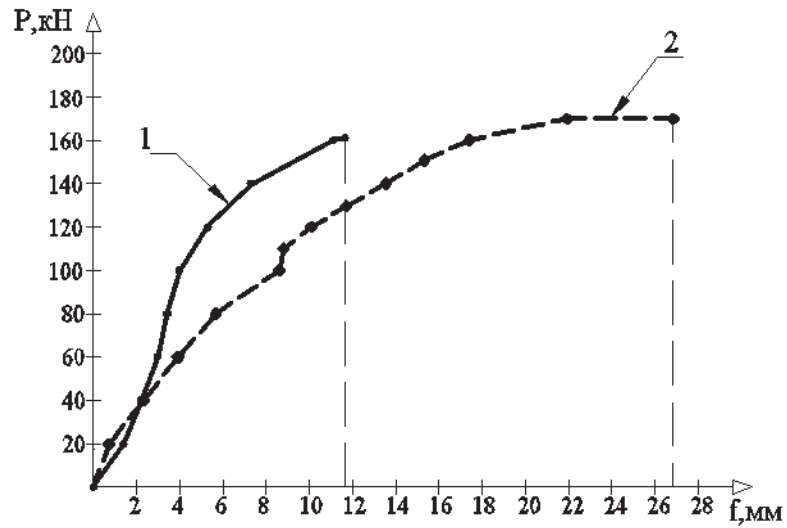


Рис. 4. Диаграмма испытания образцов гибкостью  $\lambda=70$  в состоянии поставки и после правки: 1 – образец в исходном состоянии; 2 – образец после предварительного испытания и правки

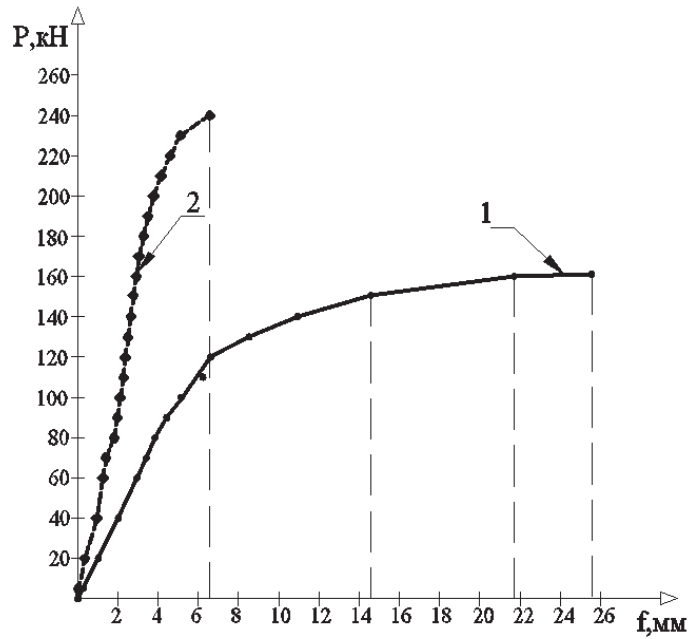


Рис. 5. Диаграмма испытания образцов гибкостью  $\lambda=80$  в состоянии поставки и после правки: 1 – образец в исходном состоянии; 2 – образец после предварительного испытания и правки

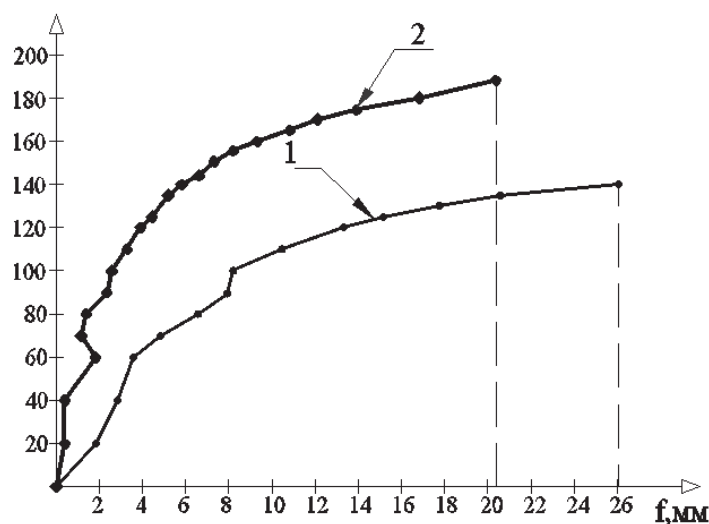


Рис.6. Диаграмма испытания образцов гибкостью  $\lambda=90$  в состоянии поставки и после правки: 1 – образец в исходном состоянии; 2 – образец после предварительного испытания и правки

Все образцы в исходном состоянии испытывались с величиной случайного эксцентриситета 10 мм [2]. Суммарная величина эксцентриситета образцов после правки складывалась из случайного эксцентриситета и величины остаточного прогиба.

Результаты испытания образцов в состоянии поставки и после правки предварительно испытанных образцов приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов экспериментального определения устойчивости сжатых элементов из труб квадратного сечения показывает, что образцы, предварительно испытанные и подвергнутые правке методом локального термического воздействия путём наплавки холодного валика сварного шва, имеют большее значение критической силы. В ходе экспериментальных исследований установлено, что для образцов с гибкостью  $\lambda=70$  величина критической силы повысилась на 5,6%, для образцов с гибкостью  $\lambda=80$  и  $\lambda=90$  - на 50% и 31 % соответственно.

Незначительное повышение величины критической силы для образцов с гибкостью  $\lambda=70$  после правки в сравнении с образцами в состоянии поставки вызвано большим остаточным прогибом (10,15 мм), что привело к фактическому увеличению эксцентриситета более чем в два раза.

Для образцов с гибкостью  $\lambda=80$  и  $\lambda=90$  величины остаточного прогиба после правки были незначительными, что не привело к существенному отклонению эксцентриситета образцов после правки в сравнении с образцами в состоянии поставки.

Таблица 1

Результаты экспериментальных стоек из труб квадратного сечения в состоянии поставки и после правки

Образец	Гибкость, $\lambda$	Остаточный прогиб, мм	Эксцентриситет, мм	Критическая сила, кН
1ГК8-3 в состоянии поставки	70	-	10	161
1ГК8-3 после правки	70	10,15	10	170
2ГК8-3 в состоянии поставки	80	-	10	160
2ГК8-3 после правки	80	-0,55	10	240
3ГК8-3 в состоянии поставки	90	-	10	140
3ГК8-3 после правки	90	1,26	10	184

**Выводы.**

1. Метод измерения деформаций путем освобождения элементов конструкций с ОН после разрыва связей (распиловки образцов) позволяет определить величины ОН в элементах труб квадратного сечения.

2. Разработанная методика проведения экспериментальных исследований на устойчивость позволила проводить испытания образцов с возможностью центровки, задания случайного эксцентриситета и других параметров.

3. Полученные результаты экспериментального определения несущей способности показывают, что все образцы после правки имели величину критической силы большую, чем у образцов в исходном состоянии. При этом, чем остаточный прогиб образца меньше, тем большее значение имеет величина прироста критической силы.

1. Ракша С.В. Связанная потеря устойчивости и весовая оптимизация тонкостенных стержней открытого профиля: дис. докт. тех. наук: 05.23.01/Ракша Сергей Васильевич. - Днепропетровск., 2003. - 288 с. 2. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163:2010. – К., МІНРЕГІОНБУД УКРАЇНИ, 2010. – 220 с. 3. Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. – К.: Сталь, 2008. – 150с. 4. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия: ГОСТ 30245-2003. –М.: ЦНИИПСК им. Н. П. Мельникова, 1995. – 13с. 5. Окерблом Н.О. Сварочные деформации и напряжения / Н.О. Окерблом. – М.; Л.: Машгиз, 1948. – 252 с.