

УДК 624.046.3+624.042.65

*к.т.н. Псюк В. В.,
Никишина И. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ТРУБ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ ПОСЛЕ ПРАВКИ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В статье приведена методика испытания на устойчивость сжатых труб квадратного сечения в состоянии поставки и после правки испытанных образцов путем регулирования остаточного напряженного состояния (ОНС) методом локального термического воздействия (ЛТВ). Получены результаты экспериментального определения несущей способности стоек в состоянии поставки и после правки.

Ключевые слова: *устойчивость, сжатые элементы, правка, локальное термическое воздействие, остаточные напряжения, прогиб.*

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.

Отдельным перспективным направлением является формирование заданного остаточного напряжённого состояния (ОНС) элементов конструкций, которое позволяет повысить несущую способность элементов без увеличения площади их сечения как при

изготовлении новых конструкций, так и при ремонте и реконструкции.

Известно, что регулирование ОНС наплавкой валиков или прогревом 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 [1].

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 остаточных напряжений в сечениях стоек из труб квадратного профиля в состоянии поставки.

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

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

В качестве экспериментальных образцов использовались трубы квадратного сечения $80 \times 80 \times 3$ по ГОСТ 30245-2003 [2]. 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 освобождении связей, препятствующих свободному перемещению фрагментов образца. Регистрация деформаций при определении ОН определялась с помощью тензометрической системы СИИТ-3.

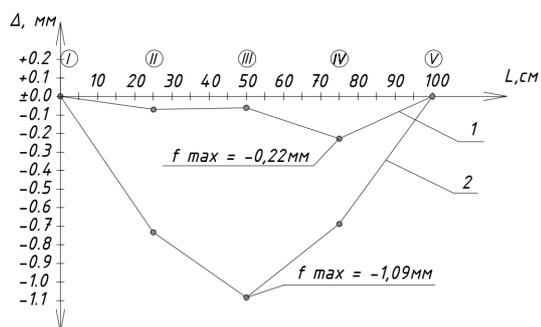
Величина ОН на поверхности труб квадратного сечения составила 42–220 МПа. Таким образом, величина продольных остаточных напряжений достигает от 11,46 % до 61,49 % величины предела текучести стали испытываемых образцов.

Испытания образцов на устойчивость проводились до достижения максимума на кривой состояния (прогибы растут без увеличения нагрузки) или после потери местной устойчивости стенки. После достижения критической нагрузки производилась разгрузка образца и измерялся остаточный прогиб.

Правка элементов выполнялась путём наплавки холостых валиков сварных швов на растянутой стороне образцов. Технологические параметры наплавки валиков сварных швов подбирались по общим принципам расчёта сварочных деформаций [3].

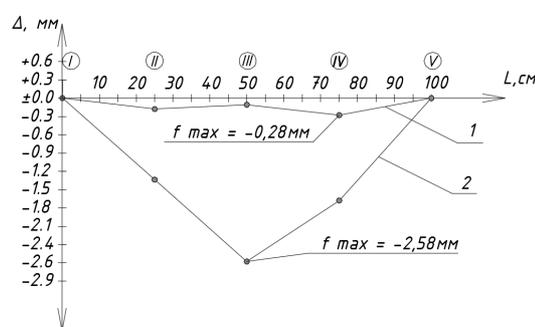
Для проверки предложенной методики экспериментальным путем были определены сварочные деформации в зависимости от количества накладываемых валиков сварных швов на отрезках квадратных труб длиной 1 м.

На рисунках 1, 2, 3 приведены графики распределения прогиба по длине образца после наплавки одного валика сварного шва, двух и трех соответственно.



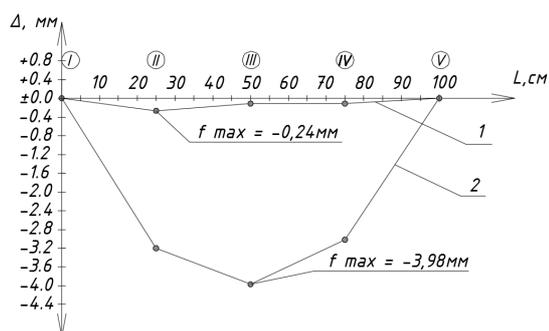
1 — прогиб образца в исходном состоянии;
2 — прогиб после наплавки одного сварного шва.

Рисунок 1 График распределения прогиба по длине образца после наплавки валика сварного шва



1 — прогиб образца в исходном состоянии;
2 — прогиб после наплавки двух сварных швов.

Рисунок 2 График распределения прогиба по длине образца после наплавки двух валиков сварных швов



1 — прогиб образца в исходном состоянии;
2 — прогиб после наплавки трех сварных швов.

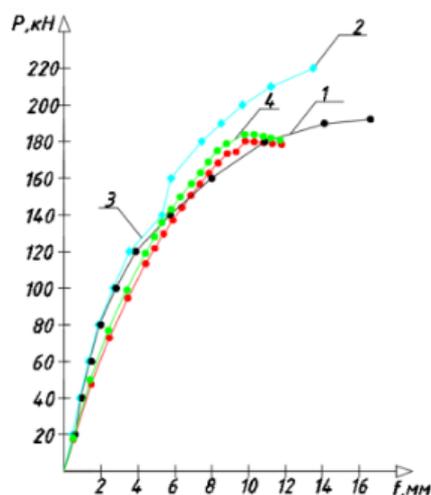
Рисунок 3 График распределения прогиба по длине образца после наплавки трех валиков сварных швов

Как видно из полученных результатов при заданных параметрах сварки (диаметр электрода $d = 4$ мм, тип электрода — АНО-21, сила тока $I = 140–160$ А, напряжение $U = 30–42$ В, катет сварного шва $k = 5$ мм), при накладке сварочных швов происходит выгиб образца со стороны, противоположной наложению шва. Для одного накладываемого шва величина выгиба (f_{\max}) составила 1,09 мм, для двух — 2,58 мм, для трех — 3,98 мм.

На основе разработанных технологических параметров наплавки валиков сварных швов и с учетом экспериментальных результатов определения сварочных деформаций была разработана технология нанесения холостых валиков на образцах, подлежащих правке. Было принято, что холостой валик наплавляется на части длины элемента от его центра к краям. Энергия, необходимая для правки, и величина сварочного тока подбирались таким образом, чтобы обеспечить максимальное выравнивание погнутых образцов в состоянии, близкое к исходному.

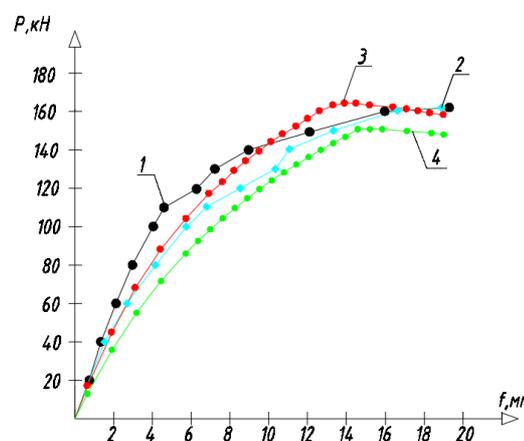
Сварочные напряжения при восстановлении конструкций и усилении, как правило, не учитываются, однако оказывают существенное влияние на формирование остаточного напряженного состояния строительных конструкций. Как показывают результаты и ранее проведенные исследования на образцах других сечений [4], сварка позволяет увеличить несущую способность и, как следствие, осуществить правку элементов, которые теряют устойчивость в процессе эксплуатации.

Результаты испытания образцов с гибкостью $\lambda = 70$, $\lambda = 80$, $\lambda = 90$ на устойчивость в состоянии поставки и после правки приведены на рисунках 4, 5, 6 соответственно. Результаты испытания образцов в состоянии поставки и после правки предварительно испытанных образцов приведены в таблице 1.



- 1 — образец в исходном состоянии при $e = 1$ см;
- 2 — образец после предварительного испытания и правки при $e = 0,933$ см;
- 3 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 1$ см;
- 4 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 0,933$ см (суммарный эксцентриситет после правки сваркой)

Рисунок 4 Диаграмма испытания образцов гибкостью $\lambda = 70$ в состоянии поставки и после правки



- 1 — образец в исходном состоянии при $e = 1$ см;
- 2 — образец после предварительного испытания и правки при $e = 1,33$ см;
- 3 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 1$ см;
- 4 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 1,33$ см (суммарный эксцентриситет после правки сваркой)

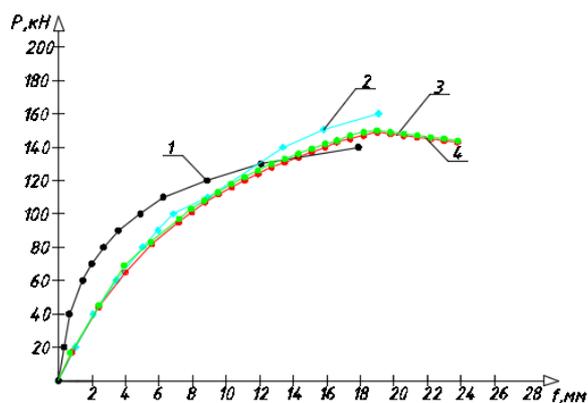
Рисунок 5 Диаграмма испытания образцов гибкостью $\lambda = 80$ в состоянии поставки и после правки

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1

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

Гибкость, λ	Образец	Экспериментальное значение критической силы, кН	Критическая сила по методике СНиП СП 16.13330.2011, кН	Критическая сила по алгоритму программы «Колонна», кН
70	1 ГК8-2.2 в состоянии поставки	161	182,22	180
	1 ГК8-2.2 после правки	170		140
	4 ГК8-2.2 в состоянии поставки	180	182,22	178
	4 ГК8-2.2 после правки	140		137
	7 ГК8-2.2 в состоянии поставки	192	182,22	178
	7 ГК8-2.2 после правки	220		181
80	2 ГК8-2.5 в состоянии поставки	161	165,25	164
	2 ГК8-2.5 после правки	250		167
	5 ГК8-2.5 в состоянии поставки	160	165,25	151
	5 ГК8-2.5 после правки	170		150
90	3 ГК8-2.8 в состоянии поставки	140	147,22	149
	3ГК8-2.8 после правки	180		150
	9 ГК8-2.8 в состоянии поставки	150	147,22	149
	9 ГК8-2.8 после правки	170		150



- 1 — образец в исходном состоянии при $e = 1$ см;
 2 — образец после предварительного испытания и правки при $e = 0,961$ см;
 3 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 1$ см;
 4 — теоретические значения по алгоритму программы «Колонна» при $e = 0,961$ см
 (суммарный эксцентриситет после правки сваркой)

Рисунок 6 Диаграмма испытания образцов гибкостью $\lambda = 90$ в состоянии поставки и после правки

Все образцы в исходном состоянии испытывались с величиной случайного эксцентриситета 10 мм [5]. Суммарная величина эксцентриситета образцов после правки складывалась из случайного эксцентриситета и величины остаточного прогиба.

Анализ полученных результатов экспериментального определения устойчивости сжатых элементов из труб квадратного се-

чения показывает, что образцы, предварительно испытанные и подвергнутые правке методом локального термического воздействия путём наплавки холостого 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 13 %, для образцов с гибкостью $\lambda = 80$ и $\lambda = 90$ — на 35 % и 22 % соответственно.

Выводы.

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

2. Полученные результаты экспериментального определения несущей способности показывают, что все образцы после правки имели большую величину критической силы, чем у образцов в исходном состоянии.

3. Методика регулирования ОНС конструкций с использованием метода ЛТВ может быть использована не только для правки деформированных элементов, но и для элементов в состоянии поставки с целью формирования наиболее выгодного ОНС для сжатых элементов стальных конструкций.

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. ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия [Текст]. — М. : ЦНИИПСК им. Н. П. Мельникова, 1995. — 13 с.
3. Окерблом, Н. О. Расчет деформаций металлоконструкций при сварке [Текст] / Н. О. Окерблом. — М.; Л. : Машигиз, 1955. — 212 с.
4. Голоднов, А. И. Использование термических воздействий при усилении строительных конструкций металлическими элементами [Текст] / А. И. Голоднов // Буд. конструкції: міжвідом. наук.-техн. зб. — К. : НДІБК, 2003. — Вип. 58. — С. 14–20.
5. Стальные конструкции. Актуализированная редакция [Текст] : СНиП II-23-81 СП 16.13330.2011. — М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 2011. — 141 с.

© Псюк В. В.

© Никишина И. А.

Рекомендована к печати

*д.т.н., проф. каф. ГиПС ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,
к.т.н., доц., зав. каф. АПИГ ДонГТУ Бондарчуком В. В.*

Статья поступила в редакцию 05.12.17.

к.т.н. Псюк В. В., Нікішина І. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

СТІЙКІСТЬ СТИСНЕНИХ СТРИЖНІВ З ТРУБ КВАДРАТНОГО ПЕРЕТИНУ ПІСЛЯ ПРАВКИ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

У статті наведено методику випробування на стійкість стиснених труб квадратного перетину в стані поставки і після правки випробуваних зразків шляхом регулювання залишкового напруженого стану (ЗНС) методом локального термічного впливу (ЛТВ). Отримано результати експериментального визначення несучої здатності стійок в стані поставки і після правки.

Ключові слова: *стійкість, стиснені елементи, правка, локальний термічний вплив, залишкові напруги, прогин.*

Ph.D. Psyuk V. V., Nikishina I. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

STABILITY OF COMPRESSED RODS MADE OF SQUARE SECTION TUBES AFTER DRESSING BY LOCAL THERMAL RECOVERY METHODS

In the article, the method is given for testing the stability of compressed square-section tubes in the state of delivery and after dressing the tested samples by regulating the residual stress state (RSS) using the method of local thermal recovery (LTR). The experimental results of the load-bearing capacity of racks in the state of delivery and after dressing are obtained.

Key words: *stability, compressed elements, correction, local thermal recovery, residual stresses, deflection.*