

УДК 624.072.002.2

Экспериментальное определение остаточного напряженного состояния предварительно напряженной металлической колонны

Балашова О.С., аспирант

Донбасский государственный технический университет, Украина

Анотація. Викладена методика визначення залишкового напруженого стану в металевій колоні, яка була попередньо напружена витяганням поясів способом випереджувального розігрівання. Підтверджені теоретичні передумови щодо розподілу залишкових напружень, які сприяли збільшенню несучої здатності стислих зразків.

Аннотация. Изложена методика определения остаточного напряженного состояния в металлической колонне, предварительно напряженной вытяжкой поясов способом упреждающего разогрева. Подтверждены теоретические предпосылки относительно распределения остаточных напряжений, которые способствовали увеличению несущей способности сжатых образцов.

Abstract. The method of determination of the remaining tense consisting is expounded of metallic column, by preliminary tense extraction of belts by the method of proactive warming-up. Theoretical pre-conditions were confirmed in relation to distributing of remaining tensions which was instrumental in the increase of bearing strength of the compressed samples.

Ключевые слова: двутавровая колонна, предварительное напряжение, остаточное напряженное состояние, несущая способность.

Введение. Постановка проблемы. Целенаправленное создание остаточного напряженного состояния (ОНС) в металлических конструкциях, положительно влияющего на их работу под нагрузкой, возможно путем предварительного напряжения.

Предварительное напряжение используется в различных конструкциях: балках, фермах, мостах, башнях, колоннах, резервуарах, трубопроводах, висячих конструкциях и т.п. Необходимость его диктуется различными целями: расширением области упругой работы материала, перераспределением усилий, уменьшением деформативности, повышением устойчивости и усталостной прочности и т.п. Предварительное напряжение может осуществляться как на стадии изготовления, так и на стадии монтажа, а иногда и в процессе эксплуатации.

В связи с многообразием целей и способов предварительного напряжения конструкций многие авторы неоднократно систематизировали имеющиеся сведения путем их классификации [1, 2]. Классификации производились в зависимости от целей, вида конструкции и способа создания предвари-

тельного напряжения. По способу изготовления различают предварительное напряжение на стадии изготовления и на стадии монтажа.

Предварительное напряжение на стадии монтажа, обычно для неразрезных балок, производят путем регулирования уровня опор. Этот способ достаточно хорошо изучен и не представляет особого интереса для дальнейшего изучения в рамках настоящих исследований.

Методы предварительного напряжения конструкций на стадии изготовления можно разделить на три группы [1 – 4]:

- затяжные методы с использованием дополнительных элементов типа затяжек;
- беззатяжные методы, основанные на предварительном деформировании элементов с последующей фиксацией сваркой;
- методы предварительного напряжения путем локальных термических воздействий (ЛТВ).

Первые идеи беззатяжных способов предварительного напряжения возникли одновременно с началом разработки затяжных методов.

В двутавровых элементах предварительное напряжение осуществляется путем предварительного деформирования поясов, стенки, частей сечений (здесь и далее под частью сечения подразумевается пояс и примыкающая к нему часть стенки и ребер) с последующей фиксацией полученного состояния сваркой [1 – 4].

Было выяснено, что при одинаковом с обычной, ненапрягаемой балкой сечении предварительно напряженная балка имеет большую несущую способность. И.Г. Клинов [5] исследовал возможность предварительного напряжения балок путем присоединения к исходному тавру (верхнему поясу и стенке) растянутого нижнего пояса.

Предварительное напряжение двутавровых элементов, при котором к предварительно растянутой стенке присоединяются одновременно два пояса из более прочной стали, чем стенка, изложен в работах [1, 2]. После сварки поясных швов стенка остается растянутой, а пояса сжатыми. По полученной эпюре нормальных напряжений этот способ целесообразен для сжатых элементов.

Возможен метод предварительного напряжения двутавровых элементов, при котором к стенке из высокопрочной стали присоединяются одновременно два предварительно растянутых пояса [1, 3, 4]. По полученной эпюре нормальных напряжений этот способ целесообразен для сжатых элементов. Предварительно напряженная таким способом колонна и была исследована с целью изучения ОНС.

В работе [1] приведена методика расчета и даны указания по проектированию предварительно напряженных различными способами элементов усиления строительных конструкций. Здесь также сделана попытка классификации всех известных беззатяжных способов предварительного напряжения и даны предложения по расчету таких элементов, основанные на единых предпосылках. Предложенный подход является достаточно простым и в то же время позволяет с единых позиций провести оптимизацию сечений предварительно напряженных элементов по критерию минимума расхода материала. Недостатком предложенных расчетных методик является то, что в них не учитывается влияние ОН, обусловленных сваркой поясных швов.

Цель работы. Экспериментальное определение остаточного напряженного состояния в предварительно напряженной вытяжкой поясов способом упреждающего разогрева сварной двутавровой колонне.

Основная часть. Экспериментальные исследования проводились для получения данных о характере распределения остаточных напряжений (ОН) в предварительно напряженной вытяжкой поясов способом упреждающего разогрева сварной двутавровой колонне для последующей проверки теоретических предпосылок.

В качестве экспериментального использован образец серии СНУ, изготовленный на ДЗМК им. И.В. Бабушкина в 1981 г. [6]. Длина образца составляла 1400 мм, сечение показано на рис. 1.

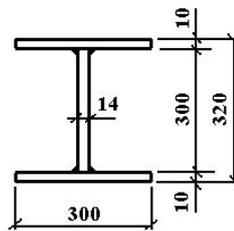


Рис. 1. Сечение экспериментального образца

Образцы серии СНУ были изготовлены из металла одной партии. После изготовления стволы длиной 6 м производилась разрезка на мерные длины – 2800 мм (для испытаний на сжатие) и 1400 мм (для определения ОНС).

Образцы были изготовлены предварительно напряженными вытяжкой поясов способом упреждающего разогрева (моделирование заводской технологии). Сущность предварительного напряжения таким способом заключалась в упреждающем разогреве поясов перед сваркой поясных

швов до температури примерно 300 °С. После остывания образец становился предварительно напряженным: в поясах должны были возникать остаточные растягивающие напряжения (ОРН), а в стенке – остаточные сжимающие напряжения (ОСН).

Исследования ОНС проведены разрушающим методом с использованием тензорезисторов сопротивления и регистрирующей аппаратуры (системы СИИТ-3 с кабелями и коммутаторами). Это позволило получить распределение ОН в элементах путем измерения деформаций после разрезки и переводом показаний прибора в напряжения умножением на коэффициент тензочувствительности. Его величина ($k = 0,376$ МПа) определена путем тарировки на консольной тарировочной балке с переменным сечением, загруженной силой на свободном конце. Схема наклейки тензодатчиков приведена на рис. 2. Общий вид разрезанного образца с наклеенными тензорезисторами показан на рис. 3.

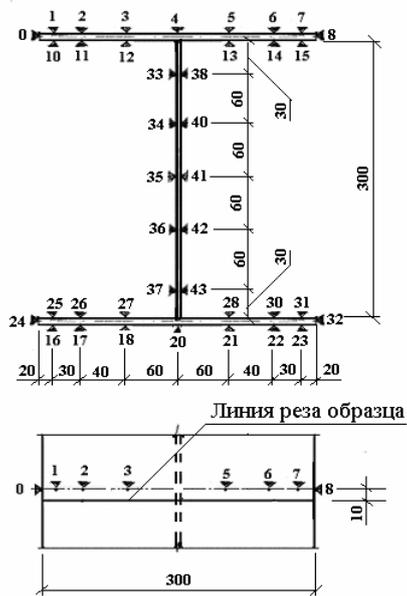


Рис. 2. Схема наклейки тензорезисторов

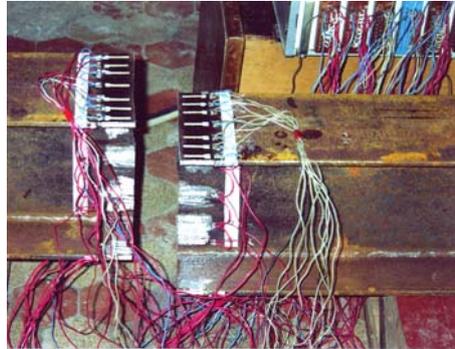


Рис. 3. Общий вид разрезанного образца

Механические свойства сталей определялись в процессе изготовления экспериментальных образцов. От каждого листа брались пробы и определялись физико-механические характеристики металлов.

Расчетное определение ОНС для предварительно напряженного образца серии СНУ выполнено по методике [1] с использованием следующих формул:

$$\alpha = \frac{b_f \cdot t_f}{h_w \cdot t_w} = \frac{30 \cdot 1}{30 \cdot 1,4} = 0,714;$$

$$n = \frac{R_y^w}{R_y^f} = \frac{577}{344} = 1,677;$$

$$\beta_f = \frac{n + 2 \cdot \alpha}{\frac{\varphi_y}{\varphi_x} + 2 \cdot \alpha} = \frac{1,677 + 2 \cdot 0,714}{\frac{0,85}{0,95} + 2 \cdot 0,714} = 1,337;$$

$$\sigma_{res, str}^{(f)} = (\beta_f - 1) \cdot R_y^f = (1,337 - 1) \cdot 344 = 115,9 \text{ МПа};$$

$$\beta_w = \frac{\beta_f \cdot R_y^f}{R_y^w} = \frac{1,337 \cdot 344}{577} = 0,797;$$

$$\sigma_{res, com}^{(w)} = (\beta_w - 1) \cdot R_y^w = (0,797 - 1) \cdot 577 = -117,1 \text{ МПа}.$$

Эпюры ОН в образце серии СНУ показаны на рис. 4.



Рис. 4. Эпюры ОН для образца серии СНУ

Как следует из рис. 4, получено удовлетворительное согласование опытных и вычисленных величин ОРН в поясах. Некоторые расхождения в величинах ОСН в стенке можно объяснить наличием зон ОРН, возникающих при сварке поясных швов.

Выводы

1. Экспериментально доказана возможность получения оптимального распределения ОН в сварном двутавровом сечении, предварительно напряженном вытяжкой поясов способом упреждающего разогрева (серия СНУ). Пояса после такого способа предварительного напряжения оказались растянутыми, а стенка – сжатой за исключением зоны в районе поясных швов. Уровень ОРН в поясах соответствовал примерно 0,22...0,33 σ_T . Предварительный разогрев поясов перед сваркой поясных швов способствовал ликвидации пиков ОРН в районе поясных швов и уравниванию эпюры ОРН в пределах поясов.
2. Полученные в ходе проведения экспериментальных исследований данные о характере распределения ОН в сечении хорошо согласуются с данными, полученными в результате расчета.

Литература

- [1] Методические рекомендации по применению облегченных предварительно напряженных сварных двутавров для реконструкции промышленных предприятий / НИИСП Госстроя УССР. – Киев, 1988. – 45 с.
- [2] Рекомендации по проектированию решетчатых колонн с ветвями из сварных двутавров с преднапряженной стенкой / ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова. – М., 1985. – 36 с.
- [3] А.с. 729327 СССР, Е04 21/12. Способ предварительного напряжения металлических колонн / И.И. Набоков, Е.П. Лукьяненко, В.А. Нелидов, В.А. Муляев. – Опубл. 25.04.80, бюл. № 14.
- [4] Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. – К.: Сталь, 2008. – 150 с.
- [5] Клинов И.Г. Оптимальные параметры металлических бестросовых предварительно напряженных балок // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. – 1967. – № 3. – С. 19 – 23.
- [6] Голоднов А.И., Набоков И.И. Несущая способность двутавровых стержней, предварительно напряженных локальными термическими воздействиями // Теорет. основы будівництва: Зб. наук. праць / Придніпр. Держ. академія будівництва та архітектури і Варш. техн. ун-т. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2003. – Вип. 11. – С. 81 – 84.

Надійшла до редколегії 27.05.2009 р.