

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БАЛКИ

Голоднов А.И.

*ОАО Украинский научно-исследовательский и проектный институт
стальных конструкций имени В.Н. Шимановского*

Введение. Постановка проблемы

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.

Методы предварительного напряжения конструкций на стадии изготовления можно разделить на три группы:

- 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).

К беззатяжным относится метод предварительного напряжения вытяжкой нижнего пояса. Предварительное напряжение осуществляется путем приварки к исходному тавру нижнего пояса, который перед сваркой поясных швов разогревается газовыми горелками до заданной температуры. После сварки поясных швов и остывания нижнего пояса балка получает обратный выгиб. Распределение остаточных напряжений при этом в сечении балки становится обратным по отношению к основным: верхний участок стенки и верхний пояс растянуты, а участок стенки, примыкающий к нижнему поясу, сжат. Нижний пояс балки изготавливается из стали более высокой прочности, чем исходный тавр, и после остывания остается предварительно растянутым [1, 2].

Экспериментальные исследования проводились для получения данных о характере распределения остаточных напряжений в сечении предварительно напряженной сварной двутавровой балки для последующей проверки теоретических предпосылок.

Цель работы

Целью настоящих исследований является экспериментальное определение остаточного напряженного состояния в сварной двутавровой балке, предварительно напряженной вытяжкой нижнего пояса.

Основная часть

Экспериментальные образцы–балки (в дальнейшем балки), предварительно напряженные вытяжкой нижнего пояса, были изготовлены на ДЗМК им. И.В. Бабушкина в 1981 году. Длина образцов составляла 2820 мм, сечение показано на рис. 1.

Подбор сечений балок производился на основе разработанных расчетных методик и предложений, которые в дальнейшем были изложены в работе [2].

Все опытные образцы группировались таким образом, чтобы они могли получиться путем разрезки на мерные длины сварных стволов длиной 6 м.

В пределах серии образцы изготавливались из одного листа, а листы были подобраны из одной марки стали.

Для получения полуфабрикатов листы металла распускались огневой резкой и на гильотинных ножницах. Кромки поясов строгались, что позволило снизить влияние термического нагрева и наклепа.

Сборка образцов проводилась в такой последовательности.

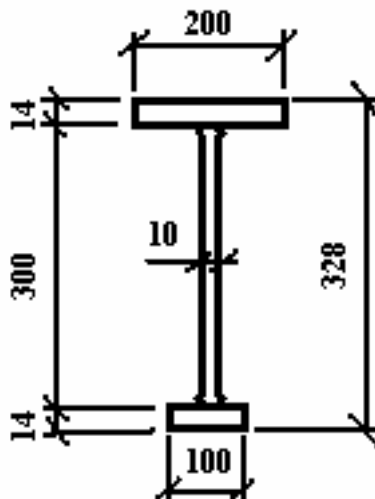


Рис. 1. Сечения экспериментальных образцов-балок

1. На первом этапе по заводской технологии собирались верхний пояс и стенка в тавр. С помощью упругих металлических пластин закреплялся нижний пояс. Сборка контролировалась измерениями геометрических размеров.

2. На втором этапе собранный образец помещался в стенд и закреплялся в горизонтальном положении на упорах. Для измерения температурных деформаций в точке начала движения нагревательных устройств разогреваемый нижний пояс со стенкой скреплялись сварочной скрепкой.

Нижний пояс разогревался двумя горелками. Одновременно с разогревом шел процесс сварки двух швов. Температурные деформации измерялись прогибомером ПАО-6. Скорость сварки была равна 28–30 см в минуту.

Контроль температуры осуществлялся термопарами, впаянными в среднем сечении пояса, с последующей записью на регистрирующий прибор КСП-4.

Сварка двух швов синхронно выполнялась двумя полуавтоматами кремнемаргонцовистой проволокой в среде углекислого газа катетом 5 мм.

3. На третьем этапе образец извлекался из стенда. Два оставшихся шва варились в освобожденном состоянии.

Технология изготовления балок была разработана сотрудниками Коммунарского горно-металлургического института (ныне ДонГТУ, г. Алчевск) и ДЗМК им. И.В. Бабушкина под руководством И.И. Набокова и Е.П. Лукьяненко.

Балки, изготовленные с предварительным напряжением, после изготовления имели выгиб, близкий к расчетному, что свидетельствовало о реализации установленных параметров предварительного напряжения.

Перед проведением испытаний балок были выполнены испытания образцов металла с целью определения химико-механических свойств. Такие исследования свойств сталей производились для:

- определения механических свойств сталей с целью уточнения данных сертификата завода изготовителя;
- проведения химического анализа;
- использования полученных данных для последующих расчетов при проверках разработанного аналитического аппарата.

Все операции по подготовке балки к испытанию проводились в такой последовательности:

- разметка мест наклейки тензорезисторов с нанесением разметочных меток;
- зачистка размеченных мест шлифовальной машиной с последующей доводкой шлифовальной шкуркой;
- обезжиривание и грунтовка зачищенных мест;
- группировка и наклейка тензорезисторов;
- коммутация и проверка работоспособности электрических цепей.

Группировка и наклейка тензорезисторов выполнялись согласно инструкции для принятых типов датчиков клеем БФ-2.

С учетом поставленной задачи в выборе средств измерения можно выделить следующие этапы:

- подбор первичной аппаратуры;
- согласование и выбор вторичной аппаратуры;
- схема соединений;
- сборка и проверка измерительного тракта.

Деформации двутавровых балок определялись таким образом:

1. В местах определения деформаций наклеивались проволочные тензорезисторы сопротивления типа 2 ПКБ-30-20ХВ на бумажной основе Топкинского радиозавода.
2. Тензорезисторы подключались к регистрирующей аппаратуре, и проводился съем начальных результатов (при этом за основу схемы и соединения тензорезисторов принята полумостовая схема с двумя компенсационными сопротивлениями при поочередном подключении активных датчиков). В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась система тензометрическая СИИТ-3.
3. Производилась разрезка участка пояса с одной стороны двутавровой балки на длину, позволяющую освободить элементы с остаточными напряжениями в пределах одного наклеенного тензорезистора, и производился съем показаний по прибору СИИТ-3.
4. Производилась разрезка участка пояса с другой стороны двутавровой балки на длину, позволяющую освободить элементы с остаточными напряжениями в пределах одного наклеенного тензорезистора и производился последующий съем показаний по прибору СИИТ-3.

5. После окончательного роспуска поясов производилась поперечная разрезка стенки двутавра с поэтапным снятием отсчетов по прибору СИИТ-3 в пределах одного тензорезистора.

После каждого этапа выдерживалась пауза продолжительностью 15–20 минут, а затем брались отсчеты по всем тензодатчикам сопротивления исследуемого образца.

Окончательный съем показаний производился после полной распиловки балок и выдержки в течении 24 часов.

Общий вид экспериментальной балки до испытания приведен на рис. 2. На рис 3 показан общий вид балки после проведения испытаний. Эпюры остаточных напряжений в сечении балки показаны на рис 4. Эпюры остаточных деформаций и напряжений получены как среднее значение деформаций смежных плоскостей элементов двутавровой балки.



Рис. 2. Общий вид балки до испытания



Рис. 3. Общий вид балки после испытания

Выводы

Анализ результатов экспериментального исследования остаточного напряженного состояния сварной предварительно напряженной двутавровой балки позволил сделать такие выводы.

1. Предпосылки, положенные в основу теоретических исследований и приведенные в работе [2], в ходе проведения экспериментальных исследований в основном подтвердились.
2. Принятая методика расчетного определения остаточных напряжений правомерна и обеспечивает высокое согласие результатов эксперимента и расчетов.
3. Получено экспериментальное подтверждение работоспособности и надежности способа предварительного напряжения балок вытяжкой нижнего пояса методом упреждающего разогрева.
4. Выгибы предварительно напряженных балок в пределах $1/200$ величины пролета расширяют возможность применения высокопрочных сталей в изгибаемых элементах в качестве элементов нижнего пояса.

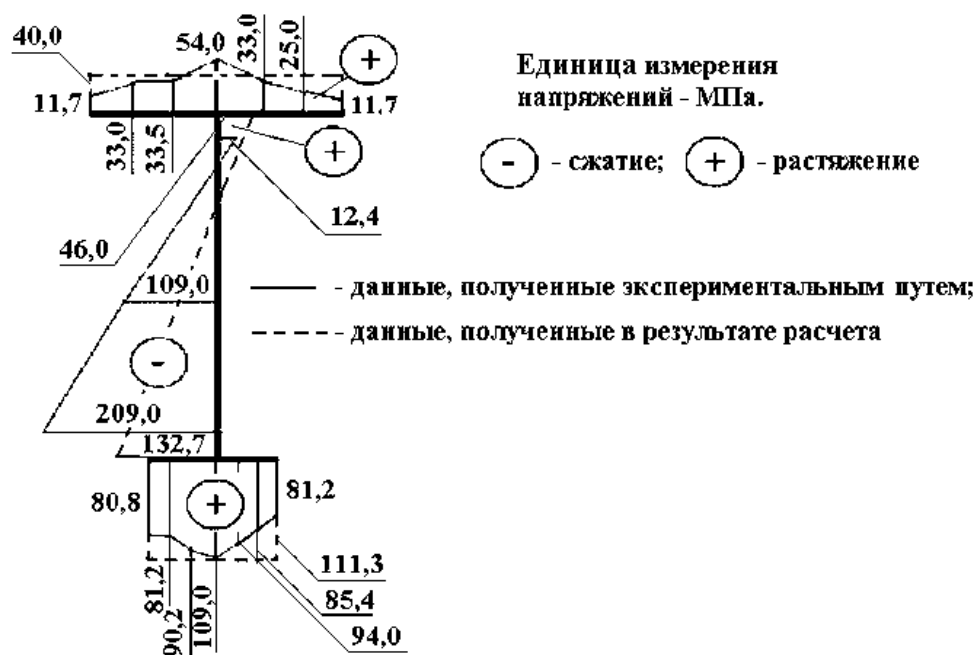


Рис. 4. Этюра остаточных напряжений в сечении балки

5. В местах наплавки сварных швов отмечена концентрация остаточных растягивающих напряжений, что свидетельствует о необходимости учета этого фактора при расчетах и проектировании предварительно напряженных металлических конструкций.

Литература

1. А.С. 1527393 СССР, Е04 С 3/10. Способ изготовления предварительно напряженной металлической балки / А.И. Голоднов, Е.П. Лукьяненко, И.И. Набоков. – Оpubл. 07.12.1989, бюл. № 45.
2. Методические рекомендации по применению облегченных предварительно напряженных сварных двутавров для реконструкции промышленных предприятий / НИИСП Госстроя УССР; Сост. И.И. Набоков, А.И. Голоднов, Е.П. Лукьяненко и др. – К.: НИИСП, 1988. – 45 с.