

*к.т.н. Псюк В.В.,
д.т.н. Голоднов А.И.,
к.т.н. Карапетян С.Х.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ПРОКАТНЫХ ДВУТАВРАХ

Викладені результати досліджень залишкового напруженого стану двотаврових балок після його регулювання методом локального термічного впливу. Експериментальні дослідження виконувалися руйнівним методом. У місцях визначення деформацій на підготовлену поверхню наклеювалися тензорезистори симетрично від лінії розрізання як на внутрішній, так і на зовнішній поверхнях профілів. Далі робилося розрізання балки, знімання проміжних і кінцевих результатів.

Ключові слова: *двотаврова балка, попередня напруга, залишковий напружений стан (ЗНС), залишкова напруга (ЗН), руйнівний метод.*

Изложены результаты исследований остаточного напряженного состояния двутавровых балок после его регулирования методом локального термического воздействия. Экспериментальные исследования выполнялись разрушающим методом. В местах определения деформаций на подготовленную поверхность наклеивались тензорезисторы симметрично от линии реза как на внутренней, так и на наружной поверхностях профилей. Далее производилась разрезка балки, съём промежуточных и конечных результатов.

Ключевые слова: *двутавровая балка, предварительное напряжение, остаточное напряженное состояние (ОНС), остаточные напряжения (ОН), разрушающий метод.*

Как известно, основным свойством сварных конструкций является наличие остаточного напряженного состояния (ОНС). Появлению ОНС способствуют технологические процессы изготовления, сопровождающиеся локальным термическим разогревом (сварка, резание с применением высокотемпературного нагрева, локальный разогрев и т.п.). В результате таких воздействий возникают локальные пластические деформации и остаточные сварочные напряжения [1].

Требования к несущей способности, деформативности, долговечности и надежности элементов и конструкций при одновременном

уменьшении металлоемкости возрастают и вызывают необходимость анализа их ОНС с учетом технологии изготовления и условий эксплуатации. Несмотря на успехи в развитии современных методов строительной механики, теории упругости и пластичности, механики разрушения и численных методов число задач, имеющих точное решение, ограничено и не удовлетворяет запросам инженерной практики.

Предварительное напряжение в металлических конструкциях применяется с целью создания напряжений и деформаций обратного знака к основным, возникающим при эксплуатации, и увеличения (за счет создания обратного выгиба) жесткости конструкции, что способствует повышению эффективности таких конструкций по сравнению с ненапрягаемыми при равном расходе материалов.

Экспериментальные исследования проводились с целью получения экспериментальных данных о характере распределения остаточных напряжений (ОН) в сечениях прокатных двутавровых балок для последующего сравнения с данными расчетов по разработанным методикам [2, 3].

В качестве экспериментальных образцов для экспериментального исследования распределения ОН в продольном направлении после регулирования на части длины элемента были приняты фрагменты прокатных двутавровых элементов №12 по ГОСТ 8239-89 длиной 400 мм. Регулирование ОНС выполнялось в средней части длины каждого из образцов на участках разной длины путем наплавления сварных валиков по кромкам поясов (рис. 1, 2, 3).

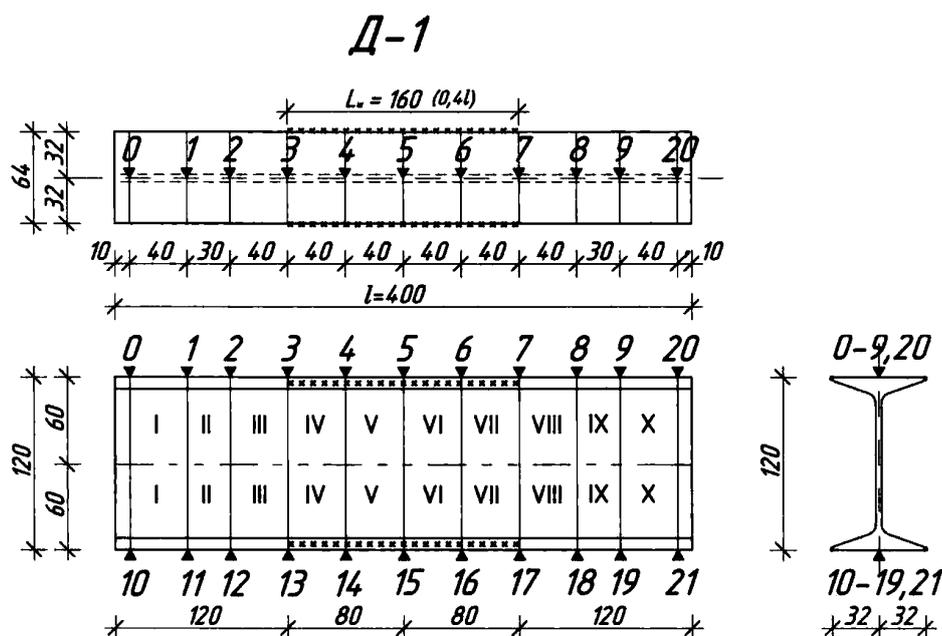


Рисунок 1 – Схема наплавления сварных валиков в образце Д-1

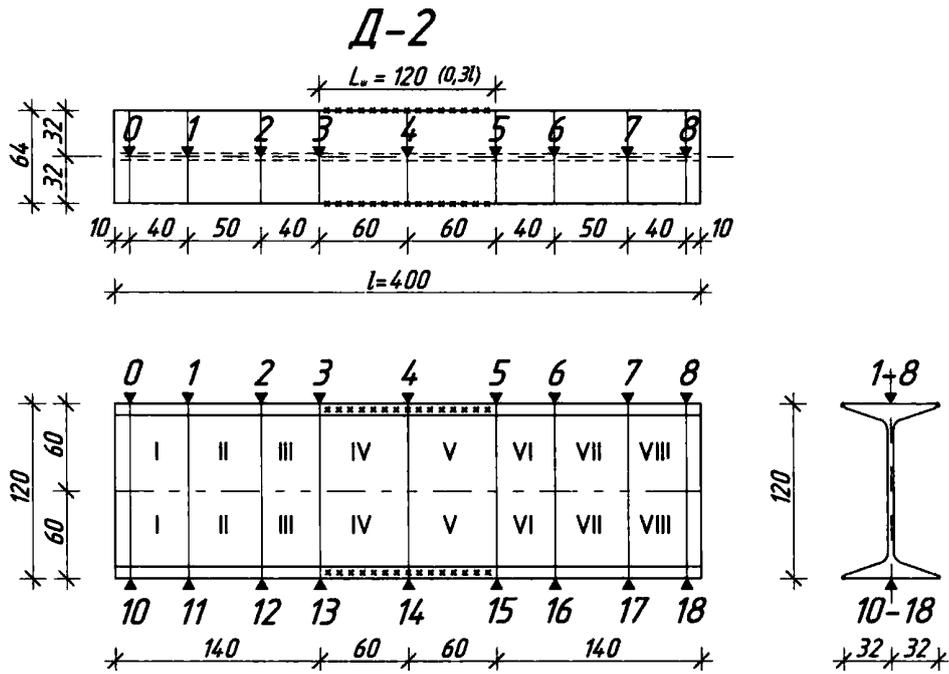


Рисунок 2 – Схема наплавления сварных валиков в образце Д-2

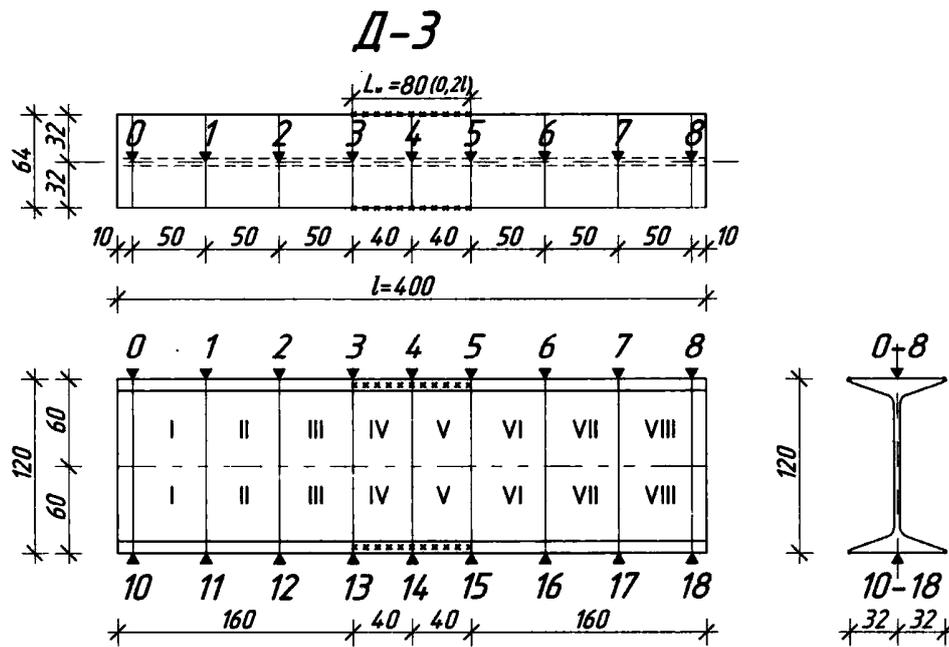


Рисунок 3 – Схема наплавления сварных валиков в образце Д-3

Для образца Д-1 был принят участок наплавления валиков в средней части длиной 160 мм (0,41), для образца Д-2 - 120 мм (0,31), для образца Д-2 - 80 мм (0,21). На рис. 6, 7, 8 следующие обозначения: 0-18 - номера датчиков, I - VIII - номера зон контроля ОНС.

Наплавление валиков по краям поясов выполнялось полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа. Катет шва 0,8мм, величина тока 90А, вид тока - постоянный.

Образцы были закреплены струбциной с одной стороны к стенду, другая сторона, с которой производилось разрезание участков стенки, была свободна. Для измерения величины линейного расхождения тавровых фрагментов после разрезания образцов к одному поясу крепилась опорная пластина для упора ножки индикатора часового типа ИЧ-10, а к другому поясу с помощью струбцины крепился сам прибор ИЧ-10 (рис. 4).

Разрезка производилась в такой последовательности.

1. Производился съём начальных отсчетов. Разрезался участок образца с одной стороны стенки на длину зоны контроля остаточного напряженного состояния (рис. 1, 2, 8), позволяющую освободить элементы с остаточным напряжением в пределах наклеенных тензорезисторов (использовались тензорезисторы сопротивления базой 10 мм, фольговые КФ5 П1-10-200-Б-12 по ТУ В 7710-0001-93), и производился съём показаний по прибору СИИТ-3. Прибором ИЧ-10 определялось линейное перемещение свободного пояса.



Рисунок 4 – Определение продольного остаточного напряженного состояния в образцах

2. Производился дальнейший рез участка стенки на длину до следующей зоны контроля, и производился съём показаний по приборам СИИТ-3 и ИЧ-10.

После каждого этапа выдерживалась пауза длительностью 15-20 минут, а потом брались отсчеты по всем тензорезисторам сопротивления, наклеенных на исследуемых образцах. Окончательный съём показаний производился после разреза образца и выдержки в течение 24 часов.

Определение ОН в сечениях образцов ДБР и ДСР (рис. 5) производилось таким образом: образцы закрепляли струбцинами к стенду, производился съём начальных отсчетов, производился рез образца ножовкой, выдерживалась пауза длительностью 15-20 минут и брались отсчеты по всем тензорезисторам сопротивления с помощью прибора СИИТ-3 (использовались тензорезисторы фольговые КФ5 П1-5-200-А-12 по ТУ В 7710-0001-93).



Рисунок 5 – Определение остаточного напряжения в пересечении образца ДСР

При исследовании и изучении распределения ОН по длине образца были получены величины напряжений в образцах. Величины напряжений были получены путем умножения разницы величин показаний прибора на коэффициент тензочувствительности, который определялся экспериментально путем тарировки тензодатчиков на консольной тарировочной балке с переменным сечением, нагруженной силой на конце.

Для пары датчиков, расположенных симметрично принималось среднее значение.

По полученным данным были построены графики. На рис. 6 приведенные результаты определения величины линейного расхождения тавровых фрагментов после разреза образцов, а также результаты изменения ОН после разреза к III и VIII зонам контроля для образцов Д-1, Д-2 и Д-3 соответственно. Анализируя представленные материалы можно заметить, что при уменьшении длины шва увеличивается линейное расхождение, и происходит уменьшение величин сжимающих напряжений.

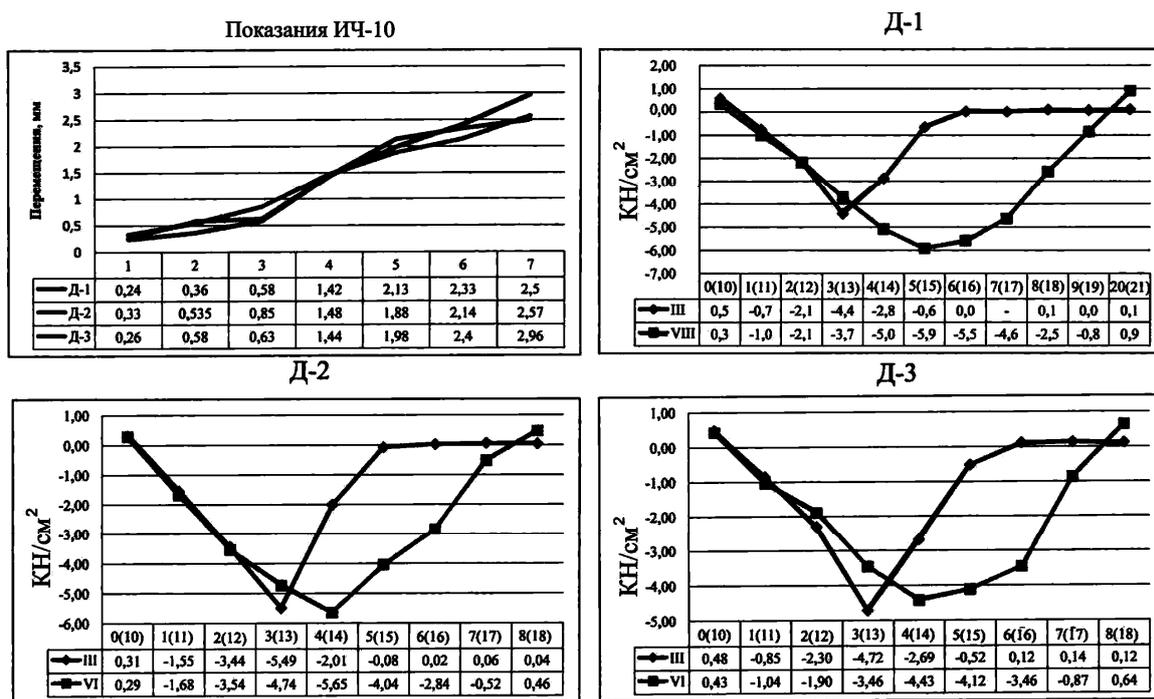


Рисунок 6 – Показания прибора ИЧ-10
и графики показаний СИИТ-3 для III и VIII зоны Д-1, Д-2 и Д-3

Образцы длиной 600 мм для определения остаточного напряжения в сечениях колонн до и после наплавления валиков были замаркированы как двутавр без регулирования ОН (ДБР) и двутавр с регулированием ОН (ДСР). Эпюры остаточных напряжений в сечениях элементов до и после регулирования остаточного напряженного состояния представлены на рис. 7.

Как видно из представленных экспериментальных материалов, изменение уровня ОН в поясах двутавровых элементов после распила достаточно существенно и в отдельных случаях составляет приблизительно 30% от величины предела текучести материала, что характерно и для других видов профилей [5].

ДБР

ДСР

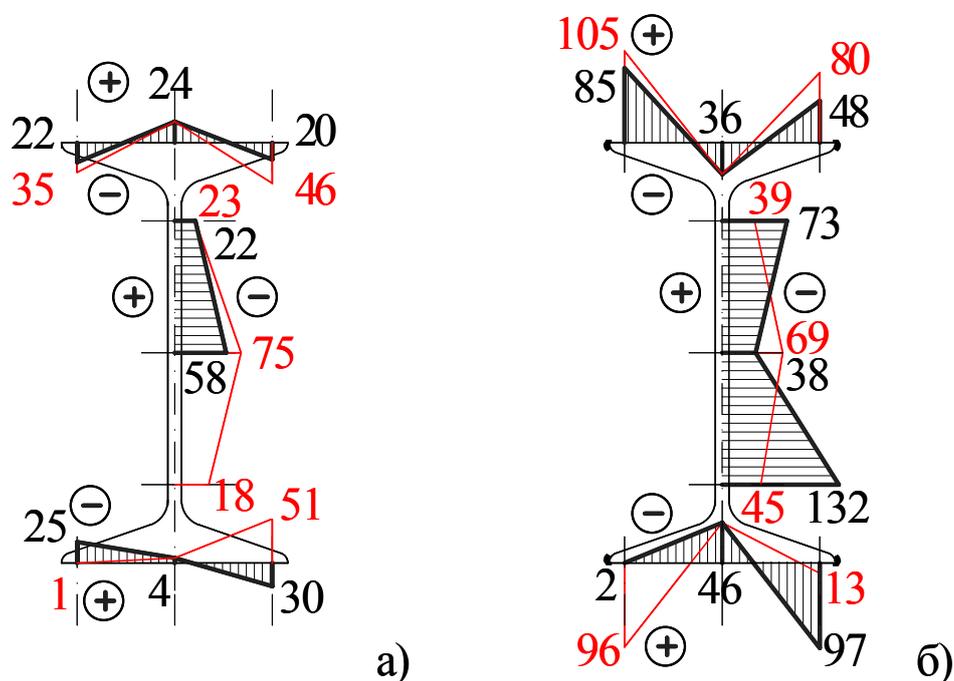


Рисунок 7 – Величина ОН (в МПа) в сечениях двутавров:
 а) двутавр без регулирования остаточного напряжения;
 б) двутавр с регулированием остаточного напряжения.

Полученные данные экспериментальных исследований изменения ОН по длине элементов показали, что для образцов с наплавлением валиков в средней части на участке длиной $0,4l$ (где l - длина образца) изменение ОН в ходе продольного разреза составляет приблизительно 30% от величины предела текучести стали. Как и ожидалось, изменение ОН по длине образцов напрямую зависит от длины сварного шва - чем больше длина сварного шва, тем больше изменение ОН. В то же время линейное расхождение больше у образца с малой длиной сварного шва (Д-3) приблизительно на 15%, чем у образца Д-2 и приблизительно на 40%, чем у образца Д-1 (для VII зоны контроля).

На основании проведенного экспериментального исследования ОНС, возникающего в стальных двутавровых балках после изготовления и регулирования, получены следующие результаты.

1. Разработана методика экспериментальных исследований ОНС в двутавровых балках после различных видов регулирования.

2. Выбранные методы исследований (неразрушающий и разрушающий) позволили получить экспериментальные данные о характере распределения ОН в сечениях стальных балок после регулирования.

3. Получено экспериментальное подтверждение возможности регулирования ОНС в стальных балках путем разогрева кромок поясов. После такого вида регулирования изменяется характер распределения ОН в сечениях балок, а сами балки получают обратный выгиб.

Библиографический список

1. Голоднов А.И. *Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках* / А.И. Голоднов. – К.: Сталь, 2008. – 150 с.

2. А.с. 1527393 СССР, МКИ E04 C 3/10. *Способ изготовления предварительно напряженной металлической балки* / А.И. Голоднов, Е.П. Лукьяненко, И.И. Набоков (СССР); Опубл. 07.12.89, Бюл. №45. – 2 с.

3. Голоднов А.И. *Принципы компоновки составных двутавровых сечений изгибаемых элементов из сталей различных марок* / А.И. Голоднов, Л.Н.Филатова, И.И. Набоков // *Соврем. проблемы стр-ва: Ежегод. науч.-техн. сб.* / Донецкий ПромстройНИИпроект. – Донецк: ООО «Лебедь», 2001. – С. 234–239.

4. Иванов А.П. *Методика визначення характеристик міцності металу за допомогою локального руйнування у конструкціях, що експлуатуються* / А.П. Иванов, Ю.А. Отрош // *Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво)* / ПолтНТУ. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 3(25). – Т. 3. – С. 97 – 103.

5. Иванов А.П. *Распределение температурных остаточных напряжений в швеллерах при нанесении сварного шва* / А.П. Иванов, В.В. Псюк, И.А. Иванова // *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В.Лазоряна.* – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 39. – С. 51-54.

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