

УДК 624.072.002.2

Экспериментальные исследования сжатых стальных элементов после регулирования остаточного напряженного состояния на части длины

Скребцов С.И., Иванов Б.В.

Луганский национальный аграрный университет, Украина

Анотація. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень впливу залишкових напружень на стійкість при їх регулюванні на частині довжини елемента при дії моменту в площині меншої жорсткості.

Аннотация. Разработана методика проведения экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений на устойчивость при их регулировании на части длины элемента при действии момента в плоскости меньшей жесткости.

Abstract. The procedure is developed for realization of experimental research concerning influence of residual stresses on stability at their regulation on a part of the element's length at action of the moment in a plane of smaller rigidity.

Ключевые слова: остаточные напряжения, колонна, устойчивость, меньшая жесткость, средняя часть длины.

Введение. Постановка проблемы. Одним из факторов, влияющих на свойства элементов стальных конструкций, являются остаточные напряжения (ОН).

Состояние вопроса изложено в работах [1–4] и свидетельствует о необходимости продолжения исследований остаточного напряженного состояния (ОНС), возникающего в элементах стальных конструкций после изготовления, и его влияния на несущую способность. Регулирование ОНС путем наплавки валиков по всей длине элемента достаточно широко изучено, особенно для элементов двутаврового профиля. Ранее [1, 2] было установлено, что наплавка валиков по всей длине двутаврового элемента способствует повышению устойчивости до 40 % только за счет изменения (регулирования) ОНС. Вместе с тем очевидно, что нет необходимости регулировать ОНС по всей длине – достаточно это сделать на той части длины элемента, где действуют максимальные усилия. Для элементов с шарнирами на концах это может быть выполнено в средней части длины.

Экспериментальное изучение ОНС после регулирования путем наплавки валиков на части длины и его влияния на устойчивость выполнены для элементов таврового (из парных уголков) профиля [3]. Ожидается получение такого же результата и для двутавровых элементов.

Цель работы – разработка методики и проведение экспериментальных исследований ОНС, возникающего после регулирования на части длины элемента, и его влияния на устойчивость.

Основная часть. Экспериментальные образцы были изготовлены путем распиловки прокатных двутавров № 12 по ГОСТ 8239-89 на мерные длины: 800 мм, 1200 мм и 1400 мм. Такие длины были приняты с целью изучения влияния ОНС на образцах различной гибкости. Всего было изготовлено 3 серии по 4 образца в каждой. В пределах серии каждый образец имел различную длину наплавляемого шва, а именно: 0,2, 0,4 и 0,6 длины элемента в центральной части. Кроме этого, в первой и третьей сериях были использованы образцы без наплавленных валиков, т. е. без регулирования ОНС (контрольные образцы). Образцы длиной 800 мм и 1200 мм были изготовлены из одной партии металла. Образцы длиной 1400 мм были изготовлены из двух партий металла: в образцах первой партии длина наплавляемого валика была 0,2 и 0,4 длины элемента, а в образцах второй партии – 0,6 длины элемента и без наплавки.

Три образца из металла этой же партии длиной 400 мм предназначались для определения ОНС после наплавки валиков на части длины. Наплавка в этих образцах осуществлялась в центральной части на участках длиной 80 мм, 120 мм и 160 мм соответственно [4].

Определение ОНС выполнялось разрушающим методом. Был выбран метод измерения деформаций через разрушение путем освобождения элементов конструкций с остаточными напряжениями (ОН) после разрыва связей, позволяющий производить роспуск двутаврового элемента без значительных выделений тепла. Установлено, что для образцов с наплавкой валиков в средней части на участке длиной $0,4 L$ (где L – длина образца) изменение ОН в ходе продольной резки составляет примерно 30 % от величины предела текучести стали. Такой уровень ОН может существенно повлиять на устойчивость двутавровых элементов. Как и ожидалось, изменение ОН по длине образцов напрямую зависит от длины сварного шва: чем выше длина сварного шва, тем изменение ОН больше.

Подготовка образцов к испытаниям на устойчивость включала в себя следующие этапы:

- резку прокатных профилей на элементы нужной длины;
- наплавку валиков по кромкам поясов;
- фрезеровку торцов элементов;
- сверление отверстий для крепления опорных приспособлений;
- разметку мест наклейки тензорезисторов;
- зачистку размеченных мест шлифовальной машиной с последующей доводкой шлифовальной шкуркой;

- обезжиривание и грунтовку зачищенных мест;
- группировку и наклейку тензорезисторов (согласно инструкции для принятых типов фольговых тензорезисторов сопротивления по ТУ У 7710-0001-93 для наклейки был использован клей циакрин по ТУ 6-09-30-86), тензорезисторы располагались на внешней стороне поясов и на стенке профиля;
- коммутацию и проверку работоспособности электрических цепей.

Регулирование ОНС было выполнено в средней части длины элементов путем наплавки валиков по кромкам поясов. Наплавка валиков выполнялась полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа.

Для выполнения поставленных задач разработана и изготовлена соответствующая оснастка и съемные опорные приспособления, с помощью которых оказалось возможным произвести центровку элемента или создать заданный эксцентриситет. Испытания производились с эксцентриситетом 10 мм, что позволяло задавать направление деформирования образца при приложении нагрузки в плоскости меньшей жесткости. В центре для определения перемещений предусмотрены три прогибомера ПАО-6, в том числе, один для перемещений в площади меньшей жесткости и два – в плоскости большей жесткости с двух сторон элемента. Для снятия показаний по тензорезисторам сопротивления использована система информационно-измерительная тензометрическая СИИТ-3 (перевод показаний прибора в напряжения выполнен с помощью коэффициента тензочувствительности).

Проведение испытаний каждого образца выполнялось в таком порядке:

- образец устанавливался в исходное положение;
- с помощью индикаторов ИЧ-10 выставлялся необходимый эксцентриситет;
- производилось подключение тензорезисторов и съем начальных показаний с приборов ПАО-6 и СИИТ-3 до приложения нагрузки;
- производилось загрузке пробной нагрузкой для проверки работоспособности приборов и качества центровки;
- после проверки работоспособности приборов и качества центровки производилось загрузке этапной нагрузкой с определенным шагом и выдержкой на каждом этапе нагружения для снятия показаний по приборам;
- выполнялся съем показаний по всем приборам во время выдержки на этапе;

— експеримент продовжувався до втрати зразком несучої спроможності (критерій вичерпання несучої спроможності – прогиб росте без зростання навантаження).

Після закінчення експерименту для всіх зразків виконано порівняння результатів для кожної серії і по всіх серіях в цілому.

Як уже відзначалося вище, зразки Д-3.1 і Д-3.2 прийняті з однієї партії металу, а зразки Д-3.3 і Д-3.4 – з другої.

Наклеювання тензорезисторів виконувалося по центру колонн, в місцях закінчення зварних швів і в верхній частині колонни – 0,2 довжини від верхнього краю. Після обробки даних СИИТ-3 і побудови графіків залежності навантаження і напруження в сеченнях елементів можна буде судити про вплив довжини зварних швів, незалежно від марки сталі випробовуваних зразків.

Загальний вигляд встановлених в пресі зразків наведено на рис. 1.

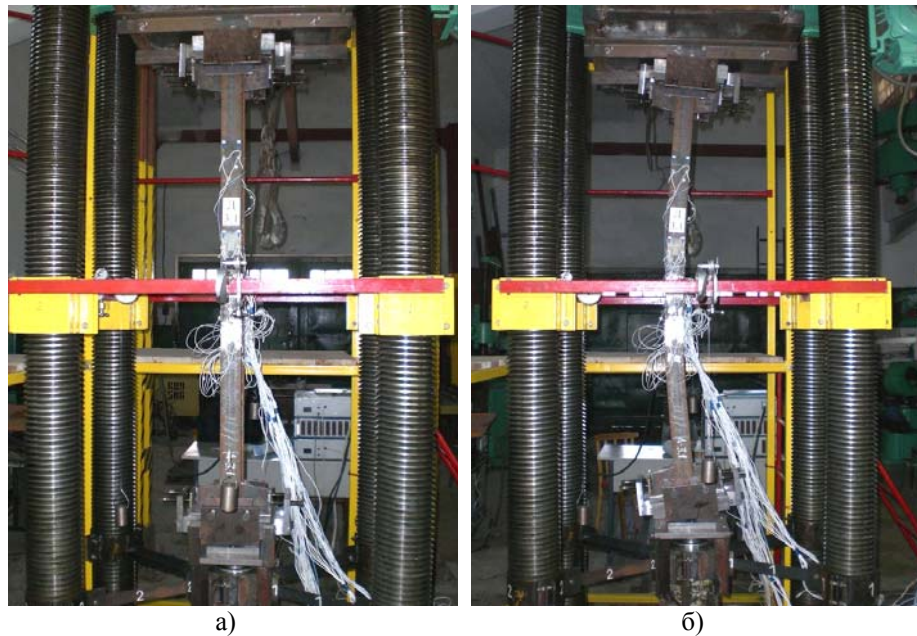


Рис. 1. Загальний вигляд зразка в пресі:
а) до випробувань; б) після випробувань

За даними виконаних досліджень були побудовані залежності «навантаження–прогиб» (« $P-f$ »). Для зразків серії Д-3 такі залежності наведено на рис. 2.

После проведения испытаний на сжатие образцы были извлечены из пресса, и для каждого образца были определены остаточные прогибы. Отдельные образцы были исследованы разрушающим способом с целью определения ОНС по методике [2, 4]. Остальные образцы были выправлены с помощью наплавки холостых валиков на выпуклых кромках. Расчет длины сварного шва выполнен по методике [2]. После этого образцы будут испытаны на сжатие при той же схеме и в тех же опорных приспособлениях, что и при первичном нагружении. Сравнение результатов испытаний (данных о величинах несущей способности) позволит оценить влияние ОНС, возникающего после регулирования, на величину несущей способности.

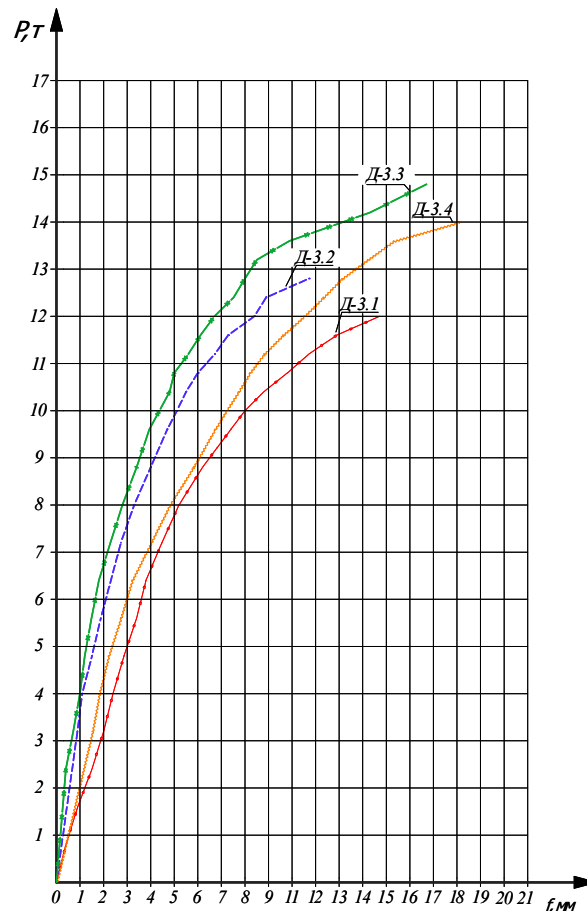


Рис. 2. Зависимости « $P-f$ » для образцов длиной 1400 мм ($L=1400$):
Д-3.1 – образец, с длиной шва $0,2 L$ (первая партия); Д-3.2 – образец, с длиной шва $0,4 L$ (первая партия); Д-3.3 – образец с длиной шва $0,6 L$ (вторая партия);
Д-3.4 – образец без наплавки валиков (вторая партия)

Учитывая, что деформированные состояния образцов после испытаний на сжатие индивидуальны, наплавку холостых валиков предполагается выполнять для каждого образца также индивидуально. Таким образом, регулирование необходимо выполнить путем несимметричной наплавки сварных швов. ОНС у всех образцов до и после наплавки предполагается оценить неразрушающими методами, а часть образцов предполагается испытать разрушающим методом путем разрезки до и после наплавки.

Выводы

1. Разработана методика экспериментальных исследований влияния ОНС, возникающего после регулирования путем наплавки холостых валиков на части длины, на несущую способность сжатых двутавровых элементов. Получение экспериментального материала позволит проверить основные положения разрабатываемой методики расчета сжатых элементов с наплавкой валиков на части длины.
2. Проведенные испытания образцов позволили установить, что длина наплавленного холостого валика влияет на несущую способность. Так, для образца Д-3.1 при длине наплавленного валика, равной $0,2 L$, несущая способность оказалась равной 12 т, а для образца Д-3.2 при наплавке на длине $0,4 L$ – 12,8 т.
3. Чем короче шов, тем более выражены пластические деформации. Несущая способность при наплавке валиков увеличивается, но наплавка валиков малой длины не эффективна и ведет к потере местной устойчивости пояса в конце наплавленного шва.
4. Предложена методика экспериментальных исследований сжатых стальных элементов, подверженных выравниванию с помощью наплавки сварных швов на выпуклых кромках поясов. Методика позволяет оценить (качественно и количественно) изменение ОНС в сварных и прокатных элементах до и после наплавки, а также влияние измененного ОНС на несущую способность.
5. Предложенная методика позволит получить экспериментальный материал, сделать выводы о целесообразности такого способа выравнивания конструкций и разработать обоснованные рекомендации по его применению.

Литература

- [1] Голоднов А. И. О необходимости учета остаточных напряжений при проектировании металлических конструкций / А. И. Голоднов // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее : сб. докл. VIII Украинской науч.-техн. конф. – К. : Изд-во «Сталь», 2004. – Ч. 1. – С. 314–323.
- [2] Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. – К. : Сталь, 2008. – 150 с.
- [3] Козлов С. В. Экспериментальные исследования сжатых элементов из уголков после наплавки сварных швов / С. В. Козлов, А. П. Иванов, А. И. Голоднов // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее : сб. докл. VIII Украинской науч.-техн. конф.– К. : Изд-во «Сталь», 2004. – Ч. 1. – С. 554–560.
- [4] Голоднов А. И. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния в прокатных двутаврах после регулирования остаточного напряженного состояния на части длины / А. И. Голоднов, С. И. Скребцов, А. П. Иванов // Ресурсноекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : Вид-во НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 177–185.

Надійшла до редколегії 29.09.2013 р.