

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПОСЛЕ РАЗГРУЗКИ И ВЫРАВНИВАНИЯ

DETERMINATION OF RESIDUAL STRESSES IN STEEL CONSTRUCTIONS AFTER UNLOADING AND SMOOTHING

*д.т.н., проф. **Голоднов А.И.** (ООО Украинский институт стальных конструкций имени В.Н.Шимановского, г. Киев), ассистент **Скребцов С.И.**, аспирант **Иванов Б.В.** (Луганский национальный аграрный университет)*

*Dr. Professor **Golodnov A.I.** (LTD V. Shimanovsky Ukrsteelconstruction, Kyiv), candidate of engineering sciences, assistant **Skrebtsov S.I.**, graduate student **Ivanov B.V.** (Luhansk national agrarian university)*

Аннотация

Изложена методика исследований остаточных напряжений, которые возникают в сварных конструкциях после нагружения и разгрузки. Даны предложения по выравниванию конструкций путем наплавки валиков. Предложена методика оценки напряженно-деформированного состояния конструкций после выравнивания.

Annotation

Methodology of researches of residual stresses which arise up in weldments after a lading and unloading is expounded. Suggestions are given on smoothing of constructions by beading. Methodology of estimation of the tensely-deformed state of constructions is offered after smoothing.

Введение. Постановка проблемы. В процессе нагружения и последующей разгрузки, особенно после перехода материала в пластическое состояние, в конструкциях возникает остаточное напряженное состояние (ОНС), которое сопровождается остаточным выгибом. Очевидно, что дальнейшая надежная эксплуатация конструкций при нагружении возможна после исключения остаточного выгиба путем выравнивания. Способов выравнивания, включая усиление путем наращивания сечения, существует много, однако не все способы можно применить к реальным конструкциям. В

частности, не всегда удается увеличить сечение из-за стесненности или наличия оборудования рядом с конструкцией. К тому же приварка элементов усиления способствует изменению ОНС, что может существенно отразиться на несущей способности конструкций. Это обстоятельство особенно важно учитывать при проектировании усиления строительных конструкций [1].

Методика экспериментальных исследований разработана для получения данных о характере распределения остаточных напряжений (ОН) в сечениях сварных конструкций после нагружения и разгрузки, остаточных выгибов, обоснования возможности выравнивания конструкций путем наплавки сварных швов и оценки влияния последствий такого выравнивания на несущую способность стальных элементов.

Цель работы – экспериментальное определение ОН в стальных конструкциях после нагружения и разгрузки разрушающим методом (путем разрезки в поперечном направлении) и обоснования возможности выравнивания конструкций путем наплавки сварных швов на выпуклых кромках.

Основная часть. В качестве образцов для экспериментального изучения распределения ОН после нагружения и разгрузки, а также выравнивания путем наплавки сварных швов и последующей оценки такого вида регулирования ОНС на несущую способность конструкций были приняты экспериментальные образцы, которые были испытаны на устойчивость [2]. Они были изготовлены путем распиловки прокатных двутавров №12 по ГОСТ 8239-89 на мерные длины: 800, 1200 и 1400 мм. Всего было изготовлено 3 серии по 4 образца в каждой. В пределах серии каждый образец имел разную длину наплавленного шва в центральной части, а именно 0,2, 0,4 и 0,6 длины элемента. 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 наплавленного валика была 0,2 и 0,4 длины элемента, а в образцах второй партии – 0,6 длины элемента и без наплавки. Два образца из металла первой партии длиной 600 мм были предназначены для определения ОНС в сечениях колонн до и после наплавки валиков на части длины. Регулирование ОНС было выполнено в средней части длины элементов путем наплавки валиков по кромкам поясов. Наплавка валиков выполнена полуавтоматом в среде углекислого газа. Для этого была использована сварочная

проволока диаметром 0,8 мм, сила тока 90А, вид тока – постоянный. Отклонения по длине элементов не превышали ± 5 мм.

Для выполнения поставленных задач при испытаниях образцов двутаврового сечения на устойчивость в плоскости меньшей жесткости была разработана и изготовлена соответствующая оснастка и съемные опорные приспособления, с помощью которых оказалось возможным выполнить центрирование элемента или создать заданный эксцентриситет. Испытания проводились с эксцентриситетом 10 мм. Такой эксцентриситет принят с целью контроля направления изгиба при приложении нагрузки. Линейные перемещения образцов определялись индикаторами часового типа ИЧ-10 в двух горизонтальных направлениях в верхнем и нижнем закреплении. В центре для определения перемещений были установлены три прогибомера ПАО-6, в т.ч. один – для измерения перемещений в плоскости меньшей жесткости и два в плоскости большей жесткости по двум сторонам элемента. Показания тензорезисторов сопротивления снимались с помощью системы СИИТ-3.

Проведение испытаний каждого образца выполнялось в такой последовательности:

- образец устанавливался в исходное положение;
- с помощью индикаторов ИЧ-10 выставлялся эксцентриситет приложения нагрузки;
- выполнялся съем начальных показаний по приборам ПАО-6 и СИИТ-3 без нагрузки;
- образец загружался начальной нагрузкой для проверки работоспособности приборов и качества центрирования;
- после проверки работоспособности приборов и качества центрирования выполнялось поэтапное нагружение с выдержкой на каждом этапе. Для образцов серии Д-3 ($\lambda = 111$) нагружение выполнялось этапами по 800 кг до нагрузки 8 т и дальше этапами по 400 кг до потери устойчивости. Для образцов серий Д-1 ($\lambda = 67$) и Д-2 ($\lambda = 96$) нагружение выполнялось следующим образом: первый этап 5 т, потом этапами по 2 т до нагрузки 13 и 11 т (соответственно для образцов Д-1 и Д-2). После достижения величин 13 и 11 тонн этапная нагрузка снижалась и составляла 1 тонну до потери несущей способности;
- на каждом этапе нагружения снимались показания по приборам;
- для контроля хода эксперимента по показателям ПАО-6 и шкалы пресса строился график зависимости «нагрузка-прогиб», а также строились эпюры напряжений в сечениях по данным СИИТ-3 (перевод показаний прибора в напряжения выполнен с помощью коэффициента

тензочувствительности, величина которого была определена по результатам тарирования на балке равного сопротивления);

- эксперимент продолжался до потери образцом несущей способности (в качестве критерия исчерпания несущей способности был принят рост прогибов без увеличения нагрузки);
- по окончании эксперимента для всех образцов было выполнено сравнение результатов для каждой серии и по всем сериям в целом.

Общий вид всех испытанных образцов приведен на рис. 1.

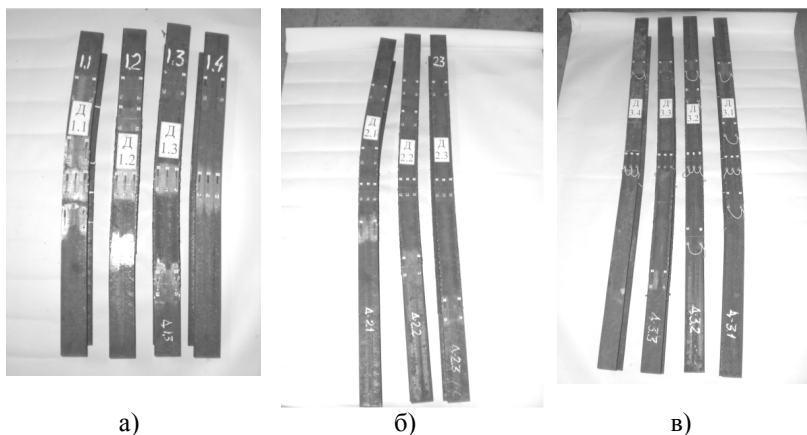


Рис. 1. Общий вид образцов после испытаний на сжатие:
а) – образцы серии Д-1;
б) – образцы серии Д-2;
в) – образцы серии Д-3

После проведенных испытаний на сжатие образцы были осмотрены и измерены с целью определения остаточных выгибов. Были отобраны образцы для испытаний на определение ОНС (наиболее деформированные образцы в каждой серии в количестве 1 шт.) разрушающим методом. Остальные образцы были выровнены путем наплавки холостых валиков по растянутым кромкам. Длина сварного шва была определена по методике, изложенной в работе [1].

Все операции по подготовке образца к испытанию на определение ОНС планируется проводить в такой последовательности:

- разметить места наклейки тензорезисторов;
- зачистить размеченные места шлифовальной машиной с последующей доводкой шлифовальной шкуркой;

- обезжирить зачищенные места (обезжиривание поверхности ацетоном проводить до тех пор, пока на тампоне из белой ваты не останется следов грязи и ржавчины);
- сгруппировать и наклеить тензорезисторы;
- выполнить коммутацию и проверку работоспособности электрических цепей.

Деформации образцов при определении ОНС планируется определять в такой последовательности.

1. В местах определения деформаций наклеить проволочные тензорезисторы сопротивления.
2. Тензорезисторы подключить к регистрирующей аппаратуре и выполнить съем начальных результатов (при этом за основу схемы и соединения тензорезисторов принять полумостовую схему с двумя компенсационными сопротивлениями при поочередном подключении активных датчиков). В качестве регистрирующей аппаратуры использовать систему тензометрическую СИИТ-3.
3. Произвести разрезку участка пояса с одной стороны образца на длину, позволяющую освободить элементы с ОН в пределах одного наклеенного тензорезистора, и произвести съем показаний по прибору СИИТ-3.
4. Произвести разрезку участка пояса с другой стороны образца на длину, позволяющую освободить элементы с ОН в пределах одного наклеенного тензорезистора, и произвести последующий съем показаний по прибору СИИТ-3.
5. После роспуска поясов произвести поперечную разрезку стенки двутавра с поэтапным снятием отсчетов по прибору СИИТ-3 в пределах одного тензорезистора.

После каждого этапа выдерживать паузу продолжительностью 15–20 минут, а затем брать отсчеты по всем тензодатчикам сопротивления исследуемого образца.

Окончательный съем показаний произвести после полной разрезки образцов и выдержки в течении 24 часов.

Выравнивание образцов выполнить путем наплавки холостых валиков на выпуклых кромках. Для каждого образца принять индивидуальную схему наплавки валиков. Наплавку выполнять обратно-ступенчатым швом участками длиной не более 150 мм. Для этого использовать сварочную проволоку диаметром 0,8 мм, силу тока 90А, вид тока – постоянный по аналогии с ранее выполненной наплавкой при изготовлении образцов.

После выравнивания отобрать по одному образцу из каждой серии для испытаний на определение ОНС по методике, изложенной выше.

Остальные образцы испытать на устойчивость по методике, которая была разработана для исследований образцов на сжатие [2]. Испытания проводить с использованием тех же приспособлений и с теми же эксцентриситетами, которые были использованы при первичных испытаниях, т.е. схема деформирования образца должна соответствовать той, которая приведена в работе [2]. После проведения испытаний сравнить полученные результаты и сделать вывод о целесообразности такого вида выравнивания и регулирования ОНС.

Выводы

В ходе проведенных испытаний сделаны такие выводы.

1. Разработана методика экспериментальных исследований ОНС, возникающего в стальных элементах двутаврового профиля после нагружения и разгрузки. ОНС предполагается определять путем разрезки образцов в поперечном направлении.
2. Предложена методика выравнивания стальных элементов путем наплавки холостых валиков по выпуклым кромкам поясов. Такая методика выравнивания позволит исключить остаточный выгиб и обеспечить дальнейшую надежную работу конструкций под нагрузкой.
3. Предложена методика экспериментального определения степени влияния наплавки валиков по выпуклым кромкам на несущую способность стальных элементов. Это позволит обосновать возможность и целесообразность такого вида регулирования ОНС для конструкций, которые находятся в эксплуатации.

Список литературы:

1. Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. – К.: «Сталь», 2008. – 150 с.
2. Скребцов С.И., Результаты экспериментальных исследований устойчивости элементов из прокатных двутавров после регулирования остаточного напряженного состояния на части длины / С.И. Скребцов, А.П. Иванов, А.И. Голоднов // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. – Дн-вск, ПГАСА, 2010. – Вып. 56. – С. 494–499.