

*к.т.н. Псюк В.В.
д.т.н. Голоднов А.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
Иванов Б.В.
(ЛНАУ, г. Луганск, Украина)*

ВЫРАВНИВАНИЕ СВАРКОЙ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Розглянуто спосіб вирівнювання сталевих конструкцій за допомогою зварювання. Наплавлення зварних швів на кромках в розтягнутій зоні конструкцій двотаврового перетину сприяє зворотному вигину і усуненню залишкового прогину. Запропоновано методика експериментальних досліджень сталевих конструкцій двотаврового і коробчатого перетинів, які мали залишкові прогини після випробувань на стиск.

Ключові слова: *сталеві конструкції, залишковий прогин, наплавлення зварних швів, несуча здатність.*

Рассмотрен способ выравнивания стальных конструкций с помощью сварки. Наплавка сварных швов на кромках в растянутой зоне конструкций двутаврового сечения способствует обратному выгибу и устранению остаточного прогиба. Предложена методика экспериментальных исследований стальных конструкций двутаврового и коробчатого сечений, которые имели остаточные прогибы после испытаний на сжатие.

Ключевые слова: *стальные конструкции, остаточный прогиб, наплавка сварных швов, несущая способность.*

Работа строительных конструкций, в условиях действующих предприятий, сопряжена с воздействием на них агрессивной среды, ударных воздействий. Следствием этого является уменьшение параметров сечения из-за коррозии стального проката и появление остаточных прогибов.

Дальнейшая эксплуатация строительных конструкций с остаточными прогибами может вызвать внезапный отказ, так как они не рассчитываются на такие условия эксплуатации. Установление действительного технического состояния и резервов несущей способности представляет собой непростую задачу для стальных конструкций. За-

частую единственным правильным решением может быть выравнивание или усиление.

Анализ последних достижений и публикаций свидетельствует о необходимости продолжения исследований в области продления срока службы эксплуатируемых, в т.ч. и деформированных, стальных конструкций с определением их остаточной несущей способности и остаточного ресурса. При этом, решение этой задачи возможно различными методами, в т.ч. и путем выравнивания с помощью сварки или усиления. В любом случае наплавка сварных швов или приварка усиливающих элементов приведет к изменению в предварительно деформированном элементе ОНС, характер изменения которого может существенно отразиться на несущей способности.

Выравнивание конструкций с помощью наплавки сварных швов приводит к изменению остаточного напряженного состояния (ОНС). Вопрос о том, насколько влияют наплавленные сварные швы на несущую способность, остается открытым. Ответ на него могут дать результаты экспериментальных исследований стальных элементов двутаврового и коробчатого (из квадратных труб) сечений на сжатие, ранее испытанных и выровненных с помощью сварки.

Цель работы – обоснование возможности выравнивания конструкций с помощью наплавки сварных швов и разработка методики экспериментальных исследований стальных элементов, ранее испытанных на сжатие и выровненных с помощью сварки.

В соответствии с требованиями проектной, нормативной и эксплуатационной документации устанавливаются критерии (количественные и качественные показатели) оценки технического состояния конструкций (параметры сечения, характеристики материалов, прогибы). Эти критерии необходимы для сравнения с ними фактических значений определяющих параметров, получаемых в ходе работ по оценке технического состояния конструкций [1, 2, 3 и др.].

Основная цель оценки технического состояния состоит в определении возможности дальнейшей эксплуатации конструкций при реализованных режимах и условиях. Этапами работ по оценке технического состояния являются [2, 3 и др.]:

- анализ технической документации;
- визуальное обследование конструкций;
- инструментальное обследование конструкций;
- анализ результатов визуального и инструментального обследования;
- выполнение поверочных расчетов (при необходимости);
- оценка технического состояния;
- определение остаточного ресурса;

- выводы о возможности дальнейшей эксплуатации и рекомендации по усилению, замене или ремонту.

Для оценки технического состояния конструкций используются:

- критерий соответствия конструкции (сооружения) рабочей документации (размеры, конструктивные особенности);

- критерий соответствия конструкции (сооружения) определяющим параметрам технического состояния (наличие или отсутствие недопустимых дефектов, соответствие примененных материалов требованиям проекта и т.п.) и удовлетворения требованиям расчета по предельным состояниям I и II групп.

Техническое состояние конструкций при отсутствии дефектов может считаться нормальным или удовлетворительным, если не выполняются [2, 3]:

условие отказа конструкций:

$$F > F_u, \quad (1)$$

где F , F_u – величины соответственно наиболее возможного за время эксплуатации усилия в элементе от расчетных нагрузок и наименьшей несущей способности;

условие достижения конструкцией предельных состояний II группы

$$f > f_u, \quad (2)$$

где f , f_u – характерное перемещение конструкции (прогиб, угол поворота, крен и т.п.) соответственно определенное в результате расчета или обследования и предельное, установленное нормами.

Предельные состояния II группы вызывают временное прекращение или частичное нарушение условий нормальной эксплуатации, но вместе с тем четкая граница перехода в предельное состояние отсутствует. С другой стороны, наличие остаточного прогиба может привести к более раннему отказу стальных конструкций вследствие изменения условий эксплуатации.

Оценка технического состояния производится сопоставлением контролируемых параметров, определенных в ходе проведения обследований, с соответствующими проектными параметрами или определенными в результате расчетов. Переход конструкций в предельное состояние возможен при достижении предельных величин геометрических параметров (уменьшение вследствие коррозионного износа размеров стального проката и т.п.), прочностных характеристики стали, а так

же при разрушении или повреждении узлов сопряжения и элементов крепления.

Минимально допустимые величины контролируемых параметров устанавливаются по результатам расчетов изгибаемых или сжатых элементов для определения несущей способности и сравнения ее с максимальным действующим усилием:

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F, \quad (3)$$

где $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$ – функция несущей способности элементов.

В качестве параметров $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$ принимаются размеры поперечного сечения, остаточный прогиб и прочность стали как функции времени. Определение величины действующего усилия F для статически определимых конструкций не представляет затруднений с принципиальной точки зрения.

Для статически неопределимых конструкций из-за перераспределения усилий величина F определяется на основе математического моделирования технического состояния, установленного по результатам обследования. Математическое моделирование технического состояния возможно выполнить с использованием современных вычислительных комплексов типа ЛИРА, SCAD и др. [2, 3 и др.].

Переход неравенства (3) в равенство свидетельствует об исчерпании ресурса конструкции. Дальнейшая эксплуатация возможна только после проведения работ по усилению (замене) или ремонту.

Выравнивание конструкций с использованием сварки имеет определённые особенности. Так, наплавка сварных швов на выпуклых гранях приведет к изменению ОНС и исключению остаточного прогиба. Такое регулирование ОНС может существенно отразиться на несущей способности. Ответить на поставленный вопрос могут только результаты эксперимента.

В ДонГТУ на протяжении многих лет выполняются экспериментальные исследования ОНС, возникающего после изготовления и регулирования с использованием сварки и высокотемпературного нагрева, с оценкой его влияния на несущую способность строительных конструкций. В процессе исследований было установлено, что наличие остаточных напряжений (ОН) растяжения, обусловленных сваркой поясных швов, вызывает появление уравнивающих сжимающих напряжений в остальной части сечения, в т.ч. и на кромках поясов. Появление ОН сжатия на кромках приводит к снижению величин критических сил [3, 4 и др.].

Экспериментально [4 и др.] подтверждено снижение несущей способности сжатых двутавровых элементов до 40%. Неблагоприятное влияние ОН определяет разграничение коэффициентов продольного изгиба для расчета сжатых элементов одного профиля. Различие в величинах коэффициентов продольного изгиба для стальных конструкций двутаврового и Н-образного сечения без ОН и с ОН сжатия на кромках поясов свыше 49 МПа может достигать 15...17 % (см. ДБН В.2.3-14:2006 [5]). В нормах проектирования стальных конструкций (СНиП II-23-81* [6]) методика определения коэффициента продольного изгиба не учитывает технологию изготовления конструкций, т.е. наличие ОНС.

Усиление и одновременно выравнивание искривленных образцов может выполняться путем присоединения (с помощью болтов или прихваток) к стенке с двух сторон или к поясам металлических полос шириной 0,7...0,8 высоты стенки или ширины пояса с последующим разогревом кромок до температуры выше критической точки Ас3 или наплавкой сварных швов обратноступенчатым способом. Способ усиления защищен авторским свидетельством СССР [7].

Для экспериментального подтверждения возможности выравнивания искривленных образцов путем наплавки валиков на выпуклых кромках и оценки влияния такого вида термического воздействия на несущую способность была разработана методика экспериментальных исследований, которая подразумевает проведение испытаний на сжатие стальных образцов, которые были испытаны ранее [8, 9, 10]. Образцы каждой серии (сварные [8, 9] или прокатные [10]) имели одинаковое поперечное сечение, но были подвергнуты различным видам регулирования, в т.ч. и путем наплавки сварных швов на части длины.

Испытания образцов на сжатие были выполнены с одинаковыми (в пределах каждой серии) эксцентриситетами приложения нагрузки. Это достигалось за счет применения съемных опорных приспособлений, которые устанавливались на образцы, и несъемных, которые устанавливались на плиты пресса. После проведенных испытаний образцы получили обратные выгибы (рис. 1, 2).

Поскольку в результате проведенных испытаний образцов на сжатие были получены данные о величинах несущей способности, в задачу настоящих исследований входило выравнивание образцов за счет наплавки валиков и проведение повторных испытаний на сжатие с целью получения данных о несущей способности образцов после наплавки с использованием той же оснастки. Сравнение результатов испытаний (данных о величинах несущей способности) позволит оценить влияние ОНС, возникающего после регулирования, на величину несущей способности.



Рисунок 1 – Общий вид сварных образцов ([8, 9]) после испытаний



Рисунок 2 – Общий вид одной из серий прокатных образцов ([8, 9]) после испытаний

Наплавку холостых валиков предполагается выполнять для каждого образца индивидуально, поскольку характер выгибов у каждого образца индивидуален. 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.

Таким образом, обобщая результаты выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложена комплексная методика определения технического состояния и расчета эксплуатируемых конструкций. Методика не противоречит основным положениям действующих нормативных документов по вопросам обследований, паспортизации и т.п.

2. Предложена методика экспериментальных исследований сжатых стальных элементов, подверженных выравниванию с помощью наплавки сварных швов на выпуклых кромках. 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.

3. Предложенная методика позволит получить экспериментальный материал и сделать выводы о целесообразности такого способа выравнивания конструкций и разработать обоснованные рекомендации по его применению.

Библиографический список

1. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84). – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.

2. Голоднов А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния – составная часть работ по продлению ресурса строительных конструкций сооружений // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2004. – № 7–8. – С. 34–41.

3. Иванов Б.В. Определение остаточного ресурса стальных конструкций в условиях действующих предприятий с учетом наличия остаточного напряженного состояния / Б.В. Иванов // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2011. – Вип. 8. – С. 110–120.

4. Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. – К.: «Сталь», 2008. – 150 с.

5. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 359 с.

6. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

7. А.с. 1523647 СССР, МКИ E04 C 3/10, E04 G 23/02. Способ усиления металлических колонн двутаврового сечения / И.И. Набоков, А.И. Голоднов, А.И. Филатов, В.П. Голоднова (СССР); опубл. 23.11.89. Бюл. № 43. – 2 с.

8. Голоднов А.И. Методика экспериментальных исследований сжатых стальных стержней, имеющих поля остаточных напряжений / А.И. Голоднов, С.Н. Полишко // Стр-во. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр. / ПГАСиА. – Днепропетровск: ПГАСА, 2002. – Вып. 18. – С. 43-48.

9. Голоднов А.И. Экспериментальные исследования внецентренно-сжатых сварных двутавровых образцов-колонн / А.И. Голоднов, С.Н. Полишко // Вісн. Придніпр. Держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2004. – № 1. – С. 43-50.

10. 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 // Стр-во. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр. / ПГАСиА. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 56. – С. 494-499.

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