

УДК 624.072.002.2

Усиление стальных конструкций методом увеличения сечения с использованием плазменной сварки

¹Козлов С.В., к.т.н., ²Кудашкин М. С., аспирант

¹ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

²Харьковское комплексное отделение ОАО

«УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Для підсилення стрижневих елементів сталевих конструкцій методом збільшення перерізу як спосіб з'єднання запропоновано використання плазмового зварювання.

Аннотация. Для усиления стержневых элементов стальных конструкций методом увеличения сечения в качестве способа соединения предложено использование плазменной сварки.

Abstract. For strengthening rod elements of steel constructions by a method of increase in sectional view as a way of connection use of a plasma welding is offered.

Ключевые слова: усиление, стержень, плазменная сварка.

Введение. Постановка проблемы. Реконструкция промышленных предприятий и их техническое перевооружение, как правило, связаны с увеличением эксплуатационных нагрузок на существующие конструкции зданий и сооружений. Увеличение нагрузок приводит к необходимости повышения несущей способности конструкций и является основной причиной их общего усиления. В ряде случаев необходимость местного (реже общего) усиления металлических конструкций диктуется ошибками или дефектами, возникшими на стадии их проектирования, изготовления или монтажа.

Наиболее распространенной причиной, вызывающей необходимость усиления металлических конструкций, является их физический износ в результате длительной интенсивной или неправильной эксплуатации. В первую очередь износ связан с поражением металла коррозией, резко снижающей несущую способность элементов, узлов или конструкции в целом.

Анализ последних достижений и публикаций. Одним из самых распространенных методов повышения несущей способности стальных конструкций при усилении их элементов является метод увеличения сечения, который достаточно широко изложен в ряде публикаций и диссертационных работ [1 – 7]. Суть данного метода заключается в усилении отдельных элементов конструкций путем увеличения их сечения посредством присоединения и включения в совместную с основным стержнем работу

дополнительных элементов усиления с целью повышения жесткости на сжатие, растяжение и изгиб. Схемы усиления могут быть различными и диктуются формой сечения усиливаемого элемента (см. рис. 1), условиями его закрепления и нагружения до и после усиления, технологическими и конструктивными соображениями [6].

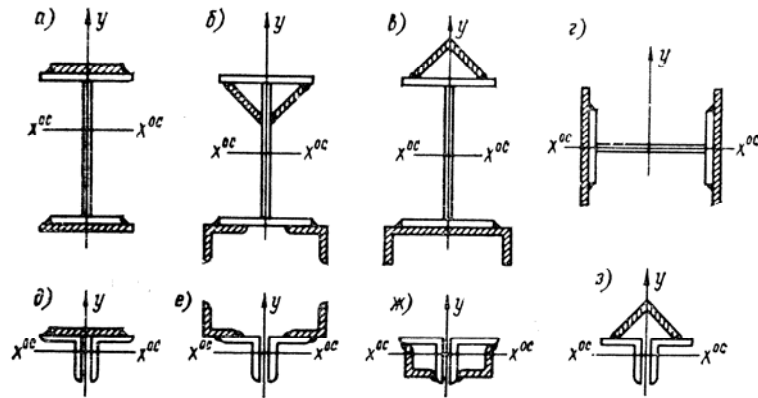


Рис. 1. Наиболее распространенные схемы усиления элементов металлических конструкций:

а-г – двутаврового сечения; д-з – таврового сечения из двух уголков
(элементы усиления заштрихованы)

В настоящее время основным видом соединения элементов при усилении конструкций является электродуговая сварка, поскольку присоединение элементов усиления с помощью сварки технологически наиболее удобно. Однако наложение сварных швов приводит к возникновению сварочных напряжений и деформаций, неравномерность распределения которых по сечениям вызывает развитие общих перемещений оси стержня в процессе его сварки и остывания. Влияние этих факторов на прочность и устойчивость может быть весьма значительным, особенно при усилении под нагрузкой. Оно обусловлено не только суммированием сварочных напряжений с напряжениями от внешней нагрузки, но и, в общем случае, приращением усилий в сечениях стержня вследствие приращения его прогибов и изменения жесткости (при появлении в сечениях зон термопластичности и развитии остаточных пластических деформаций) [6]. Применение электродуговой сварки при усилении конструкций под нагрузкой вызывает определенные требования и ограничения как к выбору конструктивной формы элементов усиления, так и к процессу выполнения сварочных работ. Поскольку в процессе сварки происходит временное снижение несущей способности элементов за счет их нагрева при сварке и накопления значительных остаточных пластических деформаций.

Цель работы. В данной работе рассматривается возможность присоединения элементов усиления с помощью плазменной сварки, что позволит значительно снизить негативное влияние сварочных напряжений и деформаций элементов за счет уменьшения зоны разогрева металла.

Изложение основного материала. На основе выполненного анализа последних отечественных и зарубежных публикаций установлено, что плазменная сварка в качестве способа присоединения элементов стальных строительных конструкций еще не применялась. Хотя свойства плазменной дуги, как источника нагрева, эффективно используют для резки металлов, а также в машиностроительной отрасли для создания плазменного упрочнения поверхностного слоя инструментальных материалов. Плазменная сварка широко применяется для соединения элементов из алюминиевых и титановых сплавов, а также сложнолегированных сталей. Использование плазменной сварки как источника термических воздействий в решении проблемы уменьшения сварочных деформаций при присоединении и включении в совместную работу элементов усиления обусловлено меньшей зоной разогрева металла за счет применения более концентрированного источника нагрева и значительного увеличения скорости сварки [8].

Поскольку эффективность процессов сварки плавлением оценивают обычно такими показателями, как эффективный и термический КПД, коэффициенты расплавления и наплавки и т.п. Источники сварочного нагрева характеризуют обычно удельным тепловым потоком в пятне нагрева $q_{n \max}$ (Вт/см²) и коэффициентом сосредоточенности – k .

Основная характеристика электродуговой и плазменной сварки как источника теплоты – это эффективная тепловая мощность, т. е. количество теплоты, вводимой при сварке источником в элемент конструкции в единицу времени [9]

$$q = 0,24\eta_u UI, \quad (1)$$

где η_u – эффективный КПД плазменного нагрева изделия; 0,24 – коэффициент, учитывающий влияние, оказываемое несинусоидальностью кривых напряжения и тока на мощность дуги при сварке на переменном токе; U и I – соответственно напряжение и ток дуги.

Эффективную тепловую мощность плазменной струи можно регулировать изменением тока и напряжения дуги, расхода и состава газа, диаметра канала и сопла, расстояния между соплом и нагреваемым изделием. Сравнение термических источников энергии для сварки показывает, что наибольшую удельную мощность в пятне нагрева имеют лучевые источники для которых $q_{n \max} \approx 1 \times 10^{10}$ Вт/см². Однако их применение для сварки

ограничено верхним пределом 1×10^7 Вт/см², поскольку при более высоких плотностях энергии в пятне нагрева сварка невозможна – происходит испарение материала. В качестве сравнения приведены параметры, характеризующие разновидность сварочных процессов, табл. 1 [9].

Таблица

Параметры сварочных процессов в функции концентрации энергии, приложенной к единице площади

| Способ сварки | Концентрация энергии, Вт/см ² |
|----------------|--|
| Электродуговая | 4×10^4 |
| Плазменная | 1×10^7 |

Режим сварки характеризуется также скоростью v_{cv} (см/с) перемещения дуги, в случае сварки угловыми швами v_{cv} определяется по формуле

$$v_{cv} = \frac{\alpha_n I_{cv}}{3600 \gamma F_n}, \quad (2)$$

где α_n – коэффициент наплавки; γ – плотность, г/см³; I_{cv} – сила сварочного тока; F_n – площадь углового шва, определяется по формуле

$$F_n = \frac{k_y k_{f_{cv}}^2}{2}, \quad (3)$$

где k_y – коэффициент увеличения, зависящий от диаметра электрода; $k_{f_{cv}}$ – катет шва.

Мощность дуги связана с погонной энергией зависимостью

$$q = q_n v_{cv}. \quad (4)$$

Анализируя вышеприведенные справочные данные и проведенные сравнения тепловых параметров процесса электродуговой и плазменной сварки, очевидно, что при использовании плазменной сварки происходит в значительной степени более концентрированный нагрев металла, чем при электродуговой, что позволяет увеличить скорость наплавки сварного шва в 10 – 12 раз. В результате использования плазменной сварки при формировании сварного шва происходит нагрев меньшей площади околошовной зоны и соответственно снижаются остаточные сварочные напряжения и деформации в основном стержне, а также в элементах усиления.

Технологические возможности плазменной сварки в сравнении с газовой, электродуговой в среде защитного газа и лазерной сваркой имеют следующие преимущества:

- высокая стабильность и устойчивость сжатой дуги, в том числе на малых токах, при увеличенной длине дуги, на любой полярности тока;
- высокая универсальность выбора режима;
- высокая концентрация тепловвода, что позволяет уменьшить объем расплавляемого основного и присадочного металла, а в ряде случаев и количество дефектов в шве, снизить сварочные деформации;
- импульсные режимы плазменной сварки – уменьшают перегрев изделия, опасность прожогов и сварочные деформации, улучшают структуру шва;
- ведение процесса плазменной сварки на постоянном токе обратной полярности, что повышает качество и стабильность свойств сварного шва за счет эффекта катодной очистки, проявляющегося в удалении оксидных и адсорбированных пленок со свариваемых поверхностей;
- возможность исключения разделки кромок свариваемых деталей за счет повышенной проплавливающей способности сжатой дуги;
- полное исключение разбрызгивания расплавленного металла при сварке;
- возможность формирования шва без усиления или ослабления, заподлицо с основным металлом;
- автоматизированная плазменная сварка проникающей дугой позволяет получить швы минимальной ширины.

Выводы

Выполненный анализ показывает, что при использовании плазменной сварки происходит в значительной степени более концентрированный нагрев металла, чем при электродуговой, что позволяет увеличить скорость наплавки сварного шва в 10 – 12 раз. В результате использования плазменной сварки при формировании сварного шва происходит нагрев меньшей площади околошовной зоны и соответственно снижаются остаточные сварочные напряжения и деформации в основном стержне, а также в элементах усиления.

Таким образом, благодаря значительно более низким остаточным сварочным деформациям эффективность от вновь приваренного сечения будет значительно выше, что в свою очередь даст экономию металла.

Плазменная сварка имеет ряд преимуществ в сравнении с газовой и электродуговой сваркой, таких как: высокая производительность, высокое качество шва, минимальный расход материалов, которые сами по себе являются дополнительными доводами для применения плазменной сварки.

Литература

- [1] Бельский М.Р., Лебедев А.Н. Усиление стальных конструкций. – Киев: Будівельник, 1981. – 120 с.
- [2] Валь В.Н., Горохов Е.В. Уваров Б.Ю. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции. – М.: Стройиздат, 1987. – 220 с.
- [3] Десятов Б.И. Исследование работы усиленных под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., 1969. – 11 с.
- [4] Колесников В.М. Исследование работы некоторых стальных конструкций и отдельных элементов, усиленных под нагрузкой: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Л., 1967. – 23 с.
- [5] Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / УкрНИИпроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.
- [6] Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций: Проектирование и расчет. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 288 с.
- [7] Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформаций конструкций // Учебное пособие. – М.: Высш. Школа, 1982. – 272 с.
- [8] Козлов С.В. Управление остаточными напряжениями в стальных конструкциях с использованием плазменной сварки // Зб. наук. пр. Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – С. 13 – 17.
- [9] Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справ. изд. / Под. ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991. – 528 с.

Надійшла до редколегії 30.06.2009 р.