

УДК 624.072.002.2

Применение плазменной сварки как способа снижения остаточных деформаций и напряжений в сварных стальных конструкциях

¹Козлов С.В., к.т.н., ²Кириллов Ю.В., аспирант

¹ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина
²Мариупольское комплексное отделение
ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Для управління залишковими напруженнями в сталевих конструкціях як джерело термічного впливу запропоновано використання плазмового зварювання.

Аннотация. Для управления остаточными напряжениями в стальных конструкциях в качестве источника термических воздействий предложено использование плазменной сварки.

Abstract. For a management residual stresses in steel constructions as a source of thermal influences the use of the plasma welding is offered.

Ключевые слова: остаточные напряжения, сварные конструкции, плазменная сварка.

Введение. Постановка проблемы. При проектировании и изготовлении сварных конструкций необходимо считаться с возможностью появления в них остаточных деформаций и напряжений, а также принимать меры для их предотвращения или ограничения в таких пределах, при которых влияние их не будет опасным. Необходимо отметить, что появление деформаций и напряжений в результате воздействий, оказываемых при обработке металла, не является исключительной особенностью сварных конструкций.

По эксплуатационным условиям и по условиям прочности необходимо обеспечивать определенную точность изготовления конструкций, поэтому появление в них сварочных деформаций является нежелательным. В связи с этим разработка мер для предупреждения сварочных деформаций является одной из основных задач технологического процесса изготовления сварных строительных конструкций [4].

Уменьшение сварочных деформаций и напряжений может быть в большинстве случаев достигнуто соответствующим выбором последовательности сборки и сварки. Такое решение наиболее рационально, так как в этом случае отпадает необходимость применения дополнительных приемов, усложняющих технологический процесс изготовления сварных конструкций. Однако при изготовлении сварных конструкций не во всех

случаях удается избежать необходимости применения некоторых дополнительных мер [1, 2]. Учитывая выше изложенное, авторами рекомендуется использовать альтернативные виды сварки, которые по своим технологическим параметрам значительно превосходят параметры электродуговой сварки, традиционно применяемой для изготовления сварных строительных конструкций.

Анализ последних достижений и публикаций. При сварке остаточные напряжения возникают всегда, причем их величина в районе швов, как правило, достигает значений, равных пределу текучести. Искажение формы отдельных деталей сильно осложняет изготовление сварных конструкций дополнительными трудоемкими операциями по подгонке в местах сопряжений и приводит к увеличению непроизводительных затрат. Кроме того, искажение формы элементов конструкции может привести к недопустимым изменениям условий работы и вызвать перенапряжения в отдельных сечениях элементов конструкций [5].

К эффективным способам снижения негативного влияния остаточных сварочных деформаций и напряжений относятся:

- метод теплоотвода с применением теплоотводящих паст, понижающих влияние тепловых и деформационных процессов в зоне сварного шва;
- метод уменьшения тепловложений в свариваемую конструкцию, для чего используются высококонцентрированные источники сварочного нагрева и назначаются режимы сварки с малой погонной энергией и высокими скоростями движения источника тепла.

На практике широко применяют следующие способы сварки концентрированным источником нагрева: электронно-лучевой, плазменный, импульсно-дуговой, голым электродом, по слою флюса и др. По плотности энергии плазменный источник тепла находится в промежуточном, но наиболее выгодном положении между электродуговыми и лучевыми (электронно-лучевыми и лазерными) источниками тепла. Он позволяет получить более высокую температуру и плотность теплового потока на обрабатываемом изделии в сравнении с дугowymi источниками, хотя и уступает лучевым по концентрации энергии, но значительно дешевле и доступнее их по техническому воплощению [7].

Сварные соединения, выполненные плазменной дугой, характеризуются глубоким проваром и незначительной шириной шва, причем эти параметры шва обеспечиваются на скоростях, которые при одинаковой мощности дуги превышают скорости других дугowych способов. В этой связи термическая эффективность процесса выгодно отличается от показателей известных дугowych способов [6]. Такого эффекта удается достичь за счет дополнительного сжатия дуги, которую позволяет получить специальная

горелка – плазмотрон. В среде ионизированного газа он позволяет получить сжатую дугу с температурой до 30000 °С. Вдуваемый в камеру газ (рис. 1), сжимая столб дуги в канале сопла плазмотрона и охлаждая его поверхностные слои, повышает температуру столба. В результате струя проходящего газа, нагреваясь до высоких температур, ионизируется и приобретает свойства плазмы. Увеличение при нагреве объема газа в 50 – 100 и более раз приводит к истечению плазмы [3].

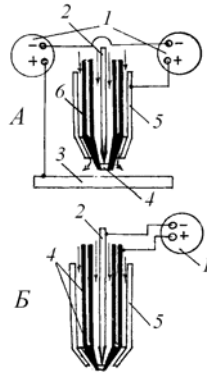


Рис. 1. Работа плазмотрона в режиме:
А — прямой полярности; Б — дуги косвенного действия
(сопло 4 выполняет одновременно роль анода); 1 — источник питания;
2 — электрод; 3 — изделие; 4 — сопло плазмотрона; 5 — защитное сопло
плазмотрона; 6 — каналы плазмотрона

При сварке угловых швов увеличивается глубина проплавления, что способствует более равномерному прогреву по толщине, уменьшению площади зоны остаточных пластических деформаций укорочения и, следовательно, снижению продольных и поперечных деформаций, а также угловых. При глубоком проплавлении можно выполнять сварку с меньшим значением катета, сохраняя требуемую прочность.

Другими словами, применение плазменной сварки позволяет получить качественное сварное соединение на более низких значениях удельной тепловой энергии. Это означает, что расплавляется меньший объем металла, а при условии сохранения глубины проплавления уменьшается ширина сварного шва. Снижение значений удельной тепловой энергии автоматически влечет за собой снижение энергоемкости и связанных с этим затрат на изготовление сварных стальных конструкций.

Изучение выше изложенной проблемы обусловлено решением важных государственных научно-технических программ, в частности, ГНТП 5.4. «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии, оборудование и материалы для сварки и родственных процессов», которая утверждена

Постановлением Кабинета Министров Украины от 24.12.2001 г. № 1716 «Про затвердження науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки».

Цель работы. В данной работе рассматривается возможность изготовления стальных строительных конструкций с использованием плазменной сварки, что позволит значительно снизить негативное влияние сварочных напряжений и деформаций элементов конструкции за счет уменьшения околошовной зоны разогрева металла.

Изложение основного материала. На основе выполненного анализа последних отечественных и зарубежных публикаций установлено, что при изготовлении стальных строительных конструкций плазменная сварка еще не применялась. Хотя свойства плазменной дуги, как источника нагрева, эффективно используют для резки металлов, в машиностроительной отрасли для создания плазменного упрочнения поверхностного слоя инструментальных материалов, а также сварки элементов из алюминиевых, титановых и других сплавов.

Как уже отмечалось выше, концентрированные источники нагрева характеризуются повышенной проплавляющей способностью, что приводит к изменению параметров режима сварки, а именно, к снижению сварочного тока либо к повышению скорости сварки, поэтому применение плазменной сварки позволяет получить качественное сварное соединение на более низких значениях удельной тепловой энергии q_0 . Это означает, что расплавляется меньший объем металла, а при условии сохранения глубины проплавления уменьшается ширина сварного шва.

Рассмотрим, как уменьшение удельной тепловой энергии q_0 (следовательно и ширины шва) влияет на площадь эпюры остаточных продольных пластических деформаций укорочения, а также на величину остаточных деформаций и напряжений. Формирование остаточных продольных пластических деформаций укорочения происходит на двух этапах: при нагреве и охлаждении. Уменьшение значения q_0 равносильно смещению линии ε_{I1} в положение ε_{I2} (рис. 2) и понижению линии $\varepsilon_{пол}$, что приводит при нагреве, во-первых, к уменьшению ширины зоны пластических деформаций b_n и, во-вторых, к увеличению степени пластического укорочения ($b_{n2} < b_{n1}$), [1]:

$$\alpha T_2 - \varepsilon_{пол2} > \alpha T_1 - \varepsilon_{пол1}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи (теплоотвода) величина не постоянная, изменяется в широких пределах в зависимости от физических свойств теплоотводящей среды, формы и материала поверхности тела, ее положения в пространстве; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры; $\varepsilon_{пол1}$ и

$\varepsilon_{пол 2}$ – тепловое удлинение (деформации) при нагреве и охлаждении соответственно.

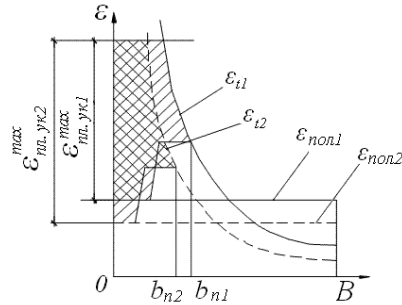


Рис. 2. Изменение площади эпюры пластических деформаций укорочения при сварке концентрированными источниками нагрева [1]

При охлаждении в зоне пластических деформаций b_n развиваются упругие деформации удлинения. Поскольку пластическая деформация укорочения на этапе нагрева значительно превышает ε_T ($\varepsilon_{пл,ук1}^{max} > \varepsilon_T$, $\varepsilon_{пл,ук2}^{max} > \varepsilon_T$), возникающая при охлаждении в зонах b_{n1} и b_{n2} упругая деформация удлинения при условии соблюдения гипотезы плоских сечений достигает значения ε_T . В остальной части сечения ($B - b_n$) установятся соответствующие упругие деформации укорочения:

$$\varepsilon_{p1} = -\frac{\varepsilon_T b_{n1}}{B - b_{n1}}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{p2} = -\frac{\varepsilon_T b_{n2}}{B - b_{n2}}. \quad (3)$$

Учитывая, что $b_{n2} < b_{n1}$, получим $\varepsilon_{p2} < \varepsilon_{p1}$, т.е. из уравнения $\varepsilon' = \varepsilon_T + |\varepsilon_p|$ следует, что $\varepsilon'_2 < \varepsilon'_1$. Следовательно, при сварке более узким швом происходит уменьшение площади эпюры остаточных пластических деформаций укорочения, так как $b_{n2} < b_{n1}$ и $\varepsilon'_2 < \varepsilon'_1$ (рис. 3).

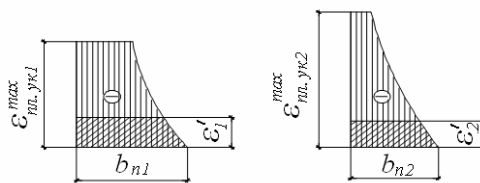


Рис. 3. Укорочения пластических деформаций при сварке широким и узким швом [1]

При смещении линии ε_i к координатным осям уменьшение площади эпюры остаточных пластических деформаций укорочения происходит в основном в результате уменьшения ширины зоны пластических деформаций b_n .

Выводы

Концентрированные источники нагрева характеризуются повышенной проплавляющей способностью, что приводит к изменению параметров режима сварки, а именно, к снижению сварочного тока либо к повышению скорости сварки, поэтому применение плазменной сварки позволяет получить качественное сварное соединение на более низких значениях удельной тепловой энергии q_0 . Это означает, что расплавляется меньший объем металла, а при условии сохранения глубины проплавления уменьшается ширина сварного шва, это позволит значительно снизить площадь пластических деформаций за счет уменьшения околошовной зоны разогрева металла.

Применение плазменной сварки позволит снизить негативное влияние остаточных деформаций и напряжений, возникающих в сечениях сварных соединений стальных конструкций со стыковыми и угловыми швами.

Литература

- [1] Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений – М.: Машиностроение, 1984. – 279 с.
- [2] Касаткин Б.С., Прохоренко В.М., Чертов И.М. Напряжения и деформации при сварке – К.: Наук. думка, 1987. – 246 с.
- [3] Козлов С.В. Управление остаточными напряжениями в стальных конструкциях с использованием плазменной сварки // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2, – С. 13 – 17.
- [4] Майзель В.С., Навроцкий Д.И. Сварные конструкции -Л.: Машиностроение, 1973. – 304 с.
- [5] Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкции – К.: Изд-во «ИНДПРОМ», 1998. – 640 с.
- [6] Плазменная сварка (Обзор) / В.С. Гвоздецкий, Н.А. Макаренко // Автомат. сварка. – 2000. – № 12. – С. 26 – 30.
- [7] Плазменные технологии на рубеже веков / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 3 – 5.

Надійшла до редколегії 30.06.2009 р.