

УДК 624.072.002.2

## **Управление остаточными напряжениями в стальных конструкциях с использованием плазменной сварки**

**Козлов С.В., к.т.н.**

ОАО «УкрНИИпроектстальконструкций им. В.Н. Шимановского», Украина

**Анотація.** Для управління залишковим напруженням у 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.** Application of plasma welding is proposed to deal with residual stresses in steel constructions as a source of thermal effects.

**Ключевые слова:** плазменная сварка, дуга, металлоконструкции, плазма.

**Актуальность работы.** В настоящее время все более острой становится проблема продления остаточного ресурса существующих, а также изготовления новых, эффективных по расходу металла стальных конструкций. Одним из способов повышения устойчивости является регулирование остаточного напряженного состояния на стадии изготовления и эксплуатации стальных конструкций с помощью локальных термических воздействий (ЛТВ).

Анализ последних достижений и публикаций. Этот способ достаточно широко изложен в ряде публикаций и диссертационных работ [1-7]. Основной причиной создания эффективного остаточного напряженного состояния является высококонцентрированное локальное термическое воздействие, за счет чего и происходит перераспределение остаточных напряжений в сечениях стальных конструкций. Методики определения остаточного напряженного состояния и его влияния на устойчивость сжатых элементов металлоконструкций [4, 5] отражают принципиальный подход в решении этого вопроса при использовании электродуговой сварки. На основе выполненного анализа последних отечественных и зарубежных достижений и публикаций установлено, что плазменная сварка в качестве источника термических воздействий для регулирования остаточных напряжений в сечениях стальных строительных конструкций еще не применялась. Хотя, свойства плазменной сварки как источника нагрева в подобных целях эффективно используют в машиностроительной отрасли для создания плазменного упрочнения поверхностного слоя инструментальных материалов [8].

Постановка проблемы в общем виде. В качестве источника термических воздействий в работах [1–7] использовалась газовая и электродуговая сварка. При использовании электродуговой сварки прикосновение электрода к изделию приводит к образованию дуги с температурой  $t_{\max} = 5000 - 6000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Научной новизной в решении проблемы регулирования остаточного напряженного состояния стальных конструкций является применение плазменной сварки как источника локальных термических воздействий, позволяющей получить качественно и количественно иное распределение остаточных напряжений, поскольку температура при такого рода сварке достигает  $t_{\max} = 30000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Изложение основного материала. Плазма – ионизированный газ, содержащий электрически заряженные частицы и способный проводить ток. Ионизация газа происходит при его нагреве. Степень ионизации тем выше, чем выше температура газа, он имеет высокую электропроводность, ярко светится и представляет собой типичную плазму. Плазменная сварка – это та же сварка плавлением. Здесь также действует электрическая дуга. Но это уже сжатая дуга, которую позволяет получить специальная горелка – плазмотрон, схематично изображенный на рис. 1 [9]. В среде ионизированного газа он позволяет получить сжатую дугу с температурой до  $30000 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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.

Для производства плазменной и микроплазменной сварки в настоящее время применяются следующие установки: УПС-501, УПС-804, УПС-301 и А-1342.

При оценке эффективности источников энергии необходимо учитывать ряд определенных факторов, основными из которых являются: техническая возможность применения процесса; качество выполнения ЛТВ; энергетическая и экономическая эффективность выполнения термических воздействий.

Для правильного и обоснованного учета факторов технологичности, качества и одновременно со степенью эффективности применяемого источника термических воздействий нужна единая методика их количественной оценки.

Эффективность процессов сварки плавлением оценивают обычно по таким показателям, как эффективный и термический к.п.д., коэффициенты расплавления и наплавки и т.п. Источники сварочного нагрева характеризуют обычно удельным тепловым потоком в пятне нагрева  $q_{\max}$  [Вт/см<sup>2</sup>], и коэффициентом сосредоточенности  $k$ .

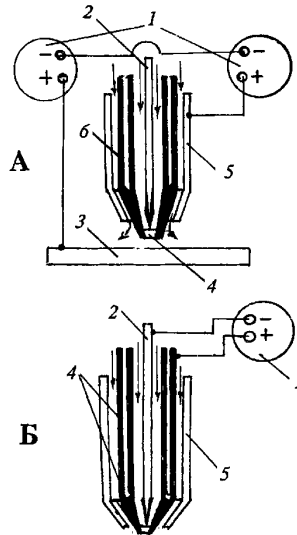


Рис. 1. Работа плазмотрона в режиме:

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

Основная характеристика плазменной струи как источника теплоты – это эффективная тепловая мощность, т. е. количество теплоты, вводимой при сварке источником в элемент конструкции в единицу времени [10]:

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

где  $\eta_u$  – 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.

Часть энергии дуги расходуется на нагрев сопла ( $\eta_c$ ), канала ( $\eta_k$ ) и электрода ( $\eta_e$ ), а также теряется в результате лучеиспускания и конвекции. 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  $q_{\max} \approx 1 \times 10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>. Однако их применение для сварки ограничено верхним пределом  $1 \times 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, поскольку при более высоких плотностях энергии в пятне нагрева сварка невозможна – происходит испарение материала. В качестве сравнения приведены параметры, характеризующие разновидность сварочных процессов (см. таблицу) [10].

Таблица 1

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

| Способ сварки  | Концентрация энергии, Вт/см <sup>2</sup> |
|----------------|------------------------------------------|
| Газовая        | $6 \times 10^2$                          |
| Электродуговая | $4 \times 10^4$                          |
| Плазменная     | $1 \times 10^7$                          |

Анализ вышеприведенных справочных данных и сравнения тепловых параметров процесса газовой, электродуговой и плазменной сварки показывают, что при использовании плазменной сварки происходит в значительной степени более концентрированный нагрев металла, чем при электродуговой и газовой.

Применение плазменной сварки в качестве источника термических воздействий возможно, при этом скорость движения плазмотрона в процессе термических воздействий на элементы конструкции должна быть в 10 – 12 раз выше, чем скорость наплавки холостого сварного шва.

**Выводы**

При газовой и электродуговой сварке происходит менее концентрированный нагрев металла, чем при плазменной сварке. Это приводит к более обширной зоне теплового воздействия, что ухудшает эффект создания и регулирования остаточных напряжений в сечениях стальных конструкций.

Для предварительного напряжения ЛТВ стальных конструкций в качестве источника высокотемпературных воздействий целесообразно применять плазменную сварку, которая позволит осуществить термические воздействия более локально, отражая тем самым саму суть применяемого метода.

## Литература

- [1] *Шелестенко Л.П.* Влияние собственных остаточных напряжений на общую устойчивость сжатых сварных Н-образных элементов // Железнодорожное строительство. – 1954. – № 2. – С. 22–24.
- [2] *Кихара Х., Фуджита Ю.* Влияние остаточных напряжений на проблемы неустойчивости / XIII Конгресс Международного института сварки (13–19 июня 1960 г. в г. Льеже). – М.: Гос. Изд-во машиностр. Лит-ры, 1962. – С. 240–251.
- [3] *Васильев В.Н., Писарский А.М.* Горячекатаные уголки с гарантированной эпюрой внутренних напряжений / Международная конференция "Теория и практика металлических конструкций", Донецк – Макеевка, 2 – 4 декабря 1997 года: Сб. трудов. Том 1 / Ред. кол.: Горохов Е.В., Королев В.П., Югов А.М., Колесниченко С.В. – Донецк – Макеевка, 1997. – С. 139–142.
- [4] *Голоднов А.И.* К вопросу учета остаточных напряжений в сечениях сжатых двутавровых стержней при их расчетах // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 8–10.
- [5] *Голоднов А.И., Козлов С.В.* Распределение остаточных напряжений в сечениях прокатных уголков при предварительном напряжении локальными термическими воздействиями на кромках // Вісник Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2003. – № 10 – 11. – С. 37 – 41.
- [6] *Козлов С.В.* Повышение устойчивости сжатых элементов ферм из уголкового профиля локальными термическими воздействиями: Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – Киев, 2004. – 168 с.
- [7] *Голоднов А.И.* Предельное состояние стальных колонн и балок при наличии остаточных напряжений: Дис. докт. техн. наук: 05.23.01. – Днепропетровск, 2006. – 390 с.
- [8] *Тополянский П.А.* Влияние финишного плазменного упрочнения на остаточные напряжения поверхностного слоя инструментальных материалов // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки / Материалы 7-й Международной практической конференции-выставки (г. Санкт-Петербург 12–15 апреля 2005 г.) – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2005, С. 334 – 340.
- [9] *Справочник сварщика / Под ред. В.В. Степанова.* – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 560 с.
- [10] *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 23.07.2008 р.*