

Ю.Д. Щицын, О.А. Косолапов, Н.Н. Струков

Пермский государственный технический университет

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СЖАТОЙ ДУГЕ ПРИ РАБОТЕ ПЛАЗМОТРОНА НА ТОКЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

Представлены результаты исследования влияния полярности сварочного тока на распределение энергии сжатой дуги между элементами плазмотрона и изделием. Установлено, что при рациональной конструкции плазмотрона и правильном выборе режимов обработки тепловая эффективность плазменных процессов при использовании тока обратной полярности может быть не ниже, чем на прямой полярности.

Большая часть плазменных технологий выполняется при работе плазмотронов на токе прямой полярности. Предполагается, что при работе на токе обратной полярности плазмотроны испытывают повышенные тепловые нагрузки, что приводит к усложнению конструкций плазмотронов, увеличению их габаритов и массы. Кроме того, считается, что тепловложение в изделие при работе плазмотрона на прямой полярности выше, чем при работе на обратной полярности.

В то же время использование обратной полярности обеспечивает дополнительные преимущества для ряда плазменных технологий [1]. Явление катодного распыления позволяет производить очистку поверхностей металлических заготовок, решает проблему качественной сварки алюминиевых и магниевых сплавов. Применение плазмотронов с кольцевым анодом делает возможным использование высокопроизводительной плазменной сварки и наплавки плавящимся электродом различных металлов. Ведение процессов на обратной полярности позволяет в широких пределах регулировать тепловое и силовое воздействие на зону обработки, что особенно важно для таких процессов, как наплавка и поверхностная термообработка.

Ввиду этого разработка плазмотронов для работы на токе обратной полярности, имеющих высокую мощность и надежность, и повышение эффективности плазменных процессов является актуальной задачей. Поставленную задачу можно решить, опираясь на достоверные знания распределения тепловой мощности сжатой дуги между элементами плазмотрона и изделием.

Существует достаточно много работ, посвященных исследованию распределения тепловой мощности сжатой дуги и плазменной струи между изделием, электродом и плазмообразующим соплом плазмотрона. Результаты различных авторов имеют качественное сходство в оценке влияния различ-

ных параметров процессов на распределение энергии дуги, но имеют значительное количественное расхождение. Следует отметить, что работ, посвященных изучению энергетического баланса сжатой дуги при работе на токе обратной полярности, значительно меньше – [2, 3, 4, 5].

Мощность сжатой дуги P_d определяется технологическими параметрами процесса: током дуги I_d , напряжением u_d , составом и расходом плазмообразующего газа $Q_{п}$, способом подачи плазмообразующего газа, расстоянием от электрода до изделия $h_{эи}$, полярностью, а также геометрическими параметрами плазмотрона: диаметром плазмообразующего сопла d_c , высотой канала сопла h_c , расстоянием от конца электрода до плазмообразующего сопла $h_{эс}$, размерами и формой плазмообразующей камеры.

Тепловложение в электрод плазмотрона и изделие определяется приэлектродными процессами и теплопередачей от сжатой дуги, а в плазмообразующее сопло – теплопередачей от части столба сжатой дуги, расположенной внутри плазмотрона [6, 7]. Процессы, происходящие на электродах и в приэлектродных областях, сложны и до сих пор недостаточно изучены.

В представленной работе сделана попытка оценить влияние полярности на распределение энергии в сжатой дуге с технологических позиций. Для этого были проведены сравнительные исследования работы плазмотронов по представленной схеме.

При работе на прямой полярности в качестве катода плазмотрона использовался вольфрамовый пруток ($d_s = 3$ мм), установленный в водоохлаждаемый электрододержатель (рисунок) и вольфрамовый пруток того же диаметра, глухо заделанный в медную водоохлаждаемую оправку (схемы 3 и 4). При работе на обратной полярности водоохлаждаемый анод плазмотрона был медным (схемы 7, 8) и медным с глухо заделанным вольфрамовым прутком (схемы 5, 6). В качестве изделия использовался водоохлаждаемый медный имитатор (схемы 1, 3, 5, 7) и медный имитатор с глухой заделкой вольфрамового прутка (схемы 2, 4, 6, 8).

В процессе исследований I_d изменялся в пределах 50–300 А, $d_c = 3$ –6 мм, $h_{эи} = 2$ мм, $Q_{п} = 2$ –5 л/мин, $h_{сн} = 5$ –10 мм. Структура столба сжатой дуги оценивалась по падению напряжений: u_d – на дуге (электрод – изделие), $u_{эс}$ – внутри плазмотрона (электрод – сопло), $u_{сн}$ – на внешнем участке дуги (сопло – изделие) [4, 5]. Тепловложение в элементы плазмотрона и изделие определялось калориметрированием [4, 5].

Получен большой массив экспериментальных данных, и его полное представление в данной статье не представляется целесообразным. Ниже представлены сравнительные результаты исследований. Сравнение проводится при одинаковых параметрах режимов.

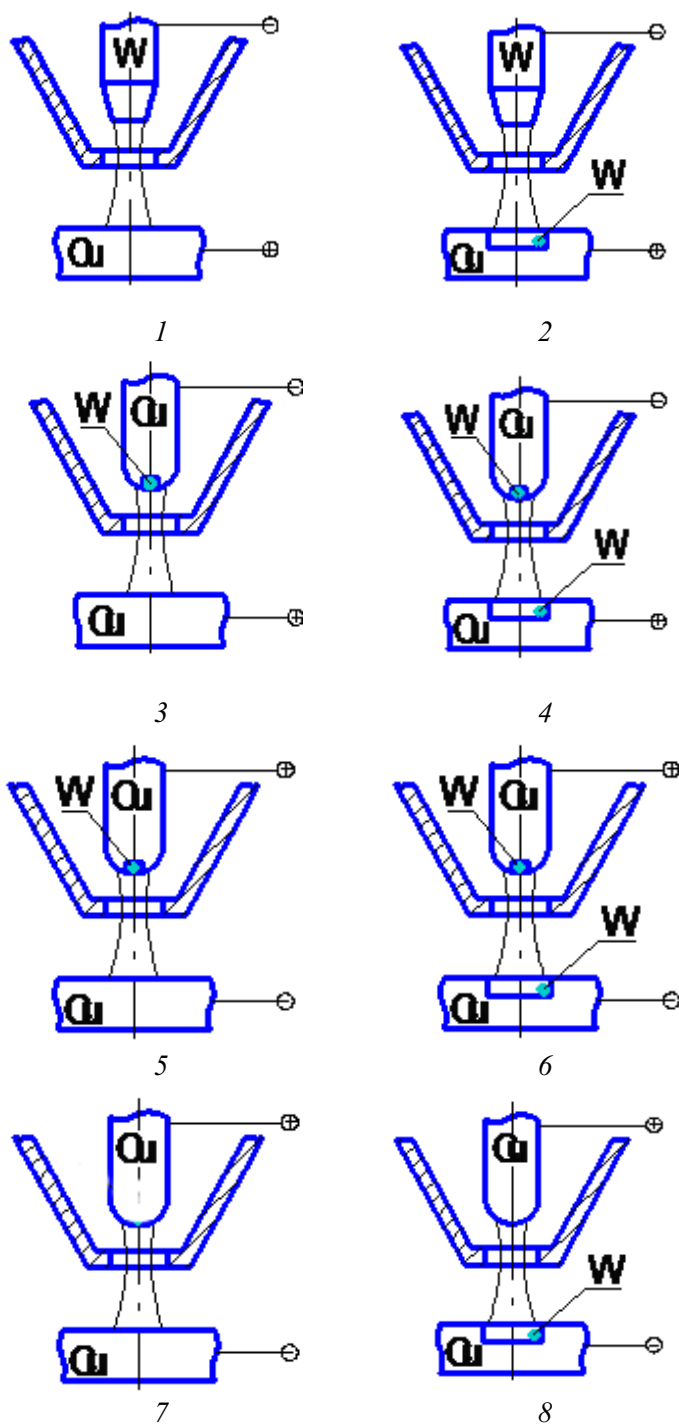


Рис. Схема выполнения исследований

Структура столба сжатой дуги (оценивалась по падению напряжений на различных ее участках).

Прямая полярность. У вариантов схем 1, 2 u_d примерно равно, $u_{эс}$ и $u_{си}$ для обоих вариантов отличаются мало.

У вариантов схем 3, 4 u_d выше, чем для вариантов схем 1 и 2, примерно на 2–5 В, причем наибольшее u_d для варианта схемы 3; $u_{эс}$ на 2–3 В выше, чем для вариантов схем 1 и 2, причем наибольшее $u_{эс}$ – для варианта схемы 3; $u_{си}$ на 3–4 В выше, чем для вариантов схем 1 и 2, причем наибольшее $u_{си}$ – для варианта схемы 5. При этом $u_{эс} = 26–30 \% u_d$, а $u_{си} = 70–74 \% u_d$.

Повышение $u_{эс}$ для вариантов схем 5 и 6 объясняется повышением катодного падения напряжения за счет понижения температуры катода и повышением напряженности столба дуги при большем обжати дуги из-за изменения формы и размеров электрода. Материал анода практически не влияет на u_d , но для вариантов схем 5 и 6 несколько выше из-за повышения напряженности столба дуги на внешнем участке.

Обратная полярность. Варианты схем 5, 6 и 7, 8. Варианты схем 5, 6. Падение напряжения на дуге u_d для варианта схемы 5 на 7–8 В (в 1,3–1,4 раза) выше, чем для варианта схемы 6 (это объясняется различием катодного падения напряжения вольфрама и меди). $u_{эс}$ на 2–3 В выше для варианта схемы 5; $u_{си}$ на 5–6 В выше для варианта схемы 5. При этом для варианта схемы 5 $u_{эс} = 67–70 \% u_d$, а $u_{си} = 30–33 \% u_d$, а для варианта схемы 6 $u_{эс} = 74–77 \% u_d$, а $u_{си} = 23–26 \% u_d$.

Варианты схем 7 и 8. Соотношение падений напряжений на дуге и ее участках аналогично вариантам схем 5 и 6 соответственно, причем по абсолютной величине падения напряжений для вариантов схем 5 и 7, 6 и 8 близки.

Мощность сжатой дуги.

Прямая полярность. Варианты схем 1, 2: мощность сжатой дуги P_d для вариантов схем 1 и 2 примерно одинакова. Варианты схем 3, 4: мощность сжатой дуги P_d для вариантов схем 3 и 4 примерно одинакова, при этом в 1,15–1,2 раза выше, чем для вариантов схем 1 и 2.

Обратная полярность. Варианты схем 5, 6 и 7, 8. Мощность сжатой дуги P_d для вариантов схем 5 и 7 примерно одинакова, при этом в 1,35–1,5 раза выше, чем для вариантов схем 6 и 8.

Тепловложение в изделие.

Прямая полярность. Варианты схем 1, 2 и 3, 4. Тепловложение в изделие отличается мало и составляет 62–72 % P_d (увеличивается с уменьшением d_c), причем наблюдается некоторое увеличение тепловложения в изделие (на 5–8 %) для вариантов схем 2 и 4. Это объясняется переходом к объемной теплопередаче в охлаждаемую матрицу.

Обратная полярность. Варианты схем 5, 6 и 7, 8. Тепловложение в изделие для вариантов схем 6 и 8 примерно одинаково и составляет 35–38 % P_d . Тепловложение в изделие для вариантов схем 5 и 7 отличается мало и составляет 48–68 % P_d (максимально для $d_c = 4,5$ мм), это в 1,7–2,0 раза выше, чем для вариантов схем 6 и 8. Это объясняется различием эмиссионных характеристик материала катода вольфрама и меди.

Тепловложение в плазмотрон.

Прямая полярность. Варианты схем 1, 2: тепловложение в плазмотрон отличается мало и составляет 27–38 % P_d . При этом тепловложение в катод не превышает 5–8 % P_d , остальное приходится на сопло.

Варианты схем 3, 4: тепловложение в плазмотрон отличается мало и составляет 35–42 % P_d . При этом тепловложение в катод составляет 11–16 % P_d , остальное приходится на сопло. Повышение тепловложения в плазмотрон для вариантов схем 3 и 4 объясняется изменением работы катода и изменением формы и размеров плазмообразующей камеры (изменением условий теплообмена «катод – сопло»).

Обратная полярность. Варианты схем 5, 6 и 7, 8. Тепловложение в плазмотрон для вариантов схем 6 и 8 примерно одинаково и составляет 50–65 % P_d , при этом, тепловложение в анод и сопло примерно одинаковы. Тепловложение в плазмотрон для вариантов схем 5 и 7 отличается мало и составляет 25–40 % P_d . Необходимо помнить, что при одинаковом токе I_d мощность дуги P_d для вариантов схем 6 и 8 в 1,35–1,5 раза меньше, чем для вариантов схем 5, 7. По абсолютной величине тепловложение в электрод и сопло плазмотрона для вариантов схем 5, 6, 7 и 8 при одинаковых I_d отличается мало.

Влияние полярности на энергетические характеристики сжатой дуги.

Структура столба сжатой дуги. Для всех вариантов, когда изделие было медным, u_d обратной полярности в 1,3–1,5 раза выше, чем для прямой полярности. При этом $u_{эс}$ обратной полярности в 1,8–2,3 раза выше, чем для прямой полярности, а $u_{си}$ в 1,3–1,5 раза ниже, чем для прямой полярности.

Для вариантов, когда изделие было с вольфрамовой вставкой, u_d обратной полярности мало отличается от u_d прямой полярности (выше на 5–10 %). При этом соотношение $u_{эс}$ обратной и прямой полярности сохраняется как для вышеописанных вариантов, а $u_{си}$ обратной полярности снижается до значений, близких к $u_{эс}$ для прямой полярности.

Мощность сжатой дуги. Для всех вариантов, когда изделие было медным, P_d обратной полярности при одинаковом I_d и прочих равных условиях в 1,3–1,5 раза выше, чем в случае прямой полярности.

Для вариантов, когда изделие было с вольфрамовой вставкой, P_d обратной полярности мало отличается от P_d для прямой полярности (выше на 5–10 %).

Тепловложение в изделие. Для всех вариантов, когда изделие было медным, тепловложение для обратной и прямой полярности при одинаковой P_d отличается мало (при сравнении по току дуги, при одинаковом I_d и прочих равных условиях, для обратной полярности P_d выше на 30 %).

Для вариантов, когда изделие было с вольфрамовой вставкой, тепловложение для обратной полярности в 1,5–2 раза меньше, чем для прямой полярности при одинаковой P_d .

Тепловложение в плазмотрон. Суммарное тепловложение в плазмотрон для всех вариантов при работе на прямой и обратной полярности отличается мало (для обратной полярности на 5–10 % выше). Однако распределение между элементами плазмотрона – электродом и соплом – заметно отличаются. Тепловложение в анод (при работе на обратной полярности) в 2–3 раза выше, чем в катод (при работе на прямой полярности), а тепловложение в плазмообразующее сопло в 1,5–2,0 раза выше для работы на прямой полярности.

Сделаем следующие выводы:

1. Тепловложение в плазмотрон и изделие при одинаковой мощности дуги для прямой и обратной полярности отличаются мало.

2. Наиболее теплонагруженным элементом плазмотрона при работе на токе обратной полярности является анод, а при работе на прямой полярности – плазмообразующее сопло.

3. Подтверждено предположение, что материал анода практически не влияет на анодное падение напряжения.

4. Марка металла изделия при работе на токе прямой полярности не влияет на теплопередачу в изделие. При работе на обратной полярности эмиссионные свойства материала изделия в значительной мере определяют мощность сжатой дуги и теплопередачу в изделие.

5. Повысив долю тепла, передаваемого плазменной струей, можно повысить эффективность плазменных процессов при работе на токе обратной полярности.

Список литературы

1. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А., Щицын В.Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка и диагностика. – 2009. – № 2. – С. 42–45.

2. Быховский Д.Г., Беляев В.М. Энергетические характеристики плазменной дуги при сварке на обратной полярности // Автоматическая сварка. – 1971. – № 5. – С. 27–30.

3. Исхаков Г.Г., Гапченко М.Н., Фесан В.П. Тепловой баланс микроплазменной дуги обратной полярности при сварке тонколистовых алюминиевых сплавов // Сварочное производство. – 1981. – № 1. – С. 2–4.
4. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А. Влияние полярности на тепловые нагрузки плазмотрона // Сварочное производство. – 1997. – № 3. – С. 23–25.
5. Щицын В.Ю., Язовских В.М. Влияние полярности на тепловложение в сопло плазмотрона // Сварочное производство. – 2002. – № 1. – С. 17–19.
6. Эсибян Э.М. Плазменно-дуговая аппаратура. – Киев: Техника, 1971. – 164 с.
7. Сидоров В.П. Расчет теплоотвода в сопло плазмотрона от столба плазменной аргоновой дуги // Сварочное производство. – 1987. – № 2. – С. 36–37.

Получено 24.02.2010