

Ю.Д. Щицын, В.Ю. Щицын, С.Д. Неулыбин
Y.D. Scshicin, V.Y. Scshicin, S.D. Neulybin

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС СЖАТОЙ ДУГИ
ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ ТОКОМ
ОБРАТНОЙ ПОЛЯРНОСТИ**

**POWER BALANCE OF PLASMA ARC CUTTING
USING REVERSE POLARITY CURRENT**

Представлены результаты исследования распределения энергии сжатой дуги при плазменной резке током обратной полярности с комбинированной подачей газов. Показано, что тепловая нагрузка на плазматрон в разработанном способе не превышает 10 % от полной мощности сжатой дуги, что сопоставимо по величине для воздушно-плазменной резки током прямой полярности. Установлено, что затраты энергии на погонный метр реза для этого способа в 1,5–2 раза ниже, чем для традиционных способов.

Ключевые слова: плазменная резка, обратная полярность, сжатая дуга, тепловой баланс, плазматрон.

Here are shown the research results of energy distribution during plasma-arc welding using reverse polarity current with combined gas feeding. Thermal capacity of plasmotron in developed method is less than 10 % of total capacity of the constricted arc which in size is comparable to air plasma cutting using direct polarity current. It is found that energy consumption for running meter cut using this method in 1,5–2 times lower than for the traditional methods.

Keywords: plasma cutting, reverse polarity current, plasma arc, power balance, plasma torch.

Тяжелые условия работы плазматронов при воздушно-плазменной резке (ВПР) ограничивают возможности плазменной резки различных металлов. Поиск новых технологий плазменной резки и разработка оборудования для их реализации является актуальной задачей. Перспективным является направление плазменной резки с использованием тока обратной полярности. Ниже представлены результаты исследования плазменной резки током обратной полярности с комбинированной подачей газов.

Плазменная резка металлов производилась с использованием активных окислительных сред (например, воздуха) на обратной полярности плазматроном с использованием медного электрода, защищенного в зоне активного пятна дуги инертным газом [1]. Электрод снабжен активной высокотемпера-

турной вставкой, например из вольфрама. Цилиндрический охлаждаемый медный электрод, снабженный активной высокотемпературной вставкой, располагают в специальном внутреннем сопле плазмотрона, в которое подается инертный газ, например аргон. Окислительный газ подается во внешнее стабилизирующее сопло. Резка производится на обратной полярности. Температура электрода-анода плазмотрона в процессе резки не превышает 400–500 К, поэтому расход аргона, подаваемого во внутреннее сопло плазмотрона для защиты электрода, может быть значительно снижен (до 3–4 л/мин).

Плазмотрон имеет объединенную систему охлаждения. Суммарную тепловую нагрузку на плазмотрон определяли калориметрированием. Для определения мощности сжатой дуги и отдельных ее участков при проведении экспериментов фиксировалось напряжение $u_{эп}$ – напряжение дуги; $u_{эс}$ – падение напряжения на участке электрод – плазмообразующее сопло, $u_{эи}$ – падение напряжения на участке электрод – стабилизирующее сопло (рисунок).

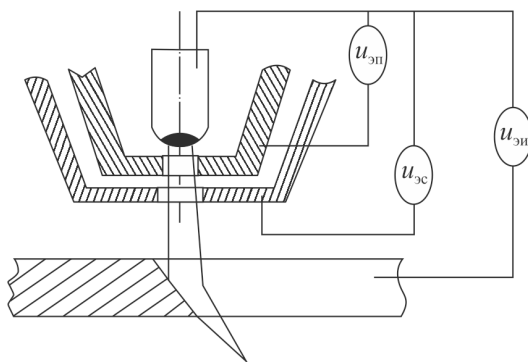


Рис. Измерение падений напряжения на участках сжатой дуги при плазменной резке на обратной полярности с комбинированной подачей газов

Исследования проводились с использованием источника установки плазменной резки типа УПР-201. Этот источник имеет высокую надежность и широко применяется для ручной резки металлов, обеспечивая безопасность работ. Основные технические характеристики источника: напряжение холостого хода $u_{хх} = 300$ В, максимальный рабочий ток $I_p = 200$ А, период включения ПВ = 100 %.

Геометрические параметры плазмотрона были выбраны по результатам предварительных исследований технологии резки, которые обеспечивали максимальную скорость резки, при малых расходах аргона ($Q_{Ar} = 3 \dots 4$ л/мин). Резку выполняли на образцах из малоуглеродистой стали типа Ст. 3, низколегированных сталей: 16Г2АФ, 09Г2С, 10ХСНД, теплоустойчивой стали 15Х5М, нержавеющей стали Х18Н10Т, алюминиевых сплавов АМг6 и АМц.

Геометрические параметры плазмотрона:

Диаметр плазмообразующего сопла $d_c = 3$ мм.

Диаметр стабилизирующего сопла $d_c = 3,2$ мм.

Расстояние электрод – плазмообразующее сопло $h_{эс} = 1$ мм.

Высота плазмообразующего сопла $h_{пс} = 3$ мм.

Высота стабилизирующего сопла $h_{сс} = 3,2$ мм.

Расстояние между соплами $h_{эс} = 1,8$ мм.

Расстояние от торца плазмотрона до изделия $h_{сн} = 10$ мм.

Расход воздуха Q_v изменяли в пределах 20–30 л/мин, давление $p_v = 0,15 \dots 0,22$ МПа. Ток резки I_p находился в пределах 140–170 А, напряжение на дуге составляло 105–130 В (возрастало с увеличением расхода воздуха и толщины разрезаемого металла).

Падение напряжения на участке электрод – плазмообразующее сопло мало зависело от параметров резки и при неизменных d_c и $h_{эс}$ составляло 20–22 В. Падение напряжения на участке электрод – стабилизирующее сопло при неизменных геометрических параметрах плазмотрона увеличивалось с расходом воздуха и находилось в пределах 28–35 В.

Распределение мощности сжатой дуги выглядело следующим образом: полная мощность сжатой дуги $P_d = 15,5 \dots 18,0$ кВт, мощность части столба дуги, расположенного внутри плазмотрона, $P_{вн} = 3,0 \dots 4,0$ кВт, мощность, отводимая в плазмотрон (в электрод-анод, плазмообразующее и стабилизирующее сопла), $P_{пл} = 1,5 \dots 1,7$ кВт. Таким образом, тепловложение в плазмотрон не превышало 10 % от полной мощности сжатой дуги и 50 % от мощности части столба дуги, расположенного внутри плазмотрона. Сравнивая тепловложение в плазмотрон для сварки и для резки при токе дуги $I_p = 150$ А, $d_c = 3$ мм и расходе аргона $Q_{Ar} = 3 \dots 4$ л/мин (табл. 1), можно отметить следующее: мощность части столба дуги, расположенного внутри плазмотрона, несколько выше для случая резки, а тепловложение в плазмотрон при резке меньше, чем в случае сварки.

Таблица 1

Энергетический баланс сжатой дуги при сварке и резке

№ п/п	Параметры	Сварка	Резка
1	I_p , А	150	150
2	$u_{эп}$, В	20	20
3	P_d , кВт	6,8	17
4	$P_{вн}$, кВт	3,0	3,5
5	$P_{пл}$, кВт	2,0	1,5
6	P_a , кВт	1,0	–

Тепловложение в электрод-анод при работе плазмотрона на обратной полярности определяется в основном током дуги и мало зависит от изменения остальных параметров. Учитывая равенство $u_{эп}$, тепловложение в электрод-анод следует принять одинаковым для обоих случаев. Тогда тепловложение в сопловую часть плазмотрона при резке не превышает 0,5 кВт.

Это объясняется тем, что удельный тепловой поток на внутреннюю поверхность отверстия стабилизирующего сопла как минимум в три раза меньше в сравнении с основным соплом [2, 3] и охлаждением обоих сопел потоком воздуха. Очевидно, что наличие стабилизирующего сопла не предъявляет дополнительных требований к системе охлаждения плазмотрона. Таким образом, для случая резки тепловая нагрузка на плазмотрон не превышает нагрузки при сварке на обратной полярности базовым плазмотроном.

Тепловложение в плазмотрон при воздушно-плазменной резке на прямой полярности $P_{пл} = 6...11$ % от полной мощности сжатой дуги P_d [2], что сопоставимо по величине для исследуемого способа. Тепловложение в катод при ВПР P_k находится в пределах 3–8 % от P_d , что практически равно тепловложению в электрод-анод при резке на обратной полярности с комбинированной подачей газа ($P_a = 5...7$ % от P_d). Сравнивая эти показатели, можно отметить, что тепловые нагрузки на плазмотрон в целом и на теплонагруженные элементы при ВПР на прямой полярности и плазменной резке на обратной полярности практически одинаковы.

Говоря о влиянии полярности на тепловложение в изделие, следует отметить, что еще в работах [2, 4] выявлено, что при определенных режимах плазменной обработки на обратной полярности тепловой поток в обрабатываемое изделие может достигать значений, соизмеримых с тепловым потоком при работе на прямой полярности. Кроме того, в работах [4, 5] установлено, что тепловой поток в изделие при работе плазмотрона на обратной полярности в значительной степени определяется эмиссионными свойствами обрабатываемого металла или химических соединений на его поверхности. Результаты наших исследований позволяют говорить о высоком КПД процессов плазменной обработки на обратной полярности. Это объясняется повышением тепловой мощности, передаваемой изделию плазменным потоком.

Решение задачи передачи тепла сжатой дугой в разрезаемый металл расчетными методами связано с рядом допущений, которые исключают точную количественную оценку результатов. В общих чертах можно отметить, что вектор режущего теплового потока дуги совпадает с вектором скорости резки, а интенсивное выплавление металла производится за счет теплопередачи от переднего фронта столба дуги, погруженного почти во всю толщину металла.

При оценке тепловой эффективности процесса резки можно воспользоваться результатами оценки энергетического баланса сжатой дуги обратной полярности. Потери мощности в плазмотрон и окружающую среду незначительны и не превышают в сумме 12–15 % от P_d . Таким образом, тепловая мощность, передаваемая изделию, для исследуемого способа, как и для для ВПР [6–8], $P_{и} = 83...88$ % от P_d . Часть ее полезно расходуется на выплавление металла из полости реза (P_p), а оставшаяся часть (P_m) передается в кромки реза. Большую часть $P_{и}$ в исследуемом способе обеспечивает мощность, передаваемая изделию

плазменным потоком $P_{п}$. Тепловую мощность v , м/с, затраченную на резку металла P_p , можно определить, зная скорость резки и ширину реза [7, 9]:

$$v = \frac{\eta IU}{\gamma b \delta S},$$

где η – полный тепловой КПД процесса резки; γ – плотность металла; b – ширина реза; δ – толщина разрезаемого металла; S – теплосодержание металла при температуре плавления.

Сравнение эффективности исследуемого способа резки с известными можно провести по погонной энергии реза, $q_{п} = \frac{P_{п}}{v_p}$ (Дж/м).

В табл. 2–4 представлены результаты оценки погонной энергии различных способов резки некоторых металлов.

Таблица 2

Погонная энергия при резке малоуглеродистых и низколегированных сталей

Толщина металла, мм	Способы резки		
	ВПП [7]	ВПП полым медным электродом [7]	На обратной полярности
10	9500–14 000	13 600	6600
20	15 500–17 000	17 000	11 000
30	27 000–54 000	30 000	21 000
40	41 500–85 700	44 000	37 500

Таблица 3

Погонная энергия при резке алюминиевых сплавов

Толщина металла, мм	Способы резки		
	ВПП [7]	ВПП полым медным электродом [7]	На обратной полярности
10	8400	10 500	5500
20	16 000	12 500	8000
30	17 000	17 500	17 500
40	54 000	25 000	32 000

Таблица 4

Погонная энергия при резке нержавеющей стали

Толщина металла, мм	Способы резки		
	ВПП [7]	ВПП полым медным электродом [7]	На обратной полярности
10	16 000	15 000	8000
20	31 000	18 500	14 500
30	65 000	34 000	29 000
40	120 000	50 000	46 500

Из приведенных данных видно, что погонная энергия для исследуемого способа резки заметно ниже, чем для известных способов.

Сделаем следующие выводы:

1. Тепловая нагрузка на плазмотрон в разработанном способе не превышает 10 % от полной мощности сжатой дуги, что сопоставимо с величиной этого параметра для воздушно-плазменной резки на прямой полярности.

2. Затраты энергии на погонный метр реза при этом способе в 1,5–2 раза ниже, чем при использовании традиционных способов.

Список литературы

1. Щицын Ю.Д., Щицын В.Ю. Расширение возможностей плазменной резки металлов // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Механика и технология материалов и конструкций. – 2004. – № 8. – С. 62–66.

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

3. Быховский Д.Г. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1972. – 168 с.

4. Оптимизация технологических параметров процесса сварки стабилизированной дугой обратной полярности / С.И. Полосков, В.А. Букаров, И.А. Бурлаков, Т.А. Дорина // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Сварка в ядерной технологии. – 1988. – Вып. 1 (20). – С. 19–25.

5. Полосков С.И., Букаров В.А., Михеев С.Ю. Тепловые характеристики стабилизированной дуги обратной полярности // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Сварка в ядерной технологии. – 1986. – Вып. 2 (17). – С. 44–50.

6. Эсибян Э.М. Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 6–20.

7. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 192 с.

8. Васильев К.В. Особенности плазменно-дуговой резки в азотно-кислородных смесях // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 21–30.

9. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. – М.: Машиностроение, 1974. – 111 с.

Получено 21.05.2013

Щицын Юрий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).

Щицын Владислав Юрьевич – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ИПК „Плазменное оборудование“» (107370, г. Москва, Открытое ш., 48а, e-mail: po@plasma-welding.ru).

Неулыбин Сергей Дмитриевич – инженер, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sn-1991@mail.ru).

Scshicin Yuri Dmitrievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).

Scshicin Vladislav Yurevich – Candidate of Technical Sciences, Head manager of «Plasma equipment» (107370, Moscow, Otkrytoye shosse, e-mail: po@plasma-welding.ru).

Neulybin Sergey Dmitrievich – Engineer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: sn-1991@mail.ru).