



## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДЖИГАНИЯ ДУГИ ДВУХАНОДНОГО ПЛАЗМОТРОНА

**Н. А. МАКАРЕНКО**, д-р техн. наук (Донбасская гос. машиностроительная акад., г. Краматорск),  
**В. В. ЧИГАРЕВ**, д-р техн. наук, **Н. А. ГРАНОВСКИЙ**, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),  
**А. А. БОГУЦКИЙ**, **А. М. КУЩИЙ**, инженеры (Донбасская гос. машиностроительная акад., г. Краматорск)

Предложено устройство, содержащее накопительные конденсаторы повышенной емкости; тиристорный ключ и перезаряжающийся конденсатор, два импульсных трансформатора, с последовательно соединенными первичными обмотками. В отличие от обычно применяемых на практике предложенное устройство позволяет получить 5-6 поджигающих импульсов увеличенной мощности за каждый полупериод переменного тока.

*Ключевые слова:* двуханодный плазмотрон, плазма-МИГ сварка, импульсный трансформатор, энергия импульса, устройство для поджигания, компоненты

Процессы плазма-МИГ сварки и наплавки находят применение в промышленности [1]. Возможность регулирования в широких пределах тепловложения в изделия, высокая производительность процесса в сочетании с рядом других достоинств делают его весьма перспективным [2–4]. Плазма-МИГ сварка нашла применение при изготовлении изделий из меди [5] и алюминия [6], а также при наплавке инструмента и оснастки [7, 8].

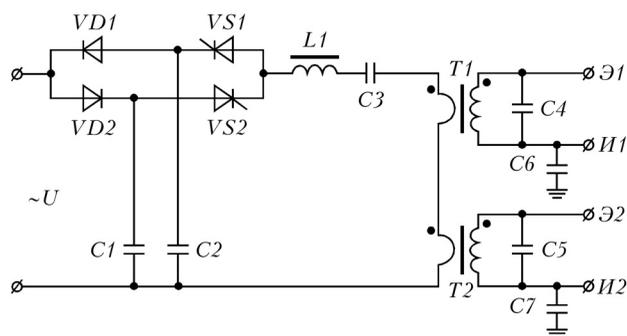
Плазма-МИГ сварка и наплавка легких металлов ведется только на постоянном токе обратной полярности плавящегося и неплавящегося электродов, однако при изготовлении изделий из других материалов в большинстве случаев рекомендуется применять обратную полярность. При обратной полярности неплавящийся стержневой электрод плазмотрона является анодом, вследствие чего допустимые токовые нагрузки на него значительно ниже, чем при применении прямой полярности, когда неплавящийся электрод является катодом [9]. В то же время в ряде случаев (например, при сварке и наплавке изделий из алюминия и сплавов на его основе) необходимо обеспечить увеличенную мощность плазменной дуги, при этом целесообразно применять плазмотроны, имеющие два неплавящихся электрода — анода, которые необходимо подключать к двум отдельным источникам питания, что увеличивает суммарный ток плазменной дуги без превышения тока, допустимого для вольфрамового электрода.

В начале процесса сварки или наплавки следует обеспечить поджиг дуговых разрядов с обоих анодов двуханодного плазмотрона [10]. При этом необходимо, чтобы обе дуги возбудились одновременно, так как при плазма-МИГ процессе внутри плазмотрона находится плавящийся электрод,

который при возбуждении одной дуги остается неподвижным, перегревается током плазменной дуги и расплавляется внутри плазмотрона, что приводит к засорению сопла плазмотрона, его выходу из строя и, как следствие, к невозможности проведения непосредственно процесса сварки или наплавки. В связи с этим актуальной является задача разработки устройства поджига дуги для двуханодного плазмотрона, обеспечивающего одновременный поджиг дуговых разрядов обоих анодов плазмотрона. За основу устройства, включаемого в схему двухэлектродного плазмотрона для плазма-МИГ сварки и наплавки, взята схема устройства для возбуждения и стабилизации процесса горения дуги УПД-1 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. В устройстве диоды и тиристоры включены в цепь одного из выводов первичной обмотки повышающего трансформатора через проходной конденсатор и составляют между собой две встречно-направленные параллельные выпрямительные цепи из последовательно соединенных диода и тиристора [11]. Эти устройства являются простыми и надежными. Многие экземпляры УПД-1 работают в разных установках почти 30 лет без каких-либо поломок.

Для обеспечения одновременного поджига двух дуг в схему (рисунок) ввели дополнительно второй импульсный трансформатор  $T_2$ . Первичные обмотки импульсных трансформаторов  $T_1$  и  $T_2$  включены согласно последовательно, а одноименные концы вторичных обмоток подключаются к неплавящимся электродам (анодам) плазмотрона. Это позволяет избежать появления высокого напряжения между анодами плазмотрона в момент прохождения поджигающего импульса, что препятствует электрическому пробое зазора между анодами плазмотрона.

Устройство работает следующим образом. В один из полупериодов переменного напряжения  $U$  через диод  $VD1$  (ДЛ180) заряжается конденсатор



Устройство поджига дуги двуханодного плазматрона

$C1$ , а в следующий полупериод (через диод  $VD2$ ) — конденсатор  $C2$ . Таким образом, перед началом работы устройства конденсаторы  $C1$  и  $C2$  (4,0 мкФ, 450 В) заряжены напряжениями противоположной полярности. При поочередной подаче управляющих импульсов на тиристоры  $VS1$  и  $VS2$  (ТБ 160 А, 22 кл) тиристоры поочередно открываются, при этом происходит перезарядка конденсатора  $C3$  (4,0 мкФ, 600 В) через первичные обмотки импульсных трансформаторов  $T1$  и  $T2$ , во вторичных обмотках которых генерируются высоковольтные импульсы, поджигающие дуги анодов плазматрона. Конденсаторы  $C4$  и  $C5$  (1000 пФ, 34 кВ) служат для улучшения формы импульса, поджигающего дугу, а конденсаторы  $C6$ ,  $C7$  (4,0 мкФ, 400 В) — для защиты источников питания, подключенных к анодам плазматрона, от высокого напряжения. Дроссель  $L1$  ограничивает скорость нарастания тока ( $di/dt$ ) до значения, допустимого для тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ .

Во время работы устройства конденсаторы  $C1$  и  $C2$  соответственно через диоды  $VD1$  и  $VD2$  заряжаются в противоположной полярности переменным напряжением  $U$ . Так как емкость конденсаторов  $C1$  и  $C2$  в 10 раз выше емкости конденсатора  $C3$ , то его перезарядка может быть произведена 5...6 раз за один полупериод питающего напряжения  $U$ . Это позволяет поднять частоту следования, а также частоту поджигающих импульсов до 500...600 Гц, в то время, как частота следования поджигающих импульсов устройства УПД-1 составляет 100 Гц.

С целью повышения энергии поджигающих импульсов питание устройства осуществляется напряжением 300 В. При этом энергия высоковольтного разряда на каждом промежутке «анод-плазмообразующее сопло» составляет около 0,6 Дж.

Исследования показали, что повышение питающего напряжения приводит к увеличению значения  $di/dt$  для тиристоров  $VS1$  и  $VS2$  и повышению коммутационных бросков напряжений на тиристорах, что вызывает необходимость применения тиристоров серий ТБ и ТБИ, рассчитанных на ток 160 А и имеющих 22 класс по напряжению.

Испытания показали, что устройство надежно поджигает дежурные дуги обоих анодов плазматрона (практически за один полупериод питающего напряжения  $U$ , т. е. за время 0,01 с).

## Выводы

1. В устройствах поджига дуги двуханодного плазматрона для плазма-МИГ сварки и наплавки целесообразно применять два импульсных трансформатора, первичные обмотки которых включены согласно последовательно, при этом одноименные концы вторичных обмоток подсоединяются к анодам плазматрона.

2. Применение двух отдельных накопительных конденсаторов увеличенной емкости, заряжаемых напряжениями противоположной полярности, позволяет увеличить частоту поджигающих импульсов от 100 до 500...600 Гц.

3. Увеличение энергии поджигающих импульсов за счет повышения напряжения зарядки накопительных конденсаторов требует применения тиристоров с высокими значениями  $di/dt$ , а также с высоким классом по напряжению.

4. Разработанная схема устройства для поджигания дуги двуханодного плазматрона обеспечивает надежный поджиг дуг обоих анодов плазматрона за время не более 0,01 с.

1. *Сварка в машиностроении: Справочник.* — Т. 1 / Под ред. Н. А. Ольшевского. — М.: Машиностроение, 1978. — 501 с.
2. *Бакурская М. А., Колосова Н. А.* Процесс плазма-МИГ и его промышленное применение за рубежом // *Электротехн. пром-сть. Электросварка.* — 1984. — № 6. — С. 11–15.
3. *Щицын Ю. Б., Тюткин Ю. М.* Исследование процесса плазменной сварки плавящимся электродом жаропрочных сплавов // *Тр. II Всесоюз. конф. «Проблемы технологии сварки теплоустойчивых, жаростойких и жаропрочных высоколегированных сталей и сплавов».* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1985. — С. 103–104.
4. *Гвоздецкий В. В., Макаренко Н. А.* Плазменная сварка (Обзор) // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 12. — С. 26–30.
5. *Vennekers R., Shevers A. A.* Plasma MIG welding of copper and copper alloys // *Weld. and Metal Fabr.* — 1977. — **45**, № 4. — P. 227–235.
6. *Essers W. G., Willemes G. A.* Plasma-MIG — schweissen von Aluminium auftragschweissen und Zweielektadens schweissen, von autahl // *DVS-Berichte.* — 1984. — № 90. — S. 9–14.
7. *Данильченко Б. В., Макаренко Н. А.* Плазменно-дуговая наплавка с аксиальной подачей плавящейся порошковой проволоки // *Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Прогрессивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва».* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 1998. — С. 322–325.
8. *Корниенко А. Н., Макаренко Н. А., Кондрашов К. А.* Преимущество упрочнения и восстановления пресс-форм для стекла способом плазма-МИГ наплавки // *Тр. регион. науч. и науч.-техн. конф. — Мариуполь: ПТУ, 2003.* — Т. 1. — С. 63.
9. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона.* — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
10. *Макаренко Н. А.* Развитие научных и технологических основ плазменной сварки и наплавки плавящимся и непла-



вящимся электродами: Дис. ... д-ра техн. наук. — Мариуполь, 2006. — 437 с.

11. А. с. 567563 СССР, МКИ<sup>2</sup> В23 К 9/06. Устройство для возбуждения и стабилизации процесса горения дуги / Э. И.

Шмаков, В. Г. Федотенков, Г. Ф. Колесник, Н. М. Махлин, Ю. З. Буряк. — Оpubл. 05.08.77; Бюл. № 2.

The device is offered, comprising cumulative capacitors of an increased capacitance, thyristor key, recharging capacitor, and two-pulse transformers with their primary windings connected in series. Unlike those usually employed in practice, the device makes it possible to generate 5-6 start pulses of an increased intensity per half-period of the alternating current.

Поступила в редакцию 07.07.2008

УДК 621.791.927.93

## О РОЛИ КОНТАКТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ

К. А. ЦЫКУЛЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Показано, что при разработке технологии электрошлаковой наплавки без проплавления в токоподводящем кристаллизаторе, а также при проектировании его новых конструкций необходимо учитывать роль контактных сопротивлений. Критерием при определении требуемого оплавления наплавляемой (свариваемой) поверхности может служить температура шлакового расплава, при этом следует установить зависимость между ней и температурой на контактной наплавляемой поверхности.

*Ключевые слова:* электрошлаковая наплавка, контактное сопротивление, температура шлаковой ванны, проплавление

Современная теория электрических контактов еще находится в стадии разработки, в связи с этим не все происходящие между контактами физические явления до конца исследованы и объяснены. Указанная теория основывается на понятиях, связанных с контактной поверхностью, областью и сопротивлением стягивания, пленками потускнения, контактным давлением, контактной разностью потенциалов, тепловыми эффектами и другими положениями, характеризующими работу контактов различного рода.

Сварщики давно используют такое свойство электрических контактов, как повышенное (по сравнению с электрическим сопротивлением материалов соединяемых деталей) электросопротивление. Прежде всего это электрическая сварка сопротивлением, которую часто называют контактной, подчеркивая тем самым важную роль электрического контакта между свариваемыми деталями для данного процесса. Применительно к электрошлаковым процессам такими контактами являются поверхность электрода, погруженного в шлаковую ванну, ограничивающая поверхность кристаллизатора, свариваемые или наплавляемые поверхности заготовок на участке контакта со шлаковой ванной, а также поверхность раздела шлаковой и металлической ванн. Исследованию процессов и явлений, происходящих в шлаковой ванне, посвящено множество работ, однако роль

контактных сопротивлений практически в них не рассматривалась. В основном внимание уделялось явлениям, происходящим на границах раздела шлаковой ванны, и поверхностям кристаллизатора электрода, осуществляющего к ней токоподвод. Исследования проводили с целью изучения вопроса повышения стойкости оборудования (кристаллизатора [1], нерасходуемого электрода [2, 3]) или повышения эффективности электрошлакового процесса [4, 5]. При этом изучали такое явление, как выпрямление переменного тока при электрошлаковом процессе [6–8], особенности распределения тока в шлаковой ванне [9] и кристаллизаторе [10] и др. Различные математические модели распределения тепла в шлаковой ванне, процесса плавления электрода, теплопередачи через поверхность шлаковой ванны не учитывают возникающую на границе раздела шлак–рассматриваемая поверхность разность потенциалов, а следовательно, и дополнительное тепловыделение (см., например, [11–15]). Только в работе [16] отмечено, что нагрев электрода в электрошлаковых процессах происходит главным образом именно за счет его контакта с расплавленным шлаком (следует еще раз обратить внимание, что именно за счет контакта). При этом электрод на участке, выступающем за контакты токоподводящего устройства, нагревается за счет проходящего по нему электрического тока, а также тепловыделения на контактной поверхности со шлаковой ванной и теплопередачи от шлаковой ванны, разогретой проходящим электрическим током. Электрошлаковую сварку (наплавку) можно в какой-то мере рассматривать как сварку сопротив-