

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А., Дьяченко И. О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПЛАЗМОТРОНА С ОБРАТНЫМ ПОТОКОМ ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕГО ГАЗА

С 1960-х годов одним из направлений развития дуговой наплавки стало совершенствование плазменно-дуговых способов. За короткий период решены сложные научно-технические вопросы, создано оборудование и производственная технология. Отдельные способы плазменной и микроплазменной наплавки обладают заметными преимуществами не только перед дуговыми, но и другими видами, в том числе и основанными на более концентрированных источниках энергии. Тем не менее, плазменная наплавка, как особый вид наплавки плавлением, имеет значительные резервы для совершенствования [1–8].

Одной из основных задач является повышение концентрации энергии, управление тепловложением и формированием шва.

При проектировании сварочных плазмотронов учитываются противоречивые требования, обусловленные стремлением повысить проплавляющую способность плазмы и обеспечить хорошее формирование и качество металла шва. Поэтому вопросы геометрии и компоновки электродного и соплового (защитного и плазменно-формирующего) узлов решаются в комплексе [9–14].

Плазмотроны с обратным потоком плазмообразующего газа [15] имеют ряд преимуществ: небольшие габариты; простота конструкции; отсутствие вольфрамового неплавящегося электрода; низкую стоимость. Такие плазмотроны целесообразно применять при процессах наплавки, так как они позволяют отсасывать вредные вещества непосредственно из места их выделения, обеспечивают малое давление плазменного потока на поверхность металлической ванны, что приводит к уменьшению глубины проплавления основного металла.

В то же время, таким плазмотронам присущ недостаток: низкая стабильность их работы. В ряде случаев плазменная дуга перебрасывается с внутренней поверхности канала сопла на его наружный торец, при этом плазменный процесс переходит в обычный дуговой, а хаотичное перемещение дуги по торцу сопла делает наплавку невозможной [16, 17].

В связи с этим задача повышения стабильности работы плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа является актуальной.

Цель работы – повышение стабильности работы плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа.

Задачи исследования заключаются в определении периодичности подачи импульсов тока после возбуждения дежурной дуги и величины скорости нарастания тока, что обеспечит стабильность работы плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа.

Исследования, проведенные кафедрой «Оборудование и технологий сварочного производства» Донбасской государственной машиностроительной академии, показали, что важным фактором, влияющим на стабильность работы плазмотрона, является система его питания сварочным током.

Согласно принципа минимума Штеенбека дуга в пространстве стремится занять положение, при котором падение напряжения на ней будет минимальным, т. е.:

$$U_A + U_K + U_{CT} = U_{dmin}, \quad (1)$$

где U_{dmin} – падение напряжения на дуге; U_A – падение напряжения на аноде; U_K – падение напряжения на катоде; U_{CT} – падение напряжения.

Учитывая, что для данных условий горения дуги:

$$U_A + U_K = \text{const} = C. \quad (2)$$

Так как при любом положении дуги одно из активных пятен находится на изделии, а второе – на медном сопле (неплавящемся электроде), а состав плазмообразующего газа остается постоянным, то возбуждение дуги (l_d) можно записать в виде:

$$C + E l_d = U_{\text{dmin}}, \quad (3)$$

где E – напряженность поля в столбе дуги.

Из выражения (3) следует, что при любых условиях дуга будет стремиться гореть с торца неплавящегося электрода (сопла) на изделие, то есть при минимальной длине дуги – l_d .

Потоком плазмообразующего газа дуга втягивается во внутрь сопла и ее активное пятно оказывается расположенным внутри канала плазмообразующего сопла. Однако, при повышении тока дуги, вследствие увеличения степени обжатия дуги, возрастает напряженность электрического поля E в ее столбе, при этом изменение длины дуги вызывает более сильное изменение падения напряжения на ней, что и приводит к перемещению активного пятна дуги с внутренней поверхности плазмообразующего канала на его торец. Такого рода нарушения в работе плазмотрона характерны именно для больших плотностей тока в канале плазмообразующего сопла.

Так, при диаметре плазмообразующего канала, равном 4,5 мм, и расходе плазмообразующего газа 8 л/мин устойчивое горение дуги возможно на токах до 60–70 А (при повышении силы тока наблюдаются переходы дуги на торец сопла).

В связи с этим разработана схема питания плазмотрона импульсным униполярным током (рис. 1). Схема работает следующим образом, при закрытом силовом транзисторе VT дуга горит на малом дежурном токе 25–30 А, определяемом величиной резистора R2; при отпирании транзистора VT следует импульс тока, величина которого ограничивается резистором R1, являющимся защитным, его величина выбирается таким образом, чтобы (при случайном замыкании сопла СЭ на изделие И) ток через транзистор VT не превысил допустимой для данного транзистора величины. Для обеспечения высокой скорости нарастания тока импульса параллельно источнику питания ИП включен конденсатор С.

Скорость нарастания тока во время импульса достаточно высокая, при этом дуга горит в условиях динамических характеристик, диаметр столба дуги не успевает расшириться до соответствующей величины, характерной для больших значений тока, вследствие чего возрастают электромагнитные силы (Пинч-эффект), стремящиеся сжать столб дуги. Такой эффект является кратковременным, так как под действием тока импульса происходит разогрев дуговой плазмы и повышение давления в столбе дуги, что приводит к ее расширению, при этом дуга может коснуться стенки канала сопла и образовать новое активное пятно, т. е. произойдет нарушение в работе плазмотрона.

Установлено, что длительность импульса тока должна составлять 0,7–1,2 мс, при этом частота следования импульсов тока составляет 250–400 импульсов в секунду (режим работы плазмотрона в этом случае стабильный).

Амплитуда тока в импульсе может достигать до 400–600 А (в зависимости от диаметра плазмообразующего сопла и количество газа, отсасываемого через внутреннюю полость неплавящегося электрода-сопла). Следует отметить, что возбуждение дуги необходимо производить в режиме горения дежурной дуги, подачу импульсов тока следует начинать через 2–3 с после возбуждения дуги.

В импульсном режиме средний ток наплавки достигает до 200 А при прямой полярности и 140 А – при обратной полярности, при этом дальнейшее увеличение тока ограничивается лишь стойкостью медного сопла неплавящегося электрода. Таких величин тока плазменной дуги вполне достаточно для плазменной наплавки ряда изделий.

Считаем необходимым продолжить исследования процесса импульсно-плазменной наплавки плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа для установления влияния параметров режима наплавки на стабильность процесса, а также на формирование наплавленного валика и свойства наплавленного металла.

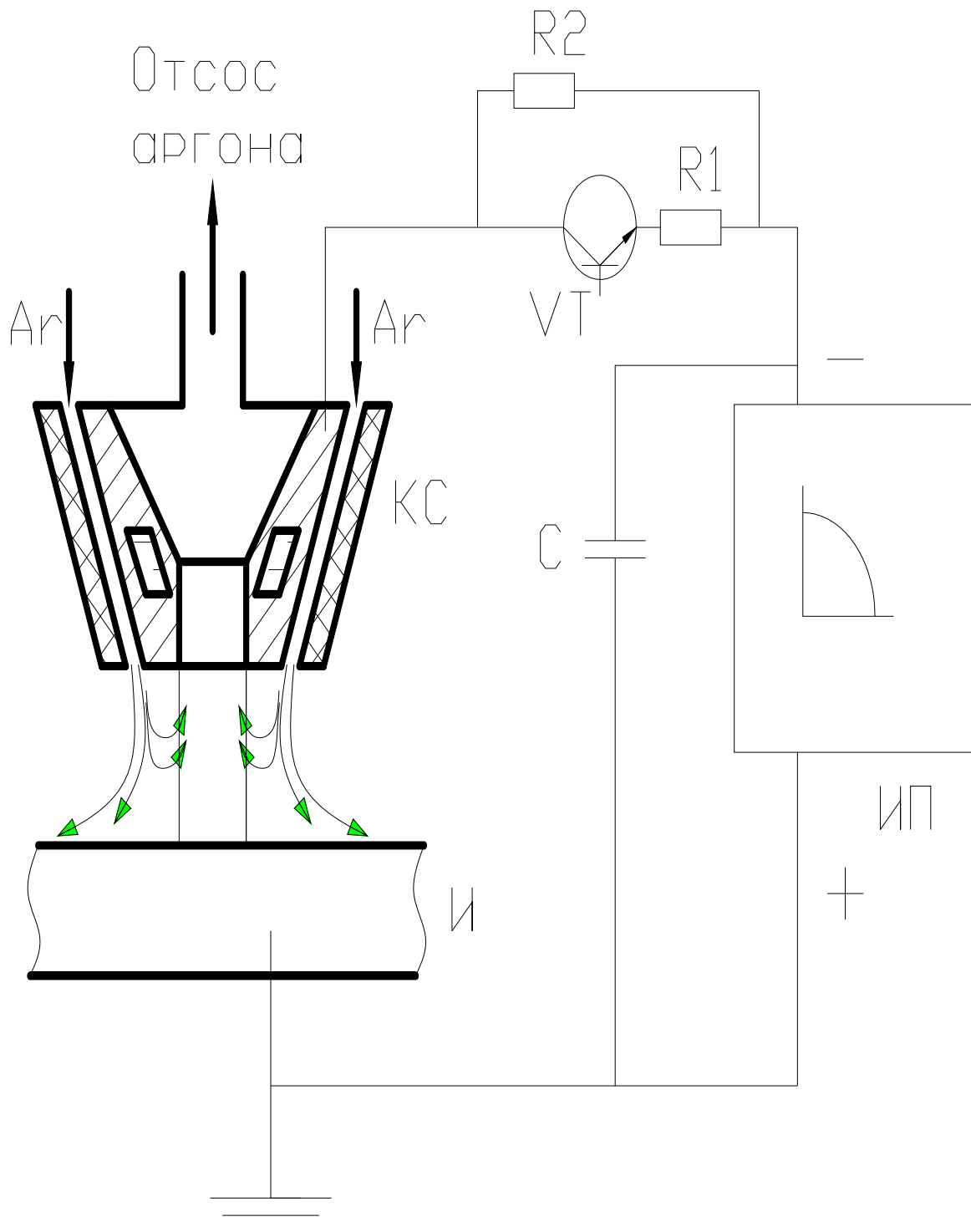


Рис. 1. Схема установки для плазменной наплавки с обратным потоком плазмообразующего газа:

ИП – источник питания; И – изделие; КС – керамическое сопло; СЭ – сопло-электрод; R1, R2 – резисторы; VT – силовой транзистор; С – конденсатор

ВЫВОДЫ

1. Доказано, что применение импульсного режима горения дуги позволяет увеличить средний ток дуги без опасности нарушения работы плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа.
2. Установлено, что при подаче импульсов тока необходима высокая скорость нарастания тока $dI/dT = 2,2 \cdot 10^6$ А/с.
3. Исследования показали, что для стабильной работы плазмотрона с обратным потоком плазмообразующего газа длительность импульса должна лежать в пределах 0,7–1,2 мс.
4. Аprobация плазмотрона в промышленных условиях показала, что возбуждение дуги необходимо производить на токах дежурной дуги величиной 25–30 А, подачу импульсов тока следует начинать через 2–3 с после возбуждения дежурной дуги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вирішення питання зменшення глибин проплавлення при плазма-МІГ наплавленні мідних сплавів / В. В. Чигарьов, Н. О. Макаренко, К. А. Кондрашов, О. В. Грановський – Вісті академії інженерних наук України. – Київ, 2007. – № 3. – С. 16–18.
2. Макаренко Н. А. Моделирование процесса плазма-МИГ наплавки / Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. А. Грановский – Материалы международной научно-технической конференции «Современные средства автоматизации и компьютерно-интегрированные технологии». – Краматорск, 2007. – С. 16.
3. Разработка установки для плазма-МИГ наплавки плющенкой / А. Н. Корниенко, В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов – Труды Двадцать пятой Юбилейной международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». – Ялта. – 2007. – С. 76–77.
4. Макаренко Н. А. Плазменно-дуговая наплавка силуминовых поршней двигателей внутреннего сгорания / Н. А. Макаренко – Труды 9-й Международной научно-практической конференции «Организация и технологии ремонта машин, механизмов, оборудования». – Киев. – 2007. – С. 67.
5. Макаренко Н. А. Методика исследования силового воздействия плазменно-газового потока / Н. А. Макаренко – Труды Международной конференции «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций». – Киев. – 2007. – С. 42.
6. Корниенко А. Н. Плазма-МИГ наплавка медных сплавов / А. Н. Корниенко, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов – Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции «Проблемы сварки, металлургии и родственных технологий», Тбилиси. – 2008. – С. 309–316.
7. Макаренко Н. А. Определение экологических аспектов плазма-МИГ наплавки порошковой проволокой / Н. А. Макаренко – Интегровані технології та енергозбереження. – Харків : ХДТУ. – 2008. – № 1. – С. 94–98.
8. Чигарев В. В. О некоторых особенностях плазменной сварки и наплавки плавящимся и неплавящимся электродами / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко – Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ. – 2006. – № 52. – С. 53.
9. Плазменная наплавка. Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. А. Грановский, О. Я. Лазаренко – Вісник СГПУ. – Слов'янськ : СГПУ. – 2010. – № 2. – С. 29–35.
10. Макаренко Н. А. Определение основных закономерностей теплового энергетического баланса и электроэнергетических характеристик плазма-ТИГ процесса / Н. А. Макаренко – Міжсвузівський тематичний збірник наукових праць «Захист металургійних машин від поломок», Випуск 8, Маріуполь : ПДТУ. – 2007. – С. 264–267.
11. Плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволокой плющенки ходовых колес гусеничных тракторов. / В. В. Чигарев, К. А. Кондрашов, Н. А. Макаренко, Н. А. Грановский – Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків : ХНТУСГ. – 2008. – № 39. – С. 92–96.
12. Макаренко Н. А. Разработка порошковой проволоки для наплавки роликов МНЛЗ с помощью плазма-МИГ процесса / Н. А. Макаренко, В. А. Невидомский, Н. А. Грановский – Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ. – 2008. – № 7 (53). – С. 79–84.
13. Плазма-МИГ сварка и наплавка коррозионностойких сплавов / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, А. В. Грановский – Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ. – 2008. – № 5 (391). – С. 31–39.
14. Макаренко Н. А. Повышение технико-технологических показателей комбинированного плазменного способа наплавки с аксиальной подачей порошковой проволоки / Н. А. Макаренко – Міжсвузівський тематичний збірник наукових праць «Захист металургійних машин від поломок», Випуск 7, Маріуполь : ПДТУ. – С. 230–233.
15. Cooper C. H. Recent development in plasma welding / C. H. Cooper, J. Palermo, J. A. Browling // Welding Journal. – 2009. – № 4. – P. 268–276.
16. Пламенная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов – Л. : Машиностроение, 2009. – 190 с.
17. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров – М. : Машиностроение, 1987. – 187 с.