

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ НАПЛАВКЕ СПОСОБОМ ПЛАЗМА-МИГ

В. В. ЧИГАРЕВ, д-р техн. наук, **Н. А. МАКАРЕНКО**, канд. техн. наук, **К. А. КОНДРАШОВ**, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
Н. М. ВОРОПАЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Определено влияние полоцилиндрической дуги при наплавке способом плазма-МИГ на характер плавления порошковой проволоки, аксиально подаваемой через канал плазмотрона. Установлено ее положительное воздействие на равномерность плавления сердечника и металлической оболочки проволоки. Показано, что наплавка способом плазма-МИГ может осуществляться при пониженном токе плавящегося электрода без коротких замыканий дугового промежутка и минимальном проплавлении основного металла.

Ключевые слова: плазменная наплавка, режимы наплавки, плавление электрода, перенос металла, порошковая проволока

Одним из основных требований, предъявляемых к способам сварки и наплавки порошковой проволокой, является обеспечение равномерности плавления сердечника, имеющего низкую электропроводность металлической оболочки. При наплавке способом плазма-МИГ электродная проволока дополнительно нагревается за счет тепла полоцилиндрической дуги [1], а при увеличенном вылете — также джоулева тепла проходящего тока [2].

Изучение особенностей плавления электродной проволоки в зависимости от основных параметров режима необходимо для установления оптимальных условий сварки и наплавки. Причем при сварке главным требованием, как правило, является достижение максимальной глубины проплавления, а при наплавке — минимальное разбавление наплавленного металла основным.

Коэффициент формы шва при плазменной сварке в значительной степени зависит от давления плазменно-газового потока, значение которого пропорционально квадрату силы тока [3, 4]. Характер плавления и переноса электродного металла также зависит от тока.

Поскольку наплавка (сварка) плавящейся электродной проволокой является составным элементом процесса плазма-МИГ, вид переноса влияет на состояние, сохранность плазмообразующего сопла и кольцевого неплавящегося электрода, а также на стабильность процесса. С этой точки зрения предпочтительнее мелкокапельный и струйный перенос с минимальным разбрызгиванием, который зафиксирован при достаточно высоких плотностях тока.

Чигарев Валерий Васильевич — выпускник Ждановского металлург. ин-та 1969 г., профессор, зав. кафедрой металлургии и технологии сварочного производства.

Макаренко Наталья Алексеевна — докторантка кафедры металлургии сварочного производства.

Кондрашов Константин Александрович — научный сотрудник кафедры металлургии и технологии сварочного производства.

Воропай Николай Маркович — ведущий научный сотрудник ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины.

© В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. М. Воропай, 2001

Однако при наплавке для достижения минимального проплавления основного металла плотность тока должна быть небольшой, что сопровождается, как правило, крупнокапельным переносом и повышенным разбрызгиванием.

Задача настоящего исследования заключалась в определении оптимальных параметров режима наплавки по двум критериям — максимально допустимая плотность тока и минимальное проплавление основного металла.

Эксперименты проводили с использованием порошковой проволоки на плазмотроне типа ПНАМ-2 с таким подключением: плавящийся электрод — изделие к источнику с жесткой характеристикой ВДУ-601 при обратной полярности; неплавящийся электрод (он же внутреннее сопло) к источнику питания с падающей характеристикой при обратной полярности. Плазмотрон и подающий механизм закрепляли неподвижно на стойке. Образцы устанавливали на суппорте и перемещали со скоростью сварки от отдельного привода. Процесс возбуждения и горения дуги, плавления электрода и перенос электродного металла фиксировали с помощью скоростной киносъемки (до 4000 кадров в секунду) камерой СКС-1М с одновременной записью тока неоновой лампы кинокамеры, сварочного тока и напряжения на дуге на шлейфном осциллографе Н-116.

Исследование характера плавления электродной проволоки в плазменной полоцилиндрической дуге представляет определенные трудности, вызванные тем, что свечение столба плазменной дуги препятствует фиксации капель, яркость которых меньше яркости дуги. Поэтому использовали дополнительную контрподсветку дуги лампой накаливания с плоским светящимся телом, на фоне нити которой наблюдали форму конца плавящегося электрода и капли расплавленного металла [5].

Покадровая расшифровка и просмотр кинограмм показали, что процесс плазма-МИГ в аргоне при выбранных параметрах режима может сопровождаться крупнокапельным переносом электродного металла, переносом капель металла среднего размера без коротких замыканий и мелкокапельным переносом с определенной частотой.

С целью изучения влияния плазменной полоцилиндрической дуги на частоту переноса и размер капель выполнили две серии экспериментов наплавки порошковой проволокой на одной и той же установке в условиях существования полоцилиндрической дуги (процесс плазма-МИГ) и свободной дуги при отсутствии полоцилиндрической дуги. В обоих случаях задавали одинаковые значения среднего тока дуги, скорости подачи электрода, расхода газа и скорости наплавки, выбираемые путем планирования эксперимента [6, 7].

Идентичность остальных условий обеих серий экспериментов позволила исключить из параметров оптимизации такие факторы, как влияние состава и диаметра порошковой проволоки, динамических характеристик источника питания и сварочной цепи, а также состава защитного газа. По пяти опытам каждой серии оценивали влияние на характер плавления и переноса трех линейных факторов при процессе плазма-МИГ и при свободногорящей дуге. Плазмообразующим газом служил аргон. Скорость наплавки устанавливали постоянной (20 м/ч), расход защитного газа (аргона) составлял 10 л/мин. Ток сварочной дуги варьировали в пределах 200...340 А, расход плазмообразующего газа — от 8 до 16 л/мин и ток плазменной дуги изменяли в пределах от 80 до 180 А.

Для количественной обработки результатов экспериментов, кроме отдельных замеров капель по кинокадрам, использовали методику, описанную в работе [8]. Массу m_k и диаметр переноса капель $d_{ср}$ рассчитывали по количеству переходов капель (частоте переноса n_k). Установлено (рис. 1), что при процессе плазма-МИГ частота переноса капель повышается в среднем в 3...4 раза с увеличением тока полоцилиндрической дуги. При этом масса и диаметр отрывающихся капель соответственно уменьшаются.

Плотность тока на анодном пятне, расположенном на жидкой капле, при увеличении тока остается постоянной, а площадь пятна растет. Следовательно, в каплю поступает больше тепла, а поскольку с увеличением температуры стали (и большинства других металлов) коэффициент поверхностного натяжения уменьшается, то снижается и уровень критического тока, при котором начинается струйный перенос. Уменьшением поверхностного натяжения объясняется достижение струйного переноса при меньшем токе дуги, а также в случае введения в состав защитного газа кислорода [9].

Одним из факторов, оказывающих влияние на характер переноса, является пинч-эффект, способствующий при повышении тока измельчению капель и увеличению частоты переноса. В настоящей работе допускается, что воздействие электромагнитных сил на перенос капель при процессе плазма-МИГ качественно и количественно аналогично характеру их воздействия при свободногорящей дуге.

Кроме обычных источников поступления тепла в плавящийся электрод, при процессе плазма-МИГ дополнительным источником является тепловыделение от столба полоцилиндрической дуги. Удельный тепловой поток столба полоцилиндрической дуги выражается законом Стефана-Больцмана:

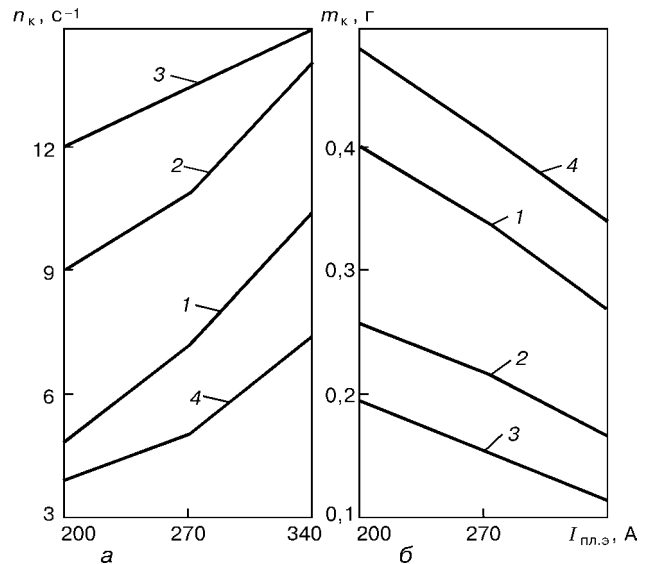


Рис. 1. Влияние тока полоцилиндрической дуги $I_{п.э.}$ на частоту переноса n_k (а) и массу капель m_k (б): 1 — $I_{п.э.} = 80$ А; 2 — $I_{п.э.} = 130$ А; 3 — $I_{п.э.} = 180$ А; 4 — свободногорящая дуга ($I_{п.э.} = 0$). Расход плазмообразующего газа $Q_{п.э.}$ (аргона) — 8, защитного (аргона) — 10 л/мин

$$q_r = C \left(\frac{T}{100} \right)^4,$$

где C — коэффициент пропорциональности; T — температура поверхности тела. Можно предположить, что коэффициент C и температура поверхности не изменяются в пределах выбранных параметров режима.

Таким образом, количество тепла Q , поступившего в каплю от излучения, прямо пропорционально времени облучения и площади облучаемой поверхности капли F_k и конца электрода l_r :

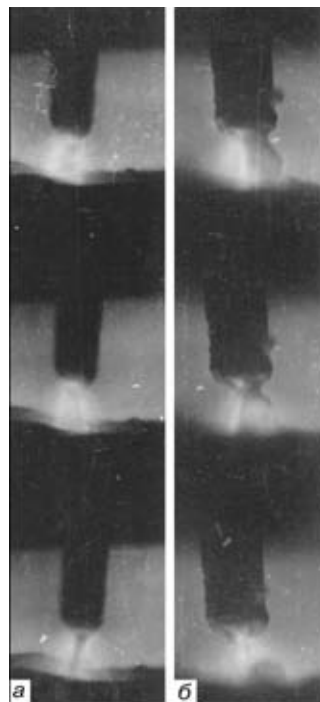


Рис. 2. Кинограммы наплавки способом плазма-МИГ: а — $I_{п.э.} = 270$; б — 200 А ($I_{п.э.} = 130$ А, расход аргона — 10 л/мин)

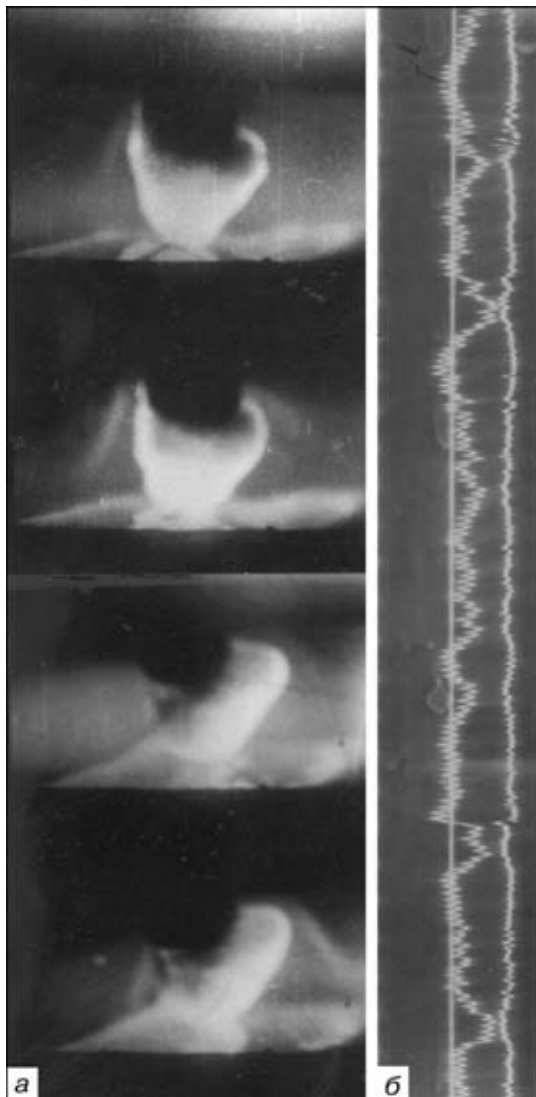


Рис. 3. Кинограмма (а) и осциллограмма (б) замыкания столба полоцилиндрической дуги каплей электродного металла ($I_{пл.э} = 120$ А; $I_n = 130$ А; расход аргона — 10 л/мин)

$$Q \equiv q_r t(F_k + \pi dl_r).$$

Очевидно, что основным фактором, оказывающим влияние на измельчение капель в изучаемом процессе, является уменьшение сил поверхностного натяжения вследствие дополнительного нагрева тепловыделением от столба полоцилиндрической дуги. При этом конвективным теплопереносом можно пренебречь, так как теплопроводность аргона невелика (при 26000 К она составляет 0,05 Вт/(см·К)) и переносу препятствует сравнительно холодный поток газа. Дополнительный нагрев участка электродной проволоки, выступающей из неплавящегося электрода, а также капли производится за счет излучения.

Следует отметить, что дополнительный нагрев внешним излучением благоприятно сказывается на характере плавления торца порошковой проволоки (рис. 2). Важнейшим преимуществом процесса плазма-МИГ является равномерное проплавление порошкового сердечника и металлической оболочки. Воздействие столба полоцилиндрической дуги способствует интенсивному расплавлению сердеч-

ника и осесимметричному расположению капель на торце электрода. Несмотря на то что коническая форма сердечника сохраняется, его длина уменьшается от 3... 4 мм при свободногорящей дуге до 2 мм при плазменной дуге. В таких условиях часть расплавленного металла оболочки стекает в дугу по поверхности сердечника. Кинокадры плавления порошковой проволоки показывают, что в условиях процесса плазма-МИГ отклонение капель от оси электрода практически не зафиксировано, что можно объяснить меньшим размером капель и положительным воздействием плазменно-газового потока, «сдувающего» отклоняющиеся от оси капли.

Аэродинамическое воздействие плазменно-газового потока кольцевого электрода суммируется с действием плазменного потока электромагнитного происхождения, направленным также от электрода к ванне [10], что способствует увеличению количества переходов капель при меньшем токе (рис. 1). Однако несмотря на эти потоки при крупнокапельном переносе возможно шунтирование плазменной дуги. Дополнительно к плану экспериментов выполнено исследование процесса плазма-МИГ при токах плавящегося электрода, несколько меньших нижнего уровня ($I_{пл.э} = 120$ и 150 А). При размерах, примерно равных внутреннему диаметру кольцевого электрода, капли отклоняются и столб полоцилиндрической дуги замыкается на каплю (рис. 3). О таком шунтировании можно судить и по уменьшению напряжения обоих дуг.

Наиболее оптимальными являются режимы среднекапельного переноса, когда диаметр капли меньше диаметра плавящегося электрода. Для порошковой проволоки выбранного состава диаметром 2 мм этому условию соответствуют $I_{пл.э} = 220... 260$ А, $U_d = 30... 32$ В при параметрах режимов плазменной дуги $I_n = 180... 240$ А и $U_n = 40... 42$ В.

Выводы

1. Дополнительное тепловое воздействие плазменной полоцилиндрической дуги при наплавке способом плазма-МИГ порошковой проволокой способствует равномерному плавлению сердечника и металлической оболочки, а также осесимметричному формированию капель на торце электрода. Установлено, что с повышением тока полоцилиндрической дуги и, следовательно, температуры нагрева электрода, а также капли внешним излучением частота переноса существенно увеличивается, а размер капель соответственно уменьшается при неизменном токе в цепи плавящегося электрода.

2. Особенностью процесса плазма-МИГ является возможность производить наплавку при более низких (по сравнению с другими дугowymi способами наплавки плавящимся электродом) токах. При этом практически полностью исключается разбрызгивание электродного металла и сводится к минимуму проплавление основного металла.

3. Наиболее оптимальным для наплавки способом плазма-МИГ является режим переноса, исключаяющий шунтирование полоцилиндрической дуги каплями расплавленного металла. Такие условия

реализуются в том случае, если диаметр капель не превышает диаметра электродной проволоки.

1. *Majar improvements in hardsurfacing steel roolls for continuous casting, using Philips-plasma-MIG with new metall cored wire* // Steel Times. — 1981. — № 9. — P. 472-473.
2. *Макаренко Н. А.* Плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки // Автомат. сварка. — 1998. — № 12. — С. 52-53.
3. *Дятлов В. И.* Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке // Новые проблемы сварочной техники: Сб. науч. тр. — Киев: Техніка, 1964. — С. 167-182.
4. *Петров А. В.* Перенос металла в дуге и проплавление основного металла при сварке в защитных газах // Автомат. сварка. — 1957. — № 4. — С. 19-27.
5. *А. с. 267772 СССР, МПК В 23 К 30/17.* Способ исследования процесса дуговой сварки / А. Н. Корниенко. — Опубл. 02.04.70, Бюл. № 13.
6. *Винарский М. С., Лурье М. В.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях. — Киев: Техніка, 1975. — 168 с.
7. *Использование* регрессионного анализа для изучения сварочных процессов / О. Г. Касаткин, Ю. Н. Ланкин, Ю. А. Стеренбоген, Ю. Д. Яворский // Автомат. сварка. — 1970. — № 3. — С. 5-9.
8. *Походня И. К., Суттель А. М.* Теплосодержание капель металла при дуговой сварке в защитных газах // Там же. — 1967. — № 2. — С. 13-18.
9. *Римский С. Т., Свецинский В. Г., Смян О. Д.* Перенос электродного металла при сварке в защитных газах с добавкой кислорода // Там же. — 1998. — № 10. — С. 22-26.
10. *Заруба И. И.* Плазменные потоки в сварочных дугах // Там же. — 1968. — № 10. — С. 1-5.

The effect of a hollow-cylindrical arc in surfacing using the plasma MIG method on the character of melting of flux-cored wire axially fed through the plasmatron channel has been evaluated. Its positive influence on uniformity of melting of the core and metal sheath of the wire is shown. Also it is shown that plasma MIG surfacing can be performed at a decreased current of consumable electrode without short-circuiting of the arc gap and minimum penetration of the base metal.

Поступила в редакцию 14.05.2001

ВНИМАНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ! СВЭСТА-2001

Вышел в свет очередной сборник «**Экономико-статистические данные по сварочному производству: СВЭСТА-2001**», издаваемый Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины на русском и английском языках.

Сборник «СВЭСТА-2001» издан при содействии Международного института сварки (IIW), Европейской сварочной федерации (EWF), а также проекта UNIDO и UNDP-ПрООН.

В сборнике «**СВЭСТА-2001**» представлена систематизированная экономико-статистическая информация о состоянии и развитии рынка сварочной техники в различных странах мира, включая Германию, Россию, Украину, Францию, США, Японию и другие страны за период 1998-1999 гг. Приведены количественные и стоимостные показатели объемов производства, потребления, экспорта-импорта оборудования и расходных материалов для сварки и родственных технологий. Статистическая информация по базовым показателям производства, экспорта-импорта сварочной техники для большинства стран представлена в соответствии с Вопросником МИС/ЕСФ «World Welding Engineering (Reference-Statistical Information)».

В двух других разделах представлена информация о мировом, региональном и национальных рынках сварочных роботов, а также стали — основного материала для сварных конструкций.



Заказы направляйте в редакцию журнала «СВАРЩИК» по факсу: (044) 227-6502. Справки по тел.: (044) 227-6502