

УДК 621.791.754.4

Максимов С. Ю., Лендел И. В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПЛАВКИ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Наплавка, основу которой составляют электродуговые способы, играет ведущую роль в производстве новых и восстановлении изношенных изделий. Основной характеристикой масштаба применения электродуговой наплавки является производство соответствующих материалов и оборудования, объемы которых постоянно увеличиваются. В ближайшем будущем способы электродуговой наплавки сохранят свое ведущее положение и поэтому работы, связанные с совершенствованием этого технологического процесса, являются важными и значимыми [1, 2].

Из всех способов автоматической дуговой наплавки, способ наплавки в CO_2 наиболее технологичен и универсален, позволяет выполнять наплавку во всех пространственных положениях большинством материалов, применяемых в процессах наплавки: малоуглеродистыми, низко- и среднелегированными, а также некоторыми нержавеющей сталими [3, 4]. Защитная среда – углекислый газ, является легкодоступным и сравнительно недорогим средством защиты области дуги. Однако использование данного способа наплавки в ряде случаев ограничивает недостаточная эффективность технологического управления геометрическими параметрами валика наплавленного металла, большая глубина проплавления основного металла, низкая стабильность процесса, высокие потери электродного металла на разбрызгивание. Повышенным вниманием в последнее время также пользуются вопросы энергосбережения и улучшения экологичности процесса наплавки в CO_2 .

Исследованиям, направленным на совершенствование этого технологического процесса, посвящено большое количество работ, из которых следует, что реализация управляемого переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну в большой степени определяет условия формирования наплавленного металла и технологичность способов дуговой сварки и наплавки в среде защитных газов.

Воздействие на перенос электродного металла с постоянной скоростью подачи электродной проволоки и импульсным управлением электрическими параметрами сварочной дуги реализовано в процессах *coldArc*, *SpeedPulse*, *STT*, *Fast Root* [5–8], комбинированное электромеханическое управление используется в таких процессах, как *CMT* [9], *PulseShock*, описанных в работах [10, 11]. О возможностях управления переносом расплавленного электродного металла только за счет изменения скорости подачи электродной проволоки с использованием схем управления электрическими параметрами серийных источников сварочного тока в литературе имеется весьма ограниченная информация [12].

Целью данной работы является исследование технологических возможностей электродуговой наплавки с импульсной подачей плавящейся электродной проволоки на постоянном токе обратной полярности.

Для исследований был разработан и изготовлен механизм импульсной подачи электродной проволоки на базе малоинерционного, быстродействующего вентильного электропровода [13, 14]. Опытные наплавки выполняли на пластины из стали Ст. 3 размером $150 \times 50 \times 12$ мм сплошной электродной проволокой Св08Г2С $\varnothing 1,2$ мм. Параметры наплавки: ток, напряжение и скорость подачи электродной проволоки измеряли с помощью *National Instruments BNC-2110* и программного обеспечения *LABview 2012*, перенос электродного металла через дуговой промежуток регистрировали с помощью видеокамеры *Mikrotron MC-1310*, позволяющей получать кадры с частотой 1 кГц, механизм импульсной подачи электродной проволоки «Импульс-2 ПМ-80» был установлен на робот *Almega AX-V6*, источник сварочного тока *Kemppi FastMIG KMS-500* с отключенными синергетическими режимами.

Исследования проводили для характерных диапазонов параметров процесса сварки и наплавки в защитном газе CO_2 , при которых сохраняется удовлетворительное формирование

поверхности наплавленного металла: ток наплавки варьировался в диапазоне 120–310 А, напряжение на дуге 20–32 В, скорость наплавки составляла 7 мм/с, вылет электрода 12 мм, расход защитного газа устанавливали в зависимости от сварочного тока в пределах 0,15–0,33 л/с, использовали диаметр сопла 30 мм.

В данной работе исследования были проведены для формы импульса, показанной на рис. 1 (базовая скорость была задана равной 0), частоту f импульсов изменяли от 10 до 60 Гц, скважность S (1) изменяли от 1,25 до 5,0, среднюю скорость подачи электродной проволоки V_{cp} рассчитывали по формуле (2):

$$S = \frac{t_u + t_0}{t_u} \quad (1)$$

$$V_{cp} = \frac{V_u t_u + V_0 t_0}{t_u + t_0}; \quad (2)$$

где t_u – время импульса подачи электродной проволоки; t_0 – время базы; V_u, V_0 – скорости подачи электродной проволоки соответствующие отрезкам времени t_u, t_0 .

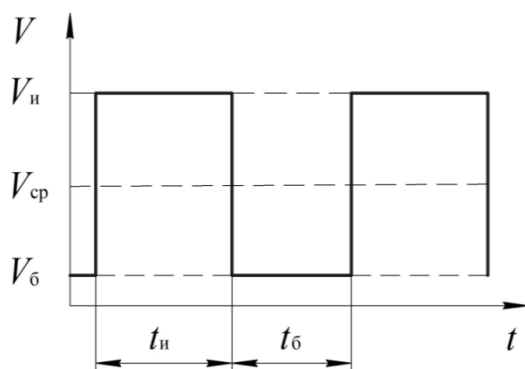


Рис. 1. Изменение во времени скорости подачи электродной проволоки

Для определения потерь электродного металла на угар и разбрызгивание, при постоянной и импульсной подаче электродной проволоки, использовали методику, описанную в работе [15].

Экспериментальные исследования, проведенные без изменения скорости подачи электродной проволоки ($f = 1$ Гц, $S = 1$ ед.), показывают, что в исследованном диапазоне токов и напряжений минимальные потери электродного металла составляют $\psi = 2,5\text{--}3,5\%$, которые наблюдаются в достаточно узком диапазоне средних токов 200–240 А и напряжений дуги 25–27 В. В данном диапазоне параметров глубина проплавления составляет приблизительно 2,6 мм, коэффициент формы проплавления основного металла $k_p = 3,5$ ($k_p = w/p$, где w – ширина валика наплавленного металла, p – глубина проплавления основного металла), коэффициент усиления наплавленного валика $k_h = 1,8$ ($k_h = w/h$, где h – высота усиления).

Режим наплавки (точка E) 220 А, 26 В, соответствующий области минимальных потерь электродного металла, был принят в качестве базового значения для последующего сравнительного анализа влияния параметров импульсной подачи электродной проволоки на условия переноса электродного металла и формирование наплавленного валика.

На рис. 2 показаны экспериментальные данные для наплавленных валиков, полученных при варьировании параметров импульсной подачи электродной проволоки для тока и напряжения дуги $I = 220$ А, $U = 26$ В. С помощью точек E_F, E_G, E_H на рис. 2(а–в), отмечены характерные соотношения f и S которые могут рассматриваться как наиболее ярко выраженные варианты с модифицированными параметрами формирования наплавленного металла по отношению к базовому варианту процесса наплавки (точка E).

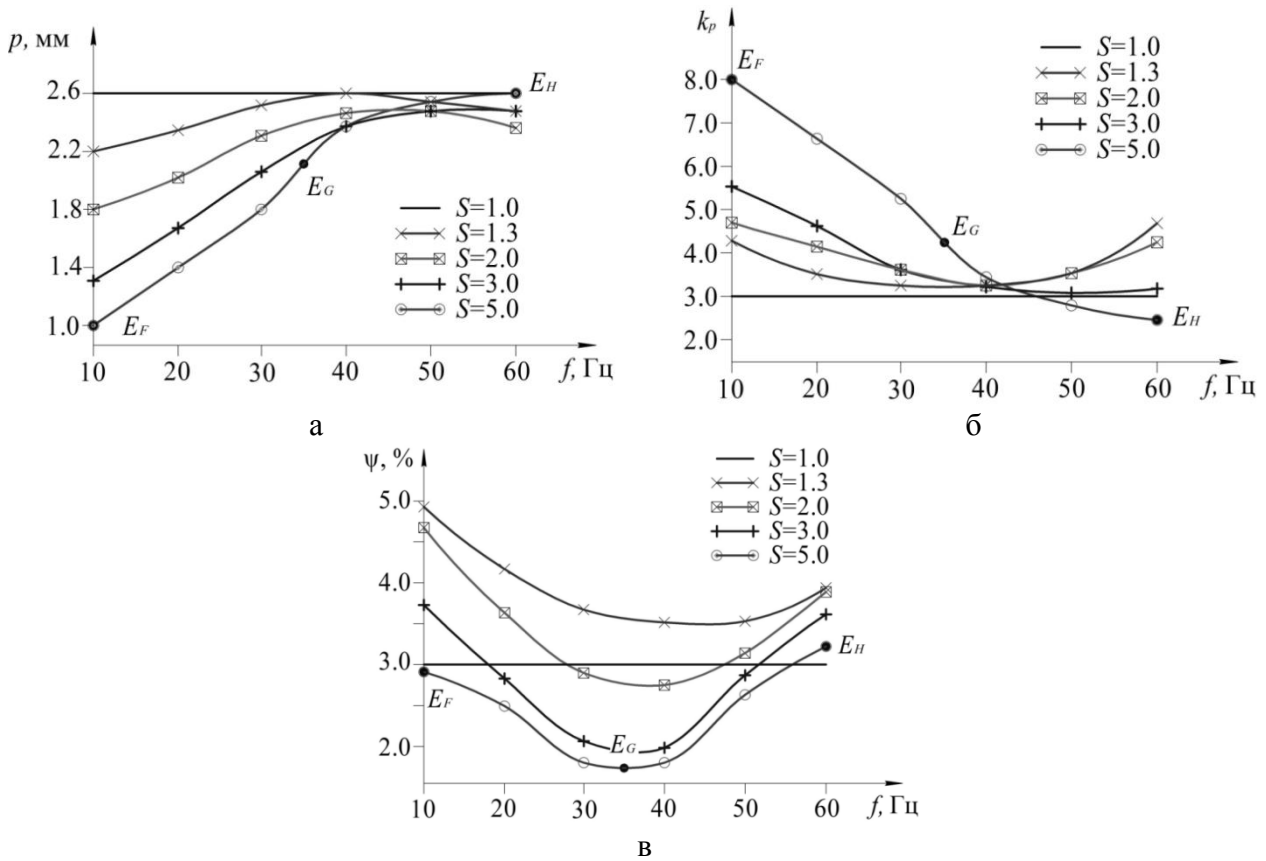


Рис. 2. Влияние параметров импульсной подачи электродной проволоки:

а) влияние параметров импульсной подачи электродной проволоки на глубину проплавления p при $I = 220$ А, $U = 26$ В, проплавление для базового режима $p = 2.6$ мм; б) влияние параметров импульсной подачи электродной проволоки на коэффициент формы проплавления k_p при $I = 220$ А, $U = 26$ В, для базового режима $k_p = 3$; в) влияние параметров импульсной подачи электродной проволоки на потери электродного металла ψ при $I = 220$ А, $U = 26$ В, для базового режима $\psi = 2,5-3,5$.

Более детальная сравнительная информация вариантов E_F , E_G , E_H с соответствующей им базовой точкой E приведена на рис. 3.

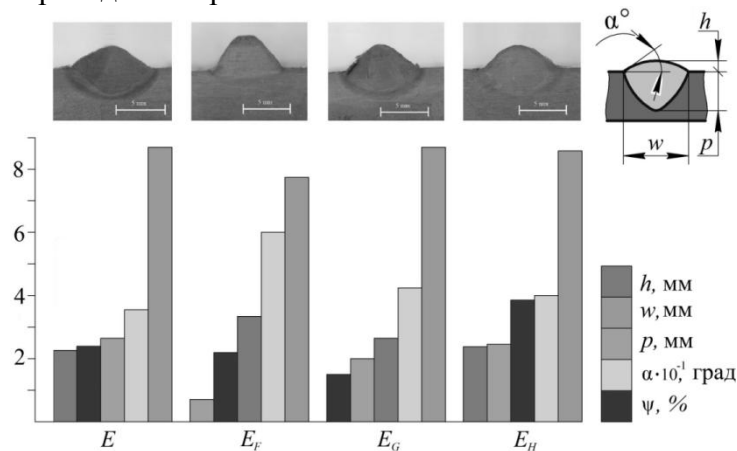


Рис. 3 Параметры наплавленного металла при импульсной подаче электродной проволоки, $I = 220$ А, $U = 26$ В (E – базовый процесс наплавки, E_F ($f = 10$ Гц), E_G ($f = 35$ Гц), E_H ($f = 60$ Гц) – варианты при импульсной подаче электродной проволоки со скважностью $S = 5$ (рис. 2 (а–б))

Во время исследований влияния параметров импульсной подачи на геометрические размеры наплавленного валика проводились замеры затрат электроэнергии и интенсивности выделения сварочного аэрозоля (рис. 4).

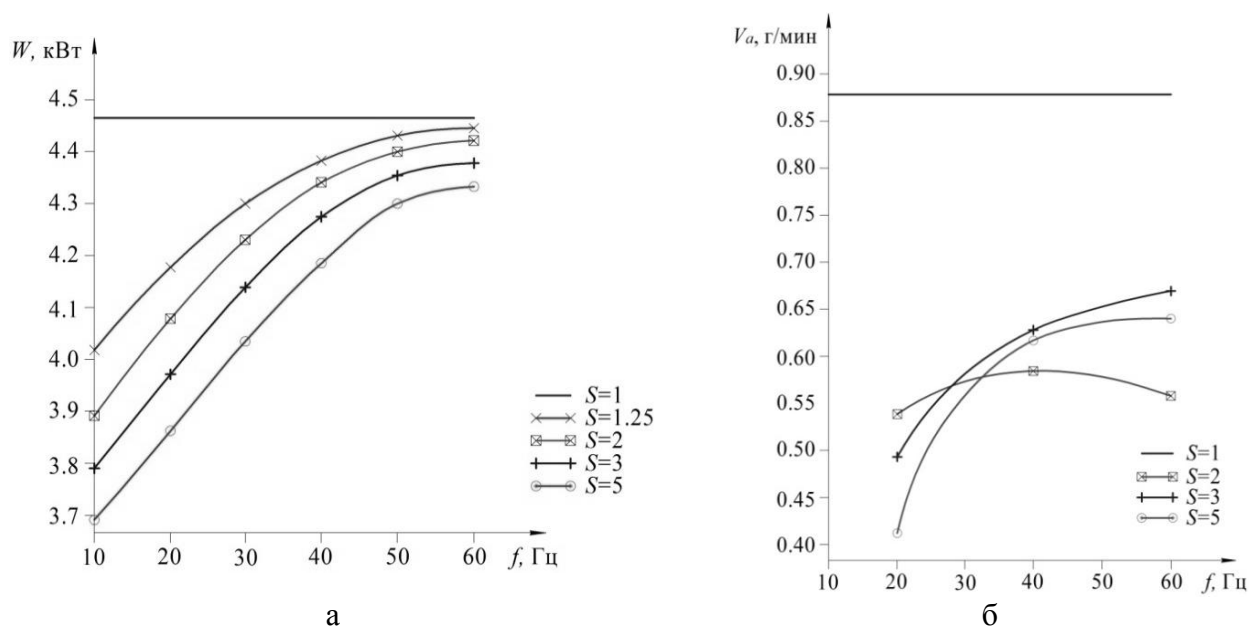


Рис. 4 Графики изменения затрат электроэнергии (а) и интенсивности выделения сварочного аэрозоля (б) при постоянной и импульсной подаче электродной проволоки

Представленные данные показывают, что при одной и той же средней скорости подачи электродной проволоки $V_{cp} = 270$ м/ч, по сравнению с базовым вариантом процесса наплавки (точка E), варьирование параметров импульсной подачи проволоки f и S позволяют изменять параметры наплавленного шва. В наибольшей степени положительный эффект импульсной подачи проволоки проявляется при максимальной скважности $S = 5$ и диапазоне частот $f = 10\text{--}40$ Гц (рис. 2–6). Именно эти режимы наиболее подходят для процесса наплавки.

Вариант E_H показывает, что при более высоких частотах $f \geq 40$ Гц положительных эффектов не наблюдается, поскольку начинает проявляться механическая инерционность капли. В диапазоне частот $f = 30\text{--}40$ Гц расположен экстремум с минимальными потерями электродного металла, в 2 раза меньшими по сравнению с базовым процессом (вариант E_G). Снижение частоты подачи проволоки до $f = 10$ Гц (вариант E_F) приводит к уменьшению глубины проплавления основного металла в 3 раза и в 1,5 раза увеличивается высота усиления наплавленного валика, но при этом наблюдается рост потерь электродного металла до уровня базового процесса. При дальнейшем снижении частоты $f < 10$ Гц, шаг подачи проволоки становится настолько большим, что энергетической мощности дуги становится недостаточно, чтобы обеспечить необходимую для устойчивости процесса скорость плавления проволоки.

ВЫВОДЫ

1. Предложено для повышения эффективности процесса электродуговой наплавки в CO_2 применять импульсную подачу электродной проволоки с целью управления геометрическими размерами валика, снижения глубины проплавления основного металла, повышения стабильности горения дуги и снижения уровня потерь электродного металла.

2. Импульсная подача электродной проволоки в диапазоне частот 10–60 Гц и скважности 1,25–5,0 ед. при токе 220 А и напряжении 26 В позволяет изменять геометрические размеры валика наплавленного металла: глубину проплавления в 2,6 раза, ширину – в 1,2 раза, выпуклость – в 1,5 раза.

3. На основании полученных экспериментальных данных установлен оптимальный (по критерию минимальной доли основного металла в наплавленном) диапазон параметров ИПЭП: $f = 10\text{--}30$ Гц, и $S = 3\text{--}5$ ед. Показано, что ограничение глубины проплавления достигается за счет снижения тока на стадии роста капли в элементарном цикле переноса электродного металла.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б.Е.Патон // Автоматическая сварка. – 1999. – №1. – С. 4–14.
2. Рябцев И.А. Теория и практика наплавочных работ / И.А.Рябцев, И.К.Сенченков. – К.: Экотехнологія, 2013. – 400 с.
3. Потальевский А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потальевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
4. Потальевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть I. Сварка в активных газах / А.Г.Потальевский. – Издание 2-е. недоработанное. – К.: Экотехнологія, 2007. – 192 с.
5. Goecke S. F. Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat, EWM HIGHTEC WELDING GmbH 2005.
6. Jaeschke B. Speedpulse eine produktivitaetsund effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSG-Impulsschweißens / Jaeschke B., Vollrath K. // Schweien und Schneiden. – 2009. – 61. – № 9. – S. 548–553.
7. DeRuntz, B. D. Surface Tension Transfer welding in manufacturing. Selected Paper presented at the National Association of Industrial Technology Conference, Detroit Michigan, 2001. – P. 20–26.
8. Jyri Uusitalo. Kemppi Pro News 2/2006. FastROOT Process. – P. 4–8.
9. A. Schierl: «The CMT-Process – A Revolution in welding technology». – Weld. World, 2005, 49, 38.
10. G. Huismann: Direct control of the material transfer, the Controlled Short Circuiting (CSC)-MIG process, ICAWT 2000: Gas Metal Arc Welding for the 21st Century, Dec. 6-8, 2000, Orlando, Florida.
10. Федько В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научнотехнической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.
11. Lebedev V.A. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable electrode / V.A. Lebedev, S.Yu. Maksimov // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.
12. Малоинерционный высокоскоростной магнитоэлектрический беспазовый вентильный двигатель / А.А. Афанасьев, А.Г. Бабак, Е.В. Волокитина, С.Б. Головизнин, В.А. Нестерин, В.Е. Никифоров, А.В. Николаев, В.А. Чихняев // Электричество. – 2007. – № 4. – С. 28–35.
13. Лебедев В.А. Современные вентильные электроприводы в системах механизированного сварочного оборудования / В.А. Лебедев, В.В. Рымиша, И.Н. Радимов // Электромашинобудування та електрообладнання. – Київ: Техніка, 2009. – Випуск 74. – С. 22–24.
14. Ильященко Д. П. Определение потерь на разбрызгивание металла при использовании различных источников питания / Д. П. Ильященко, Е. А. Зернин // Сварочное производство. – 2009. – № 6. – С. 36–39.