

АСПЕКТЫ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Розглянута можливість обґрунтування зниження енерговитрат при дуговому зварюванні електродом, який плавиться. Виведено та проаналізовано рівняння, яке визначає потужність дугового процесу, в якому використовується кероване імпульсне подавання електродного дроту. Обґрунтовані вимоги до привода та джерела зварювального струму.

Рассмотрена возможность обоснования снижения энергозатрат при дуговой сварке плавящимся электродом. Выведено и проанализировано уравнение, определяющее мощность дугового процесса, в котором используется управляемая импульсная подача электродной проволоки. Обоснованы требования к приводу и источнику сварочного тока.

In work the question of a substantiation of decrease in power inputs is considered at arc welding by fluxible electrode. The equation defining capacity of arc process in which operated pulse submission of an electrode wire is used is deduced and analysed. Prospects of work are shown. Requirements to a drive and a source a current are proved.

Совершенствование процессов дуговой механизированной сварки и наплавки постоянно находятся в зоне внимания специалистов сварочного производства и разработчиков оборудования для этих процессов. Существует немало способов, направленных на улучшение технико-технологических показателей дуговой механизированной сварки, восстановительной и упрочняющей наплавки.

Одним из важнейших показателей, естественно при непременно высоком качестве выполняемых работ, является реальные энергетические и ресурсные затраты, а способами, которые оказывают существенные, а во многих случаях и определяющие воздействия на указанные показатели, являются различные специально организованные нестационарные режимы работы систем дугового механизированного и автоматизированного сварочного и наплавочного оборудования.

Среди нестационарных режимов в наибольшей мере используются различные алгоритмы импульсных воздействий на дугу источников сварочного тока [9] и импульсной подачи электродной проволоки, получающей всё большее развитие [1].

Важно заметить, что применение импульсных источников сварочного тока сопряжено с их значительным усложнением, а также с качеством электроэнергии в некоторых сетях (монтажные условия, отсутствие промышленного электроснабжения и др.), которое в существенной мере сказывается на параметрах генерируемых импульсов.

Результаты сварки с экономией электроэнергии могут быть получены, в основном, при реализации управления циклом переноса электродного металла. Такое управление может быть достигнуто следующими основными способами: использованием энергии импульсного источника питания; применением импульсных механизмов подачи электродной проволоки; вибродуговым процессом; созданием оптимальных условий для переноса капли электродного металла за счёт алгоритмизации параметров источника в микроцикле переноса.

В [10] указывается, что использование импульсного источника сварочного тока позволяет обеспечить эффективный КПД лишь порядка 80...85 %. Управление микроциклом переноса электродного металла за счёт изменения параметров источника сварочного тока чрезвычайно сложная задача, если учитывать разнообразие способов и режимов сварки и наплавки плавящимся электродом.

Вибродуговая наплавка слишком специфична из-за особенностей получения управляемого переноса.

Генерирование импульсов подачи обеспечивается двумя основными способами её получения: за счёт применения специальных электродвигателей в механизме подачи электродной проволоки, например шаговых, и использованием механических модуляторов (импульсных механизмов) различных конструкций [5].

Следует отметить, что создание и применение специальных малоинерционных электродвигателей в качестве генераторов импульсов подачи в следующем режиме, как это, например, выполняется фирмой ФРОНИУС [2], достаточно дорогостоящее техническое решение в отличие от современных конструкций импульсных механизмов, которые практически не требуют дополнительных затрат, а такие из них, как механизмы с квазиволновыми преобразователями (КВП) проще и надёжнее, чем обычные редукторные механизмы. Это заключение позволяет обосновать выбор способа управления переносом электродного металла в пользу импульсных механизмов подачи.

Целью настоящей работы является продолжение (см. [8]) анализа некоторых технологических особенностей импульсно - дуговой сварки и наплавки с использованием механизмов на основе КВП, в частности связанных с решением задач энергоресурсосбережения.

Вследствие отсутствия нестабильных элементов в кинематической цепи предложенной нами конструкции механизма регулируемой импульсной подачи и её дальнейшего совершенствования, осциллограммы тока при правильно выбранных параметрах системы подачи электродной проволоки представляют собой последовательность одинаковых импульсов (импульсы тока адекватны импульсам подачи), что практически недостижимо при использовании импульсных источников сварочного тока, в частности при сварке в среде CO_2 , что видно на примере процесса сварки электродной проволокой типа Св08Г2с диаметром 1,2 мм на токах 100...120 А (рис.1).

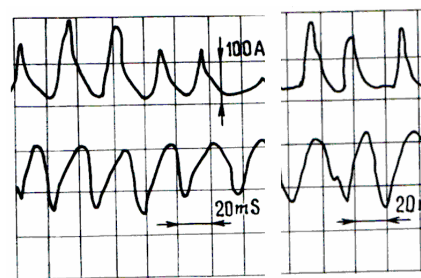


Рис.1. Характерные осциллограммы тока (1) и скорости подачи (2) при сварке с импульсной подачей проволоки

На рис. 2. представлены два графика характеристик плавления (зависимости $k_n = f(I)$, где k_n - коэффициент наплавки, г/А·с; I , А) одной и той же порошковой проволоки диаметром 3,2 мм по ГОСТ 26101-84) при использовании одного источника сварочного тока типа ВДУ-504, шлангового держателя типа А-1230-05, укороченного до 1,8 м, при вылете электродной проволоки 70...90 мм. Один из механизмов импульсной подачи электродной проволоки, с использованием которого проводились экспериментальные работы, представлен на фотографии (рис.3).

Аналогичные зависимости получены и при сварке электродными проволоками типа Св08Г2с в среде защитных газов. Каким же образом достигается повышение коэффициента наплавки при применении механического управления переносом электродного металла? Для того, чтобы понять и объяс-

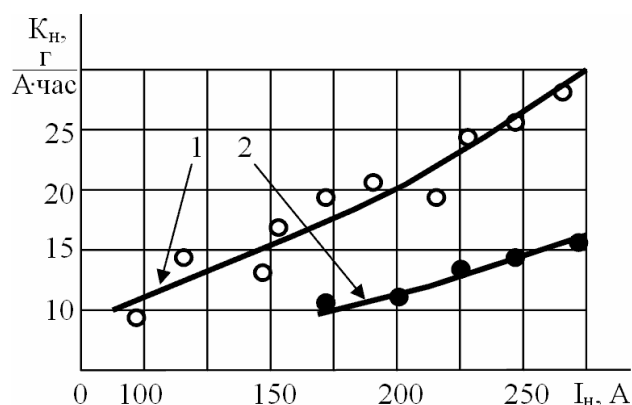


Рис.2. Зависимость коэффициента наплавки от величины сварочного тока для 1- полуавтомата ПДГ508; 2- полуавтомата с импульсным механизмом

нить этот эффект, укажем, что в соответствии с литературой [11] для процесса сварки характерно практически пропорциональное увеличение коэффициента расплавления с увеличением тока и напряжения дугового процесса, а, следовательно, и мощности дуги. Таким образом, очевидно, что экономия электроэнергии и коэффициент расплавления связаны прямо пропорциональной зависимостью. С другой стороны из работы [3] следует, что значение энергии ε , затраченной на образование капли электродного металла массой m , при постоянной скорости перемещения электродной проволоки, может быть описано уравнением

$$\varepsilon = \rho \frac{\pi d_s^2}{4K\alpha} \int_0^{t_0} v_{n,0} e^{-A(U_0-B)t} dt, \quad (1)$$

где ρ - плотность металла электрода; d_s - диаметр электродной проволоки; $v_{n,0}$ - начальная скорость плавления электродной проволоки; A и B - коэффициенты пропорциональности, зависящие от материала электрода, среды, в которой горит дуга, и свойств источника сварочного тока; U_0 - напряжение на дуге; K - масса металла, который может быть расплавлен единичной энергией; α - коэффициент, учитывающий потери электродного металла в дуге и на электроде;

Выражение $\int_0^{t_0} v_{n,0} e^{-A(U_0-B)t} dt$ в уравнении (1) описывает интегральное значение скорости плавления электродной проволоки.

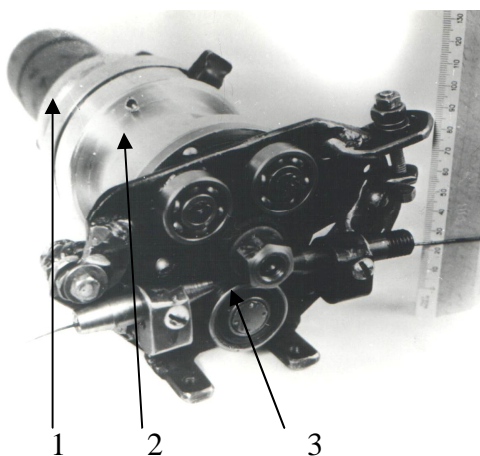


Рис.3. Вариант конструкции механизма импульсной подачи к КВП: 1- приводной электродвигатель; 2-КВП; 3-устройство прижима с разгрузкой выходного вала

В нашей работе [4] показано, что скорость плавления электродной проволоки $v_{n,0}$ в импульсе подачи при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка определяется в следующем виде

$$v_{n,0}(t) = \frac{k_1 f h \pi d_s / 2}{T_1 \sqrt{(\delta^2 - f^2)^2 + 4a^2 f^2}} \times \{k_u + [\sin(ft - \lambda) + \frac{f}{b} e^{-at} \sin(bt - \mu)]\} \quad (2)$$

где f, h - частота и шаг импульсной подачи соответственно; k_1 - коэффициент пропорциональности, характеризующий степень зависимости $v_{n,0} = f(I_0)$, в которой I_0 - ток дуги и которая, и эта зависимость, принимается прямо пропорциональной; k_u - коэффициент, характеризующий форму и скважность импульса подачи электродной проволоки;

$$\lambda = \arctg \frac{2af}{\delta^2 - f^2};$$

$$\mu = \arctg \frac{-2ab}{a^2 - b^2 + f^2}; \quad \delta^2 = a^2 + b^2; \quad a = \frac{1}{2T_1};$$

$$a^2 + b^2 = \frac{k}{T_1}; \quad b = \frac{\sqrt{4kT_1 - 1}}{2T_1}; \quad \text{в свою очередь}$$

$$T_1 = \frac{L}{R_s + 0,5s}; \quad k = \frac{AHE_c}{R_s + 0,5s}; \quad A = \frac{1}{\pi r_s^2 M};$$

$H = U_{xx}(0,285 - 0,0052U_{xx})$, где U_{xx} - напряжение холостого хода, а $M = C_n \gamma_n T_n - C_o \gamma_o T_o + r_n \gamma_n$, где C_n, C_o - теплоёмкость металла при температурах плавления и окружающей среды (соответственно 720 и 482 Дж/кг · °С); γ_n, γ_o - плотность металла при температурах плавления и окружающей среды (соответственно 7300 и 7861 кг/м³); r_n - скрытая теплота плавления 256 · 10³ Дж/кг; T_n, T_o - температура плавления электродного металла и температура окружающей среды (соответственно 1536 и 50 °С); $E_c = 3000$ В/м - напряжённость электрического поля.

Для определения интегральной скорости плавления проинтегрируем уравнение (2), преобразуем его, при этом учтём, что в случае обеспечения управляемого переноса электродного металла частота импульсов по-

дачи совпадает с частотой переноса электродного металла, тогда $t = 1/f$, а для нахождения затрат энергии на образование капли электродного металла, образованной в импульсе подачи проволоки, перейдем от мгновенных значений к полной мощности дугового процесса, подставим результат интегрирования в (1) и обозначим

$$\eta = \frac{f}{T_1 \sqrt{(\delta^2 - f^2)^2 + 4a^2 f^2}};$$

$$\beta = \rho \frac{k_1 \pi^2 d_3^3 / 2}{4K\alpha},$$

в итоге получим

$$P = \beta \eta \left\{ k_\phi T - \frac{f}{b\delta^2} \left\{ e^{-aT} [(a \sin(bT - \mu) - b \cos(bT - \mu)) + a \sin(\mu) - b \cos(\mu)] \right\} \right\}. \quad (3)$$

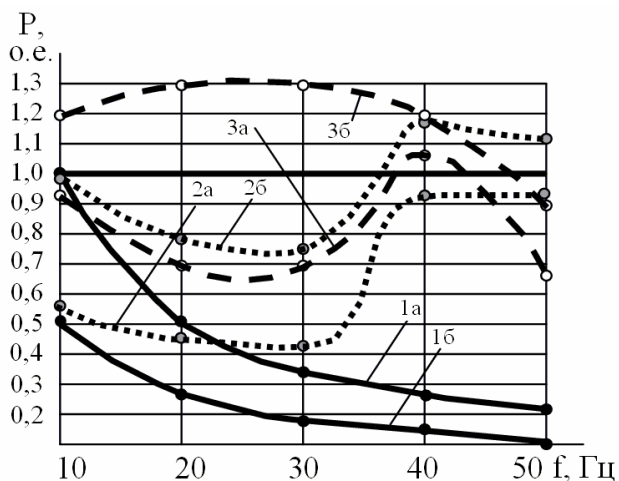


Рис.4. Изменения мощности процесса сварки при изменении частоты подачи электродной проволоки: 1-при $T_1=0,01$ С (1а - $k_\phi=1$; 1б - $k_\phi=0,5$); 2- при $T_1=0,05$ С (2а - $k_\phi=1$; 2б - $k_\phi=0,5$); 3-при $T_1=0,1$ С (3а - $k_\phi=1$; 3б - $k_\phi=0,5$)

Исследуя уравнение (3) и анализируя результаты расчётов, по реальным параметрам дуги и оборудования, с помощью которого осуществляется дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки (рис.4), можно отметить следующее:

1. Импульсная подача, обеспечивающая управляемый перенос электродного металла, оказывает существенное влияние на энергетические характеристики сварочного процесса.

2. Судя по экспериментальным исследованиям, частично представленным на графиках (рис.2), уравнение с достаточной степенью точности (70...75%) описывает изменения энергии при сварке с импульсной подачей электродной проволоки.

3. Очевидно, что при малых постоянных времени сварочного контура (дуга - источник сварочного тока) с повышением частоты энергетические затраты на сварочный процесс снижаются, что отмечено по результатам экспериментов с вибродуговой наплавкой, которая также характеризуется управляемым переносом электродного металла [7]. С увеличением указанной постоянной времени сварочного контура снижение энергетических затрат может наблюдаться лишь в каких-то отдельных участках частот подачи.

4. Весьма значительное и даже во многом определяющее влияние на энергетические характеристики процесса оказывает форма и скважность импульса подачи электродной проволоки. При этом влияние возрастает со снижением постоянной времени сварочной цепи.

До настоящего времени импульс нужной формы формировался за счёт использования специальной разработки механизмов управляемой импульсной подачи, которые описаны в работе [6]. Применение таких механизмов позволяет решать задачи формирования капли электродного металла с оптимальными для технологического сварочного процесса параметрами.

Получить же дополнительный существенный эффект снижения энергетических затрат весьма сложно, используя только механические преобразователи. Здесь предполагается использование в системах подачи быстродействующих вентильных электроприводов с микропроцессорным управлением, разработка которых ведётся на электротехническом заводе в г. Николаеве по заданию и при участии специалистов ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. Возможности использования таких электроприводов в качестве управляемых генераторов для осуществления импульсной подачи мы уже оценили. Преимущества таких систем очевидны и состоят в достаточно быстрой адаптации

электропривода к изменяющимся задачам сварочного производства, высокой надёжности и способности воспроизводить импульсы с параметрами, которые одновременно бы удовлетворяли два основных критерия: получение качественного сварного соединения с минимальными потерями электродного металла; дальнейшее снижение затрат электроэнергии.

Что касается источников сварочного тока, то здесь перспектива в решении задач энерго - ресурсосбережения в дуговом механизированном и автоматическом оборудовании с импульсной подачей электродной проволоки основывается на применении инверторных источников или использовании чопперных систем питания дуги с низкими значениями постоянных времени сварочной цепи.

В заключение отметим, что, учитывая важность решения задач получения качественных характеристик сварного шва и значение энергоресурсосбережения, необходимо сформулировать условия оптимального выбора параметров импульсной подачи для этого случая, что и будет являться продолжением работы в рассматриваемом направлении исследований.

Список использованной литературы

1. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б.Е.Патон, В.А.Лебедев, В.Г.Пичак и др. // Сварочное производство - 2002. - № 2. - С.24-31.

2. Бондаренко В.Л. Дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки- процесс СМТ, предложенный фирмой "Фрониус" //Автомат. сварка. - 2004. - № 12.- С.55-58.

3. Букаров В.А., Ермаков С.С. Анализ закономерностей изменения энергетических характеристик дуги при сварке плавящимся электродом// Сварочное производство -1993. - № 9.- С.7-9.

4. Лебедев В.А. Определение аналитической зависимости между изменяющимися скоростями подачи и плавления электродной проволоки в условиях сварки с короткими

замыканиями //Сварочное производство - 2008. - № 9.- С.7-11.

5. Лебедев В.А., Никитенко В.П. Перспективные направления в конструировании механизмов подачи электродной проволоки //Автомат. сварка. - 1983. - № 7.- С. 61-69.

6. Лебедев В.А., Пичак В.Г., Смолярко В.Б. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов //Автомат. сварка.-2001.- № 5.- С.31-37.

7. Пацкевич И.Р., Попков А.М. Характеристики плавления электродной проволоки при автоматической вибродуговой наплавке //Сварочное производство -1965. - № 2.- С.11-14.

8. Практическое применение дуговой наплавки с импульсной подачей электродной проволоки / В.А.Лебедев, А.Е.Коротынский, В.М.Мозок, В.Г.Пичак //Автомат. сварка.-2001. - № 2.- С.37-41.

9. Сараев Ю.Н., Гребенев Е.Н., Щумский И.Г. Совершенствование источников питания для дуговой сварки и наплавки на основе алгоритмов импульсного управления энергетическими параметрами процесса. Новые источники питания.- К.: - 1992.- С. 34-40.

10. Судник В.А., Иванов А.В., Дилтей У. Математическая модель источника теплоты при дуговой сварки плавящимся электродом в смеси защитных газов // Сварочное производство. - 2000. - № 9. - С.9-16.

11. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением // Под ред. Б.Е. Патона. - М.: Машиностроение, 1974, 768 с.

Получено 03.04.2008



Лебедев Владимир Александрович, канд. техн. наук, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев