

## ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ\*

Лебедев В.А., к.т.н.,  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Украина, 03680, Киев-150, ул. Боженко, 11

*Розглядається ряд проблем, пов'язаних з рішенням завдань енергозбереження при механізованих дугових процесах зварки і наплавлення. Пропонується як енергозберігаючі технології використовувати імпульсні процеси з певними характеристиками, направлені на отримання керованого перенесення електродного металу. Показано, що при керованому перенесенні електродного металу з певними параметрами може бути витрачено електрики на 20.30% менше, ніж при звичайних процесах.*

*Рассматриваются ряд проблем, связанных с решением задач энергосбережения при механизированных дуговых процессах сварки и наплавки. Предлагается в качестве энергосберегающих технологий использовать импульсные процессы с определёнными характеристиками, направленные на получение управляемого переноса электродного металла. Показано, что при управляемом переносе электродного металла с определёнными параметрами может быть затрачено электричества на 20...30% меньше, чем при обычных процессах.*

В настоящее время известен ряд способов дуговой механизированной сварки и наплавки с использованием плавящихся электродных проволок сплошного сечения и самозащитных порошковых электродных проволок. При этом для ряда процессов механизированной сварки используют различные виды управления переносом электродного металла, осуществляемых за счёт источников сварочного тока [1], механизмов подачи электродной проволоки [2], систем подачи защитного газа [3], или некоторых их комбинаций [4]. Все эти виды управления переносом электродного металла ставят перед собой достаточно близкие задачи, основные из которых можно обобщить следующим образом [5]:

- облегчение техники сварки в различных пространственных положениях, в том числе на вертикальной плоскости и в потолочном положении;
- получение возможности управления формой сварного соединения и обеспечение высокого качества металла шва и околошовной зоны, в том числе и за счёт оптимизации времени пребывания капли электродного металла в зоне горения дуги;
- расширение сфер применения механизированной дуговой сварки и наплавки;
- снижение потерь электродного металла на разбрызгивание.

Важнейшей характеристикой любого технологического процесса и дуговых процессов сварки и наплавки в том числе являются затраты энергии на их реализацию, а её снижение является одной из наиболее актуальных задач. В работе [6] отмечается, что управление переносом электродного металла может быть инструментом снижения энергозатрат. При этом эти энергозатраты связывают не только с их пассивным расходом (исправление дефектов сварного шва, зачистка брызг и др.), а также с активным расходом электроэнергии, затрачиваемой на плавление электродной проволоки.

Целью настоящей работы является оценка затрат электроэнергии на плавление электродной проволоки при некоторых способах сварки и видах управления переносом электродного металла, с разработкой методики такой оценки.

Остановимся на оценке затрат самого распространённого способа механизированной дуговой сварки – сварке сплошной электродной проволокой в среде углекислого газа. При этом рассмотрим сварку короткой дугой со следующими разновидностями переноса электродного металла:

- сварка с естественными короткими замыканиями, когда перенос осуществляется в период короткого замыкания;
- перенос с управляемыми (упорядоченными) короткими замыканиями, осуществляемыми за счёт импульсной подачи электродной проволоки с относительно небольшими значениями ускорений в импульсе движения;
- перенос без коротких замыканий дугового промежутка, осуществляемый за счёт одновременного использования импульсной подачи электродной проволоки и импульсов от специального импульсного источника.

Вышеуказанный выбор моделирует достаточно большой ряд основных типов переносов электродного металла, которые вообще встречаются при механизированной дуговой сварке плавящимся электродом, а в данном случае способы управления переносом до некоторой степени моделируют известные процессы, как с короткими замыканиями дугового промежутка, так и без них. К числу таких процессов следует отнести сварку сталей длинной дугой и сплавов алюминия в защитных газах, а также сварку и наплавку самозащитными порошковыми электродными проволоками.

Следует заметить, что до настоящего времени проблема оценки энергозатрат при сварке с существенно изменяющимися параметрами (ток и напряжение) стоит достаточно остро, хотя существует ряд

\* В работе принимал участие инженер Новгородский В.Г.

моделей для таких оценок, программное обеспечение и соответствующая компьютерная техника. В итоге задача определения энергозатрат при указанных изменениях параметров сводится к математической обработке тока и напряжения и нахождения мощности, потребляемой дугвым процессом. Такие измерения требуют достаточно сложных приборов, которые, как правило, базируются на использовании компьютерного оборудования со специально разрабатываемым интерфейсом и программным обеспечением.

Нами предложено для оценки энергетических затрат при различных видах переноса электродного металла использовать определение количества элек-

тричества, которое необходимо для реализации сварочного процесса. Это предложение учитывает то обстоятельство, что механизированная дуговая сварка осуществляется от источников с жёсткой вольтамперной характеристикой. Для этой цели разработана схема измерения, упрощённый аналоговый вариант которой представлен на рис. 1. Работа схемы основана на стабилизации соотношения между током сварки  $I_{св}$  и током заряда  $I_3$  конденсатора  $C1$ , с выполнением условия

$$k_i = I_{св} / I_3 = \text{const}, \quad (1)$$

где  $k_i$  – коэффициент соответствия между токами сварки и заряда конденсатора.

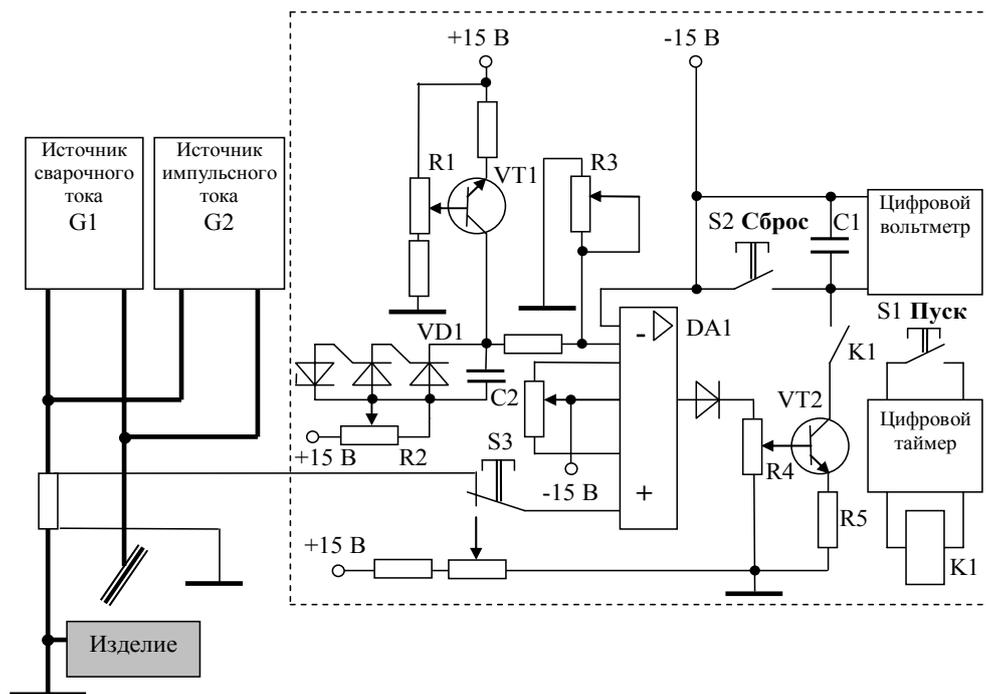


Рис. 1. Схема для определения количества электричества, затрачиваемого на ведение механизированных дуговых процессов сварки и наплавки

Учитывая, что количество электричества  $Q$  определяется произведением  $Q = I \cdot t$ , где  $t$  – время, в течение которого проходит ток, то с учётом выражения (1) можно записать

$$k_q = I_{св} \cdot t / I_3 \cdot t = Q_{св} / Q_3 = \text{const}, \quad (2)$$

где  $Q_{св}$ ,  $Q_3$  – количество электричества, затрачиваемое на сварочный процесс и на заряд конденсатора в схеме соответственно;  $k_q$  – коэффициент соответствия между токами сварки и заряда конденсатора.

Очевидно, что  $k_i = k_q$ .

Известно, что между напряжением на конденсаторе  $U$  и количеством электричества  $Q_3$  существует зависимость  $U = Q_3 / C$ , где  $C$  – величина ёмкости конденсатора. Следовательно по значению напряжения на конденсаторе  $C1$  можно определить величину  $Q_3$ , которая пропорциональна (коэффициент пропорциональности  $k_q$ ) количеству электричества, затраченного на сварочный процесс за время  $t$ . Одной из основных задач, которую необходимо было решить при разработке рассматриваемой схемы измерения, является исключение естественного экспоненциального закона заряда конденсатора, которое неприемлемо для вышеопределённых линейных законов измерения. Для этих целей в схеме предусмотрено слеже-

ние за током заряда конденсатора  $C1$  вне зависимости от напряжения на нём  $U_{C1}$ . Такое слежение осуществляется за счёт сравнения напряжений между резисторами  $R4$  и  $R5$  на переходе эмиттер – база транзистора. Изменение напряжения на резисторе  $R5$   $\Delta U_{R5}$  в точности повторяет изменение напряжения на резисторе  $R4$   $\Delta U_{R4}$ , следовательно, пропорционально повторяет изменение тока заряда конденсатора  $\Delta I_3$ .

Ток заряда конденсатора  $C1$  пропорционален напряжению на выходе операционного усилителя  $DA1$ , которое в свою очередь пропорционально напряжению на шунте  $RS1$ , через который проходит ток сварки  $I_{св}$ . Необходимость в использовании операционного усилителя обуславливается низким уровнем напряжения, снимаемого с шунта. Для того чтобы этот усилитель не вносил нелинейных искажений в систему измерения, его построение выполнено по параметрической схеме. При этом в схеме используется принцип широтно-импульсного модулирования с задающим генератором линейного пилообразного напряжения, построенным на следующих основных элементах:  $VT1$ ,  $VD1$ ,  $C2$ .

В схему устройства введён таймер, посредством которого ведётся определение времени, в течение ко-

торого проходит сварочный ток. Кроме этого, при помощи таймера определяется время подачи электродной проволоки и устанавливается длина поданной её участка.

Очевидная простота предлагаемого схемного решения позволяет достаточно легко повторить её практически в любой сварочной лаборатории и применить для сравнительной оценки того или иного дугового технологического процесса, а также оборудования, которое используется на предприятии.

Экспериментальная проверка схемы измерения количества затрачиваемого на процесс электричества, проводилась при сварке в среде углекислого газа электродными проволоками типа Св08Г2С диаметрами 0,8...1,2 мм с дополнительным использованием специально разработанного цифрового измерения длины электродной проволоки  $l_3$  поданной за время, определённого таймером. С рассмотренной системой измерения оказалось возможным оценить удельные затраты электричества  $q_{пл}$  на расплавление единицы объёма электродной проволоки диаметром  $d_3$ , в итоге определяемые в следующем виде

$$q_{пл} = \frac{4 \cdot Q_{св}}{\pi \cdot d_3 \cdot l_3} = \frac{k_q \cdot Q_3}{\pi \cdot d_3 \cdot l_3} \quad (3)$$

При этом предварительно коэффициент  $k_q$  определяется из передаточных отношений делителей и усилителя схемы измерения, а затем уточняется при помощи прямых экспериментальных измерений.

Реальные измерения расхода электричества на плавление электродной проволоки производились для трёх вышерассмотренных типов переноса электродного металла с использованием дугового механизированного оборудования трёх конструкций:

- полуавтомат с обычной невозмущённой подачей электродной проволоки;
- полуавтомат с импульсной подачей электродной проволоки, осуществляемой механизмом с односторонними захватами и электромагнитным приводом [7];
- полуавтомат с импульсной подачей электродной проволоки, осуществляемой механизмом с односторонними захватами и электромагнитным приводом с использованием дополнительного импульсного источника питания дуги и системы управления, обеспечивающей определённый алгоритм получения импульсов механического движения электродной проволоки и импульсов тока [8]. Держатели всех трёх полуавтоматов одинаковой длины закреплялись в специальный механизм их перемещения относительно наплавляемой пластины для создания идентичных условий для дугового процесса. Время ведения процесса выбиралось одним и тем же и составляло 5 и 10 с. Режимы ведения наплавки выставлялись одинаковыми и составляли по электромагнитным приборам 100 А и 20 В. В качестве основного источника использовался сварочный выпрямитель типа ВС300Б. В качестве шунтов применялись несколько последовательно

включённых шунтов типа 75ШСМ. Реальные значения длин поданной электродной проволоки  $l_3$  за время  $t$  определялось цифровым измерителем длины.

Характерные осциллограммы токов дугового процесса для трёх реализуемых типов переноса электродного металла показаны на осциллограммах рис. 2. Необходимо отметить, что при представленных разных типах переносов оказываются различными временные параметры циклов (время короткого замыкания и холостого хода, а также частота циклов переноса) и значения режимов дугового процесса. Возможность изменения временных параметров при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка позволяет в определённых пределах регулировать скорость плавления электродной проволоки.

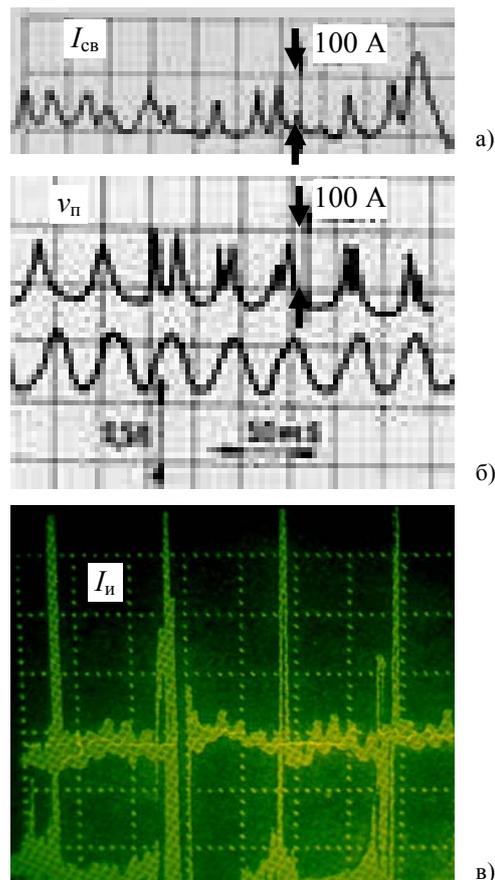


Рис. 2. Осциллограммы тока сварки при переносах: а – с естественными короткими замыканиями; б – с управляемыми короткими замыканиями; в – с управлением переносом без коротких замыканий;  $v_{п}$  – скорость перемещения проволоки при импульсной подаче;  $I_{и}$  – ток импульсного источника

Результаты измерений и вычислений удельного расхода электричества для разных типов переноса электродного металла представлены в табл. 1.

Таблица 1

Виды переноса электродного металла	С естественными короткими замыканиями	С управляемыми короткими замыканиями		Без коротких замыканий	
		Ускорение в импульсе $m/c^2$ , 20...30	Ускорение в импульсе $m/c^2$ , 40...60	Величина импульса тока, А, 50	Величина импульса тока, А, 100
Удельный расход электричества, $q_{пл}$ , А·С/мм <sup>3</sup>	2,0...2,1	2,1...2,3	1,9...2,0	1,8	до 1,6

Следует обратить внимание на тот факт, что при импульсной подаче электродной проволоки, когда достигается эффект управления короткими замыканиями в виде их упорядочивания, может быть получено некоторое превышение расхода электричества в сравнение с процессом сварки, имеющим естественные короткие замыкания дугового промежутка. Нами экспериментально установлено, что такие превышения характерны для ряда случаев сварки с импульсной подачей:

- при низких частотах импульсов подачи, при которых шаги подачи превышают оптимальные и рекомендуемые по литературе [9], хотя процесс сварки при этом остаётся устойчивым, а технологические преимущества проявляются достаточным образом;

- при низких значениях ускорений в импульсе движения электродной проволоки с расплавленной каплей на торце.

Объяснить такие превышения расхода электричества можно, по нашему мнению, тем, что во всех исследованных случаях время короткого замыкания, в течение которого не происходит эффективного плавления электродной проволоки, превышает время естественных коротких замыканий. Кроме этого, при определённых параметрах импульсов сокращается время пребывания расплавленной капли на торце электродной проволоки, что также способствует повышению эффективности её плавления.

Можно предположить, что нечто подобное происходит и при управлении переносом электродного металла за счёт импульсных алгоритмов работы источников питания дуги.

Из вышеизложенного очевидно, что при импульсной подаче электродной проволоки, параметры импульсов весьма существенно влияют на энергозатраты при ведении дуговых процессов. Очевидно, что при выборе параметров импульсов, определяющих устойчивость процесса, формирование шва, потери электродного металла, должно быть учтены и энергетические затраты.

Одним из способов значительного снижения энергозатрат при сварке с короткими замыканиями является процесс с когерентным управлением переносом электродного металла, при котором на каплю расплавленного электродного металла действуют две импульсных составляющих: механическая за счёт импульсной подачи и электрическая: за счёт использования импульсного источника питания дуги. При определённых алгоритмах одновременного воздействия этих составляющих может быть достигнут эффект сварки короткой дугой без коротких замыканий, который кроме технологических преимуществ позволяет существенно экономить электроэнергию.

Интересным является вопрос энергетических затрат при дуговых процессах сварки и наплавки длинной дугой без коротких замыканий. Здесь при импульсной подаче электродной проволоки также возможно некоторое снижение затрат электроэнергии в сравнение с процессами, когда подача носит неизменный характер. Это снижение не столь значительно как при сварке с короткими замыканиями и объяснить его, по нашему мнению можно только сокращением

времени пребывания капли на торце электродной проволоки.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод оценки энергетических затрат при механизированных дуговых процессах сварки, основанный на измерении количества электричества, затрачиваемого на плавление мерного отрезка электродной проволоки может быть, в основном, использован для сравнительных исследований энергетической эффективности того или иного способа дугового процесса с различными способами переноса электродного металла.

2. Механизированные дуговые процессы сварки и наплавки с управлением переносом электродного металла имеют значительные возможности по решению на их основе задач энергосбережения.

3. Выбор параметров импульсного воздействия на плавящуюся электродную проволоку должен включать в себя, кроме технологических воздействий, решение задач энергосбережения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лебедев В.К. Современные тенденции развития сварочных источников питания. Новые источники питания. Киев.- 1992.- С. 5-13.
- [2] Лебедев В.А., Пичак В.Г. Механизированная дуговая сварка в CO<sub>2</sub> с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство.- 1998. - № 5. - С. 30-33.
- [3] Денисов Л.С., Барсуков И.В., Аполоник С.А. Разработка и анализ оборудования для сварки с попеременной подачей газов // Прогрессивная техника и технология машиностроения, приборостроения и сварочного производства. Тр. научн. конф. Киев. 1998.- Том 4.- С. 310-313.
- [4] Патент США № 3581053, кл.219-137 (B23K 9/00), 5.12.67р., Syncho-arc metal transfer.
- [5] Воропай Н.М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автомат. сварка.- 1996. - № 10. - С. 3-9
- [6] Сараев Ю.Н. Управление переносом электродного металла при сварке в CO<sub>2</sub> с короткими замыканиями дугового промежутка (Обзор) // Автомат. сварка. – 1988. - № 12. - С. 16-23.
- [7] Лебедев В.А., Мошкин В.Ф., Пичак В.Г., Смолярко В.Б. Выбор конструкции одностороннего захвата для импульсной подачи электродной проволоки. // Сварочное производство -2001 .-№ 4.– С. 17-24.
- [8] Патон Б.Е., В.А. Лебедев, Микитин Я.И. Исследование одного способа когерентного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке.
- [9] Потаповский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 1974, - 240 с.

*Поступила 20.03.2007*