



ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

А. Е. КОРОТЫНСКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведено описание резонансного сварочного источника, выполненного по двухконтурной схеме. Показано, что высокой устойчивости горения сварочной дуги достигают за счет высоковольтного вспомогательного контура, мощность которого не превышает 400 Вт. Даны пример расчета дополнительного контура, а также результаты испытаний устройства на различных типах штучных электродов.

Ключевые слова: дуговая сварка, резонанс напряжения, эластичность дуги

Устойчивость горения сварочной дуги — один из важнейших технологических параметров, определяющих качество формирования сварных соединений. Она зависит не только от состава и свойств плазмы столба дуги, но и в большей степени от статических и динамических характеристик источников питания дуги [1].

Традиционным способом повышения устойчивости горения сварочной дуги является увеличение напряжения на дуговом промежутке при смене полярности. Обычно это достигается путем повышения напряжения холостого хода сварочного трансформатора [2], что, однако, приводит к росту стоимости источника, снижению его КПД и коэффициента мощности, а также к ухудшению условий электробезопасности.

Более приемлемыми следует считать такие технические решения, в которых используют импульсные стабилизаторы дуги [3], позволяющие снизить напряжение холостого хода на 20... 30 %. При этом также расширяется диапазон используемых типов электродов. В некоторых устройствах [4] для стабилизации горения дуги применяется дополнительный высокочастотный преобразователь с частотой ≤ 20 кГц, включаемый параллельно дуговому промежутку. Наложение высокочастотных колебаний невысокой амплитуды обеспечивает увеличение разрывной длины дуги в 1,5... 1,8 раза. Основным недостатком оборудования этого класса — значительное расширение спектра помех, проникающих в питающую сеть и окружающее пространство. В ряде случаев, когда эти устройства не удовлетворяют требованиям по электромагнитной совместимости, их применение недопустимо.

Указанных недостатков лишены резонансные сварочные источники, которые для работы с рутитовыми электродами выполняют в основном по одноконтурной схеме [5, 6]. Зачастую используют схемы с резонансом напряжений во вторичном контуре. При этом напряжение, действующее на емкостном реакторе, ограничивают на уровне $U_2 \leq 42$ В, что связано с надежностью функционирования электролитических конденсаторов, составляющих реактор. Однако этого напряжения недостаточно для стабильной работы устройств дан-

ного типа при сварке электродами с основным покрытием, а также электродами АНО-ТМ. Даже при повышении вторичного напряжения до 48 В трудно обеспечить надежные условия повторного возбуждения дуги.

Решить эту задачу можно путем использования двухконтурной схемы питания сварочной дуги. Суть этого предложения заключается в следующем. Параллельно основному контуру с токовой нагрузкой 90... 95 % включают синфазно дополнительный контур, на реакторе которого действует напряжение, равное 75... 80 В. Поскольку через дополнительный реактор протекает небольшой ток (10... 20 А), его надежная работа обеспечивается достаточно просто. Именно за счет увеличения напряжения, действующего в дополнительном контуре, гарантируется высокая стабильность горения дуги при сварке электродами с основным покрытием и электродами АНО-ТМ.

В качестве примера рассчитаем параметры дополнительного контура со следующими исходными данными: $U_{2\text{доп}} = 80$ В, $I_{2\text{доп}} = 20$ А. Так как добротность контура не превышает единицы, то напряжение, действующее на дополнительном реакторе, можно принять равным $U_{с.д} = 80$ В. Следовательно, значение емкостного импеданса будет равным $X_c = 4$ Ом/р. Определим емкость дополнительного реактора $C_d = 1/2\pi f X_c = 800$ мкФ. При резонансной настройке индуктивность рассеивания дополнительного контура вычислим по формуле $L_s = 1/4\pi^2 f^2 C_d = 5$ мГн.

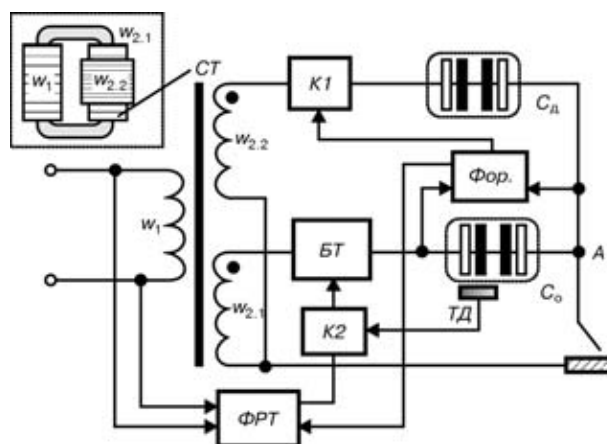


Рис. 1. Структурная схема сварочного источника

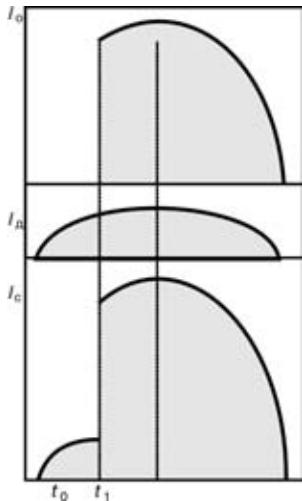


Рис. 2. Временные диаграммы токов в точке суммирования

Как следует из приведенного расчета, сварочный трансформатор (СТ) должен быть выполнен таким образом, чтобы одна из его вторичных обмоток имела очень сильное рассеяние. Конструктивно (рис. 1) это достигается за счет того, что дополнительная обмотка $w_{2,2}$ выполняется на узком участке основной вторичной обмотки $w_{2,1}$. Когда же это условие конструктивными методами обеспечить не удастся, необходимо установить дополнительный дроссель в цепи между ключом $K1$ и основным реактором C_o .

Структурная схема двухконтурного сварочного устройства, реализующего описанный подход, приведена на рис. 1. Обмотка $w_{2,1}$, блок тиристорov (БТ) и реактор C_o образуют основной вторичный контур, а обмотка $w_{2,2}$, ключ $K1$, дополнительный реактор C_d — вспомогательный вторичный контур. В режиме холостого хода фазовый регулятор сварочного тока (ФРТ), работа которого синхронизируется напряжением питающей сети, устанавливается в состояние, при котором на выходе БТ действует напряжение не более 12 В. При этом на выходе формирователя (ФОР.), который подключен параллельно C_o , во время сварки появляется сигнал, используемый для включения ключа $K1$. Последний необходим для отключения разностного тока, который должен был бы возникнуть в режиме холостого хода из-за разности напряжений на обмотках $w_{2,1}$ и $w_{2,2}$. Итак, в ждущем режиме, предшествующем началу сварки, ключ $K1$ разомкнут,

а БТ находится в режиме отсечки, при котором на реакторе C_o действует эффективное напряжение 12 В. Цепь основного контура разомкнута, и ток через C_o не протекает, а следовательно, напряжение на его обкладках близко к нулю. При касании электродом изделия на C_o появляется напряжение, с помощью которого включается ФОР. На его выходе появляется сигнал, одновременно замыкающий ключ $K1$ и переводящий в режим плавного регулирования сварочного тока ФРТ. Для предотвращения тепловой перегрузки основного емкостного реактора в устройстве предусмотрен термодатчик (ТД), который с помощью ключа $K2$ прерывает сигнал управления блоком тиристорov. При этом прекращается основной сварочный ток, напряжение на C_d падает и сигналом с выхода ФОР. отключается канал формирования дополнительного тока.

Несколько подробнее следует остановиться на описании стадии прекращения процесса сварки. При разрыве сварочной цепи напряжение на C_o падает по экспоненте, постоянная времени которой предварительно устанавливается в блоке формирователя так, чтобы время выключения не превышало 1 с. Ключ $K1$ при этом должен выключиться несколько раньше, что определяется выходным напряжением дискриминатора ФОР.

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу устройства, приведены на рис. 2. Здесь в точке А (рис. 1) осуществляется суммирование основного I_o и дополнительного I_d тока, формируемого высоковольтным контуром. Таким образом, ток сварки составляет $I_c = I_o + I_d$.

Практическая реализация описанного подхода была выполнена в источнике, схема которого изображена на рис. 3, а. Это устройство представляет собой двухконтурную схему с изменяемой структурой, поскольку электромагнитный элемент (ЭМЭ) в зависимости от режима работы исполняет различные функции. В режиме холостого хода ЭМЭ является дросселем, включенным последовательно с дополнительным реактором C_d . При этом дополнительный ток, который формирует вспомогательный последовательный резонансный контур, облегчает условия начального возбуждения дуги. При переходе к режиму сварки, когда электронный ключ $Kл$ замыкается, ЭМЭ превращается в повышающий трансформатор. Его выходное напряжение, которое превышает по уровню U_2 в

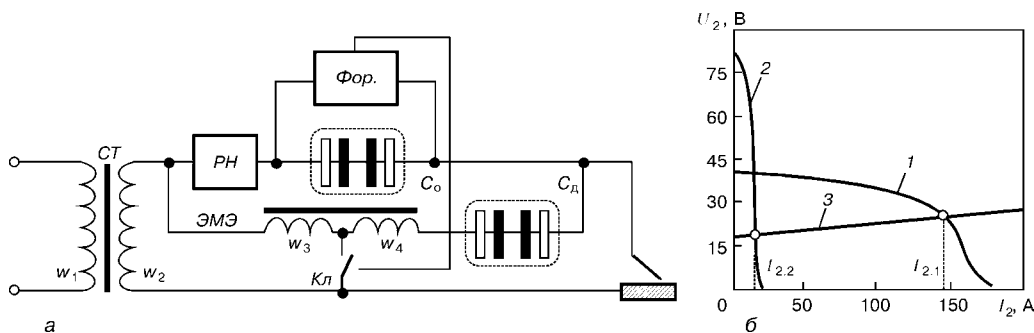


Рис. 3. Сварочный источник, выполненный по двухконтурной схеме с изменяемой структурой (а) и его внешняя характеристика (б): 1 — внешняя характеристика основного контура; 2 — то же дополнительного контура; 3 — зависимость U_2 от тока сварки ($U_2 = 18 + 0,04I_2$); РН — регулятор напряжения

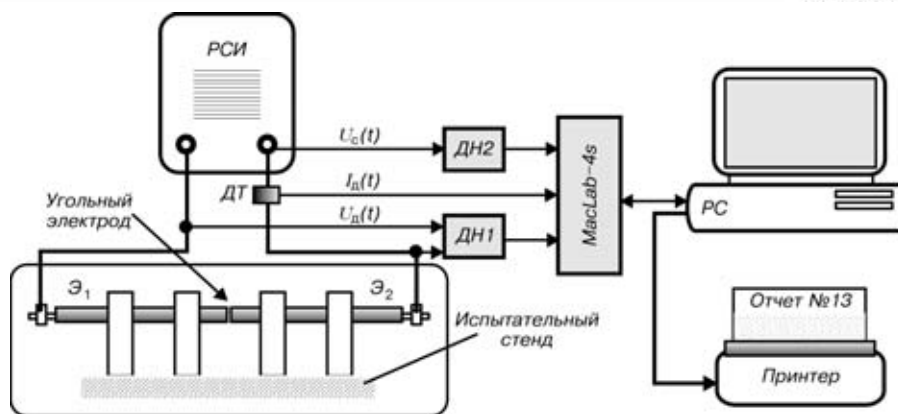


Рис. 4. Схема проведения исследований эластичности сварочной дуги

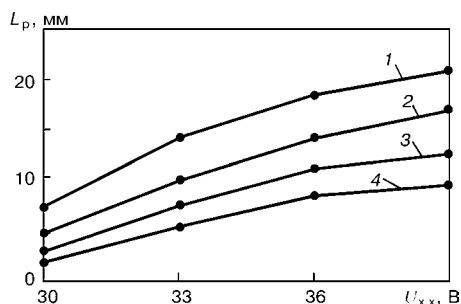


Рис. 5. Зависимость $L_p = f(U_{xx})$ для различных типов электродов диаметром 3 мм: 1 – АНО-4; 2 – АНО-ТМ; 3 – УОНИ-13/34; 4 – АНО-4; 1-3 – двухконтурная схема; 4 – одноконтурная схема

2,0... 2,5 раза, обеспечивает высокую стабильность горения сварочной дуги даже при использовании электродов с основным покрытием. На рис. 3, б приведены кривые, описывающие внешнюю характеристику сварочного устройства.

Экспериментальную оценку разрывной длины дуги L_p для электродов марок АНО-4, АНО-ТМ и УОНИ-13/55 производили на стенде, структурная схема которого показана на рис. 4. В качестве анализатора дуговых процессов было использовано устройство, описанное в статье [7], представляющее собой компьютерную систему на платформе Apple и оснащенную соответствующими датчиками тока (ДТ) и напряжения ДН1 и ДН2, а также системным интерфейсом MacLab-4s.

Эластичность сварочной дуги, горящей между двумя горизонтально расположенными электродами, исследовали по методике, предложенной в работе [8]. Возбуждение дуги производили с помощью угольного электрода, замыкающего дуговой промежуток, длину которого предварительно устанавливали примерно 0,5 мм. После погасания дуги штангенциркулем измеряли длину L_p . Все измерения производили для четырех значений напряжений холостого хода основного контура резонансного сварочного источника (РСИ) – 30, 33, 36 и 39 В и электродов одинакового диаметра – 3 мм.

Resonance welding source designed by a two-circuit diagram is described. It is shown that the high stability of arc burning is attained due to a high-voltage auxiliary circuit whose power does not exceed 400 W. Example of calculation of auxiliary circuit and also the results of tests of the device using different types of rod electrodes are given.

Результаты испытаний в форме функциональной зависимости $L_p = f(U_{xx})$ приведены на рис. 5. Полученные данные свидетельствуют о том, что разрывная длина дуги при двухконтурной схеме существенно увеличивается. Если сравнить кривые 1 и 3, то можно заметить, что для электродов АНО-4 L_p возрастает на 70... 80 %. Электроды АНО-ТМ и УОНИ-13/55, которые при одноконтурной схеме практически не возбуждают сварочную дугу, в двухконтурной схеме отличаются достаточно высокой устойчивостью. Например, для $U_{xx} = 36$ В разрывная длина дуги достигала соответственно 11,0 и 7,5 мм. Но при $U_{xx} \leq 33$ В на базовых электродах стабильный процесс даже в двухконтурной схеме осуществить не удалось.

1. *Технология и оборудование для сварки плавлением* / Под ред. Г. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1978. – 327 с.
2. Патон Б. Е., Лебедев В. К. *Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки*. – М.: Машиностроение, 1966. – 360 с.
3. Патон Б. Е., Завадский В. А. Импульсное зажигание дуги с целью значительного снижения напряжения холостого хода сварочного трансформатора // *Автомат. сварка*. – 1954. – № 4. – С. 7-10.
4. *Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами* / А. В. Чернов, Ю. В. Полетаев, З. О. Кавришвили, С. М. Бурдаков // *Свароч. пр-во*. – 2000. – № 2. – С. 7-9.
5. Лебедев В. К., Коротинский А. Е. Дуга переменного тока в цепи с последовательно соединенными индуктивностью и емкостью // *Автомат. сварка*. – 1994. – № 12. – С. 47-48.
6. Lebedev W. K., Korotinskij A. E., Zuk G. W. O niektorzych wlasnosciach procesu spawania lukowego z wykorzystaniem zrodela zasilania z obwodem rezonansowym LC // *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. – 1997. – № 3. – S. 34-36.
7. Paton B. E., Korotinskij A. E., Skopjuk M. J. Programowalny interfejs MacLab do tworzenia systemow informacyjno-pomiarowych w spawalnictwie // *Ibid*. – 1997. – № 3. – S. 27-30.
8. *Исследование эластичности сварочной дуги, питаемой от источника с индуктивностью и емкостью* / В. Ю. Арлаускас, И. Р. Нарушкевичюс, В. М. Дубащинский, А. А. Николаев // *Свароч. пр-во*. – 1974. – № 10. – С. 14-16.

Поступила в редакцию 02.08.2001