

УДК 537.527

Источник питания для дуговой сварки в щелевую разделку

В. О. Бушма

Московский энергетический институт, Москва, Россия

Показано, что между формой оплавления пластинчатого электрода и вольт-амперной характеристикой источника существует взаимное соответствие. Предложена вольт-амперная характеристика источника питания для дуговой сварки неподвижным плавящимся электродом, используя которую по горизонтальной схеме, можно выполнять качественные сварные соединения толщиной до 45 мм. Приведена функциональная блок-схема источника, реализующая такую характеристику. Отмечено влияние характеристики источника на процессы нагрева и плавления/основного металла изделия. Рассмотрено влияние распределенной сварочной ванны на внешнюю характеристику источника питания. Предложен источник питания, вольт-амперная характеристика которого формируется микропроцессорным контроллером. Алгоритм управления контроллера построен на измерении в реальном времени напряжения и тока дуги и управлении видом характеристики источника и скоростью плавления пластинчатого электрода.

Предложенная в МЭИ дуговая сварка изделий большой толщины в щелевую разделку [1] получила название дуговой сварки неподвижным плавящимся электродом (ДС НПЭ). Горизонтальная схема способа ДС НПЭ представлена на рис. 1. Такая схема сварки обладает высокой производительностью (0,5—1,2 см/с) и позволяет за один проход сваривать изделие толщиной до 45 мм.

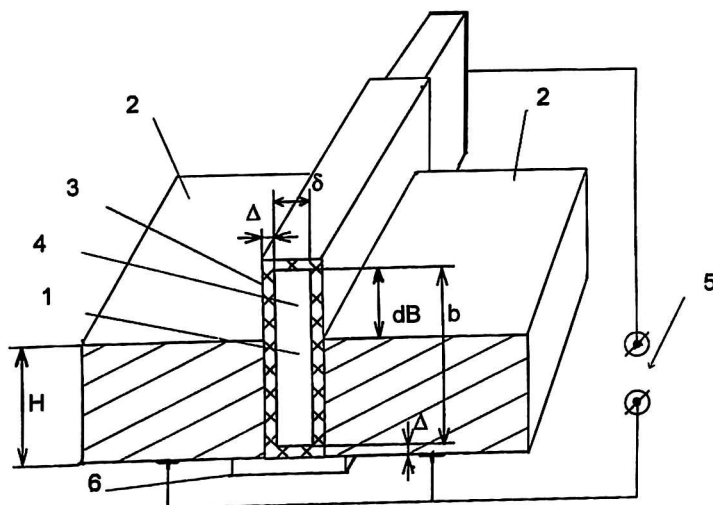


Рис. 1. Схема сборки деталей при ДС НПЭ:

1 — электрод; 2 — свариваемые детали; 3 — диэлектрическое покрытие; 4 — превышение электрода над изделием; 5 — схема подключения источника питания; 6 — подложка

На используемом пластинчатом электроде имеется диэлектрическое покрытие, которое занимает определенный объем и выгорает в процессе сварки. Поэтому для заполнения всего сварного шва металлом пластинчатый электрод должен быть выше, чем толщина свариваемого изделия. Превышение dB

электрода над частями изделия из геометрических соображений может быть рассчитано соотношением

$$dB = \frac{\Delta(2H + 1)}{\delta},$$

где Δ — толщина диэлектрического покрытия;
 H — толщина свариваемых деталей в зоне стыка;
 δ — толщина пластинчатого электрода.

Величина превышения может достигать 15–20 мм, а источник питания для сварки должен обладать характеристиками, обеспечивающими возможность оплавления всего пластинчатого электрода.

Известно, что выбор вида характеристики источника для любого процесса сварки определяется условиями энергетической устойчивости дуги [2]. Наиболее важным для выбора вида характеристики параметром оказывается статическая ВАХ разряда. Получить экспериментальные данные о ВАХ характеристике процесса ДС НПЭ в условиях сварки оказалось трудно выполнимой задачей, так как дуга не является пространственно устойчивой и длина дуги постоянно изменяется. Поэтому выбор вида характеристики источника на начальном этапе проводился экспериментально.

Использование источников с традиционно известными характеристиками показало следующее (рис. 2):

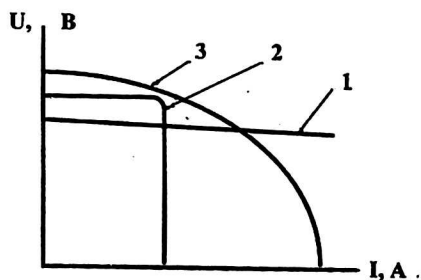
жесткие по напряжению характеристики источника оказались непригодными для сварки по горизонтальной схеме изделий большой толщины, так как с использованием таких характеристик удалось получить качественные сварные соединения для толщин до 10 мм;

крутопадающие (штыковые) характеристики или жесткие по току оказались полностью непригодны, так как не обеспечивали энергетическую устойчивость процесса. Как правило, сварка на таких характеристиках заканчивалась коротким замыканием электрода и частей изделия вблизи корня шва;

пологопадающие характеристики источника оказались пригодными для качественной сварки по горизонтальной схеме изделий толщиной до 15 мм, на повышенных сварочных токах — до 20 мм, но при этом отмечалось повышенное разбрызгивание, связанные с ним плохое формирование сварочного валика и подрезы, вызванные нехваткой металла.

Рис. 2. Вольт-амперные характеристики традиционных источников питания:

- 1 — жесткая по напряжению характеристика;
- 2 — крутопадающая (штыковая) характеристика;
- 3 — пологопадающая характеристика



Следует отметить, что в перечисленных случаях речь идет о горении электрической дуги на сварочную ванну, так как случай горения дуги на боковую стенку канала не обеспечивает необходимой сплошности получаемых сварных соединений.

Расширение диапазона свариваемых толщин изделий вызвало необходимость разработки источника со специальными характеристиками, соответствующими данному процессу.

Для этого была выполнена скоростная киносъемка процесса. Оказалось, что при сварке движение дуги по фронту плавления электрода носит практически непрерывный периодический характер и отличается значительной неравномерностью. Дуга, существуя между торцом пластинчатого электрода и распределенной сварочной ванной (рис. 3), в процессе сварки перемещается вдоль торца пластинчатого электрода снизу вверх и обратно, постепенно оплавляет весь электрод и выполняет сварку.

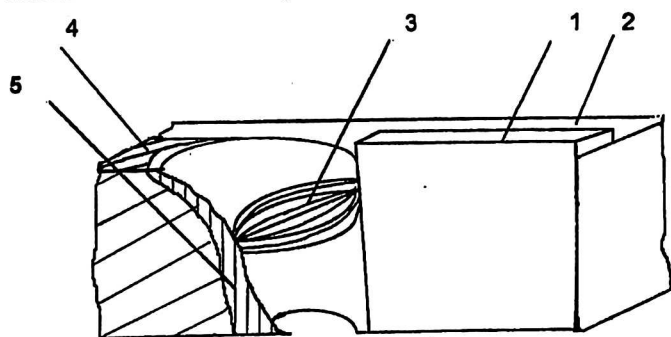


Рис. 3. Разрез дугового канала при ДС НПЭ:

- 1 — пластинчатый электрод;
- 2 — свариваемое изделие;
- 3 — электрическая дуга;
- 4 — металл шва; 5 — распределенная сварочная ванна

Была предложена математическая модель [3], пригодная лишь для начала сварки (без учета влияния распределенной сварочной ванны), которая объясняла возникновение упорядоченного периодического движения дуги при сварке. Согласно модели, движение дуги происходит под действием трех объемных массовых сил: газодинамической, электромагнитной и силой электрического трения. Период движения дуги, полученный при математическом моделировании, оказался близким к полученному при скоростной съемке процесса.

На основании экспериментальных и модельных данных было сделано предположение, что упорядоченное периодическое движение дуги должно отражаться на форме оплавления пластинчатого электрода и влиять на процессы, происходящие в сварочной ванне.

Если рассмотреть, к примеру, пологопадающую характеристику источника (рис. 4), то изменение длины дуги в системе источник—дуга будет приводить к изменению положения рабочей точки на ВАХ источника, при этом изменяются ток дуги и мощность плавления пластинчатого электрода.

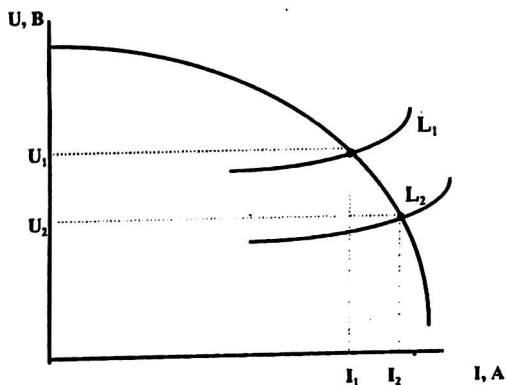


Рис. 4. Изменение положения рабочей точки при ДС НПЭ на пологопадающей характеристике источника питания

Тогда в процессе движения электрической дуги по каналу форма оплавления пластинчатого электрода будет близка по виду к форме вольт-амперной характе-

ристики источника в пределах диапазона сканирования дуги по характеристике источника. Как оказалось, это явление имеет место на практике.

На рис. 5, а представлены форма оплавления при пологопадающей характеристике источника и пологопадающая характеристика источника; на рис. 5, б — форма оплавления пластинчатого электрода при комбинированной характеристике источника. При средних и больших напряжениях на дуге характеристика жесткая по току или штыковая, при малых напряжениях на дуге — пологопадающая или жесткая по напряжению. При этом, если на реальной характеристике источника изменять местоположение переходящего участка в падающий, то на форме оплавления электрода будет также меняться высота излома.

На рис. 5, в представлены форма оплавления пластинчатого электрода при жесткой характеристике источника и жесткая характеристика источника. Следует отметить, что такая форма оплавления электрода была получена при переходе с пологопадающей характеристики источника на жесткую. Получить устойчивый процесс сварки на изделиях большой толщины (больше 10 мм) непосредственно на жестких характеристиках — практически неосуществимая задача из-за потери устойчивости горения дуги и ее обрыва.

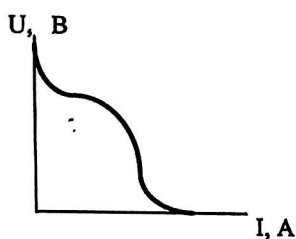
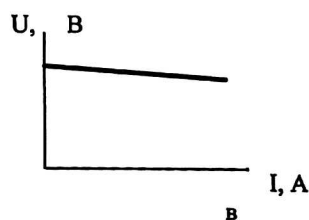
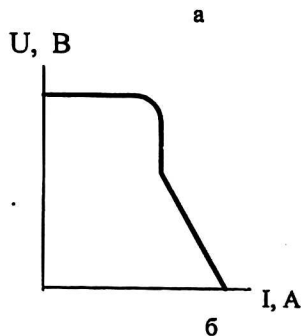


Рис. 5. Взаимное соответствие между внешней характеристикой источника и формой оплавления пластинчатого электрода:

а — при пологопадающей характеристике; б — при комбинированной характеристике; в — при жесткой характеристике



Таким образом, можно отметить важный факт: между формой оплавления электрода пластины и внешней характеристикой источника сварочного тока имеет место взаимное соответствие.

Вначале в качестве наилучшей внешней характеристики источника была выбрана комбинированная характеристика (см. рис. 5, б), содержащая два

участка: на коротких дугах вблизи корня шва пологопадающий участок, при средних и длинных дугах штыковой или жесткий по току. Оказалось, что такая характеристика может быть использована для сварки изделий толщиной до 30 мм. При сварке изделий большей толщины комбинированная характеристика не обеспечивает пространственной и энергетической устойчивости дуги при оплавлении превышения пластинчатого электрода над изделием. По-видимому, это связано с тем, что по мере перемещения дуги вверх по электроду (см. рис. 3) давление паров и газов в дуговом канале вблизи корня шва уменьшается. В результате этого расплавленный металл в нижней части сварочной ванны более интенсивно подтекает под неподвижный плавящийся электрод, происходят шунтирование дуги и ее возбуждение вблизи корня шва.

Известно, что возрастание сварочного тока повышает эластичность электрической дуги [2]; давление газов и паров в дуговом канале пропорционально квадрату сварочного тока [4]. Поэтому для сварки изделий толщиной до 45 мм была предложена сложнокомбинированная характеристика [5], содержащая три участка: при коротких дугах — пологопадающая или жесткая по напряжению, при средних — жесткая по току, при длинных — возрастающая характеристика.

Зажигают дугу на пологопадающем участке выходной характеристики источника, в процессе движения дуги вверх по электроду переходят на крутопадающий участок выходной характеристики, а при удалении дуги от корня шва на расстояние большее 20—25 мм, сварку ведут на пологовозрастающем участке выходной характеристики источника питания. На рис. 6 представлены сложнокомбинированная характеристика источника и форма оплавления электрода, получаемая при сварке на источнике с такой характеристикой.

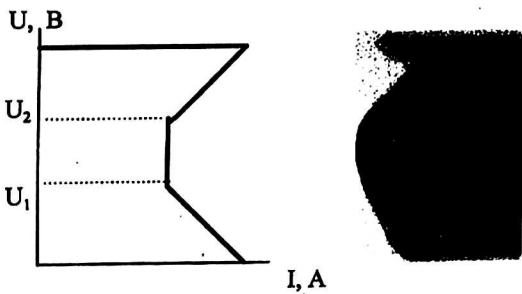


Рис. 6. Сложнокомбинированная характеристика источника и форма оплавления пластинчатого электрода

Функциональная блок-схема источника, формирующей такую характеристику, приведена на рис. 7. Падение напряжения на дуге используется в качестве параметра, характеризующего мгновенное пространственное положение дуги и позволяет осуществлять синхронно с перемещением дуги вдоль распределенной сварочной ванны изменение выходной внешней характеристики источника.

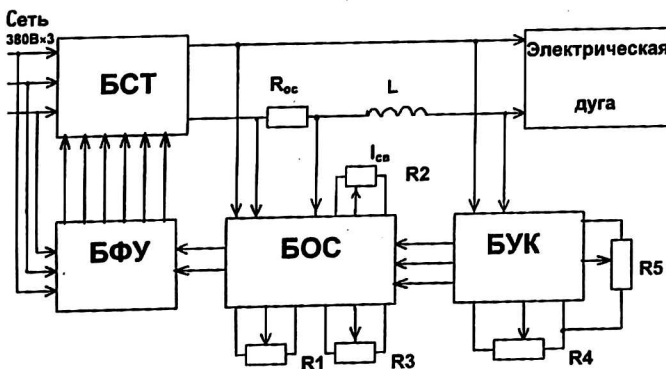


Рис. 7. Функциональная блок-схема источника для ДС НПЭ:

БСТ — блок силовых тиристоров; БФУ — блок фазового управления; БОС — блок обратных связей; БУК — блок управляемых компараторов

Блок-схема устройства, формирующего сложнокомбинированную характеристику, содержит блок силовых тиристоров, блок фазового управления, блок обратной связи, блок управляемых компараторов, элементы управления (резисторы R_1, R_2, R_3, R_4, R_5), элементы обратной связи ($R_{ос}$), сглаживающий дроссель L .

Одним из основных элементов, формирующих такую характеристику, является блок обратной связи (БОС), обеспечивающий в зависимости от состояния блока компараторов различную по виду и глубине обратную связь (обратная связь по току, по току и напряжению). В блоке обратной связи предусмотрена регулировка глубины обратной связи (R_1, R_3), что соответствует изменению наклона внешней характеристики источника. БОС всегда осуществляет обратную связь по току, но в зависимости от состояния блока компараторов к обратной связи по току может добавляться обратная связь по напряжению. В БОС происходит задание начальной уставки (исходный режим устанавливается резистором R_2).

Блок управляемых компараторов содержит два компаратора, порог срабатывания (напряжение переключения внешней характеристики источника) которых можно изменять с помощью резисторов R_4 и R_5 . Напряжение обратной связи снимается непосредственно с электрической дуги.

Устройство работает следующим образом. Возбуждение дуги происходит при расплавлении металлической вставки между изолированным электродом и основным металлом. В начальный момент напряжение на дуге близко к нулю, т. е. меньше чем U_1 (см. рис. 6). При этом один из компараторов включает в БОС обратную связь по току и напряжению. Эта связь выполнена так, что чем меньше величина напряжения на дуге, тем глубже обратная связь по напряжению и больше время открытия силовых тиристоров. Источник питания выдает при этом ток, значительно превышающий ток начальной уставки, поэтому короткозамыкающая перемычка почти мгновенно испаряется и возникает сварочная дуга. В процессе движения по электроду напряжение на дуге превысит U_1 , и блок компараторов отключит обратную связь по напряжению, но будет работать глубокая обратная связь по току, обеспечивающая формирование участка штыковой характеристики от U_1 до U_2 (см. рис. 6). При достижении дугой напряжения U_2 второй компаратор в БОС включит обратную связь по напряжению. Эта связь работает следующим образом: чем больше напряжение на дуге, тем глубже величина этой обратной связи и больше время открытия силовых тиристоров. Происходит формирование пологовозрастающего участка характеристики.

Источник питания, выполненный по приведенной схеме, позволил выполнять качественные сварные соединения на изделиях толщиной до 45 мм.

Таким образом, при отсутствии полной информации о сварочной ванне наилучшей внешней характеристикой для горизонтальной схемы дуговой сварки неподвижным плавящимся электродом является сложнокомбинированная характеристика.

Вид характеристики источника оказывает влияние не только на форму оплавления пластинчатого электрода, но и на процессы нагрева и плавления основного металла свариваемого изделия. На рис. 8 показан макрошлиф сварного соединения из аустенитной стали, выполненного на источнике питания, имеющего комбинированную характеристику. Участку штыковой характеристики источника соответствует увеличение толщины сварного шва и зоны термического влияния. Это легко объяснить тем, что на этом участке характеристики происходит возрастание напряжения дуги при ее подъеме по

электроду. При этом ток дуги остается неизменным, но проплавливающая способность дуги возрастает по мере увеличения напряжения на ней.

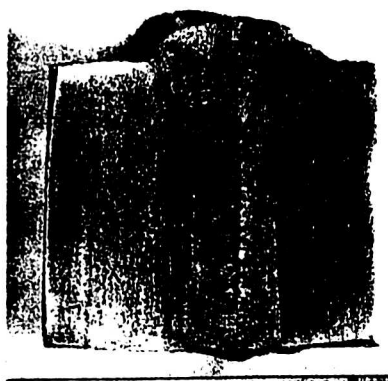


Рис. 8. Макрошлиф сварного соединения из аустенитной стали, выполненный на источнике с комбинированной характеристикой

Для отработки технологии сварки изделий с использованием сложнокombинированной характеристики источника питания (см. рис. 6) требуются определенные экспериментальные данные (напряжения перехода характеристик, наклоны характеристик), что является трудоемкой, а иногда из-за небольшой партии изделий практически невыполнимой задачей.

Дальнейшим развитием этого направления является разработка модели распределенной сварочной ванны. Очевидно, что самой оптимальной характеристикой для способа ДС НПЭ будет такая, которая полностью соответствует профилю распределенной сварочной ванны. В этом случае при движении дуги по пластинчатому электроду ее длина изменяться не будет. Сварочные режимы будут отличаться минимальным тепловложением, а процесс сварки — минимальным разбрызгиванием. Сварные швы будут иметь минимальные зону сплавления и зону термического влияния.

Такую характеристику позволяет сформировать источник питания, управляемый микропроцессорным контроллером. Упрощенная блок-схема микропроцессорного контроллера, показанная на рис. 9, состоит из двух плат: платы микропроцессора и платы управления источником питания.

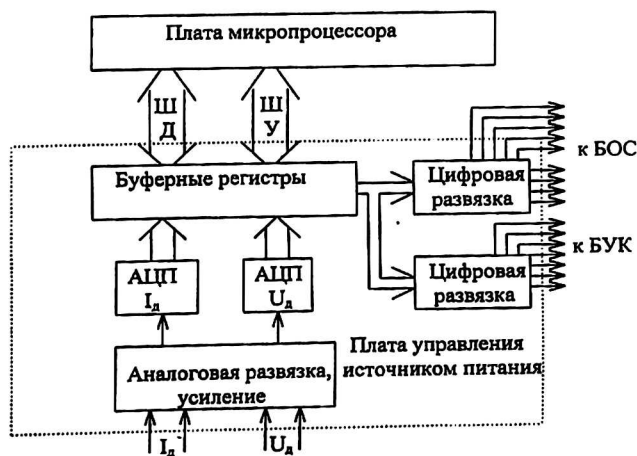


Рис. 9. Блок-схема микропроцессорного контроллера для управления ДС НПЭ: АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ШД — шина данных; ШУ — шина управления

Плата микропроцессора содержит микропроцессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), таймер, блок индикации и клавиатуры. Кроме того, предусмотрена организа-

ция последовательного канала обмена с компьютером для введения данных математического моделирования при сварке изделий сложной формы.

Плата управления источником питания содержит буферные регистры, устройства цифровой и аналоговой развязки, аналого-цифровые преобразователи и линейные усилители.

Основная идея, реализованная в устройстве, заключается в следующем: изменяя скорость плавления пластинчатого электрода (вид характеристики, напряжение перехода, ток сварки), обеспечить в реальном времени полное соответствие между формой оплавления пластинчатого электрода и профилем распределенной сварочной ванны.

С этой целью значительно усложняется схема сварочного источника — блок обратной связи выполняется в виде устройства, осуществляющего положительные и отрицательные обратные связи по току и напряжению, или их комбинацию. Вид и глубина обратной связи изменяются командами микроконтроллера. Блок управляемых компараторов содержит несколько компараторов, напряжение переключения которых задается микроконтроллером. Для обеспечения помехозащищенности устройства между микроконтроллером и сварочным источником питания все связи выполняются с оптоэлектронной развязкой.

Информация о ванне дает возможность с высоким качеством сваривать по горизонтальной схеме изделия сложной формы, например, рельсы, труба — труба и другие, которые с использованием горизонтальной схемы качественно сварить невозможно.

Л и т е р а т у р а

1. Зуев И. В., Трофимов А. Д., Бушма В. О. Дуговая сварка неподвижным плавящимся электродом: Тр. МЭИ. Прогрессивные методы обработки и контроля материалов. 1993. № 679. С. 4—14.
2. Браткова О. Н. Источники питания сварочной дуги. — М.: Высш. шк., 1982. — 182 с.
3. Дуговая сварка неподвижным плавящимся электродом/ Бушма В. О. // Сварочное производство. 1998. № 9. С. 24—28.
4. Брон О. Б., Сушков Л. К. Потоки плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. — Л.: Энергия, 1975. — 213 с.
5. Патент 2069613 России МПК 6 В 23 К 9/173, 9/06. Способ дуговой сварки и источник питания для его осуществления/В. О. Бушма; Оpubл. 27.11.96; Вып. 33.

Работа выполнена при поддержке грантом по фундаментальным исследованиям в области транспортных наук 1998 г. Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации.

Power supply for arc welding in a slot hole

V. O. Bushma

There is shown, that between the form of plate's electrode melting zone and volt-ampere characteristic of the power supply exists mutual conformity. The volt-ampere characteristic of the power supply for arc welding by means of stationary melting electrode is offered. Using it, under the horizontal scheme it is possible to receive qualitative arc welded connections with the thickness up to 45 mm. The functional block diagram of a source, realizing such characteristic is given. The influence of a source's characteristic on the processes of basic metal's heating and melting is noted. The influence of the distributed welding bath on the external characteristic of the power supply is considered. The power supply is offered, which volt-ampere characteristic is formed by means of the microprocessor controller. The algorithm of controller's management is based on measurement in real time of two parameters: arc's tension and current and management of the characteristic's kind of a source and speed of melting of plate's electrode.