

УДК 621.791.927.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАСЩЕПЛЕННОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

С. К. ЕЛСУКОВ, И. В. ЗОРИН, Д. С. НЕСИН

Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия

UDC 621.791.927.5

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF A TWIN ELECTRODE FOR ELECTRIC ARC SURFACING OF CORROSION-RESISTANT STEELS

S. K. ELSUKOV, I. V. ZORIN, D. S. NESIN

Аннотация. Экспериментально установлено влияние величины напряжения дуги на ее пространственную форму и характер переноса электродного металла при двухэлектродной наплавке в среде защитных газов с общим источником питания. Дуга V-образной формы существует на общей для двух плавящихся проволок капле расплава при использовании напряжения 24...27 В. Установлено, что формирование стабильной общей для двух электродных проволок сварочной дуги обуславливает снижение проплавления основного металла на 65 % и улучшает качество формирования наплавленного металла.

Ключевые слова: двухэлектродная наплавка, аустенитные сплавы, расщепленный электрод, каплеперенос, взаимодействие дуг.

Abstract. The effect of the arc voltage on its spatial shape and the nature of the electrode metal transfer during two-electrode surfacing in a shielding gas with a common power source has been experimentally established. The V-shaped arc exists on a melt drop common for two consumable wires when using a voltage of 24...27 V. It has been established that the formation of a stable common for two electrode wires of the welding arc causes a decrease in the penetration of the base metal by 65 % and improves the quality of the deposited metal formation.

Keywords: twin electrode surfacing, austenitic alloys, split electrode, droplet transfer, interaction of arcs.

Введение. Процесс автоматизированной электродуговой наплавки двумя электродными проволоками широко используется в практике для повышения производительности операций сварки и наплавки [1]. В наиболее производительном технологическом варианте каждая из электродных проволок подключена к собственному источнику сварочного тока. Близкое расположение проволочных электродов и однонаправленность протекающего по ним сварочного тока является причиной интенсивного электромагнитного взаимодействия между дугами, что нарушает стабильность положения их в пространстве. Поэтому сварку и наплавку ведут с использованием специальных приемов, способствующих отдельному существованию во времени каждой из дуг, питаемых импульсным током [2–4].

Другой технологический вариант реализуется с разделением электрода на две проволоки, на каждой из которых сварочная дуга, питаемая общим

источником тока, существует поочередно [5]. Исследования, проводимые в этом направлении, показали, что увеличение длины дуги приводит к изменению способа переноса электродного металла в дуге от ее замыканий крупной каплей до формирования в ней струи из капель малого размера [6]. Вместе с тем переход к струйному переносу металла в «длинной» дуге способствует увеличению массопереноса в дуге за единицу времени и, соответственно, ее тепловой эффективности и является, в отличие от наплавки под флюсом [7], одной из причин увеличения проплавления основного металла, что нежелательно для технологий наплавки.

Более предпочтительно создание условий существования стабильной сварочной дуги на общей для двух проволок капле. Реализация и стабильное поддержание такого режима существования сварочной дуги связано с выявлением совокупного влияния значений межосевого расстояния, тока и напряжения на дуге на формирование капли расплава.

Поскольку такая технологическая зависимость для рассматриваемого процесса наплавки изучена недостаточно, то цель работы состоит в ее установлении.

Методы исследования. Электродуговую наплавку способом расщепленного электрода (рис. 1) производили на сварочном автомате А6 MasterTrack (ESAB) с использованием двух проволок $\varnothing 2$ мм марки Св-12Х18Н10Т в смеси аргона и двуокиси углерода (в соотношении 82 % + 18 %). Наплавку на пластины из стали марки Ст3сп размером $180 \times 100 \times 12$ вели на постоянном токе (+) на электроде. Расстояние между осями электродных проволок b выбирали из ряда 8, 10, 12 мм. Величина вылета проволок относительно торца наконечника – 15 мм, расход газовой смеси – 15 л/мин.

Изменение сварочного тока и напряжения на дуге в процессе наплавки регистрировали с частотой дискретизации 5 кГц с использованием многоканального аналого-цифрового преобразователя LA-20USB, подключенного к компьютеру. Обработку полученных осциллограмм производили с применением специализированного программного обеспечения PowerGraph 3.3. Поведение дуги на электроде и каплеперенос фиксировали с помощью скоростной видеосъемки камерой Canon J1 3 с частотой 1/400 кадров в секунду с использованием системы светофильтров (фильтра ультрафиолетового излучения, узкополосного светофильтра (длина волны 660 нм) и поляризационного фильтра (CPL)). Исследование полученных в эксперименте образцов металла производили известными методами металлографии с применением оптического метода (цифровой микроскоп Carl Zeiss Axiovert 40 MAT).

Основные результаты и их обсуждение. Поскольку наиболее чувствительным параметром, влияющим на характер существования дуг, оказалось напряжение на дуге, то экспериментальные исследования проводили при фиксированной величине сварочного тока. Величину тока (330 ± 15) А выбирали исходя из обеспечения достаточно широкого и хорошо сформированного валика наплавленного металла при скорости наплавки 13 м/ч.

Экспериментально выявлены два типа существования дуги. Дуга первого типа существует при значениях напряжения 26...27 В (рис. 2, а). Крупные капли

электродного металла формируются одновременно на расположенных под углом внутренних боковых поверхностях обеих плавящихся сварочных проволок. При совокупном действии анодного и катодного плазменных потоков дуга приобретает характерную V-образную форму. Процесс перехода крупных капель в сварочную ванну стабильно повторяется с временным периодом 0,3 с и сопровождается коротким замыканием дуги.

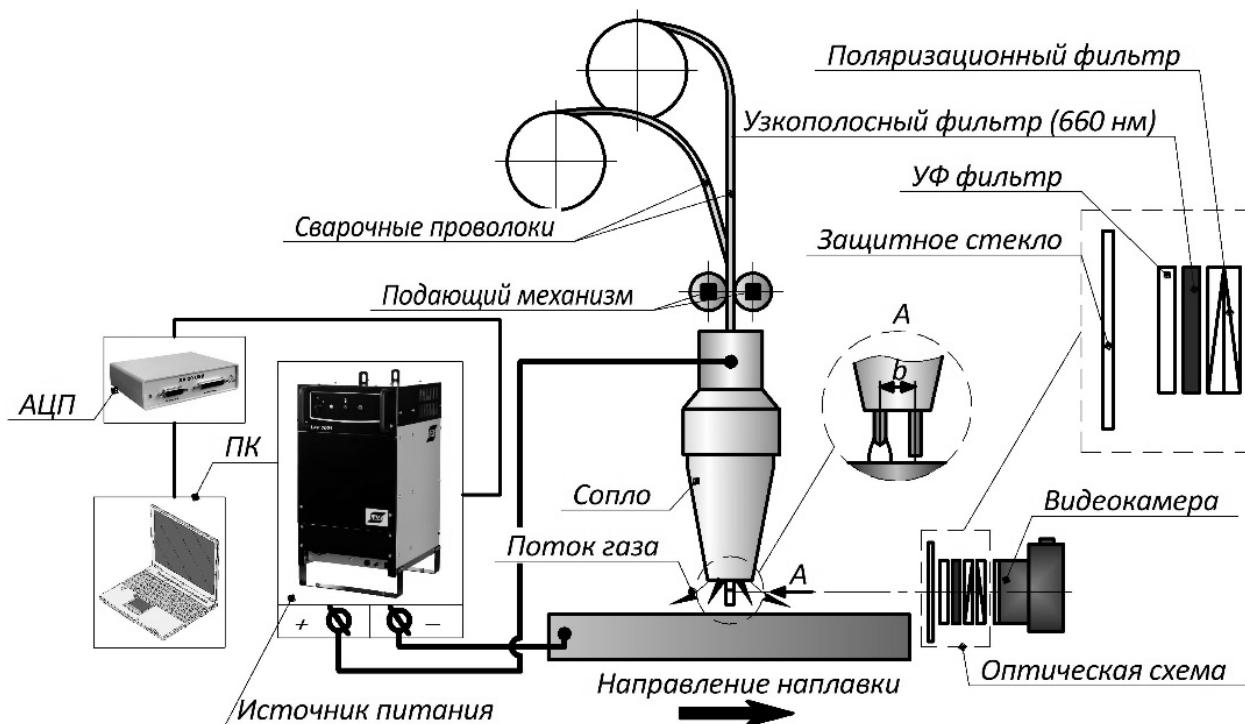


Рис. 1. Схема исследования дугового промежутка и переноса электродного металла при наплавке с регистрацией сварочного тока и напряжения

В диапазоне напряжений на дуге 27...33 В существование дуги характеризуется нерегулярным ее перемещением между торцами проволок с переменной частотой и хаотичным возникновением дуги V-образной формы, о чем свидетельствуют большие колебания значения сварочного тока во времени. Также нестабильно и каплеобразование, которое характеризуется повышенным разбрызгиванием и неудовлетворительным формированием поверхности валика.

Формирование дуги второго типа связано с увеличением напряжения на ней с 34 до 36 В. При этом длина дуги увеличивается, приобретает столбчатую форму и существует поочередно на каждой проволоке (рис. 2, б), что связано с возрастанием подвижности катодного пятна на поверхности сварочной ванны. После того, как расстояние между торцом второй проволоки и поверхностью сварочной ванны становится меньше длины дуги на первой плавящейся проволоке, анодное пятно на ее торце исчезает и вновь формируется уже на торце второй проволоки. Временной период таких повторных возбуждений дуги составляет 0,1 с. Для этого режима существования дуги характерен мелкокапельный перенос электродного металла без коротких замыканий.

Было установлено, что образование общей дуги первого типа наиболее стабильно происходит при межосевом расстоянии 10 мм. Уменьшение расстояния

до 8 мм хотя и повышает интенсивность образования общих капель в единицу времени, однако вызывает проплавление основного металла до значений (0,43 %), не рациональных для наплавки (табл. 1). С увеличением значения b до 12 мм процесс формирования общей капли периодически нестабилен, расплавы капель на торцах обеих проволок не успевают объединяться и переходят в сварочную ванну через короткое замыкание.

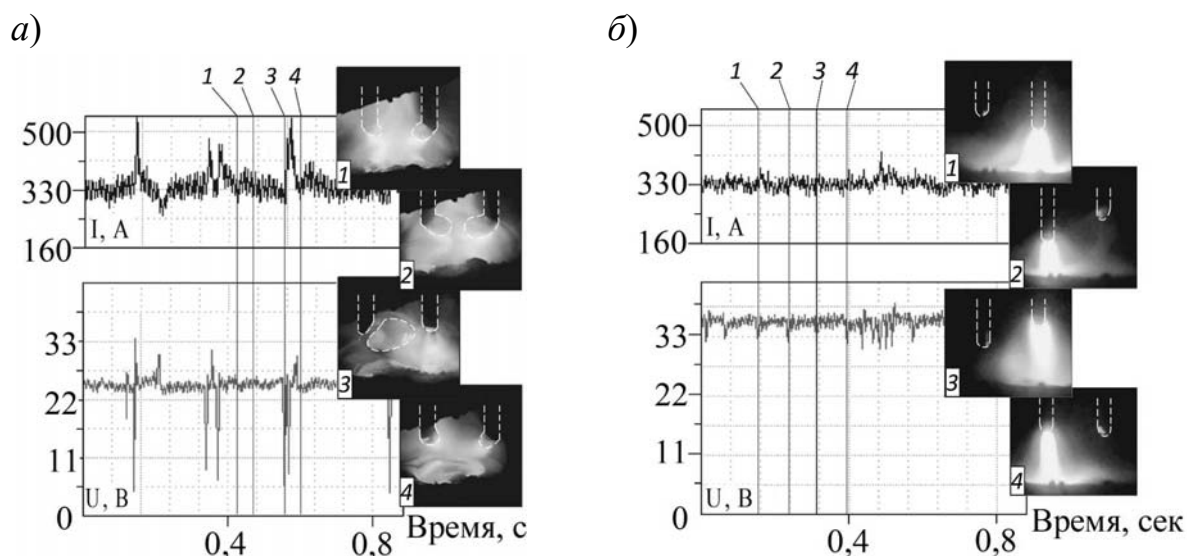


Рис. 2. Осциллограммы тока, напряжения и видеокadres основных типов дуг, существующих на двух электродных проволоках при напряжении 26 В (а) и 36 В (б)

Табл. 1. Влияние расстояния между электродными проволоками на размеры наплавленных валиков в поперечном сечении ($I = 330$ А; $U = 27$ В)

Расстояние между осями проволок b , мм	Ширина наплавленного металла, мм	Высота наплавленного металла, мм	Глубина проплавления, мм	Доля участия основного металла	Частота переноса общих капель в секунду
8	19,2	3,26	3,02	0,43	6,6
10	20,3	3,44	1,18	0,26	3,5
12	21,44	2,9	2,64	0,47	2

Анализ полученных осциллограмм и кадров видеофиксации реакционной зоны дуги позволяет рассматривать процесс ее формирования и кинетику образования капель во взаимосвязи. Формирующееся магнитное поле вокруг электрода проходящим однонаправленным током и возникающая результирующая электродинамическая сила заставляют притягиваться дуги и капли электродного металла, существующие на торцах проволок. В результате слияния двух дуг формируется общая дуга, имеющая V-образную форму (рис. 3). После соприкосновения капель и образования общей капли ее отделение от торцев обеих проволок происходит под действием пинч-эффекта. Так как сила тяжести, действующая на сформированную общую каплю, превышает силу реактивного

давления струи пара с поверхности сварочной ванны, то ее перенос через дугу происходит без разбрызгивания.

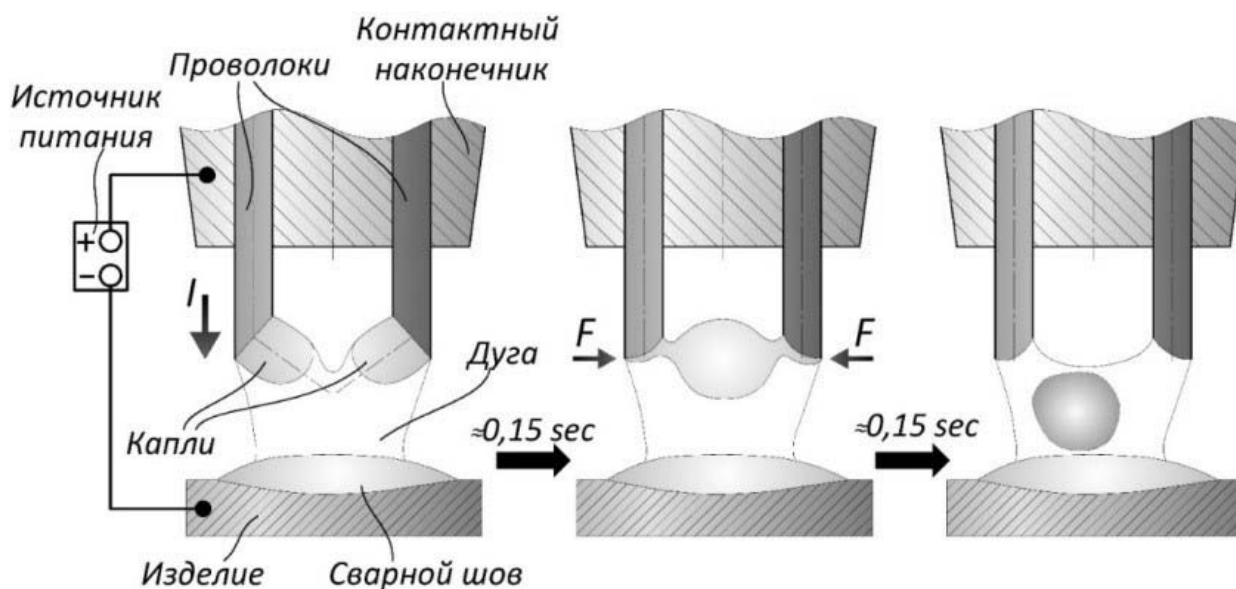


Рис. 3. Кинетика процесса образования общей капли и сварочной дуги первого типа ($I = 330 \text{ A}$; $U = 26 \text{ В}$)

При изучении сечений наплавленного металла было выявлено, что доля участия основного в наплавленном металле при напряжении 27 В составляет 0,26 (рис. 4, а). Поскольку рост объема расплавленного металла приводит к образованию общей капли, то занимаемая на ее поверхности анодным пятном дуги площадь будет увеличиваться пропорционально размеру капли. Это обстоятельство обуславливает уменьшение давления дуги на поверхность ванны. Режим поочередного существования дуги на каждой проволоке приводит к уменьшению прослойки жидкого металла под дугой и увеличению плотности теплового потока в основной металл на участках, расположенных соосно проволокам. Форма проплавления приобретает седловидную форму, а ее глубина увеличивается (рис. 4, в).

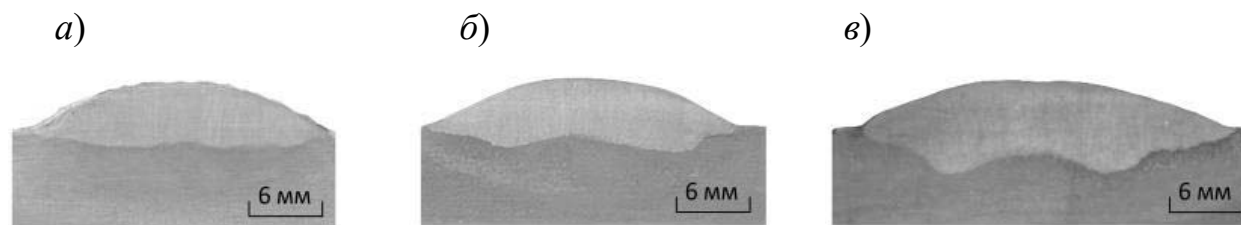


Рис. 4. Поперечное сечение валиков при напряжении на дуге 27 В (а), 32 В (б) и 36 В (в) ($I = (330 \pm 15) \text{ A}$)

Доля участия основного металла в наплавленном металле при напряжении 36 В составляет 0,43, что на 65 % больше по сравнению с дугой первого типа.

Металлургические и технологические дефекты при металлографическом исследовании сечения валика не обнаружены.

Выводы. Установлено, что при постоянном значении сварочного тока 330 А и расстоянии между двумя электродными проволоками при наплавке в смеси аргона и двуокиси углерода возможно формирование двух типов дуг, одна из которых стабильно существует в диапазоне напряжений 24...26 В и характеризуется образованием анодного пятна на общей капле, а вторая – существует попеременно на торцах сварочных проволок в диапазоне 34...36 В.

Показано, что за счет разделения величины тока между двумя сварочными проволоками и использованием межосевого расстояния 10 мм взаимное притяжение сварочных дуг и капель происходит одновременно с образованием общей капли. В результате достигается уменьшение проплавления основного металла на 65 % и улучшение качества формирования наплавленного.

Исследования выполнены при финансовой поддержке ВолгГТУ в рамках научного проекта № 15/465-22.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. High-speed welding of steel sheets by the tandem pulsed gas metal arc welding system / T. Ueyama [et al.] // Transactions of JWRI. – 2005. – Vol. 34, № 1.
2. On process-structure-property interconnection in anti-phase synchronized twin-wire GMAW of low carbon steel / S. Q. Moinuddin [et al.] // Science and Technology of Welding & Joining. Is. 6. – 2016. – P. 452–459.
3. Analysis of current phase influence on weld seam formation in double-wire DP-GMAW / W. Kaiyuan [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – Vol. 103. – P. 4825–4835.
4. **Scotti, C. O.** The effect of out-of-phase pulsing on metal transfer in twin-wire GMA welding at high current level / C. O. Scotti, L. O. Morais, Vilarinho // Welding Journal. – 2006. – Vol. 85. – P. 225–230.
5. **Спицын, В. В.** Перенос металла и горение дуги при сварке расщепленным электродом в CO₂ / В. В. Спицын // Сварочное производство. – 1969. – № 4. – С. 5–7.
6. **Groetelaars, P. J.** Influence of the arc length on metal transfer in the single potential double-wire MIG/MAG process / P. J. Groetelaars, C. Orivam de Morais, A. Scotti // Welding International. – 2009. – Vol. 23, № 2. – P. 112–119.
7. Исследование процесса наплавки расщепленным электродом сплава Inconel 625 / И. В. Зорин [и др.] // Сварочное производство. – 2018. – № 11 (1008). – С. 9–15.

E-mail: serzh.elsukov@yandex.ru; zorin.iv@vstu.ru.