***П. П. Красиков, А. В. Савинов, О. А. Полесский, А. А. Чудин,
Л. С. Красикова, И. В. Козлов, Д. С. Борисов, И. А. Полунин***

**О РОЛИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ФОРМИРОВАНИИ
КОРНЕВОГО СЛОЯ ШВА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ***

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: svarka-nv@vstu.ru

Показана возможность замены поддува аргона на флюс-пасту при сварке соединений со свободным формированием, когда технически невозможно использование других приемов и способов сварки, обеспечивающих стабильное формирование с минимальными геометрическими параметрами обратного валика.

Ключевые слова: корневой шов, дуговая сварка в защитных газах, флюс-паста.

© Красиков П. П., Савинов А. В., Полесский О. А., Чудин А. А., Красикова Л. С., Козлов И. В., Борисов Д. С., Полунин И. А., 2020.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0637-2020-0006).

*P. P. Krasikov, A. V. Savinov, O. A. Polesskiy, A. A. Chudin,
L. S. Krasikova, I. V. Kozlov, D. S. Borisov, I. A. Polunin*

ON THE ROLE OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT IN THE FORMATION OF THE ROOT LAYER OF THE WELD IN ARC WELDING

Volgograd State Technical University

The possibility of replacing, blowing argon into flux paste, when welding joints with free formation, where it is technically impossible to use other techniques and methods of welding, providing stable formation with minimum geometric parameters of the back bead, is shown.

Keywords: root seam, gas shielded arc welding, flux paste.

При односторонней сварке с полным проплавлением работоспособность сварного соединения во многом зависит от формы и величины обратного валика. Роль данных факторов особенно велика при изготовлении ответственных конструкций, работающих при переменных и динамических нагрузках. Обеспечение его формирования и устранения прожогов, которые часто возникают при сварке подобных швов, достигается применением различных подкладок [1].

При использовании расплавляемых подкладок баланс сил, действующих на расплавленный металл, может быть выражен равенством [2]

$$P_d + P_{гс} + P_{цб} = P_{ш} + P_m + P_{адг}, \quad (1)$$

где $P_{гс}$ – гидростатическое давление массы сварочной ванны, отнесенная к площади сквозного проплавления; $P_{цб}$ – сила, возникающая при движении жидкого металла из головной части сварочной ванны в хвостовую; P_m – сила поверхностного натяжения зеркала сварочной ванны; $P_{ш}$ – сила поверхностного натяжения шлака, образующегося при расплавлении подкладки; $P_{адг}$ – работа адгезии между жидким шлаком и твердой поверхностью металла и подкладки.

Условием отсутствия характерных для обратного валика шва дефектов является выполнение условия, когда левая часть уравнения (1) будет меньше правой части. Соответственно, возможно влиять на формирование обратного валика путем регулирования состава среды, контактирующей с расплавленной сварочной ванной.

Процесс изменения обратного валика при проплавлении пластины по методике, описанной в статье [3], когда существует только граница металл – воздух, идет высокими темпами. Так, при времени действия дуги 3,06 с. ширина зоны проплавления составляет 7,32 мм (рис. 1, а), а величина провисания 1,8 мм (рис. 1, б). При приросте времени всего 0,4 с, ширина состави-

ла $\approx 11,0$ мм (прирост на ≈ 50 %), а величина провисания 5,9 мм (прирост ≈ 327 %). При введении в систему металл – воздух дополнительного элемента картина образования обратного валика кардинально меняется. Так, смещается время существования «нулевого» провисания с 3,0 с до $\approx 3,2$ с.

На начальном этапе возникновения обратного валика, когда на кинограмме отчетливо видна область провисания, уменьшается ширина и высота обратного валика во время действия дугового разряда с 8,0 до 3,0 мм и с 2,75 до 0,5 мм при нанесении оксида алюминия, соответственно. При дальнейшем воздействии дуги характер кривой изменения ширины и высоты обратного валика у всех исследуемых компонентов, кроме оксида алюминия одинакова. Все эти линии имеют две ярко выраженные области, разделенные временем воздействия дугового разряда (рис. 1). Первая область формируется в границах времени от 0 до 3,52 с, вторая область с 3,52 с до обрыва дуги. Причем точка времени 3,52 с является переломной и отчетливо видной на всех полученных кривых.

В первой области при проплавлении с оксидом циркония и другими компонентам, кроме оксида алюминия происходит практически линейное изменение высоты обратного валика под углом $\approx 45^\circ$ между касательной к участку кривой и осью абсцисс, вторая же область характеризуется практически неизменной величиной g во времени (рис. 1, а) и кривая практически параллельна оси абсцисс. В случае с оксидом алюминия процесс образования обратного валика меняется. Первая область характеризуется практически неизменной величиной g с течением времени, а во второй области происходит нарастание величины g с меньшей скоростью $\approx$ в 2 раза, что соответствует углу $\approx 22^\circ$ между касательной к участку кривой и осью абсцисс, причем величина g в момент времени 4,0 с практически одинакова с величиной исходной детали, т. е. 3,0 мм.

Рис. 1. Изменение геометрии проплавления при нанесении различных компонентов:
а – высота; б – ширина

Таким образом, кислотные оксиды SiO₂, TiO₂ при образовании обратного валика ведут себя как «короткие» шлаки, а амфотерный оксид Al₂O₃ ведет себя как «длинный» шлак, что говорит о предпочтительности применения флюсов с такими свойствами для стабильного и качественного формирования обратного валика.

Эксперименты по проплавлению пластин с заменой контактирующей среды с расплавленным металлом на аргон показали, что время начального (видимого) образования обратного валика сместилось с 3,06 (рис. 1) до 2,55 с (рис. 2) (уменьшение ≈ 17 %) при проплавлении пластины без нанесенного флюса. А при нанесенном флюсе Al₂O₃ с 3,16 (рис. 1) до 2,6 с (рис. 2) (уменьшение ≈ 18 %). Так же уменьшился угол наклона кривых образования обратного валика, а, соответственно, и скорость нарастания величины g и e. Особенно это заметно при проплавлении без нанесенного флюса. Так, в точке времени 3,5 с ширина уменьшается с 12,0 (рис. 1, б) до 10,0 мм (рис. 2, б) (уменьшение ≈ 17 %), а в это же время высота с 6,5 (рис. 1, а) до 2,5 мм (рис. 2, а). В то же время у флюсов CaF₂, Al₂O₃, CaO произошло увеличение величин g и e, в одинаковый момент времени относительно их при-

менения без поддува аргона. Так, в момент времени 3,5 с при применении Al₂O₃ произошло увеличение ширины обратного валика с 4,5 (рис. 1, б) до 8,5 мм (рис. 2, б), высоты с 1,0 до 2,20 мм, при применении CaF₂ произошло увеличение ширины обратного валика с 6,0 (рис. 1, б) до 11,5 мм (рис. 2, б). Это, в свою очередь, нельзя полностью объяснить смещением времени начала образования обратного валика с 3,16 до 2,6 с в случае с Al₂O₃.

По-видимому, также происходит замена ионов кислорода, имеющих при одинаковых ионных радиусах вдвое больший по сравнению с ионами F⁻ заряд. Тем самым, концентрация ионов F⁻ в поверхностном слое повышается и снижается поверхностное натяжение. Так же стоит заметить, что при использовании Al₂O₃ геометрические параметры обратного валика меньше в сравнение с параметрами обратного валика при использовании только поддува аргона. Так при времени 3 с (рис. 2) геометрические размеры обратного валика только с поддувом аргона составляют e = 7,3 мм, g = 1,75 мм. А при использовании Al₂O₃ без поддува аргона даже при смещении величины времени на 17 %, т. е. при 3,5 с величина обратного валика составляет e = 4,4 мм, g = 1,1 мм.

Рис. 2. Изменение геометрии проплавления при нанесении различных компонентов с поддувом аргона: *a* – высота; *б* – ширина

На рис. 3 видно, что кривые зависимости провисания шва со стороны корня в зависимости от ширины сварочной ванны лежат в узкой довольно области, по-видимому, зависящей от силовой характеристики дуги и толщины детали. Так, при одной и той же ширине 6 мм высота обратного валика колеблется от 0,9 мм (рис. 3, *a*) при использовании ZrO₂, до 2,0 мм (рис. 3, *a*) при использовании CaF₂, что может говорить о более сильном влиянии ZrO₂ на уменьшение геометрических параметров обратного валика, чем CaF₂, но если учитывать время воздействия дуги, для того чтобы получился заданного размера валик, становится ясно, что это не так. Так, время, прошедшее с момента зажигания дуги до данных параметров обратного валика составляет, при ZrO₂ 3,3 с (рис. 1, *б*), при CaF₂ 3,52 с, при Al₂O₃ уже 3,7 с.

Соответственно изменилось количество теплоты, вносимое в изделие. Таким образом, определяющим фактором в изменении геометрических параметров обратного валика является его ширина, зависящая от среды, с которой контактирует жидкий металл в процессе сварки. Анализируя полученную кривую (рис. 3, *a*) при проплавлении пластины с Al₂O₃ и кривую на рис. 3, *б* при проплавлении пластины только с поддувом аргона можно прийти к выводу, что, применяя однокомпонентную флюс-пасту из Al₂O₃, возможно заменить поддув аргона при сварке соединений с полным проплавлением в местах, где технически невозможно использование других приемов и способов сварки, обеспечивающих стабильное формирование обратного валика с минимальными его геометрическими параметрами.

Рис. 3. Влияние ширины обратного валика на величину его выпуклости:
 а – без поддува аргона; б – с поддувом аргона

Выводы

1. Показана возможность замены поддува аргона на флюс-пасту при сварке соединений со свободным формированием, когда технически невозможно использование других приемов и способов сварки, обеспечивающих стабильное формирование с минимальными геометрическими параметрами обратного валика.

2. Установлено, что применение флюс-паст стабилизирует образование обратного валика путем уменьшения его ширины и высоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пацкевич, И. Р. Поверхностные явления при сварке металлов / И. Р. Пацкевич, В. Р. Рябов, Г. Ф. Деев ; АН Украины, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – Киев : Наук. думка, 1991. – 240 с.
2. Акулов, А. И. Физико-химические свойства расплавленного шлака флюсовой подушки и их влияние на формирование обратной стороны шва при сварке плавящимся электродом / А. И. Акулов, Ю. В. Доронин, Г. Г. Чернышов // Сварочное производство. – 1981. – № 3. – С. 18–20.
3. Влияние поверхностно-инактивных веществ на геометрические размеры корневых швов / П. П. Красиков, О. А. Полесский, А. В. Савинов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (136) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 9). – С. 117–119.