

ВОПРОСЫ СВАРКИ, ЛИТЬЯ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ

УДК 621.791

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-6-289-71-75

Д. А. Муругов, А. В. Савинов, А. А. Чудин, В. И. Лысак, О. А. Полесский, П. П. Красиков

ВЛИЯНИЕ СФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОПЛАВЛЯЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: svarka-nv@vstu.ru

В работе показано влияние ультразвуковых колебаний на проплавляющую способность дуги и качество катодной очистки алюминия и его сплавов при различных параметрах переменного тока с прямоугольной формой импульсов при сварке неплавящимся электродом.

Ключевые слова: неплавящийся электрод, дуга, глубина проплавления, ультразвук

D. A. Murugov, A. V. Savinov, A. A. Chudin, V. I. Lysak, O. A. Polesskiy, P. P. Krasikov

INFLUENCE OF FOCUSED ULTRASONIC VIBRATIONS ON THE MELTING ABILITY OF ALTERNATING CURRENT ARC

Volgograd State Technical University

The work shows the influence of ultrasonic vibrations on the penetrating ability of the arc and the quality of cathodic cleaning of aluminum and its alloys at various parameters of alternating current with a rectangular pulse shape when welding with a non-consumable electrode.

Keywords: non-consumable electrode, arc, penetration depth, ultrasonic

Специфические свойства алюминия, обусловившие широкое распространение его сплавов в качестве конструкционных материалов, в значительной мере определяют и проблемы их сварки. Легкая окисляемость алюминия в твердом и расплавленном состоянии обуславливает существенные затруднения при сварке, поскольку образующаяся тугоплавкая пленка окиси алюминия препятствует формированию шва и служит источником неметаллических включений в металле шва. Для удаления оксидной пленки сварка производится на переменном токе [1].

Дуга переменного тока с прямоугольной формой импульсов (ПФИ), помимо обычных параметров, характеризующих режим горения дуги (ток и напряжение), имеет специфические параметры: соотношение длительностей импульсов прямой $\tau_{пр}$ и обратной $\tau_{обр}$ полярностей (или, при заданной частоте, длительность им-

пульса любой полярности, например, $\tau_{обр}$), амплитуда токов в импульсах прямой $I_{д пр}$ и обратной $I_{д обр}$ полярностей и частота тока f [2]. По этой причине при исследовании дуги ПФИ основное влияние уделялось влиянию перечисленных специфических параметров на ее технологические характеристики.

Перспективным способом передачи ультразвуковых колебаний расплаву является воздействие их на дуговой разряд посредством ультразвуковых излучателей. Fan Y.Y. и др. из Харбинского технологического института установили, что ультразвуковая волна не только оказывает влияние на характер переноса электродного металла, но и изменяет свойства сварочной дуги [3]. Под действием ультразвуковых колебаний дуга сжималась, а ее плотность энергии увеличивалась, что способствует увеличению глубины проплавления. Эффект сжатия дуги в результате дугоакустического взаимодейст-

© Муругов Д. А., Савинов А. В., Чудин А. А., Лысак В. И., Полесский О. А., Красиков П. П., 2024.

* Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 15/631-24

вия так же был подтвержден в работах Wang J., Sun, Q. и др. [4] и Xie W.F. [5]. Xie W.F., Fan C.L. и др. [6] этот эффект связывают с достижением максимального акустического давления («пучность» давления), которое образуется в результате резонанса частот пьезокерамики с собственной частотой колебательной системы.

Сравнивая данные ученых по исследованию степени сжатия дуги в акустическом поле, можно сделать вывод, что воздействие ультразвуковых колебаний приводит к контрагированию дугового разряда, повышающего концентрацию энергии, вводимую в зону сварки. Однако мощность акустического поля может достигать 2000 Вт, что энергетически неэффективно, т.к. затраты электрической энергии на преобразование в ультразвуковые колебания больше, чем повышение мощности дуги по-

средством увеличения силы тока. Впрочем, остается открытым вопрос влияния сфокусированных в межэлектродном пространстве ультразвуковых колебаний малой мощности на изменение технологических свойств дуги.

Схема экспериментальной установки для проведения исследований представлена на рис. 1. Устройство для сварки неплавящимся электродом с применением ультразвуковых колебаний представляет собой ультразвуковой преобразователь 1, состоящий из пьезокерамического элемента 2, плосковогнутой фокусирующей линзы 3, защитного сопла 4 и неплавящегося электрода 5. Фокусирующая линза имеет радиус кривизны, равный 20 мм, и фокусное расстояние, равное 20 мм, что позволяет сфокусировать ультразвуковые колебания непосредственно в область сварочной дуги.

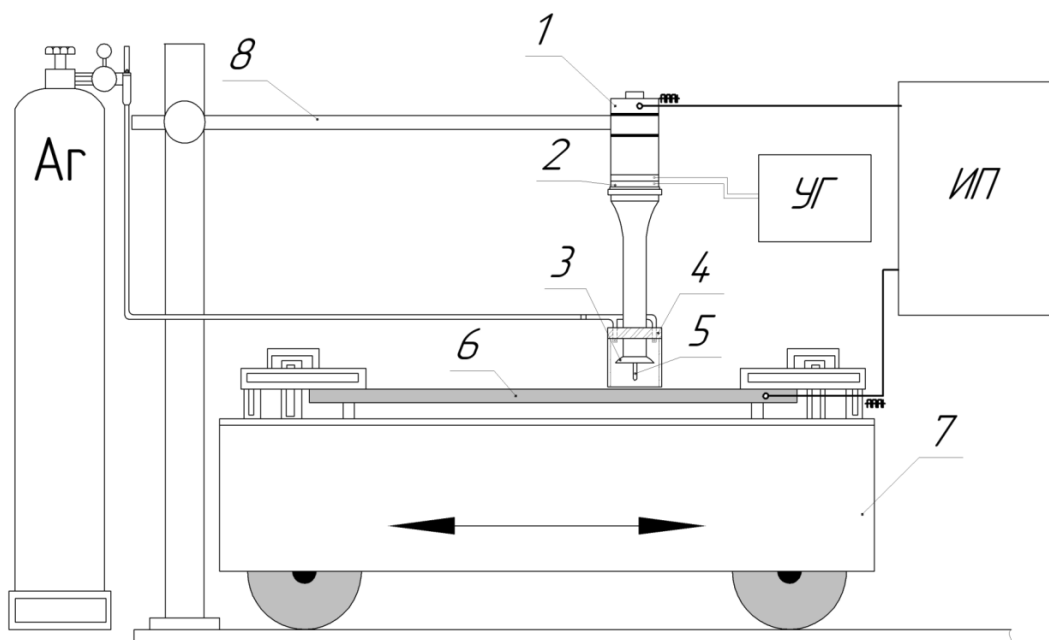


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – ультразвуковой преобразователь; 2 – пьезокерамический элемент; 3 – плосковогнутая фокусирующая линза; 4 – защитное сопло; 5 – неплавящийся электрод; 6 – пластина; 7 – тележка; 8 – штатив

Проплавляющая способность дуги постоянного тока оценивалась посредством проплавления пластин из алюминиевых сплавов АМг-6 и АМц размерами 300×200 мм (присадочный материал не применялся). При этом изделие 6 оставалось неподвижным на опорах токоподвода, а сварочная горелка перемещалась с помощью тележки 7 с возможностью точного регулирования скорости сварки. Длина дуги составляла 3 мм, ток дуги – 100–300 А, скорость сварки – 20–40 м/ч. Расход аргона составлял 12–25 л/мин (в зависимости от величины тока дуги). Частота переменного тока составляла 20–100 Гц, дли-

тельность импульсов тока обратной $\tau_{обр}$ полярности изменяли в пределах 2–10 мс. Постоянными параметрами являлись частота УЗК (20 кГц) и мощность ультразвука $P_{УЗК}=60$ Вт. На рис. 2 представлена зависимость глубины проплавления h , ширины шва e и величины зоны катодной очистки B_k от скорости перемещения дуги ПФИ $V_{св}$ (скорости сварки), в целом не отличающаяся от аналогичной зависимости для дуг переменного синусоидального и постоянного тока и имеющая убывающий характер с увеличением скорости сварки.

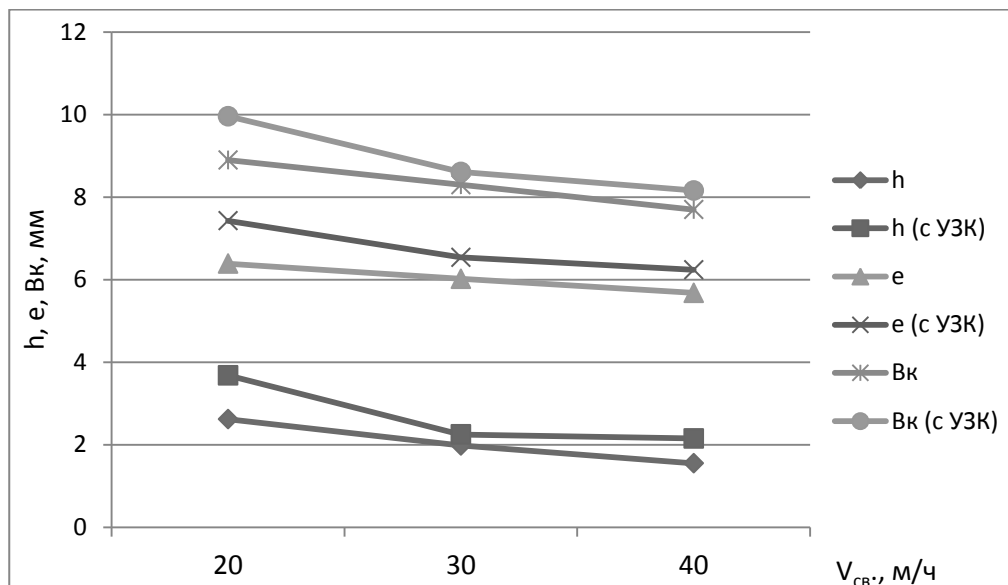


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления h , ширины шва e и зоны катодной очистки B_k от скорости сварки $V_{св}$:

$I_{св}=250$ А; $\tau_{обр}=3$ мс; $\tau_{пр}=17$ мс; $f=50$ Гц, $d_{эл}=4$ мм; материал: АМг-6, $\delta=10$ мм

Следует отметить, что на проплавляющую способность дуги ПФИ влияет соотношение длительностей импульсов $\tau_{пр}$ и $\tau_{обр}$. Так, при весьма малых значениях $\tau_{обр}$, отмечается как высокая стойкость электродов [1], так и хорошая проплавляющая способность дуги (рис. 4). Однако, в большинстве случаев, такие режимы неприемлемы по причине низкого качества катодной очистки свариваемой поверхности.

Когда изделие является катодом, происходит разрушение оксидной пленки Al_2O_3 поло-

жительными ионами плазмы дуги [7; 8]. Без воздействия ультразвука требуемое качество катодной очистки наблюдается при относительной длительности импульсов тока обратной полярности $\tau_{обр}/(\tau_{пр}+\tau_{обр})$, не менее 0,15. Без УЗК при $\tau_{обр} \leq 0,15$ формирование шва и качество катодной очистки плохое (рис. 3), в то время как с воздействием ультразвука очистка существенно улучшается, глубина проплавления при этом также увеличивается на 13 % (рис. 4).

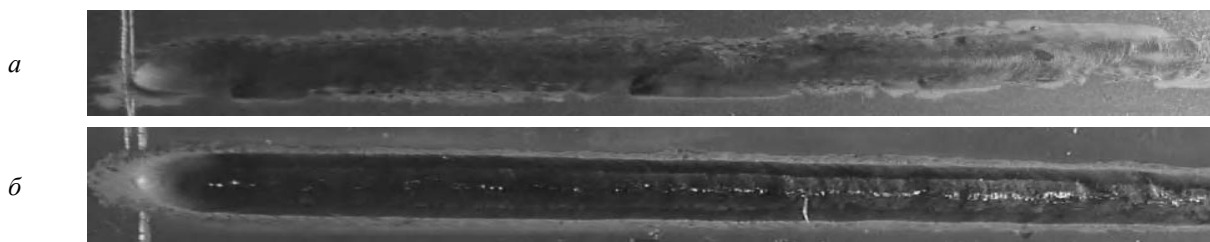


Рис. 3. Влияние ультразвука на качество катодной очистки:
 $I_{св}=150$ А; $\tau_{обр}=2$ мс; $f=50$ Гц, $d_{эл}=4$ мм; а – без УЗК; б – с УЗК

Увеличение $\tau_{обр}$ приводит к снижению глубины проплавления. Кроме того, при значениях длительности импульсов тока обратной полярности $\tau_{обр} \geq 8$ мс значительно снижается стойкость электрода.

С ростом длительности импульсов обратной полярности с 2 до 8 мс (при частоте переменного

тока 50 Гц) ширина шва снижается на 25 %, а глубина проплавления более чем в 2 раза, как с УЗК, так и без УЗК. В случае использования ультразвука при любых значениях $\tau_{обр}$ глубина проплавления выше, чем без УЗК (при $\tau_{обр} = 5-8$ мс – более чем на 40 %), качество формирования шва при этом также повышается.

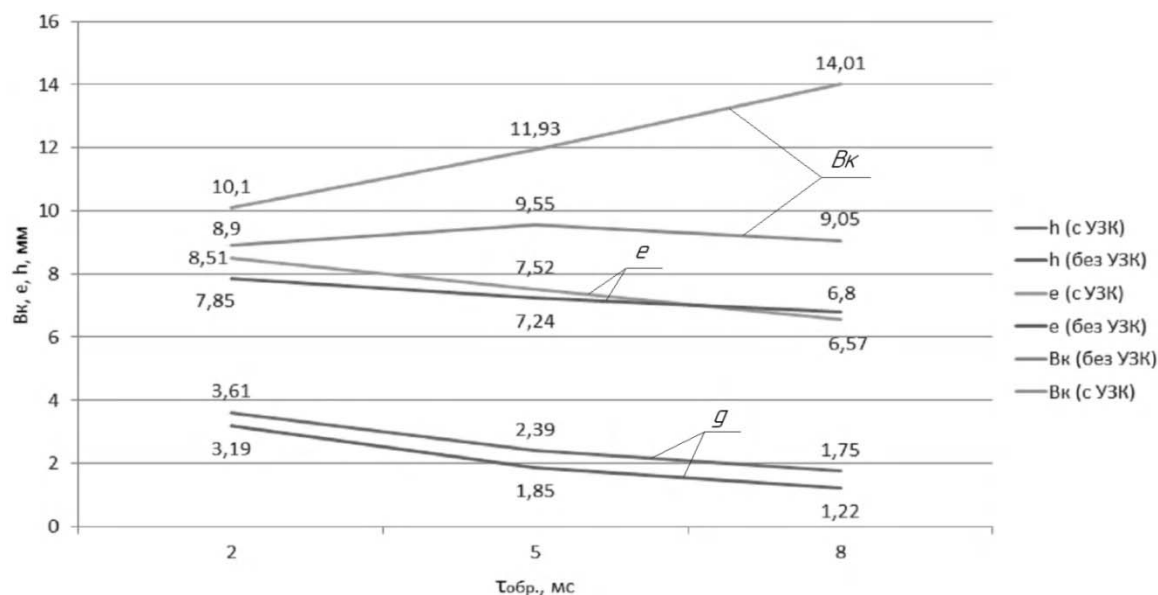


Рис. 4. Зависимость глубины проплавления h , ширины шва e и зоны катодной очистки B_k от длительности обратного импульса:
 $I_{св.}=150$ А; $V_{св.}=20$ м/ч; $f=50$ Гц, $d_{эл.}=4$ мм

Второй из специфических параметров дуги ПФИ – частота импульсов тока f на проплавляющую способность влияет незначительно (рис. 5). При изменении частоты от 20 до 100 Гц ширина e проплавлений незначительно уменьшается, а глубина h остается практически не-

изменной. как с УЗК, так и без УЗК. При использовании ультразвуковых колебаний ширина шва и глубина проплавления выше этих показателей, чем при сварке без УЗК при различных значениях f .

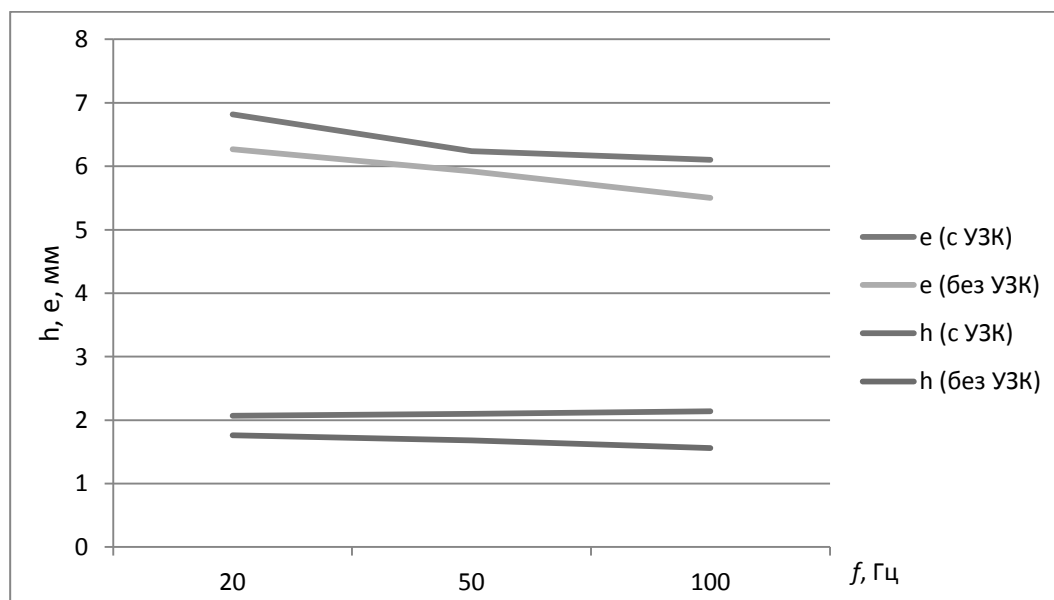


Рис. 5. Зависимость глубины h и ширины e проплавления от частоты переменного тока f :
 $I_{св.}=250$ А; $\tau_{обр.}/\tau_{пр.}=15/85$ %; $d_{эл.}=4$ мм; материал: АМг-6, $\delta=10$ мм

Выводы

1. С ростом длительности импульсов обратной полярности с 2 до 8 мс (при частоте переменного тока 50 Гц) ширина шва снижается ~ на 25 %, а глубина проплавления более чем

в 2 раза, как с УЗК, так и без УЗК. В случае использования ультразвука при любых значениях $\tau_{обр.}$ глубина проплавления выше, чем без УЗК (при $\tau_{обр.}=8$ мс более чем на 40%), качество формирования шва при этом также повышается.

2. С увеличением частоты прохождения импульсов переменного тока наблюдается уменьшение ширины шва как с УЗК, так и без УЗК. При использовании ультразвуковых колебаний ширина шва и глубина проплавления выше этих показателей, чем при сварке без УЗК при различных значениях f .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савинов, А. В. Дуговая сварка неплавящимся электродом / А. В. Савинов, И. Е. Лапин, В. И. Лысак. – М. : Машиностроение, 2011. – 477 с.
2. Савинов, А. В. Проплавляющая способность дуги переменного тока с прямоугольной формой импульсов / А. В. Савинов, О. А. Полесский, И. Е. Лапин, В. И. Лысак, А. А. Чудин, П. П. Красиков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (181) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 135–141.
3. Ultrasonic wave assisted GMAW / Fan, Y.Y., Yang, C.L., Lin, S.B., Fan, C.L., Liu, W.W. // Weld. Journal. - 2012. - V. 91. N3, P. 91–99.
4. Enhanced arc-acoustic interaction by stepped-plate radiator in ultrasonic wave-assisted GTAW / J. Wang, Q. Sun, J. Teng, P. Jin, T. Zhang, J. Feng // Journal of Materials Processing Tech. – 2018. – Vol. 262. – P. 19-31.
5. Effect of acoustic field parameters on arc acoustic binding during ultrasonic wave-assisted arc welding Weifeng Xie, Chenglei Fan, Chunli Yang, Sanbao Lin // Ultrasonics Sonochemistry. – 2016. – V. 29. – P. 476-484.
6. Xie, W.F.; Fan, C.L.; Yang, C.L.; Lin, S.B.; Zhang, Y.Q. Characteristics of acoustic-controlled arc in ultrasonic wave-assisted arc // Acta Physica Sinica.- 2015. V. 64. P. 412–420.
7. Sarrafi, R., Kovacevic, R., 2010. Cathodic cleaning of oxides from aluminum surface by variable-polarity arc // Weld. J. – V. 89. - P. 1-10.
8. Финкельбург, В. Электрические дуги и термическая плазма / В. Финкельбург, Г. Меккер. – М. : Изд. иностр. литер., 1961. – 370 с.