

УДК 621.791

СИТНИКОВ Б. В., кандидат технических наук

БАРТАШ С. Н., кандидат технических наук, email: svetlana.bartash@yandex.uaНациональный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ АКСИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОПЛАВЛЯЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДУГИ С ВОЛЬФРАМОВЫМ КАТОДОМ В АРГОНЕ

Приведены сведения о влиянии аксиального магнитного поля на проплавляющую способность дуги прямой полярности которые могут быть использованы при сварке вольфрамовым электродом в аргоне.

Ключевые слова: сварка, дуга, шов, индукция, магнитное поле, вольфрамовый электрод, аргон, плазма.

Наведено відомості про вплив аксіального магнітного поля на проплавлять здатність дуги прямої полярності які можуть бути використані при зварюванні вольфрамовим електродом в аргоні.

Ключові слова: зварювання, дуга, шов, індукція, магнітне поле, вольфрамовий електрод, аргон, плазма.

Общая постановка проблемы

Применение электромагнитного перемешивания (ЭМП) является одним из наиболее эффективных способов повышения и стабилизации качества швов при дуговых способах сварки. Однако сварочная ванна и дуга находятся в непосредственной близости, и по ним проходит общий ток. Поэтому воздействие внешним магнитным полем на расплав сварочной ванны всегда сопровождается наложением возмущений на дугу.

Неизбежное влияние аксиального магнитного поля (АМП) на дугу и перестройка ее при сварке с ЭМП (рис. 1) могут быть причиной изменения тока и напряжения дуги, уменьшения глубины проплавления и, как следствие, снижения производительности процесса.

Анализ проведенных исследований

К настоящему времени накоплен достаточно обширный экспериментальный и теоретический материал о воздействии АМП на сварочную дугу. Однако, при этом, обращают на себя внимание противоречия, как в результатах экспериментов, так и в теоретическом объяснении наблюдаемых эффектов. Так, одни исследователи [1] наблюдали увеличение сечения столба дуги в АМП, другие [2], наоборот, зафиксировали устойчивое стягивание дуги к ее оси при достижении определенной величины индукции АМП.

Соответственно, в работе [1] авторы говорят об уменьшении проплавляющей способности дуги в АМП, а работе [2] о ее увеличении, при одних и тех же параметрах режима сварки.

Характер движения заряженных частиц для плазмы, находящейся в магнитном поле, зависит прежде всего от соотношения между средней длиной свободного пробега частиц λ и радиусом кривизны gv [3]. Если $\lambda/gv \ll 1$, то за время между двумя столкновениями путь частицы не успеет значительно изогнуться под действием поля и будет представлять собой отрезок прямой линии. Это означает, что магнитное поле в рассматриваемом случае не оказывает существенного влияния на поведение частицы, а следовательно, и на все основные процессы, происходящие в плазме. В противном случае, когда $\lambda/gv \gg 1$ (замагниченная плазма), частица успеет между двумя столкновениями совершить несколько оборотов по винтовой траектории. В этом случае поле оказывает сильное воздействие на движение частиц, резко ограничивая их перемещение в направлении, перпендикулярном к вектору магнитной индукции. Благодаря этому существенно изменяется характер ряда основных процессов, происходящих в плазме.

Условие замагниченности можно выразить [3] через круговую частоту $\omega = zeB/m$ и среднее время между двумя столкновениями $\tau = \lambda/v$. Очевидно, $\lambda/gv = \omega\tau$.

Следовательно, неравенство $\lambda/gv \gg 1$ равносильно неравенству $\omega\tau \gg 1$ или неравенству

$$\frac{zeB \lambda}{m v} \gg 1, \quad (1)$$

Из приведенных преобразований следует, что поскольку ларморовская частота ω пропорциональна индукции магнитного поля, то плазму можно сделать замагниченной, наложив на нее достаточно сильное магнитное поле. Сделать это тем легче, чем реже столкновения и меньше масса частиц.

О замагниченности плазмы реальной сварочной дуги в настоящее время существуют противоречивые мнения. Так, авторы работ [4,5] указывают на то, что при индукциях магнитного поля $10^{-2} - 10^{-3} \text{ Т}$ плазма дуги далека от состояния замагниченности. Более того, согласно данным работы [6], плазму дуги и нельзя замагнитить, поскольку с последующим увеличением индукции магнитного поля дуга приходит в неустойчивое состояние вплоть до ее срывов.

С другой стороны, согласно данным работы [2], при монотонном увеличении индукции магнитного поля, сначала ($B < 10^{-1} \text{ Т}$) происходит увеличение сечения столба дуги, а затем ($B \geq 10^{-1} \text{ Т}$) его уменьшение более чем в 1,5 - 2,0 раза. При этом авторы работы объясняют сжатие дуги ($B \geq 10^{-1} \text{ Т}$) явлением замагниченности плазмы и, как следствие, возникновением вторичных электромагнитных сил, направленных к оси дуги.

Формирование целей статьи

Настоящая работа посвящена исследованию влияния АМП на проплавляющую способность дуги, применительно к проблеме повышения производительности при сварке с ЭМП.

Основной материал

Эксперименты по изучению влияния АМП на проплавляющую способность дуги проводили на пластинах размером 100 x 200 x 6 мм из стали 12Х18Н10Т. Сварку образцов выполняли на постоянном токе прямой полярности в нижнем положении вольфрамовым электродом марки ЭВЛ (ГОСТ 23949-80) диаметром 4 мм в аргоне высшего сорта (ГОСТ 10157-79) на автомате АДСВ-2М. Измерения глубины проплавления h производили с помощью инструментального микроскопа при 12-кратном увеличении с точностью до 0,1мм.

АМП в зоне сварки создавалось соленоидом с ферромагнитным сердечником, установленным на сварочной горелке соосно с электродом. Для обмотки соленоида использовался медный водоохлаждаемый провод (ПЭВ) диаметром 1,2 мм, который наматывался послойно с межслойной изоляцией, выполненной из фторопласта. Величина индукции АМП фиксировалась миллитеслометром Ф-4356 в точке, лежащей в плоскости зеркала ванны на оси электрода при удалении торца сопла от свариваемого изделия равном 8 мм. Магнитное поле при сварке имело «прямую полярность», т. е. было направлено к свариваемому образцу. При этом радиальная составляющая магнитного поля составляла менее 3 %.

Фотокинографирование процессов, протекающих в зоне сварки, проводили на чёрно-белую негативную плёнку кинокамерой СКС-4М. Подсветку и съёмку зоны сварки осуществляли через специальные вырезы в корпусе горелки по методике приведенной в работе [7].

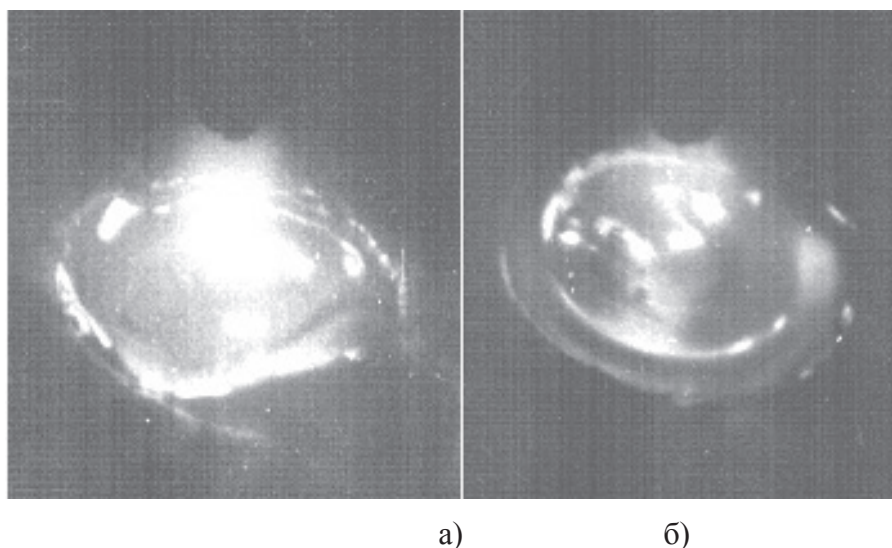


Рис. 1. Фрагменты скоростной киносъемки процессов протекающих в зоне сварки: $V_{св} = 7\text{ мм/с}$; $I_{св} = 170\text{ А}$; скорость съемки – 500 кадр/с; а) – $B = 0$; б) – $B = 2 \cdot 10^{-2}\text{ Т}$

На рис. 2 приведена зависимость глубины проплавления h от индукции АМП. Как видно из приведенных результатов, наибольшая проплавляющая способность дуги при сварке в АМП достигается при индукции порядка $2 \cdot 10^{-2}\text{ Т}$. При $2 \cdot 10^{-2}\text{ Т} < B < 2 \cdot 10^{-2}\text{ Т}$ проплавляющая способность дуги снижается.

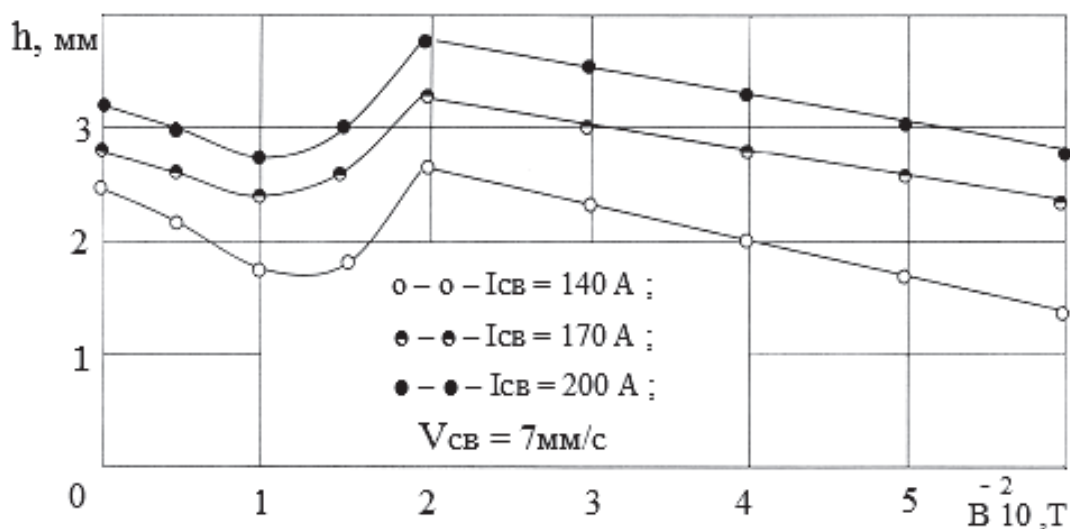


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления от магнитной индукции при сварке в АМП

Оценим B_{min} при которых выполняются условия замагничности электронов и ионов. Очевидно, минимальное значение индукции B_{min} магнитного поля при котором заряженные частицы плазмы будут замагничены, может быть найдено из условия (1).

$$B_{\text{min}} = 2\pi m v / z e \lambda \quad (2)$$

При принятых [8] исходных данных, $\lambda_e = 4 \cdot 10^{-4}\text{ м}$, $\lambda_i = 10^{-4}\text{ м}$, $v_e = 2 \cdot 10^5\text{ м/с}$, $v_i = 10^2\text{ м/с}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ кг}$, $m_i = 6,6 \cdot 10^{-26}\text{ кг}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$, $z = 1$, согласно равенству (2), находим, что для аргоновой плазмы столба дуги порогу замагничности электронов соответствует индукция магнитного поля порядка $B_{\text{min}}^e \approx 2 \cdot 10^{-2}\text{ Т}$, порогу

замагниченности ионов соответствует индукция магнитного поля порядка $B_{min}^e \approx 3T$. Проведенная оценка условия замгниченности аргоновой плазмы сварочной дуги позволяет предположить, что уже при индукциях магнитного поля порядка $2 \cdot 10^{-2}T$ плазма столба дуги частично замгничена (замгничена электронная составляющая плазмы). Если выполнено условие замгниченности и для ионов ($B_{min}^e \approx 3T$), то все заряженные частицы дуги принимают участие в дрейфовом движении и притом дрейфуют с одинаковой скоростью. В этом случае электрический дрейф не приводит к разделению зарядов и возникновению вторичных электромагнитных сил, а лишь вызывает вращение плазмы как целого. Таким образом, увеличение магнитной индукции до значений $B \gg B_{min}^e$ не должно вызывать дополнительного сжатия дуги. Скорее наоборот, вращательное движение дуги со всё увеличивающейся скоростью должно привести к возрастанию центробежных сил и ее деконтрагированию, вплоть до срывов. При значительном увеличении магнитной индукции подобного рода явления наблюдали авторы работы [6].

Выводы

1. При сварке в аксиальном магнитном поле максимальная проплавающая способность дуги с вольфрамовым катодом в аргоне может быть достигнута при индукции порядка $B \approx 2 \cdot 10^{-2}T$, что соответствует порогу замгниченности электронов в столбе сварочной дуги.
2. Увеличение магнитной индукции до значений $B \gg B_{min}^e$ приводит к деконтрагированию дуги и снижению ее проплавающей способности.

Список использованной литературы

1. Черныш В. П. Сварка с электромагнитным перемешиванием. / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г. М. Шеленков – К. : Техніка, 1983. – 127 с.
2. Биржев В. А. О влиянии продольного магнитного поля на сварочную дугу прямой полярности / В. А. Биржев, А. М. Болдырев // Автоматическая сварка. – 1982. – № 1. – С. 17 – 19.
3. Арцемович Л. А. Физика плазмы для физиков. /Л. А. Арцемович, Р. З. Сагдеев – Атомиздат, 1979. – 316 с.
4. Тиходеев Г. М. Электрические свойства электрической сварочной дуги. – Изд-во АН УССР, 1971. – 354 с.
5. Гвоздецкий В. С. Перемещение электрической дуги в магнитном поле /В. С. Гвоздецкий, В. С. Мечев // Автоматическая сварка. – 1973. – № 10. – С. 54–62.
6. Шеленков Г. М. Особенности формирования швов при дуговой сварке с электромагнитным перемешиванием /Г. М. Шеленков, В. П. Черныш // Сварочное производство – 1977. – № 3. – С. 24– 5.
7. Ильенко Н. А. Исследование процессов сварки при помощи фотокинографирования в отраженном потоке света /Н. А. Ильенко, В. Ф. Сидоренко, Б. Ф. Кусков // Сварочное производство. – 1978. – № 6. – С. 50–51.
8. Фролов В. В. Теория сварочных процессов. – М. : Высш. шк., 1988. – 559 с.

EFFECT OF AXIAL MAGNETIC FIELD ON MELTING ABILITY OF THE ARC WITH TUNGSTEN CATHODE IN ARGON

SITNIKOV B. V., Candidate of Engineering
BARTASH S. N., Candidate of Engineering

The paper presents data on the effect of the axial magnetic field on the melting ability of the direct polarity arc that may be used in welding using tungsten electrode in argon.

Key words: welding, arc, seam, induction, magnetic field, tungsten electrode, argon, plasma.

1. Chernysp V. P. Welding with electromagnetic interfusion [Svarka s elektromagnitnym peremeshivaniem] / V. P. Chernysh, V. D. Blacksmiths, A. N. Briskman, G. M. Shelenkov – K. : Technika,1983. – 127 p.
2. Birzhev V. A. Influence of longitudinal magnetic field on the welding arc straight polarity [O vliyaniy prodolnogo magnitnogo polia na svarochnuyu dugu priamoy poliarnosni] / V. A. Birzhev, A. M. Boldyrev //Automatic Welding. – 1982. – № 1. – P. 17–19.
3. Artsemovich L. A. Physics of plasma for physicists [Fizika plazmy dlia fizikov] /L. A. Artsemovich, R. Z. Sagdeev –Atomizdat, 1979. – 316 p.
4. Tirhodeev G. M. Electric properties of voltaic welding arc. [Elektricheskie svoystva elektricheskoy svarochnoy dugi] It is Izd-vo AN UKRAINE, 1971. – 354 p.
5. Gvozdetskiy V.S. Moving an electric arc in the magnetic field of [Peremwshchenie elektricheskoy dugi v magnitnom pole] /V. S. Gvozdeckiy, V. S. Mechev //Automatic Welding.- 1973. – № 10. – P. 54 – 62.
6. Shelenkov G. M. Features of formation of seam in arc welding with electromagnetic stirring [Osobennosti formirovaniya shvov pri dugovoy svarke s elektromagnitnym peremeshivaniem] /G. M. Shelenkov, V. P. Chernysh //Svarochnoe production. – 1977. – № 3. –P. 24–25.
7. Ilienko N. A. Study of welding processes using fotokinografirovaniya reflected light flux [Issledovanie protsesov svarki pri pomoshchi fotokinografirovaniya v otrazhennom potoke sveta] /N. A. Ilienko, V. F. Sidorenko, B. F. Kuskov, //Svarochnoe production. – 1978. – № 6. – P. 50 – 51.
8. Frolov V. V. Theory of welding processes. [Teoria svarochnykh protsesov] – M. : higher wk.,1988. – 559 p.

Поступила в редакцию 22.04 2014
