

Opubl. 26.10.2009, Byul. № 20. (Ukr.)

5. Nosovskiy B.I. Developing of methods of deposition parameters choice by a strip electrode with the forced mechanical transfer of liquid metal / B.I. Nosovskiy, E.V. Lavrova // Automatic welding. – 2011. – № 3. – P. 30-33. (Rus.)

Рецензент: А.Д. Размышляев
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 11.09.2012

УДК 621.791.75

©Размышляев А.Д.¹, Миронова М.В.², Ярмонов С.В.³

О СТРОЕНИИ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ

Установлено, что строение магнитного поля, генерируемого устройствами ввода для процессов дуговой сварки и наплавки, зависит от параметра, связанного с величиной поперечного сечения его стержней.

Ключевые слова: дуговая сварка и наплавка, поперечное магнитное поле, устройство ввода, индукция магнитного поля, сечение стержней электромагнита.

Размышляев О.Д., Миронова М.В., Ярмонов С.В. Про будову поперечного магнітного поля, що генеруються пристроєм введення стосовно до дугового зварювання й наплавлення. Встановлено, що будова магнітного поля, що генерується пристроями введення для процесів дугового зварювання й наплавлення залежить від параметра, пов'язаного з величиною поперечного перерізу його стрижнів.

Ключові слова: дугозварювання й наплавлення, поперечне магнітне поле, пристрої введення, індукція магнітного поля, переріз стрижнів електромагніту.

O.D. Razmyshljaev, M.V. Mironova, S.V. Yarmonov. About the structure of transverse magnetic field generated by input devices applied to arc welding and surfacing. It has been stated that the structure of magnetic field generated by the input devices for arc welding and surfacing depends on the cross-section of the rods.

Keywords: arc welding and surfacing, transversal magnetic field, the input devices, magnetic field induction, the cross-section of the electromagnet.

Постановка проблемы. Разработка устройств ввода магнитного поля для повышения эффективности процессов дуговой сварки и наплавки.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] показано, что применение поперечного магнитного поля (ПОМП) при дуговой сварке и наплавке под флюсом позволяет увеличить коэффициент расплавления электрода на 20...30 %. В работе [2] установлено, что при дуговой сварке и наплавке с воздействием ПОМП возможно эффективно управлять глубиной и площадью зоны проплавления основного металла.

Однако в большинстве работ конструкции устройства ввода (УВ) ПОМП либо не приведены [3-5], либо приведены конструкции, пригодные только для исследовательских целей [6]. Вопрос об оптимальности конструкций УВ ПОМП в упомянутых работах не обсуждался. В зоне капли на торце электрода сварочной дуги и жидкого металла ванны необходимо обеспечить максимум значений поперечной (горизонтальной) компоненты индукции (B_x , либо B_y) и мини-

¹ д-р техн. наук, профессор ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

мум продольной компоненты B_z этого поля. Следует отметить, что строение магнитного поля в указанных зонах весьма сложно зависит от конструктивных параметров УВ ПОМП, поэтому на первом этапе изучения необходимо установить некоторые закономерности, определяющие строение этого поля.

Цель статьи – установить закономерности формирования строения магнитного поля, генерируемого УВ ПОМП, применительно к процессам дуговой сварки и наплавки.

Изложение основного материала. Наиболее простой представляется конструкция УВ ПОМП в виде двух стержней из ферромагнитной стали с обмотками на каждом стержне (рис.1, а).

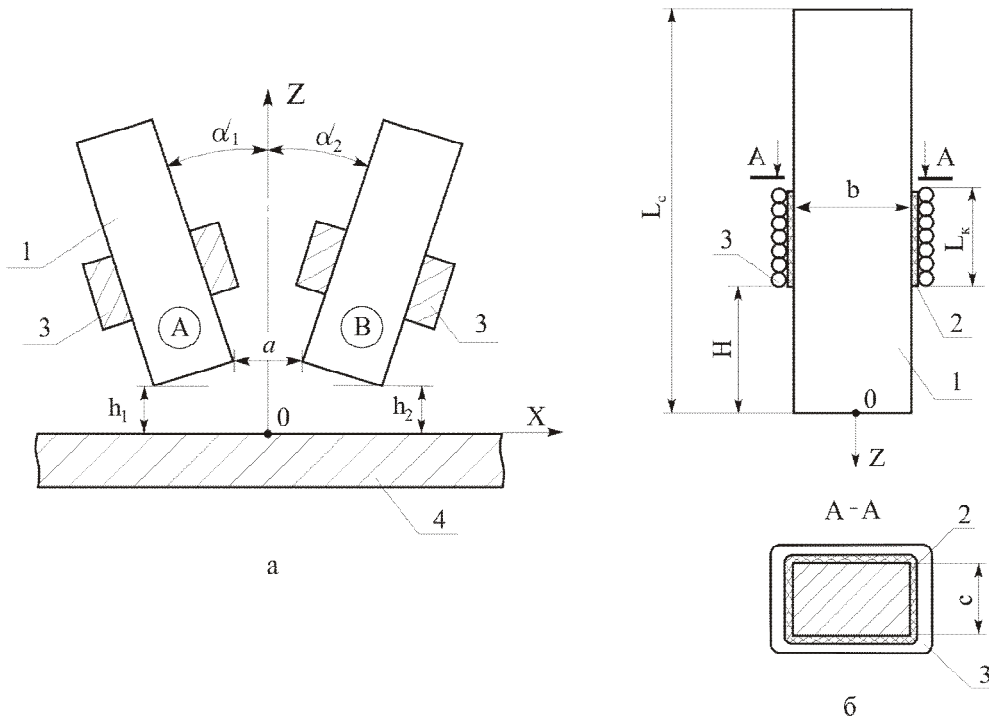


Рис. 1 – Устройство ввода ПОМП с двумя стержнями (а) и конструкция стержня с обмоткой (б): 1 – стержень; 2 – изолятор; 3 – катушка; 4 – изделие

На рис. 1, а приведены основные параметры и размеры УВ ПОМП: a – расстояние между стержнями А и В у их нижних торцов; h_1, h_2 – расстояния от торцов стержней до изделия; α_1, α_2 – углы наклонов стержней к вертикали.

На рис. 1, б приведены размеры: b – ширина стержня (в плане); c – толщина стержня; L_c – длина стержня; L_k – высота (длина) катушки; H – расстояние от торца стержня до катушки.

Необходимо установление таких параметров УВ ПОМП (по рис. 1, а), которые обеспечили бы максимальный уровень компоненты индукции B_x между стержнями А и В вдоль оси ОХ при минимальном уровне продольной компоненты индукции B_z .

Для выполнения исследований были изготовлены одиночные стержни сечением 26×16 мм из пластин электротехнической стали, а также четырехслойные катушки из медного провода диаметром 1 мм высотой $L_k = 27$ мм (рис. 1, б). Возможна была регулировка расстояния H от торца стержня до катушки. Для исследования влияния величины сечения стержня (F_c) на характер распределения индукции B_z вдоль оси ОZ (рис. 1, б) были изготовлены также стержни сечением 26×8 мм, 26×32 мм, 32×52 мм и соответственно катушки высотой $L_k = 27$ мм с внутренним прямоугольным отверстием, чтобы эти катушки могли перемещаться вдоль стержней (чтобы изменять расстояние H , см. рис. 1, б). Измерения индукции B_z выполняли универсальным тесламетром типа 43205 с датчиком Холла, имевшим измерительную базу $0,9 \times 0,9$ мм. В катушках пропускали постоянный ток $I_k = 16$ А. Данные измерений показали, что при увеличении F_c индукция B_z (при $H = 0$) в центре торцов стержней несколько уменьшалась, а при отсутствии стержня индукция B_z у торцов катушек при изменении F_c не изменялась. Измерением индукции B_z при наличии стержней и изменении расстояния H от торца стержня до

катушки установлено, что при увеличении H индукция B_z уменьшается (при одинаковых значениях $I_k = 16$ А, $W = 100$). В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость $B_z = f(H)$ для стержня сечением $F_c = 26 \times 32$ мм, обмоткой с числом витков $W = 100$ и током $I_k = 16$ А. Катушки на стержнях А и В соединяли последовательно, таким образом, чтобы нижние торцы стержней А и В имели разные полюса – N и S (рис. 1, а).

При увеличении тока в катушках значение индукции B_z в любой точке вдоль оси OZ должно увеличиваться линейно. Обработка данных с целью исключения влияния тока на индукцию B_z путем вычисления относительных значений индукции B_z по формуле $B_z/B_{z,max}$ (B_z – индукция в любой точке вдоль оси OZ; $B_{z,max}$ – значения индукций у торца стержня, когда $z = 0$) подтвердила, что зависимость $B_z/B_{z,max} = f(z)$ практически одинакова для различных токов в катушке ($I_k = 4, 0 \dots 16$ А). Относительные значения $B_z/B_{z,max}$ распределены вдоль оси oz по одной и той же зависимости при изменении H в пределах $H = 0 \dots 70$ мм, т.е. от параметра H – $B_z/B_{z,max}$ практически не зависит (рис. 3). Таким образом, при $H = 0$ катушка своим полем рассеяния не влияет на результирующее поле. Генерируемое поле полностью определяется намагниченностью стержня.

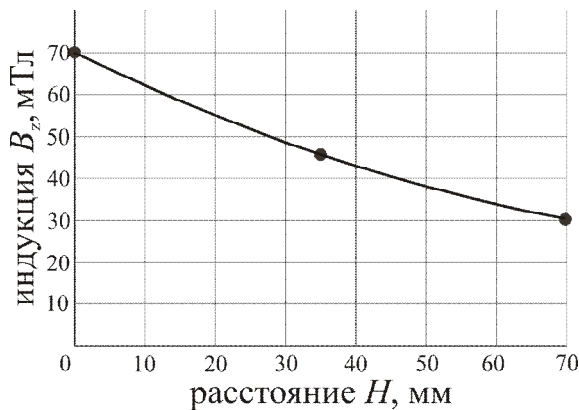


Рис. 2 – Зависимость индукции B_z от расстояния H ($F_c = 26 \times 32$ мм, $I_k = 16$ А)

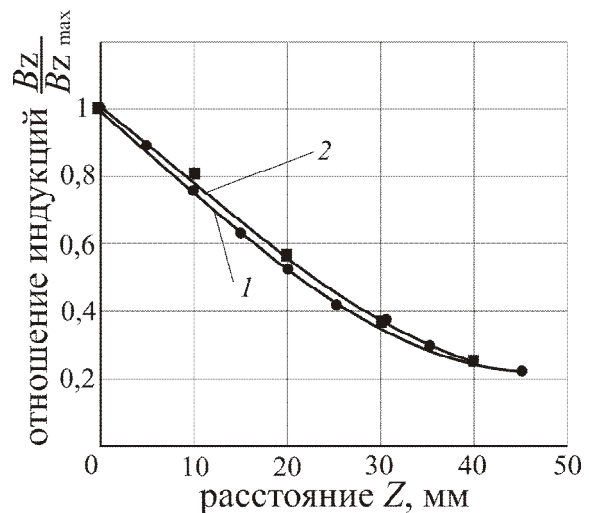


Рис. 3 – Распределение $B_z/B_{z,max}$ вдоль оси OZ ($F_c = 26 \times 16$ мм, $I_k = 16$ А): 1 – $H = 0$; 2 – $H = 35$ мм

На рис. 4 приведено распределение $B_z/B_{z,max}$ вдоль оси OZ для различных сечений стержня F_c . Установлено, что с уменьшением F_c абсолютные значения индукции B_z у стержня торца несколько увеличиваются. Характер распределения значений $B_z/B_{z,max}$ вдоль оси OZ для всех сечений стержней (F_c) практически одинаков (рис. 4).

С целью установления аналитической зависимости $B_z/B_{z,max} = f(z)$ исходили из следующих соображений.

Имеются литературные данные о законе распределения напряженности продольного магнитного поля вдоль оси OZ для одного витка с током I , приведенные, в частности, в работе [7].

Напряженность H магнитного поля в любой точке вдоль оси OZ распределена по зависимости [7]:

$$H = (I \cdot r^2) / 2(r^2 + z^2)^{3/2}, \tag{1}$$

где r – радиус витка;

z – расстояние от центра витка до рассматриваемой точки.

В нашем рассматриваемом случае внутри катушки имеется ферромагнитный стержень и это значительно усложняет характер (закон) распределения индукции B_z (напряженности поля H) вдоль оси OZ. Однако, из зависимости (1) следует, что относительные значения напряженности (и индукции) поля не зависят от тока. В связи с этим, (учитывая зависимость (1)) была опробована возможность получения для полученных в наших исследованиях аналогичной зависимости $B_z/B_{z,max}$ от параметра z (рис 1, б). Вычисляли эквивалентный радиус витка r , кото-

рий умовно розполагали в площині торця стержня ($z = 0$), по формуле $r^2 = F_c / \pi$. Вычисляли значения $B_z / B_{z \max}$ при изменении z с шагом 5 мм (от значения $z = 0$) по формуле:

$$B_z / B_{z \max} = r^2 / (r^2 + z^2)^n, \quad (2)$$

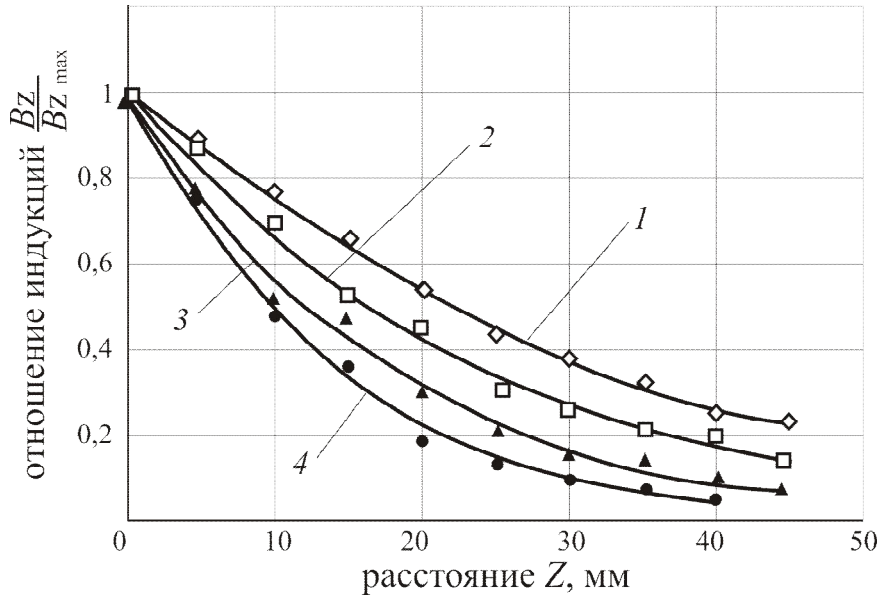


Рис. 4 – Распределение $B_z / B_{z \max}$ вдоль оси OZ для различных сечений стержней ($H = 35$ мм; $I_k = 16$ А): 1 – 32×52 мм; 2 – 26×32 мм; 3 – 26×16 ; 4 – 26×8 мм

В формуле (1) в знаменателе параметр $(r^2 + z^2)$ находился в степени $n = 3/2$. Нами были опробованы различные значения этой степени в формуле (2), в частности: $3/2$; 1; $1/2$. В качестве примера, для стержня $F_c 32 \times 52$ мм ($I_k = 16$ А, $W = 100$) на рис. 5 приведены расчетные данные распределения $B_z / B_{z \max} = f(z)$ параметра $(r^2 + z^2)$, т.е. в 1-ой степени. Экспериментальные данные (рис. 5, кривая 1) удовлетворительно совпадают с расчетными данными (рис. 5, кривая 2), вычисленными по формуле (2), если показатель степени $n = 1$.

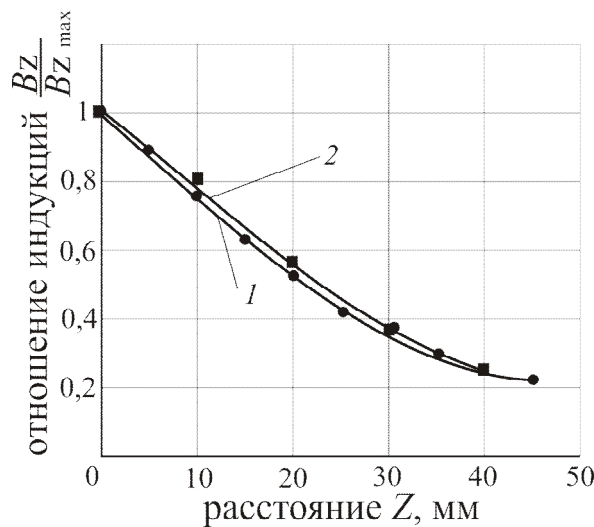


Рис. 5 – Распределение $B_z / B_{z \max}$ вдоль оси OZ (для стержня $F_c = 32 \times 52$ мм, $I_k = 16$ А): 1 – экспериментальные данные, 2 – расчетные данные

Аналогичные результаты были получены для всех использованных сечений стержней, т.е. 26×8 , 26×16 мм, 26×32 мм, экспериментальные данные для которых приведены на рис. 4.

Обработка экспериментальных данных рис. 4 дает следующее (при сравнении):

1. Для стержней сечением $F_c = 26 \times 32$ мм и $F_c = 26 \times 8$ мм, площади которых отличаются в 2 раза: для стержня сечением $F_c = 26 \times 8$ мм уровень $B_z/B_{z\max} = 0,46$ наблюдается при $z = 1$ см (кривая 4 на рис. 4), а для стержня сечением 26×32 мм (кривая 2 на рис. 4) уровень $B_z/B_{z\max} = 0,44$ достигается при $z = 2$ см, т.е. сходственной точкой является точка $z = 2$ см (координата z увеличивается в 2 раза пропорционально характерному размеру сечения стержня r).
2. Если сравнивать стержни сечением $F_c = 32 \times 52$ мм и $F_c = 26 \times 8$ мм, для которых параметр r отличается в 2,8 раза, то уровень $B_z/B_{z\max} = 0,46$ для стержня 26×8 мм достигается при $z = 1$ см, а для стержня 32×52 мм этот уровень достигается при $z = 2,6$ см, что близко к значению 2,8.

Таким образом, сходственные точки (в которых один и тот же уровень $B_z/B_{z\max}$ вдоль оси OZ) увеличивается пропорционально характерному линейному размеру стержня (размеру r). Следовательно, по аналитической зависимости (2) возможно вычисление значений $B_z/B_{z\max}$ в любой точке вдоль оси OZ, для любых значений сечения стержней F_c (в указанных изученных пределах). Расчет абсолютных значений индукции B_z в точках вдоль оси OZ выполняется с учетом абсолютных значений B_z в точке $z = 0$ для данного сечения стержня F_c и данных значений ампер-витков (данные установлены для $I \times W = 16 \times 100 = 1600$). При этом необходимо пропорционально увеличить (или уменьшить) значение $I \times W$, чтобы получить истинное значение B_z на оси OZ (в мТл), используя данные $B_z/B_{z\max}$ для $I \times W = 1600$.

Определяли строение ПОМП, которые генерирует устройство, схема которого приведена на рис. 1, а. Сравнивали распределение B_x, B_z вдоль оси OX при использовании двух стержней сечением $F_{c1} = 16 \times 26$ мм и значениях: $I_{k1} = 8$ А, $h_1 = 15$ мм, $a_1 = 20$ мм, $b_1 = 16$ мм и двух стержней сечением $F_{c2} = 32 \times 52$ мм и значениях: $I_{k2} = 16$ А, $h_2 = 30$ мм, $a_2 = 40$ мм, $b_2 = 32$ мм. В этих двух вариантах сечения стержней отличались в 4 раза, а значения $h_2 = 2h_1, a_2 = 2a_1, b_2 = 2b_1, I_{k2} = 2I_{k1}$, т. е., все геометрические параметры и ток в катушках увеличивали в 2 раза.

При этом, как показали исследования измеренные значения индукций B_x и B_z в соответственных точках практически совпали (рис. 6).

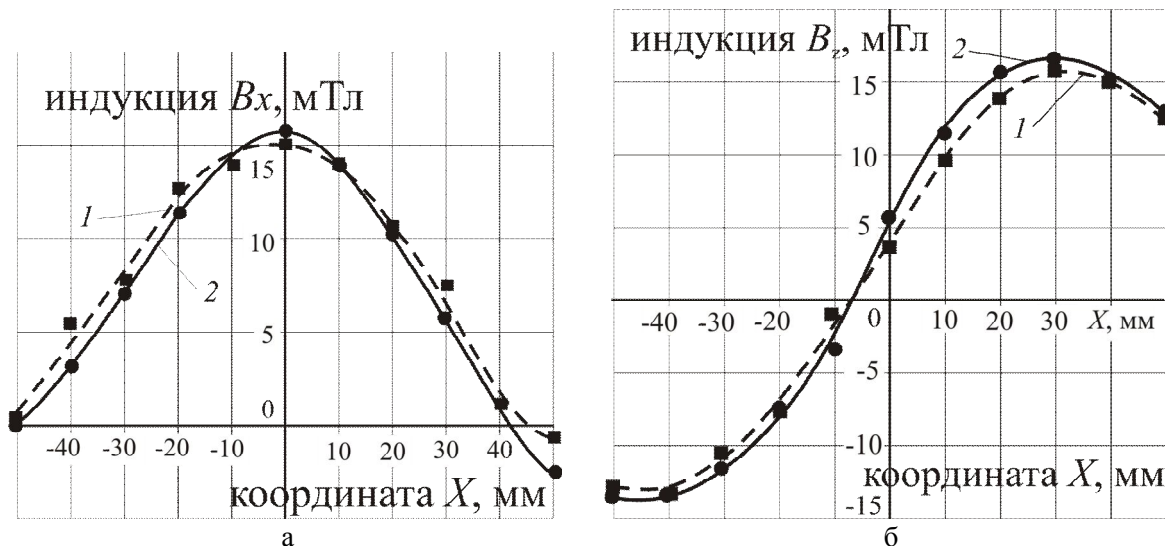


Рис. 6 – Распределение индукции B_x (а), B_z (б) вдоль оси OX ($H = 35$ мм, $\alpha = 0$): 1 – $F_{c1} = 16 \times 26$ мм, $a_1 = 20$ мм, $b_1 = 16$ мм, $h_1 = 15$ мм; 2 – $F_{c2} = 32 \times 52$ мм, $a_2 = 40$ мм, $b_2 = 32$ мм, $h_2 = 30$ мм

Таким образом, как для электромагнита из одного стержня, так и для системы УВ ПОМП из двух электромагнитов индукция магнитного поля определяется в соответственных точках таким геометрическим параметром, как характерный размер $r = \sqrt{F_{c2}/F_{c1}}$, где F_{c1} и F_{c2} – поперечные сечения стержней, использованных в УВ ПОМП.

Выводы

1. Предложено расчетное выражение, позволяющее определить продольную компоненту индукции магнитного поля, генерируемого электромагнитом с одним стержнем прямоугольного сечения.
2. Установлены условия и параметры, определяющие подобие строения магнитных полей, генерируемых УВ ПОМП применительно к дуговой сварке и наплавке.

Список использованных источников

1. Размышляев А.Д. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля / А.Д. Размышляев и др. // Автоматическая сварка. – 2011. – № 5. – С. 48-51.
2. Размышляев А.Д. Особенности проплавления основного металла при дуговой сварке и наплавке с воздействием поперечного магнитного поля / А.Д. Размышляев и др. // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. праць. – Маріуполь : ПДТУ, 2012. – Випуск № 1 (24). – С. 185-187.
3. Магнитное управление формированием шва при автоматической сварке под флюсом / Ю.Г. Гаген и др. // Автоматическая сварка. – 1975. – № 11. – С. 73-74.
4. Шейкин М.З. Применение магнитных колебаний при сварке под флюсом / М.З. Шейкин, Н.Ф. Варяхов // Сварочное производство. – 1969. – № 6. – С. 24-25.
5. Пацкевич И.Р. Распределение индукции наведенного магнитного поля в зоне горения сварочной дуги / И.Р. Пацкевич, А.В. Зернов, В.Я. Иванцов // Сварочное производство. – 1970. – № 2. – С. 9-10.
6. Иофинов П.А. Влияние внешнего электромагнитного поля на скорость плавления электродной проволоки при автоматической наплавке под флюсом / П.А. Иофинов и др. // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С. 34-35.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1986. – 263 с.

Bibliography:

1. A.D. Razmyshljaev Electrode wire melting productivity of at arc surfacing under a flux with transversal magnetic field influence / A.D. Razmyshljaev and other // Avtomaticheskaya svarka. – 2011. – № 5. – P. 48-51. (Rus.)
2. A.D. Razmyshljaev Features of penetration of the base metal in arc welding and surfacing with a transverse magnetic field / A.D. Razmyshljaev and other // Vesnik PSTU. Collection of scien. works. – Mariupol : PSTU, 2012. – Edition № 1 (24). – P. 185-190. (Rus.)
3. Welds forming magnetic management at the automatic welding under a flux / Yu.G. Gagen and other // Avtomaticheskaya svarka. – 1975. – № 11. – P. 73-74. (Rus.)
4. M.Z. Sheinkin Magnetic vibrations application at welding under a flux / M.Z. Sheinkin, N.F. Varya-hov // Svarochnoe proizvodstvo. – 1969. – № 6. – P. 24-25. (Rus.)
5. I.R. Paskevich The distribution of the induced magnetic field induction in the combustion zone of the arc / I.R. Paskevich, A.V. Zernov, V.Ya. Ivanskov // Svarochnoe proizvodstvo. – 1970. – № 2. – P. 9-10. (Rus.)
6. P.A. Iofinov The influence of an external electromagnetic field on the rate of melting of the electrode wire for automatic submerged arc surfacing / P.A. Iofinov and other // Svarochnoe proizvodstvo. – 1991. – № 1. – P. 34-35. (Rus.)
7. L.A. Bessonov Theory of electrical engineering. Electromagnetic field / L.A. Bessonov. – M. : High sch., 1986. – 263 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Чигарев
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 09.11.2012