

УДК 621.791.75

© Размышляев А.Д.<sup>1</sup>, Миронова М.В.<sup>2</sup>, Ярмонов С.В.<sup>3</sup>, Выдмыш П.А.<sup>4</sup>**СТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА ДЛЯ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ**

Установлено, что у поверхности изделия характер распределения индукции поперечного магнитного поля, генерируемого устройствами ввода для процесса дуговой сварки, не зависит от расстояния катушек до нижних торцов стержней, а индукция поля увеличивается на 20...30 % при наличии перемычки у верхних торцов стержней.

**Ключевые слова:** дуговая сварка, поперечное магнитное поле, устройство ввода, индукция магнитного поля, электромагнит.

*Размышляев О.Д., Миронова М.В., Ярмонов С.В., Выдмыш П.О. Будова поперечного магнітного поля, що генерується пристроями введення для процесу дугового зварювання. Встановлено, що у поверхні виробу характер розподілу індукції поперечного магнітного поля, що генерується пристроями введення для процесу дугового зварювання, не залежить від відстані від катушок до нижніх торців стрижнів, а індукція поля збільшується на 20...30 %, якщо мається перемичка у верхніх торців стрижнів.*

**Ключові слова:** дугове зварювання, поперечне магнітне поле, пристрій введення, індукція магнітного поля, електромагніт.

**O.D. Razmyshljaev, M.V. Mironova, S.V. Yarmonov, P.O. Vydmysh. Transverse magnetic field structure generated by input devices for arc welding process.** It is stated that the distribution of induction transverse magnetic field generated by the input devices for arc welding process at product surface does not depend on the distance to the lower ends of the coil cores and the induction field is increased by 20 ... 30 % in the presence of the bridge at the upper ends of cores.

**Keywords:** arc welding, transverse magnetic field, an input device, magnetic field induction, electromagnet.

**Постановка проблемы.** Совершенствование конструкции устройств ввода поперечного магнитного поля для повышения эффективности процесса дуговой сварки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Технологические особенности процесса дуговой сварки и наплавки с использованием поперечного магнитного поля (ПОМП) изучались в работах [1-9]. Показано, что при дуговой сварке и наплавке под флюсом с воздействием ПОМП коэффициент расплавления проволоки повышается на 20...30 %, значительно уменьшается глубина и площадь зоны проплавления основного металла, измельчается структура металла шва, либо валика. Следует отметить, что во всех указанных работах применяли устройства ввода (УВ) ПОМП с П-образным магнитопроводом с двумя катушками (обмотками). Однако оптимальность именно такой схемы УВ ПОМП и оптимальность размеров ее элементов в указанных работах не обсуждалась. Не обсуждалась возможность использования конструкций УВ ПОМП, выполненных по другим схемам. Магнитное поле, которое генерирует П-образные электромагниты, представляет собой поле рассеяния в воздушном зазоре. В имеющихся литературных источниках, например, в работе [10], приведены методики определения только интегральных характеристик магнитного поля в воздушном зазоре. Для устройств ввода ПОМП для процессов дуговой сварки и наплавки необходимы локальные характеристики магнитного поля в зазоре, т.е. значения компонент индукции в зоне ниже полюсов электромагнитов. В извест-

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

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

<sup>3</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

них літературних джерел не наведені методи визначення локальних характеристик магнітного поля.

Необхідна оптимізація конструкції УВ ПОМП применительно к процесу дугової зварки проволокою під флюсом для досягнення максимального рівня поперечної компоненти індукції  $B_x$  в зоні електродної каплі, зварочної дуги і рідкого металу ванни при мінімальній величині продольної компоненти індукції  $B_z$  в цих зонах.

**Цель статті** – установити особливості будови поперечного магнітного поля, генерованого УВ ПОМП, применительно к процесу дугової зварки.

**Изложение основного материала.** Для выполнения исследований были изготовлены стержни сечением  $26 \times 16$  мм из пластин из малоуглеродистой стали, а также четырехслойные катушки из медного провода диаметром 1,0 мм высотой 30 мм. Длина стержней составляла 130 мм. В конструкциях УВ ПОМП с перемычкой 3 (рис. 1,б,в) угол наклона стержней к вертикали составлял  $\alpha = 22^\circ$ . Ширина стержней (в плане) составляла  $b = 26$  мм, толщина стержней составляла 16 мм, расстояние между стержнями А и В у их нижних торцов –  $a = 40$  мм. На рис 1 ось ОХ расположена на поверхности изделия. Регулировка расстояния от торцов стержней до катушек –  $H$ , расстояние от нижних торцов стержней до изделия –  $h$ . Катушки с числом витков 100 соединяли последовательно. В катушках пропускали постоянный ток величиной 16 А.

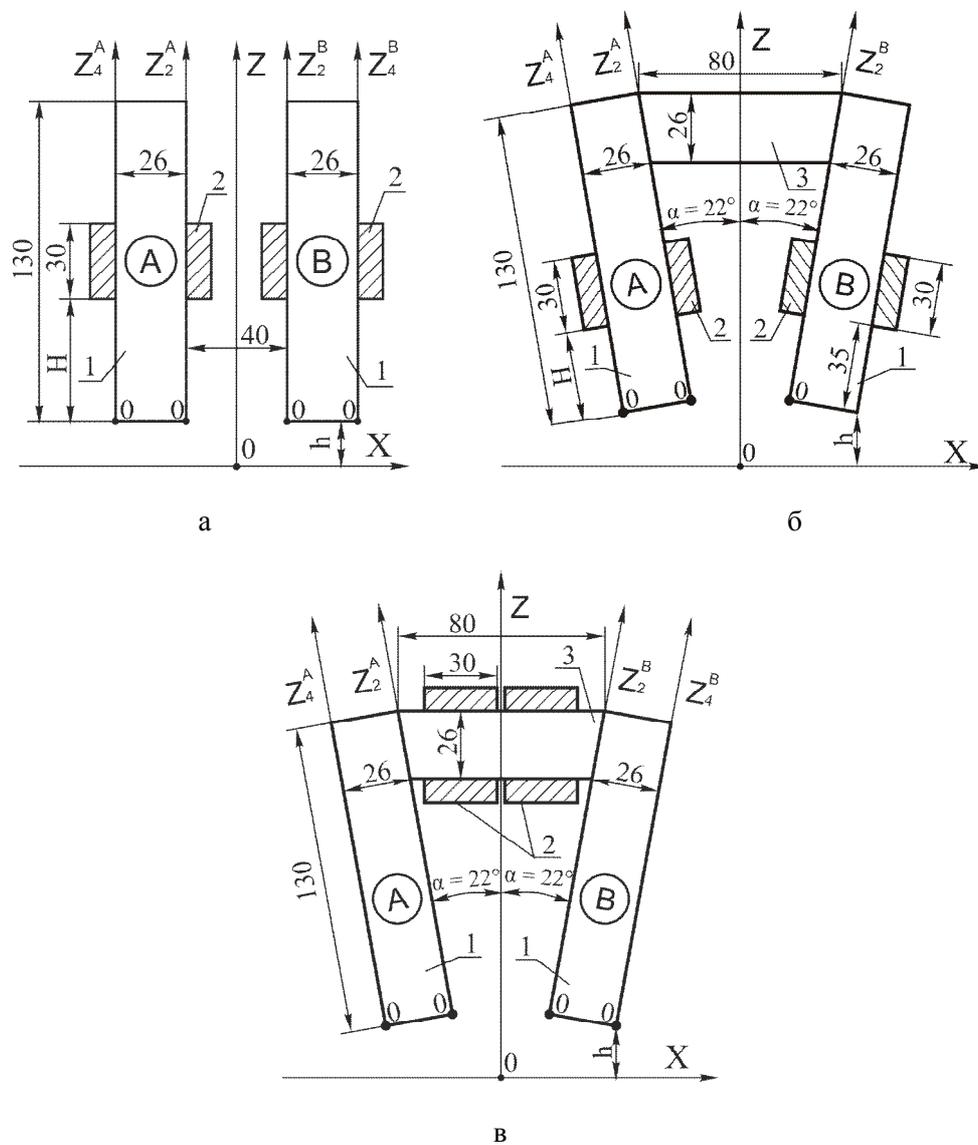


Рис. 1 – Схемы конструкций УВ ПОМП: без перемычки (а); с перемычкой (б); с катушками на перемычке (в): 1 – стержень; 2 – катушка; 3 – перемычка

На рис. 1,б,в приведены конструкции УВ ПОМП с перемычкой, а на рис. 1,а – конструкция УВ ПОМП без перемычки.

Индукцию измеряли универсальным тесламетром 43205 с датчиком Холла, имевшим базу 0,9×0,9 мм. Индукцию измеряли с шагом 10 мм вдоль оси OX, расположенной на расстоянии  $h = 15$  мм от нижних торцов стержней электромагнитов (рис. 1).

Установлено, что для всех схем УВ ПОМП (по рис. 1) распределение компонент индукции  $B_x$ ,  $B_z$  имеет одинаковый характер (рис. 2). Однако при наличии перемычки из малоуглеродистой стали такого же поперечного сечения, как и стержни, уровень индукции  $B_x$  в точке  $X = 0$ , а индукции  $B_z$  под стержнями А и В (при  $X = 20...30$  мм) приблизительно на 20...25% больше, чем в схеме из двух стержней без перемычки (по рис. 1,а). Неизменностью строения магнитного поля при изменении ряда факторов (в том числе намагничивающей силы катушек, наличия или отсутствия перемычки) может служить только неизменность относительных значений индукций в определенных точках пространства, например, вдоль оси OX (как это показано на рис. 2). Поэтому результаты измерений, приведенные на рис. 2, были обработаны. Данные показали, что распределение вдоль оси OX относительных значений индукций  $B_x/B_{x\max}$  и  $B_z/B_{z\max}$  укладываются на одни и те же линии (рис. 3). Отсюда следует важный вывод о том, что независимо от наличия или отсутствия перемычки и места расположения катушек строение магнитного поля ниже торцов стержней УВ ПОМП имеет одинаковый характер.

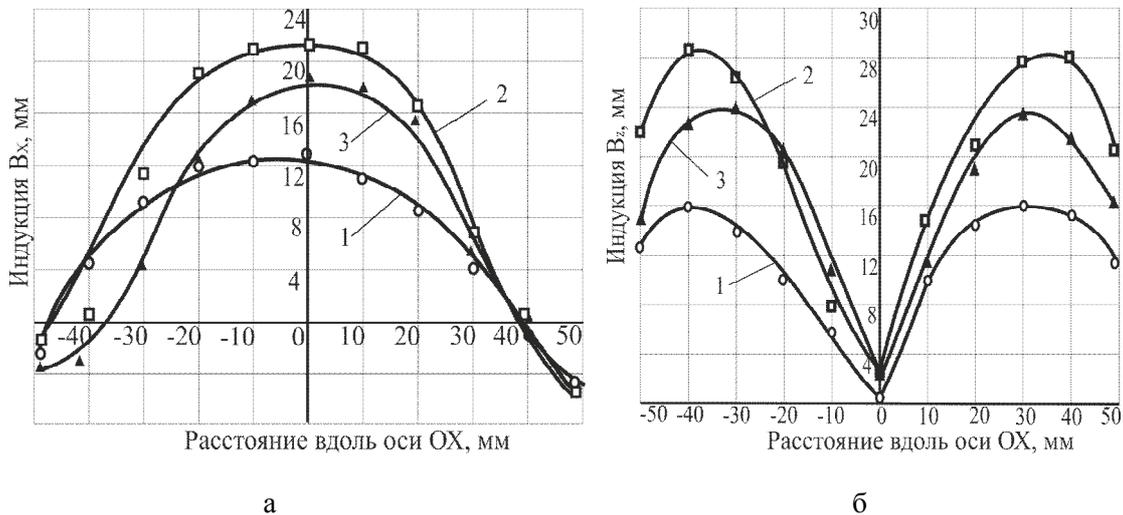


Рис. 2 – Распределение индукций  $B_x$  (а),  $B_z$  (б) вдоль оси OX ( $h = 15$  мм;  $a = 40$  мм;  $H = 35$  мм): 1 – с перемычкой по рис. 1,в; 2 – с перемычкой по рис. 1,б; 3 – без перемычки по рис. 1,а

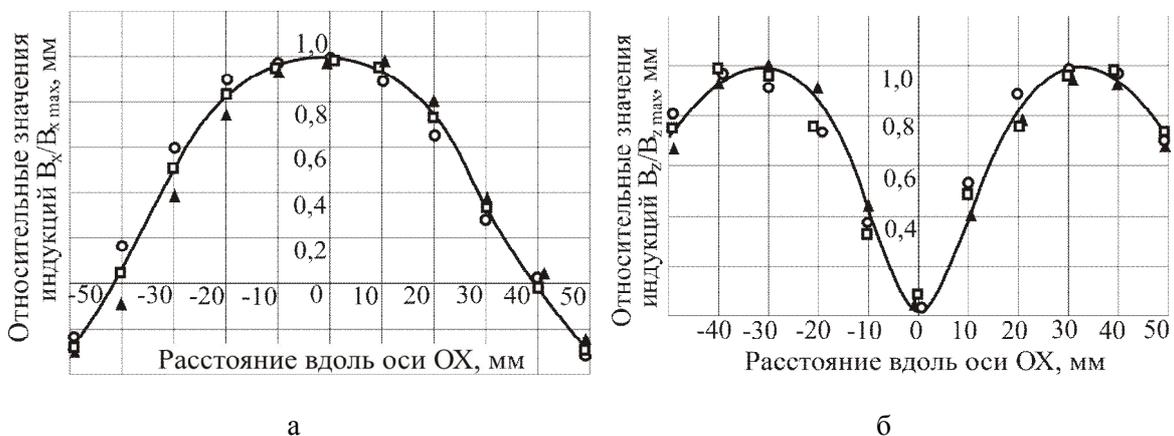


Рис. 3 – Распределение относительных значений индукций  $B_x/B_{x\max}$  (а),  $B_z/B_{z\max}$  (б) вдоль оси OX (условные обозначения приведены на рис. 2)

При уменьшении расстояния  $H$  от катушек до нижних торцов стержней А и В в нижней части (ниже катушек) возрастает намагниченность этих участков стержней. Интенсивность поля ( $B_x, B_y, B_z$ ) во всех точках ниже торцов стержней А и В возрастает. Во всех точках этого участка пространства величины компонент индукции  $B_x, B_y, B_z$ , адекватно (пропорционально, а точнее по одной и той же зависимости) возрастают. Поэтому как бы ни изменяли расстояние  $H$  относительные величины  $B_x/B_{x \max}, B_z/B_{z \max}$  в одной и той же точке остаются неизменными (в том числе в точках вдоль оси ОХ).

Именно независимость значений  $B_x/B_{x \max}, B_z/B_{z \max}$  в точках на оси ОХ от параметра  $H$ , независимость их от наличия переемычки и места расположения катушек позволяет сделать важный вывод о том, что характер распределения индукции вдоль оси ОХ у изделия не зависит от того, как замыкаются силовые линии магнитного поля в верхней части схемы УВ ПОМП: через переемычку (как в схемах по рис. 1,б,в), или по воздуху (как в схеме по рис. 1,а). Это обстоятельство предопределяет возможность в дальнейшем моделировать магнитное поле таких схем УВ ПОМП с использованием метода электролитической ванны и других методов моделирования [11]. При этом возможно использовать при моделировании систему из двух стержней без переемычки (по рис. 1,а) как наиболее простую.

С целью исследования строения магнитных полей (и обоснования возможности моделирования магнитных полей) необходимо измерениями установить, являются ли стержни А и В УВ ПОМП эквипотенциальными поверхностями, т.е. направлены ли нормальные компоненты индукции поля ( $B_n$ ) перпендикулярно к поверхностям стержней (в системе из двух стержней). При этом необходимо измерить и значения индукции поля, направленной вдоль поверхности (компоненты индукции  $B_z$ ). Для соблюдения требования эквипотенциальности, необходимо, чтобы значения индукции  $B_z$  были минимальны (в идеале, чтобы  $B_z = 0$ ). Для проверки этого положения выполнены измерения индукции постоянного магнитного поля ( $B_x, B_z$ ) у поверхностей стержней для приведенных на рис. 1 схем УВ ПОМП.

Измерения нормальной компоненты индукции ( $B_x$ ) выполняли в точках, расположенных на расстоянии 1...2 мм от боковых поверхностей стержней. Система использованных при этом координат приведена на рис. 1.

Данные показали (рис. 4), что вдоль боковых поверхностей стержней выше и ниже расположения катушек распределение нормальной компоненты индукции  $B_x$  достаточно равномерное. Однако у внутренних поверхностей стержней индукция  $B_x$  приблизительно в 1,5 раза больше, чем у наружных поверхностей. Характерно также, что у торцов стержней и у краев катушек имеет место «всплеск» значений индукции  $B_x$ . Однако это увеличение (всплеск) наблюдается на участках стержней длиной не более чем 5...10 мм.

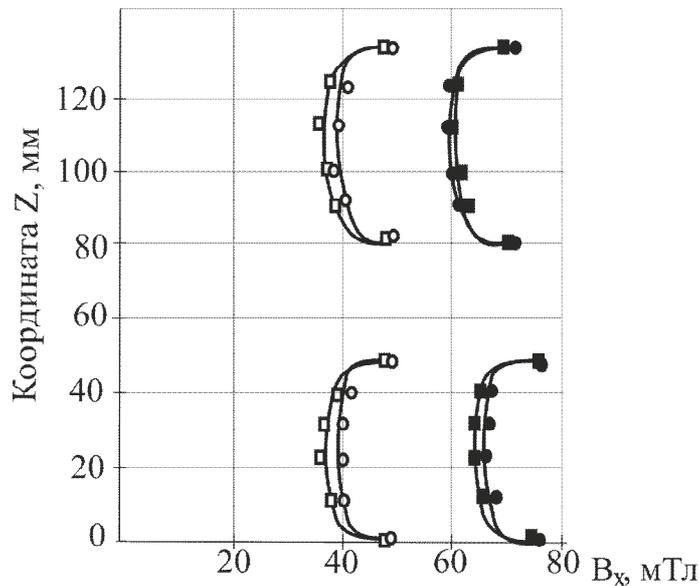


Рис. 4. – Распределение индукции  $B_x$  ( $B_n$ ) у поверхностей стержней А и В вдоль осей: 1 –  $Z^A_4$ ; 2 –  $Z^A_2$ ; 3 –  $Z^B_4$ ; 4 –  $Z^B_2$

На рис. 5 приведенные данные о распределении индукции у боковых поверхностей поперечных сечений стержней А и В (по рис. 1,а) вдоль оси ОУ.

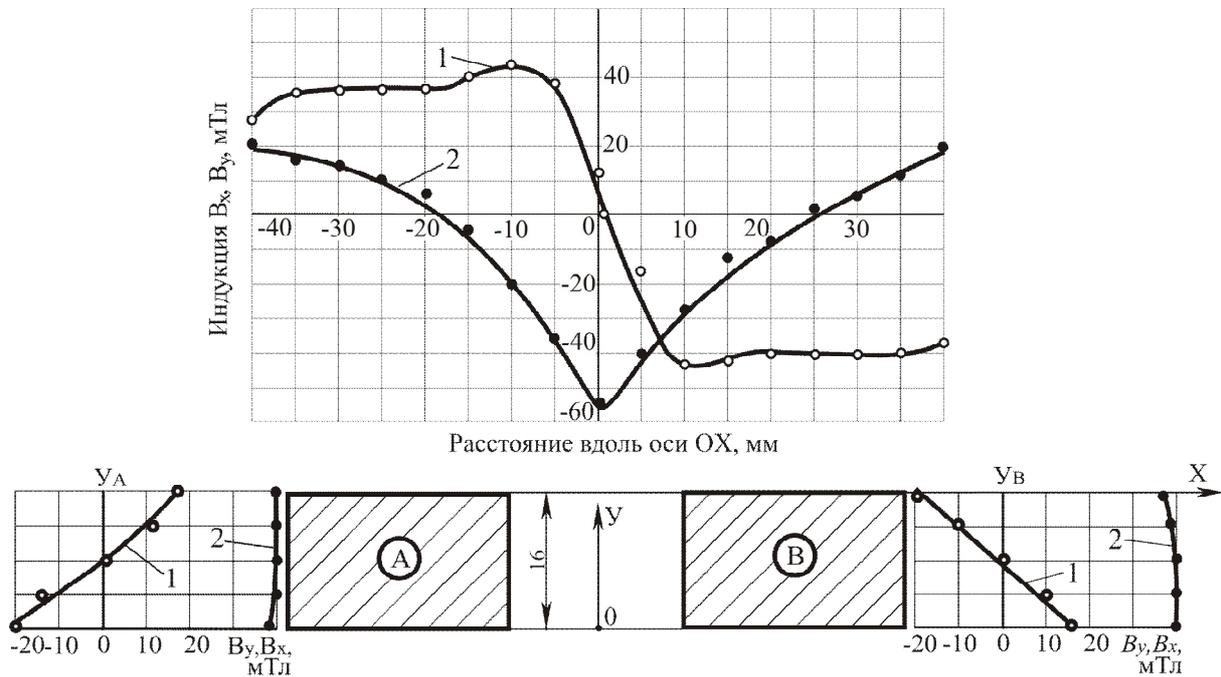


Рис. 5 – Распределение компонент индукции  $B_x$ ,  $B_y$  у поверхностей стержней (в сечении  $Z = 30$  мм): 1 –  $B_y$ , 2 –  $B_x$

Данные показывают, что у боковых поверхностей поперечных сечений стержней ( $Y_A$ ,  $Y_B$ ) нормальные компоненты индукции  $B_x$  значительно больше касательных  $B_y$ . Нормальные компоненты распределены достаточно равномерно в направлении толщины стержней А и В (по оси ОУ). У верхних поверхностей стержней А и В вдоль оси ОХ (точнее, на расстоянии 2 мм от оси ОХ) нормальная компонента индукции  $B_y$  (кривая 1 в верхней части рис. 5) распределена также равномерно.

На рис. 6 приведена (схематично) картина распределения магнитных силовых линий поля полученная на основе измерений компонент индукции ПОМП, для конструкции УВ. приведенной на рис. 1,а.

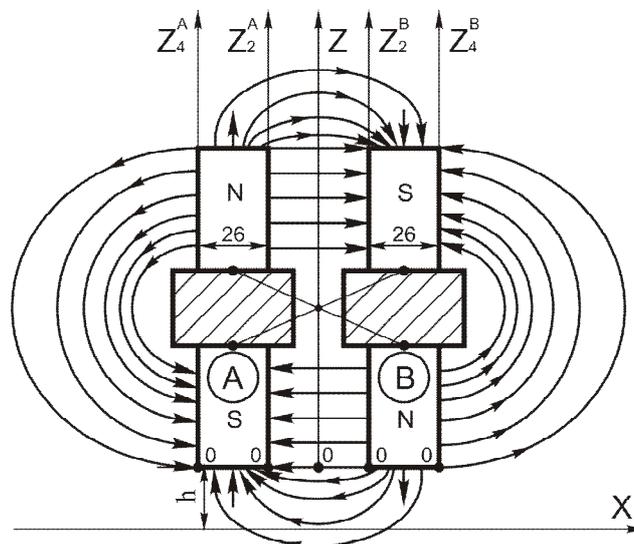


Рис. 6 – Схема магнитных силовых линий поля

Характерно, что в верхней части стержня А и нижней части стержня В линии индукции В «исходят» от стержней, а к нижней части стержня А и верхней части стержня В линии индукции «приходят». Во внутренней зоне (между стержнями А и В) индукция  $B_x$  меняет знак, а в зоне (по высоте) катушек линейно изменяются (уменьшаются) значения индукции  $B_x$  и в центре  $B_x = 0$ .

Аналогичные исследования выполнены и для двухстержневых систем УВ ПОМП с переключками. На рис. 7 схематично приведены эпюры нормальных компонент индукции  $B_n$  у боковых поверхностей стержней систем, которые показывают, что поверхности стержней эквипотенциальны. У внутренних боковых поверхностей стержней величина нормальной компоненты индукции в 1,5 раза больше, чем у наружных боковых поверхностей стержней. В нижней части стержней у всех трех схем УВ ПОМП (по рис. 1) ход линий индукции аналогичен. Отличается только уровень намагниченности нижней части стержней, что и обусловило различный уровень индукции  $B_x$  и  $B_z$  вдоль оси ОХ для этих трех схем УВ ПОМП (см. рис. 2).

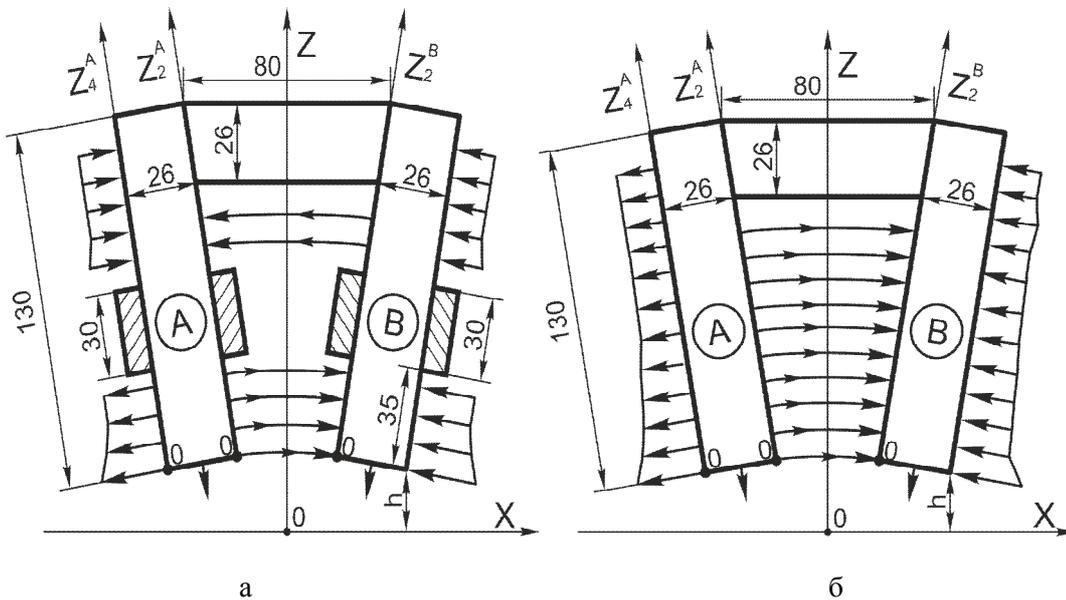


Рис. 7 – Направления линий индукции у поверхностей стержней УВ ПОМП (и их эпюры у наружных поверхностей стержней): а – по схеме рис.1,б; б – по схеме рис. 1,в

### Выводы

1. Установлено, что характер распределения поперечной и продольной компонент индукции ПОМП у поверхности немагнитного изделия (пластины) не зависит от расстояния катушек до торцов стержней, от наличия переключки и места расположения катушек в УВ ПОМП.
2. При наличии переключки и расположении катушек на стержнях системы УВ ПОМП уровень индукции у изделия повышается на 20...30% по сравнению с вариантом, когда не имеется переключки в верхней части стержней УВ ПОМП.

### Список использованных источников:

1. 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. 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. Применение магнитных колебаний при сварке под флюсом / М.З. Шейкин, Н.Ф. Варяхов // Сварочное производство. – 1969. – № 6. – С. 24-25.
  5. 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. 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. Магнитное управление при газоэлектрической сварке плавящимся электродом / Ю.А. Деминский, В.И. Дятлов // Автоматическая сварка. – 1963. – № 4. – С. 82-83.
  8. Магнитное управление дугой при сварке плавящимся электродом в аргоне / А.И. Акулов, Б.В. Копаев // Автоматическая сварка. – 1972. – № 7. – С. 39-42.
  9. Влияние внешнего магнитного поля и параметров режима сварки на формирование сварных швов / В.П. Демянцевич [и др.] // Сварочное производство. – 1975. – № 11. – С. 7-9.
  10. Электромагниты и постоянные магниты. / А.Г. Сливинская. – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
  11. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.

**Bibliography:**

1. 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. 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. Magnetic vibrations application at welding under a flux / M.Z. Sheinkin, N.F. Varyahov // Svarochnoe proizvodstvo. – 1969. – № 6. – P. 24-25. (Rus.)
5. 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. 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. Magnetic management at the gas-electric welding by consumable electrode / Yu.A. Deminskii, V.I. Dyatlov // Avtomaticheskaya svarka. – 1963. – № 4. P. 82-83.
8. Arc magnetic management at the welding by consumable electrode in an argon / A.I. Akulov, B.V. Kopaev // Avtomaticheskaya svarka. – 1972. – № 7. – P. 39-42.
9. External magnetic field and welding conditions parameters influence on welds / V.P. Demyantsevich [and other] // Svarochnoe proizvodstvo. – 1975. – № 11. – P. 7-9.
10. Elecromagnets and permanent magnets / A.G. Slivinskaya. – M: Energy, 1972. – 248 p. (Rus.).
11. Theory of electrical engineering. Electromagnetic field / L.A. Bessonov. – M: Vysshaya shkola, 1986. – 263 p. (Rus.)

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

Статья поступила 02.10.2013