



## УСТРОЙСТВА ВВОДА ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ (Обзор)

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, М. В. МИРОНОВА, С. В. ЯРМОНОВ

Приазовский государственный технический университет МОН Украины.

Украина, г. Мариуполь, пер. Республики, 7. E-mail: gefest@pstu.edu

При дуговой сварке и наплавке перспективно применение управляющих продольных и поперечных магнитных полей, позволяющих повысить производительность расплавления электродной проволоки, измельчить структуру металла шва (наплавленного валика) и уменьшить глубину проплавления основного металла. При дуговой сварке и наплавке в основном определяли влияние поперечных магнитных полей на геометрические размеры швов (валиков) и производительность расплавления электрода. При этом в работах либо не приводятся конструкции устройств ввода, либо они даются без обсуждения вопроса об оптимальности принятых конструктивных решений, а также размеров каждого элемента этих устройств. Целью настоящей работы явился анализ известных конструкций устройств ввода для оценки эффективности применения их в процессах дуговой сварки и наплавки. Показано, что приведенные в работах устройства представляют собой электромагнит с П-образным ферросердечником с воздушным зазором и обмотками. В некоторых работах измеряли только поперечную компоненту магнитного поля  $B_x$  и не измеряли продольную компоненту индукции  $B_z$ , которую индуцировали применявшиеся устройства ввода. Однако на форму и размеры сечения швов и наплавленных валиков в этом случае могла влиять не только поперечная  $B_x$ , но и продольная компонента магнитного поля  $B_z$ . Проанализированы особенности конструкций, а также распределение компонент индукций  $B_x$ ,  $B_z$ , которые генерируют известные схемы устройства ввода поперечных магнитных полей в зоне сварочной дуги и ванны, отмечены их недостатки. Показана актуальность разработки новых схем, а также целесообразность оптимизации конструктивных размеров известных схем устройств для повышения эффективности дуговой сварки и наплавки с воздействием поперечных магнитных полей. Библиогр. 15, рис. 5.

*Ключевые слова:* дуговая сварка и наплавка, продольное и поперечное магнитное поле, индукция магнитного поля, устройство ввода поперечного магнитного поля

Применение при дуговой сварке и наплавке продольных (ПРМП) и поперечных магнитных полей (ПОМП) в основном позволяет повышать производительность расплавления электродной проволоки, измельчать структуру металла шва (наплавленного валика) и уменьшать глубину проплавления основного металла. Следует отметить, что во всех работах, в которых при дуговой сварке и наплавке используют ПРМП либо ПОМП принято, что продольная компонента индукции  $B_z$  направлена вдоль оси электрода, а поперечная компонента индукции  $B_x$  (либо  $B_y$ ) — перпендикулярно к оси электрода, т. е. расположена в плоскости наплавляемого изделия (пластины).

В работах [1, 2] рассмотрены устройства ввода (УВ) ПРМП, представляющие собой соленоид с ферромагнитным сердечником, наличие которого значительно увеличивает продольную компоненту индукции в зоне сварочной дуги и жидкого металла ванны. Применительно к режимам дуговой сварки и наплавки с воздействием ПРМП в работе [3] рассчитаны оптимальные размеры соленоида с круглым ферромагнитным сердечником с отверстием для прохождения сварочной проволоки.

Данные о конструкциях УВ ПОМП для процессов дуговой сварки и наплавки многочисленны.

© А. Д. Размышляев, М. В. Миронова, С. В. Ярмонов, 2013

В некоторых статьях, посвященных в основном рассмотрению влияния ПОМП на геометрию швов (валиков) при дуговой сварке (наплавке), сведения об использованных конструкциях УВ ПОМП не приводятся. Вопрос их оптимального применения в большинстве работ не обсуждался. Рассмотрим более подробно существующие конструкции УВ ПОМП применительно к дуговой сварке и наплавке плавящимся электродом.

Следует отметить, что в работах [4–9] исследованы различные аспекты процессов сварки и наплавки с воздействием ПОМП, но в них не приведены данные о применявшихся конструкциях УВ ПОМП. В работах [10–15] рассмотрены УВ ПОМП, построенные по одной и той же схеме — электромагнит с П-образным ферросердечником с воздушным зазором и обмотками.

В одной из первых работ, посвященной исследованию влияния переменного ПОМП на геометрию стыковых швов при сварке стали Ст.3 проволокой Св-08А под флюсом АН-348А, показано, что для создания ПОМП использован специальный электромагнит, который крепился к автомату АДС-1000 [10]. Установлено, что при переходе от пластины без разделки к пластине с разделкой магнитная индукция снижалась в 4...7 раз. Применение ПОМП при дуговой наплавке под флюсом способствовало снижению глубины проплавления на 10...50 % и

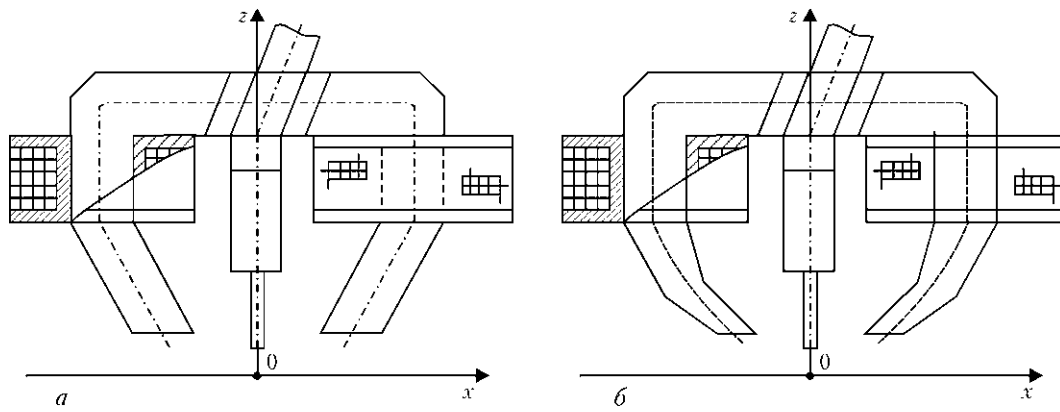


Рис. 1. Схема электромагнитов с постоянным (а) и переменным (б) сечением полюсов [11]

увеличению ширины шва на 20...25 %. Однако в этой работе не приведена конструкция применявшегося УВ ПОМП.

В работе [11] рассмотрено УВ ПОМП в виде П-образного электромагнита с двумя катушками, размещенными на стержнях с постоянным (рис. 1, а) и переменным (рис. 1, б) сечением полюсов, применительно к сварке проволокой Св-08ГА постоянным током под флюсом АН-348А кольцевых поворотных стыков стальных труб (толщина стенки 11...12 мм).

Установлено, что качественное формирование швов обеспечивалось при количестве 3000...7500 ампер-витков и сечении магнитопровода 25×25 мм с воздушным зазором между полюсами 20...30 мм. Данное устройство с электромагнитами постоянного сечения обеспечивало при равных условиях большую индукцию магнитного поля, чем устройство со стержнями переменного сечения, сужающимися в направлении к полюсам. Заметим, что в этой работе в зоне стыка измеряли только поперечную компоненту магнитного поля  $B_x$ . Однако в этой же зоне значительна величина продольной компоненты индукции  $B_z$ , которая не из-

мерялась. На форму швов в этом случае могла влиять не только поперечная, но и продольная компонента индукции магнитного поля.

В работе [12] приведено УВ ПОМП для наплавки цилиндрических образцов диаметром 76 мм из стали 45, представляющее собой электромагнит с П-образным сердечником (рис. 2), которое использовали при наплавке под флюсом проволокой Нп-30ХГСА. Показано, что при воздействии ПОМП изменяется коэффициент расплавления электродной проволоки. Однако данное устройство применяется только при наплавке узлов цилиндрической формы и не применяется для наплавки плоских изделий. Еще одним недостатком такого устройства ввода является ограничен-

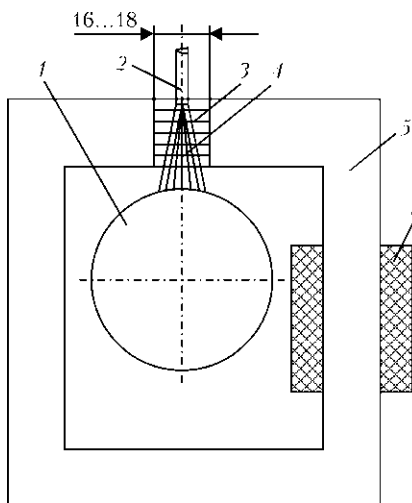


Рис. 2. Схема УВ ПОМП в зону горения сварочной дуги [12]: 1 — наплавляемый образец; 2 — электродная проволока; 3 — магнитные силовые линии; 4 — столб сварочной дуги; 5 — сердечник электромагнита; 6 — катушка

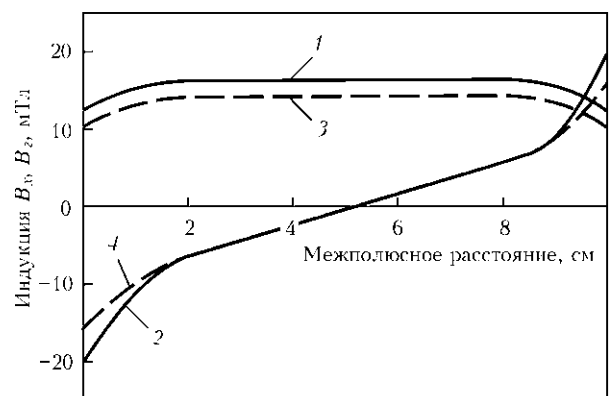
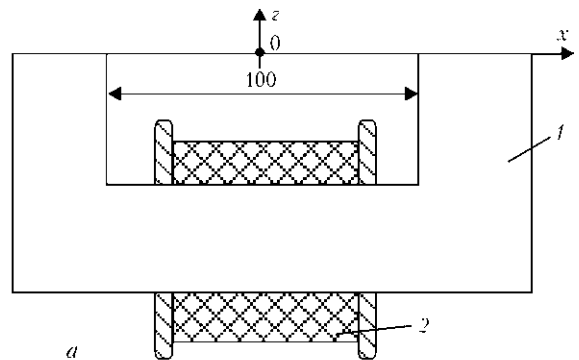


Рис. 3. Схема электромагнитного устройство ввода (а) и распределение индукции между его полюсами (б): 1, 3 —  $B_x$ ; 2, 4 —  $B_z$ ; 1, 2 —  $y = 0$ ; 3, 4 — 10 мм

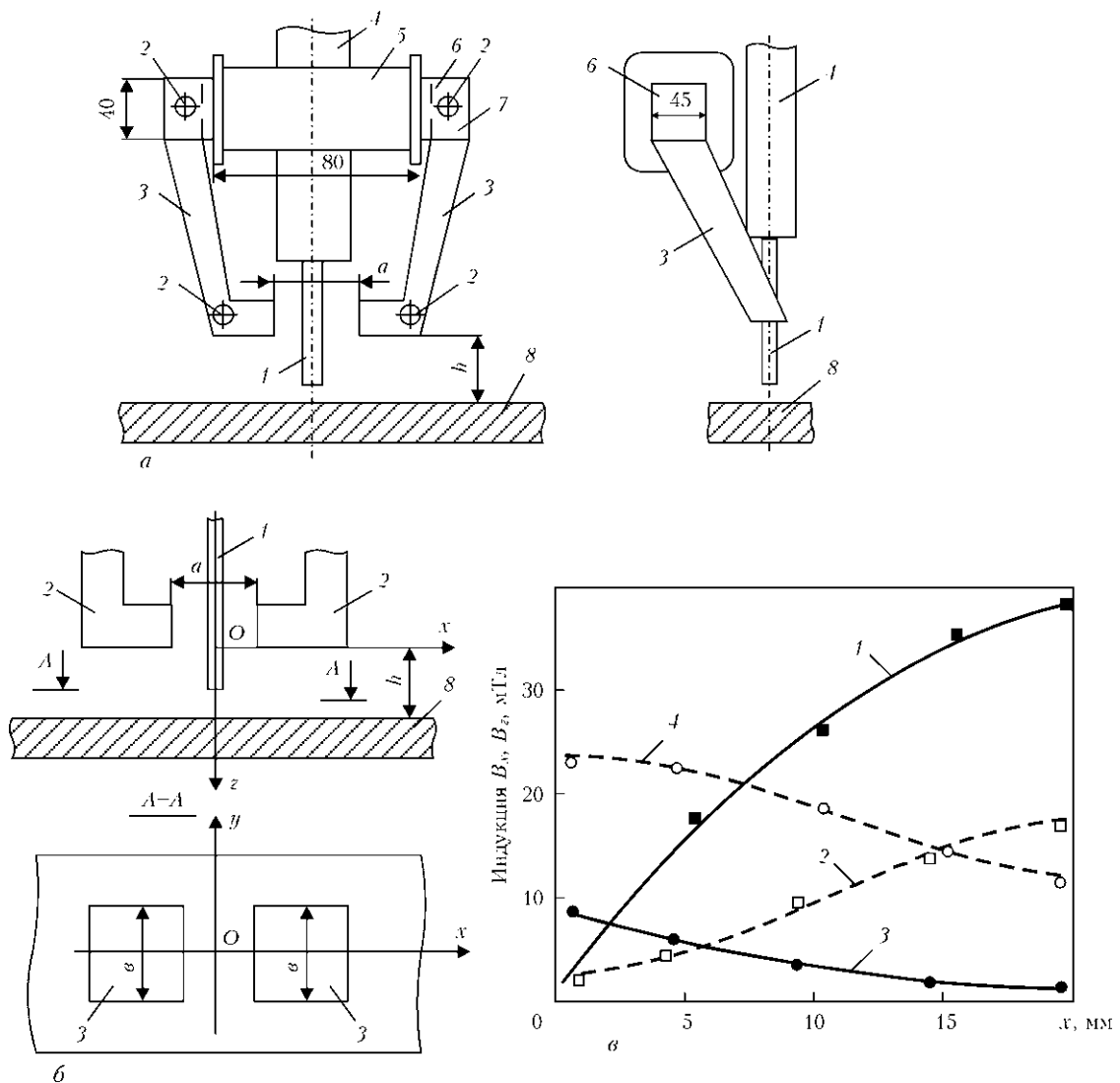


Рис. 4. Схема устройства для создания ПОМП (а), система координат при измерении индукции магнитного поля (б) (обозначения см. в тексте) и распределение компонент индукции  $B_z, B_x$  ПОМП в направлении оси  $Ox$  (б) [14]: 1, 2 — индукция  $B_z$ ; 3, 4 — индукция  $B_x$ ; 1, 3 — изделие-ферромагнетик; 2, 4 — изделие из немагнитного материала ( $y = 0$ ;  $h = 20$  мм;  $Iw = 1920$ )

ный диаметр изделий, восстанавливаемых путем наплавки.

В работе [13] для воздействия на дугу ПОМП при наплавке проволокой под флюсом применяли устройство, состоящее из П-образного магнитопровода 1 (сталь 45) и катушки из изолированной медной проволоки 2 (количество витков  $w = 120$ ) (рис. 3, а). Наплавляемые пластины из немагнитной стали 1218Н10Т толщиной 15...20 мм укладывали на полюса этого П-образного магнитопровода. При такой конструкции устройства ввода поперечная компонента индукции магнитного поля  $B_x$  вдоль центральной части между полюсами (у поверхности наплавляемой пластины) распределялась равномерно и была больше, чем нормальная компонента индукции  $B_z$  (рис. 3, б). Показано, что воздействие знакопеременного ПОМП приводит к расширению наплавленных валиков. При частоте 50 Гц ПОМП расширение валика

происходит пропорционально индукции  $B_x$ . Однако такая конструкция УВ ПОМП может быть использована для исследовательских целей и только для сварки немагнитных материалов и сплавов.

В работе [14] представлено устройство (рис. 4, а), состоящее из магнитопровода 7, собранного из листов электротехнической стали, каркаса катушки 5 с количеством витков  $w = 480$ , расположенной на магнитопровode 6. Стержни магнитопровода 3 (сечение  $25 \times 25$  мм) имели зазор шириной  $a$ , через который проходила электродная проволока 1. Стержни магнитопровода соединены болтами 2. Устройство крепили к мундштуку 4 сварочного автомата с помощью хомутов (на рис. 4, а не показаны).

Установлено, что тангенциальная компонента индукции  $B_x$  у поверхности ферромагнитной пластины максимальна в центре системы и умень-

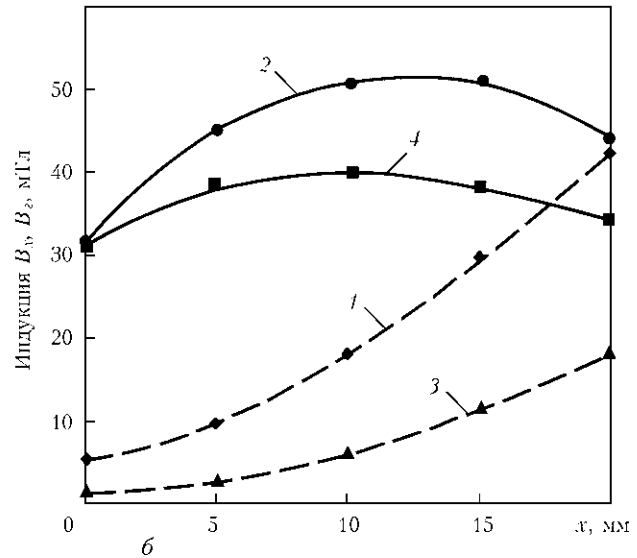
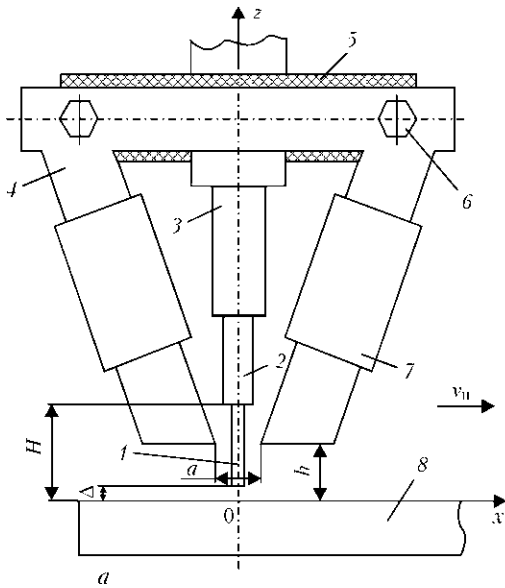


Рис. 5. Схема устройства для создания ПОМП (а) (обозначения см. в тексте) и распределение компонент индукции  $B_z$ ,  $B_x$  ПОМП вдоль оси  $Ox$  ( $z = 0$ ,  $y = 0$ ,  $I_k = 60$  А) [15]: 1, 3 — индукция  $B_z$ ; 2, 4 — индукция  $B_x$ ; 2 — постоянное ПОМП; 3, 4 — переменное ПОМП частотой 50 Гц

шается от оси электрода к полюсам электромагнита (рис. 4, в). Наличие ферромагнитного изделия значительно (примерно в 4-6 раз) снижает  $B_x$  и увеличивает нормальную составляющую индукции  $B_z$  у поверхности ферромагнетика (см. рис. 4, в), что связано с ослабляющим действием ферромагнетиков на касательную (поперечную) компоненту индукции ПОМП.

В работе [15] для создания управляющего ПОМП разработано устройство, схема которого приведена на рис. 5, а. Устройство представляет собой магнитопровод 4, состоящий из трех участков. Два наклонных участка, на которых размещены катушки 7, а также горизонтальный участок, соединенный с наклонными с помощью болтовых соединений 6. Магнитопровод собран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сечение набора 30×20 мм. Количество витков одной катушки составляло  $w = 70$ . Устройство, генерирующее ПОМП, крепилось к сварочному автомату типа АДС-1002 с помощью хомутов. При этом магнитопровод 4 был изолирован от автомата изолятором 5. С помощью автомата можно изменять параметр  $H$  (вылет электрода), т. е. расстояние между токоподводящими губками 2 и пластиной 8, а также расстояние  $h$  от торцов магнитопровода 4 до поверхности пластины 8. Конструкция устройства позволяла изменять расстояние между нижними участками магнитопровода у торца электрода (параметр  $a$ ). Электродная проволока 1 проходила через мундштук 3 (на рис. 5, а приведена система координат, принятая для исследования магнитного поля, при этом начало координат располагалось на поверхности пластины под осью электрода).

При измерениях индукции ПОМП выдерживали постоянными расстояние от торца электрода до поверхности пластины  $\Delta = 5$  мм, величину вылета электрода  $H = 25$  мм, параметр  $h = 25$  мм, расстояние между нижними торцами магнитопровода по горизонтали  $a = 35$  мм. При исследовании индукции магнитного поля использовали проволоку Св-12Х18Н10Т диаметром 4 мм, а в качестве основного металла — пластины из стали 12Х18Н10Т.

Распределение индукции  $B_z$  постоянного и переменного ПОМП частотой 50 Гц носит возрастающий характер по мере удаления от оси  $Oz$  к полюсам устройства по оси  $Ox$  (рис. 5, б, кривые 1, 3). Характерно, что в зоне под торцом электрода компонента индукции  $B_z$  значительно меньше, чем компонента  $B_x$  (рис. 5, б, кривые 2, 4). Кроме того, при протекании постоянного тока в катушках УВ ПОМП компонента индукции  $B_x$  больше, чем при протекании переменного тока частотой 50 Гц. Это, по-видимому, обусловлено тем, что при использовании переменного тока частотой 50 Гц в магнитопроводе устройства имеют место потери на токи Фуко и петлю гистерезиса.

Следует отметить, что приведенные на рис. 4, в и 5, б данные о характере распределения индукции  $B_x$  вдоль оси  $Ox$  различны. Это связано, на наш взгляд, с влиянием формы концов стержней УВ ПОМП на распределение индукции  $B_x$  вдоль оси  $Ox$ . В рассмотренных статьях этот вопрос не обсуждался и требует дальнейшего изучения.

Учитывая данные работы [14] о том, что при наличии изделия из ферромагнитной стали продольная компонента индукции  $B_z$  в зоне сварочной



ванны практически на порядок больше, чем поперечная компонента индукции  $B_x$  ПОМП (см. кривые 1, 3 на рис. 4, в), можно полагать, что установленные в работах [10–12] эффекты влияния ПОМП на геометрические размеры сечений швов и наплавленных валиков обусловлены воздействием не только поперечной, но и продольной компоненты индукции ПОМП.

Таким образом, ранее опубликованные работы по исследованию влияния ПОМП на геометрические размеры швов при дуговой сварке и наплавке не учитывали особенности конструкции УВ ПОМП. Эта задача представляется актуальной применительно к процессам дуговой сварки и наплавки.

1. *Сварка с электромагнитным перемешиванием* / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брисман и др. — Киев: Техніка, 1983. — 127 с.
2. *Черныш В. П., Кухарь С. Н.* Оборудование для сварки с электромагнитным перемешиванием. — Киев: Вища шк., 1984. — 56 с.
3. *Размышляев А. Д., Маевский В. Р., Сидоренко С. М.* Расчет индукции магнитного поля соленоида с ферромагнитным сердечником применительно к дуговой наплавке // *Автомат. сварка.* — 2001. — № 8. — С. 22–24.
4. *Демшинский Ю. А., Дятлов В. И.* Магнитное управление при газозлектрической сварке плавящимся электродом // Там же. — 1963. — № 4. — С. 82–83.
5. *Акулов А. И., Копаев Б. В.* Магнитное управление дугой при сварке плавящимся электродом в аргоне // Там же. — 1972. — № 7. — С. 39–42.
6. *Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле* / А. М. Болдырев, Ю. С. Ткаченко, Н. П. Толоконников и др. // Там же. — 1975. — № 7. — С. 70–71.
7. *Магнитное управление формированием шва при автоматической сварке под флюсом* / Ю. Г. Гаген, И. В. Перун, С. Т. Добровольский и др. // Там же. — 1975. — № 11. — С. 73–74.
8. *Демянцевич В. П., Лебедев Г. А., Максимец Н. А.* Влияние внешнего магнитного поля и параметров режима сварки на формирование сварных швов // *Свароч. пр-во.* — 1975. — № 11. — С. 7–9.
9. *Размышляев А. Д.* Управление геометрическими размерами шва при дуговой сварке и наплавке воздействием магнитных полей (Обзор) // Там же. — 1994. — № 9. — С. 28–31.
10. *Шейкин М. З., Шмелева И. А., Варяхов Н. Ф.* Применение магнитных колебаний при сварке под флюсом // Там же. — 1969. — № 6. — С. 24–25.
11. *Пацкевич И. Р., Зернов А. В., Иванцов В. Я.* Распределение индукции наведенного магнитного поля в зоне горения сварочной дуги // Там же. — 1970. — № 2. — С. 9–10.
12. *Влияние внешнего электромагнитного поля на скорость плавления электродной проволоки при автоматической наплавке под флюсом* / П. А. Иофинов, В. С. Ибрагимов, А. К. Дмитриенко и др. // Там же. — 1991. — № 1. — С. 34–35.
13. *Размышляев А. Д., Маевский В. Р.* Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом // *Автомат. сварка.* — 1996. — № 2. — С. 17–19.
14. *Размышляев А. Д.* Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке. — Мариуполь: ПГТУ, 2000. — 245 с.
15. *Размышляев А. Д., Миронова М. В.* Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля // *Автомат. сварка.* — 2011. — № 5. — С. 48–51.

Поступила в редакцию 24.10.2012

### **III Международная специализированная выставка ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА**

12–14 марта 2013 г.

Санкт-Петербург, Россия

*Выставка BLECH Russia — это единственная в России выставка, полностью посвященная оборудованию и технологиям для обработки листового металла.*

*Производство и обработка листового металла в XXI веке является необходимым элементом функционирования автомобильной, судостроительной и аэрокосмической промышленности, производства бытовой техники. Широко используется листовый металл в отоплении, вентиляции и многих других секторах гражданского строительства.*

*Выставка BLECH Russia входит во всемирно известный сетевой проект BLECH. Проект включает целое семейство специализированных мероприятий, крупнейшее из которых — EuroBlech (Германия) — выставка номер один в мире по оборудованию и технологиям для обработки листового металла.*