

УДК 621.791.75

Размышляев А. Д., Миронова М. В.

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Технологические особенности процесса дуговой сварки и наплавки с использованием поперечного магнитного поля (ПОМП) изучались в работах [1–8]. Частично обзор этих данных приведен в работе [1]. В указанных работах было установлено следующее.

При сварке плавящимся электродом в аргоне [2, 3] электродной проволокой диаметром 1,0...1,2 мм наблюдали снижение глубины проплавления и увеличение ширины шва. При сварке и наплавке проволокой диаметром 3 и 4 мм под флюсом АН-348А при воздействии ПОМП частотой 50 Гц глубина проплавления уменьшалась приблизительно в 1,5 раза и несколько возрастала ширина шва (валика) [4]. В работе [5] при наплавке проволокой Св-08А диаметром 4 мм ( $I_{св} = 400$  А,  $U_0 = 34$  В,  $V_{св} = 30$  м/ч) наблюдали снижение доли участия основного металла в наплавленном ( $\gamma$ ) в пределах 0,3...0,5 при воздействии постоянного ПРМП, т. е. наблюдали аналогичный эффект. При наплавке валиков проволокой Св-08ГА диаметром 2,0 мм под флюсом АН-348А и изменении частоты ПОМП в пределах  $f = 0...20$  Гц и индукции магнитного поля – В = 0...0,015 Тл (при обратной полярности) приведены данные, которые являются не количественными, а качественными, т. е. определяют тенденцию влияния частоты индукции ПОМП на глубину проплавления металла и ширину валика [6]. В работе [7] показано, что при наплавке проволокой Св-08А диаметрами 4 и 5 мм под флюсом АН-348А на пластины из стали Ст3 воздействие ПОМП частотой 50 Гц привело к уменьшению глубины проплавления металла и увеличению ширины валика.

Отмечено, однако, что при величине индукции ПОМП у поверхности пластины свыше 18...20 мТл происходили обрывы дуги, что не позволило применить более высокие индукции ПОМП. Влияние ПОМП на коэффициент расплавления проволоки ( $\alpha_p$ ) диаметром 1,8...2,0 мм под флюсом при наплавке рассмотрено только в одной работе [8]. Установлено, что воздействие ПОМП приводит к незначительному увеличению коэффициента расплавления электродной проволоки, а именно с 11,7 до 12,2 г/А·ч. При наплавке под флюсом обычно применяют электродные проволоки диаметром 3...5 мм, но данных о влиянии ПОМП на  $\alpha_p$  таких электродов нет. Этот вопрос потребовал изучения, поскольку эффективность процесса наплавки определяется не только параметрами зоны проплавления основного металла, но и значением  $\alpha_p$  электрода.

Целью данной работы является исследование влияния поперечного магнитного поля на коэффициент расплавления электродной проволоки ( $\alpha_p$ ) диаметров 3...5 мм при дуговой наплавке под слоем флюса.

Для создания управляющего ПОМП разработано устройство, схема которого приведена на рис. 1.

Устройство представляет собой магнитопровод (4), состоящий из трёх участков. Два наклонных участка, на которых размещены катушки (7), а также горизонтальный участок, соединённый с наклонными с помощью болтовых соединений (8). Магнитопровод собран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сечение набора 30 × 20 мм. Две катушки выполнены двухслойно из медного изолированного провода диаметром 2 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) изолировался от автомата изолятором (5). Автомат позволял изменять параметр  $H$  (вылет электрода), т. е. расстояние между токоподводящими губками (2) и пластиной (6), а также

$h$  – расстояние от торцов магнитопровода (4) до поверхности пластины (6). Конструкция устройства позволяла изменять расстояние между нижними участками магнитопровода у торца электрода (параметр  $a$ ). Электродная проволока (1) проходила через мундштук (3). На рис. 1 приведена также система координат, принятая для исследования магнитного поля. При этом начало координат располагалось на поверхности пластины под осью электрода. Для изучения конфигурации ПОМП в зоне капли и дуги проводились измерения осевой  $B_x$  и продольной  $B_z$  компонент индукции.

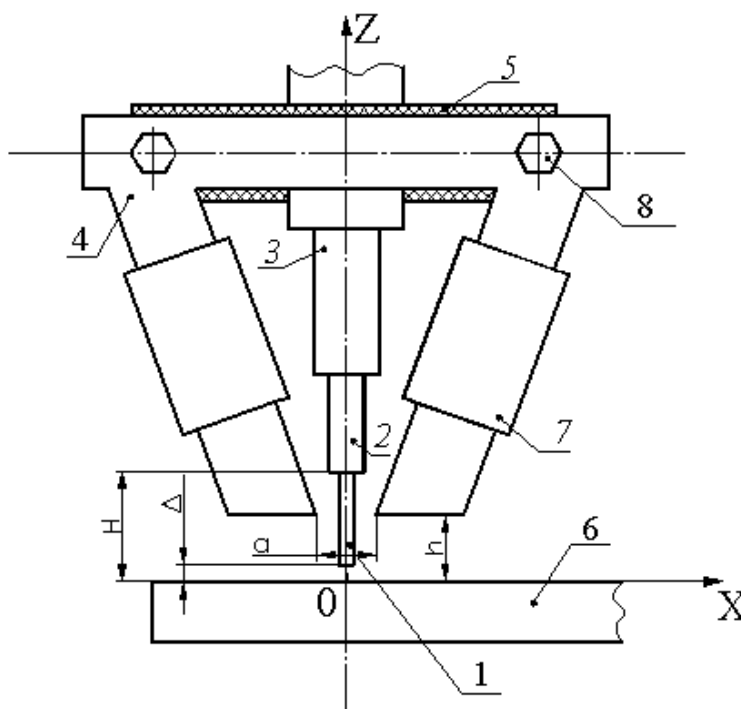


Рис. 1. Схема устройства для создания ПОМП:

1 – электродная проволока; 2 – токоподводящие губки; 3 – мундштук; 4 – магнитопровод; 5 – изолятор; 6 – изделие (пластина); 7 – катушки; 8 – болтовые соединения

Измерения осевой  $B_x$  и продольной  $B_z$  компонент индукции проводили миллитесламетром типа ЭМ-4305 с датчиком Холла с измерительной базой  $1 \times 1$  мм (для постоянного ПОМП) и миллитесламетром типа Ф-4356 (для переменного ПОМП). Измерения проводились при  $Z = 0$ ;  $Y = 0$ ; в точках  $X = 0$ ;  $X = 5$  мм;  $X = 10$  мм;  $X = 15$  мм;  $X = 20$  мм. В исследованиях использовалась проволока Св-08ГА и Св-12Х18Н10Т диаметром 4 мм, а в качестве основного металла-пластины из стали 09Г2С и 12Х18Н10Т. Анализируя данные, полученные в результате измерения осевой  $B_x$  и продольной  $B_z$  компонент индукции выполнялся поиск оптимальных условий и режимов, которые привели бы к максимальному увеличению коэффициента расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  при дуговой наплавке под слоем флюса.

При исследовании компонент индукции магнитного поля, которые генерирует устройство, приведенное на рис. 1, расстояние от торца электрода до поверхности пластины  $\Delta$  во всех экспериментах выдерживали постоянным ( $\Delta = 5$  мм). В катушках устройства пропускался постоянный ток от сварочного выпрямителя типа ВСЖ-303, либо переменный ток от сварочного трансформатора типа ТМ-402.

Распределение компонент индукции  $B_z$  и  $B_x$  для постоянного магнитного поля с использованием сварочной проволоки Св-08ГА (ферромагнетик) диаметром 4 мм и основного металла – пластины из стали 12Х18Н10Т (немагнитный материал) в зависимости от тока в катушке  $I_k$  представлены на рис. 2. При этом величина вылета электрода была равна  $H = 25$  мм (и размер  $h = 25$  мм), а расстояние между нижними торцами магнитопровода  $a = 35$  мм.

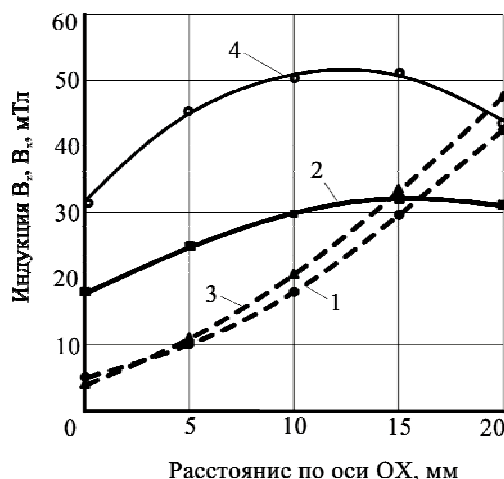


Рис. 2. Распределение индукции постоянного ПОМП вдоль оси  $OX$  ( $Z = 0, Y = 0$ ):

1, 3 – индукция  $B_z$ ; 2, 4 – индукция  $B_x$ ; 1, 2 – ток в катушке  $I_k = 40$  А; 3, 4 – ток в катушке  $I_k = 60$  А

Распределение компонент индукции  $B_z$  и  $B_x$  постоянного ПОМП носит возрастающий характер по мере удаления от оси  $OZ$  к полюсам устройства по оси  $OX$ . Характерно, что продольная компонента индукции  $B_z$  (рис. 2, кривые 1, 3) значительно меньше, чем осевая компонента  $B_x$  (рис. 2, кривые 2, 4). При увеличении тока в катушке значения компонент  $B_z$  практически не изменились, а величина осевой компоненты индукции  $B_x$  при этом значительно возросла.

Распределение компонент индукции  $B_z$  и  $B_x$  для переменного  $f = 50$  Гц ПОМП с использованием сварочной проволоки Св-08ГА (ферромагнетик) диаметром 4 мм и основного металла – пластины из стали 12Х18Н10Т (немагнитный материал) в зависимости от тока в катушке  $I_k$  представлено на рис. 3.

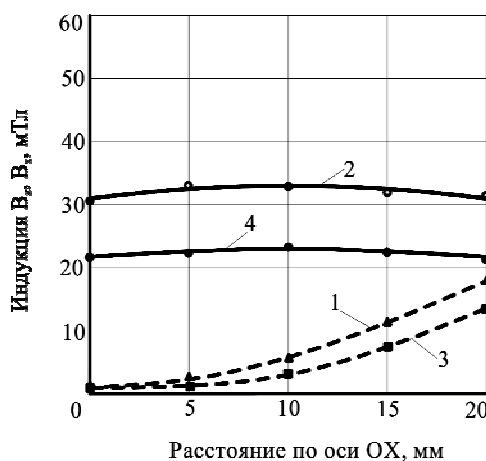


Рис. 3. Распределение индукции переменного  $f = 50$  Гц ПОМП вдоль оси  $OX$  ( $Z = 0, Y = 0$ ):

$H = 25$  мм,  $a = 35$  мм; 1, 3 – индукция  $B_z$ ; 2, 4 – индукция  $B_x$ ; 1, 2 – ток в катушке  $I_k = 60$  А; 3, 4 – ток в катушке  $I_k = 40$  А

Данные показали, что распределение осевой компоненты индукции  $B_x$  переменного ПОМП является почти неизменным (рис. 3, кривые 2, 4), а продольная компонента индукции  $B_z$  значительно меньше, чем осевая компонента  $B_x$ . При увеличении тока в катушке значительно возросла компонента индукции  $B_x$ , в то время как продольная  $B_z$  не изменилась (рис. 3, кривые 2, 3).

Были выполнены эксперименты по исследованию влияния ферромагнитных свойств электродных проволок и основного металла на распределение осевой  $B_x$  и продольной  $B_z$  компонент индукции постоянного и переменного ПОМП. При этом ток в катушке был равен  $I_k = 60$  А,  $a = 35$  мм и  $h = 25$  мм. Результаты для постоянного ПОМП приведены на рис. 4, а.

Полученные данные показывают, что при использовании ферромагнитной проволоки и ферромагнитной пластины, компонента индукции  $B_x$  в зоне под торцом электрода весьма незначительна, порядка 4 мТл, что недостаточно для управления переносом электродных капель (рис. 4, а – кривая 1).

При использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА и пластины из немагнитной стали 12Х18Н10Т осевая компонента индукции  $B_x$  в зоне под торцом электрода имеет значение порядка 30...40 мТл. Данный уровень индукции  $B_x$  является достаточным для управления переносом электродного металла (рис. 4, а, кривая 2).

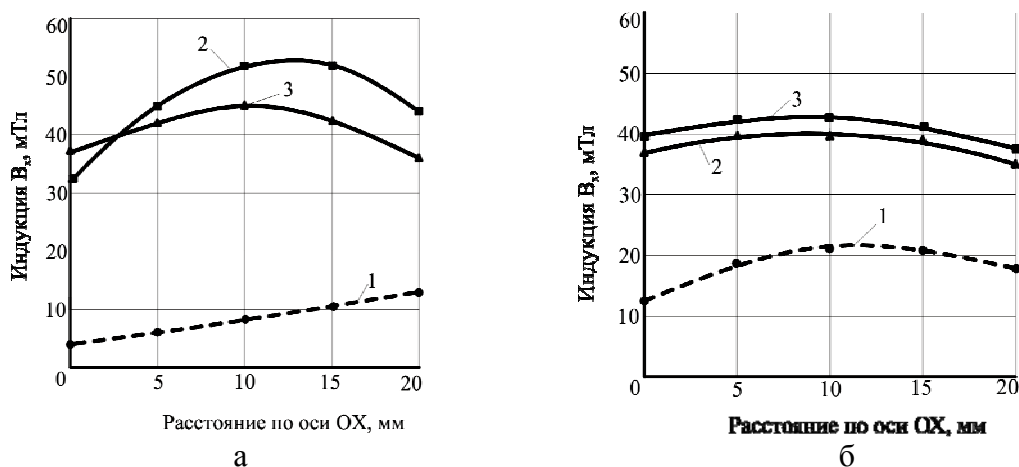


Рис. 4. Распределение индукции  $B_x$  постоянного (а) и переменного (б) ПОМП вдоль оси  $OX$  в зависимости от ферромагнитных свойств сварочной проволоки и основного металла ( $Z = 0$ ;  $Y = 0$ ;  $H = 25$  мм,  $I_k = 60$  А,  $a = 35$  мм):

1 – проволока Св-08ГА  $\varnothing 4$  мм, пластина 09Г2С; 2 – проволока Св-08ГА  $\varnothing 4$  мм, пластина 12Х18Н10Т; 3 – проволока Св-12Х18Н10Т  $\varnothing 4$  мм, пластина 12Х18Н10Т

При использовании электродной проволоки и основного металла из немагнитных материалов уровень индукции  $B_x$  (рис. 4, а, кривая 3) аналогичен уровню, наблюдаемому при комбинации проволоки из ферромагнитного материала Св-08ГА и основного металла из немагнитной стали 12Х18Н10Т (рис. 4, а, кривая 2). То есть этот уровень достаточен для управления переносом электродного металла.

Также были проведены эксперименты по исследованию влияния ферромагнитных свойств электродных проволок и основного металла на распределение компонент индукции  $B_x$  и  $B_z$  при воздействии переменного ПОМП частотой 50 Гц. Результаты исследований приведены на рис. 4, б.

При использовании электродной проволоки и основного металла из немагнитных материалов величина индукции  $B_x$  практически соответствует уровню, полученному при использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА и немагнитного основного металла из стали 12Х18Н10Т.

Таким образом, при дуговой наплавке под слоем флюса с использованием как постоянного, так и переменного ПОМП частотой  $f = 50$  Гц возможно управление переносом электродного металла при использовании ферромагнитных и немагнитных проволок и основного металла из немагнитных сталей.

Коэффициент расплавления электродного металла  $\alpha_p$  при наплавке с использованием ПОМП определяли по стандартной методике (методом взвешивания).

Выполняли экспериментальные наплавки автоматом АДС-1002 с независимой от напряжения дуги скоростью подачи электрода от выпрямителя ВДУ-1201 (с падающей внешней характеристикой на обратной полярности) под флюсом АН-348А. При наплавке выполняли запись параметров режима наплавки ( $I_n$ ,  $U_d$ ) самопишущими приборами типа НЗ90. Во всех экспериментах параметры режима наплавки без воздействия ПОМП устанавливались предварительно по стрелочным приборам и они составляли:  $d_э = 4$  мм;  $I_n = 500 \dots 520$  А;  $U_d = 28 \dots 30$  В. Скорость наплавки  $V_n = 30$  м/ч. Эти параметры режима записывали указанными выше самопишущими приборами. Расстояние от торца электрода до поверхности пластины составляло  $\Delta = 5$  мм при вылете электрода  $H = 25$  мм. В процессе наплавки включали постоянное либо знакопеременное частотой 50 Гц ПОМП. Продолжительность процесса наплавки составляла 20...30 с. На каждом режиме выполняли по 5...10 наплавков.

Наплавки выполняли проволокой Св-08ГА Ø4 мм (ферромагнетик) и немагнитной проволокой Св-12Х18Н10Т на пластины из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с воздействием ПОМП постоянного и знакопеременного частотой  $f = 50$  Гц.

Данные исследований показали, что при воздействии постоянного ПОМП и использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА, коэффициент расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  возрастает и при величине индукции  $B_x = 40 \dots 45$  мТл достигает максимума (рис. 5, а, кривая 3). Повышение  $\alpha_p$  составляет порядка 20 %. При воздействии же переменного ПОМП частотой  $f = 50$  Гц повышение  $\alpha_p$  равно 10 % при  $B_x = 40 \dots 45$  мТл (рис. 5, а, кривая 4). Увеличение коэффициента расплавления электродной проволоки происходит из-за того, что в капле на торце электрода возникает горизонтальная электромагнитная сила, под действием которой капля удаляется с торца электрода, уменьшается толщина прослойки жидкого металла и улучшается теплопередача от дуги к электроду.

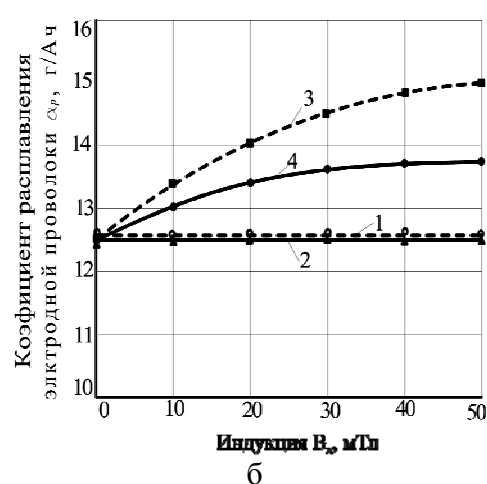
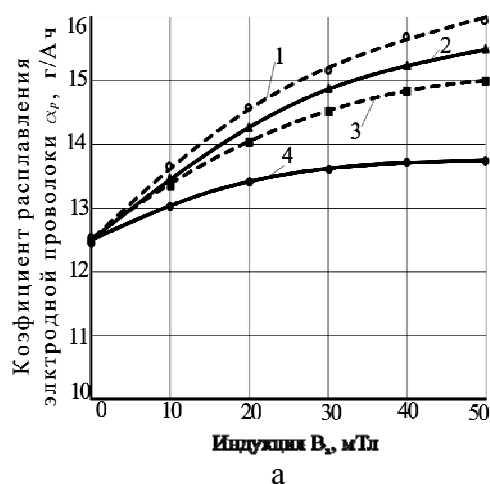


Рис. 5. Влияние компоненты индукции  $B_x$  на повышение коэффициента расплавления электродной проволоки ( $\alpha_p$ ):

а – для проволоки Св-08ГА; б – для проволоки Св-12Х18Н10Т; 1 – постоянное ПРМП; 2 – переменное ПРМП частотой  $f = 50$  Гц; 3 – постоянное ПОМП; 4 – переменное ПОМП частотой 50 Гц

При наплавке с использованием электродов из немагнитной проволоки Св-12Х18Н10Т максимальное увеличение  $\alpha_p$  при воздействии постоянного ПОМП составляет порядка 20 %, а при воздействии знакопеременного ПОМП частотой  $f = 50$  Гц – 10 % (рис. 5, б, кривые 3–4), т. е. данные аналогичны, полученным для наплавки проволокой Св-08ГА.

Для сопоставления данных исследовали также влияние постоянного и переменного частотой  $f = 50$  Гц продольного магнитного поля (ПРМП) на эффективность повышения расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  при наплавке под флюсом.

При наплавке с использованием немагнитной проволоки Св-12Х18Н10Т, как с воздействием постоянного ПРМП, так и переменного ПРМП частотой  $f = 50$  Гц повышения  $\alpha_p$  не наблюдалось (рис. 5, б, кривые 1 и 2). Это связано с тем, что при наплавке в ПРМП с использованием немагнитных электродных проволок в зоне капли существует только компонента индукции  $B_z$  ( $B_x = 0$ ). Ток в капле ( $I_n$ ) также направлен вдоль оси  $Z$  и в результате этого электромагнитная сила не образуется от взаимодействия векторов  $B_z$  и  $I_n$ , которая удаляла бы каплю с торца электрода.

Эти эксперименты показали, что если сварочная проволока – из немагнитного материала (компонента  $B_x$  индукции ПРМП в зоне расположения электродной капли равна нулю) электромагнитные силы в капле не возникают и нет эффекта повышения  $\alpha_p$  электрода при воздействии ПРМП. При плавлении электрода из ферромагнитного материала, когда компонента  $B_x$  индукции ПРМП значительна, происходит увеличение  $\alpha_p$  электрода. Таким образом, подтверждается предположение о том, что вращение капли на торце плавящегося электрода при воздействии ПРМП (а, следовательно, улучшение условий передачи тепла дуги через каплю и повышение  $\alpha_p$ ) происходит под действием электромагнитных сил в капле от взаимодействия компоненты индукции  $B_x$  ПРМП (в капле) с осевой (вдоль оси электрода) составляющей плотности тока, растекающегося в капле.

Однако, в отличие от ПРМП, ПОМП способствует повышению коэффициента расплавления электродной проволоки даже при использовании немагнитной проволоки Св-12Х18Н10Т. Повышения  $\alpha_p$  связано с тем, что компонента индукции  $B_x$  при воздействии ПОМП довольно значительна ( $B_x = 40 \dots 45$  мТл) при использовании немагнитных и ферромагнитных сварочных проволок. Благодаря взаимодействию этой компоненты  $B_x$  и тока наплавки  $I_n$  образуется электромагнитная сила, которая способствует повышению эффективности отрыва капель с торца электрода, улучшению условий теплопередачи и уменьшению толщины жидкой прослойки, а, следовательно, и повышению коэффициента расплавления электродной проволоки ( $\alpha_p$ ).

## ВЫВОДЫ

Таким образом, повышение коэффициента расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  при воздействии постоянного ПРМП составляет в среднем 28 %, при воздействии переменного частотой 50 Гц ПРМП – в среднем 22 %. При воздействии постоянного ПОМП повышение  $\alpha_p$  составляет 20 %, а при переменном ПОМП частотой  $f = 50$  Гц – 10 %.

В отличие от способа наплавки с воздействием ПРМП, при наплавке в ПОМП повышение коэффициента расплавления электродной проволоки наблюдается как при использовании магнитных, так и при использовании немагнитных проволок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Размышляев А. Д. Управление геометрическими размерами шва при дуговой сварке и наплавке воздействием магнитных полей (обзор) / А. Д. Размышляев // Сварочное производство. – 1994. – № 9. – С. 28–31.
2. Акулов А. И. Магнитное управление дугой при сварке плавящимся электродом в аргоне / А. И. Акулов, Б. В. Копяев // Автоматическая сварка. – 1972. – № 7. – С. 39–42.
3. Демянцевич В. П. Влияние внешнего магнитного поля и параметров режима сварки на формирование сварных швов / В. П. Демянцевич, Г. А. Лебедев, Н. А. Максимец // Сварочное производство. – 1975. – № 11. – С. 7–9.
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. Завьялов В. Е. Использование продольного магнитного поля при наплавке под флюсом / В. Е. Завьялов, Я. П. Зворыно, А. Б. Петраков // Сварочное производство. – 1990. – № 2. – С. 3–4.
6. Гаген Ю. Г. Магнитное управление формированием шва при автоматической сварке под флюсом / Ю. Г. Гаген, Т. А. Мартынюк // Автоматическая сварка. – 1985. – № 11. – С. 73–74.
7. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке / А. Д. Размышляев. – Мариуполь : ПГТУ, 2000. – 245 с.
8. 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.] // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С. 34–35.