



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

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук, М. В. МИРОНОВА, канд. техн. наук, К. Г. КУЗЬМЕНКО, инж.,  
П. А. ВЫДМЫШ, студ. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Разработано устройство, генерирующее поперечное магнитное поле (ПОМП), применительно к процессу дуговой наплавки проволокой под флюсом. Показано, что при наплавке на обратной полярности воздействие постоянного и переменного ПОМП частотой 50 Гц повышает в равной мере коэффициент расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов. Максимальное повышение  $\alpha_p$  проволок составляет 20...30 % при значении поперечной составляющей индукции ПОМП 30...45 мТл.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка под флюсом, электродные проволоки, поперечное магнитное поле, индукция, коэффициент расплавления

Технологические особенности процесса дуговой сварки и наплавки с использованием поперечного магнитного поля (ПОМП) рассмотрены в работах [1–8]. Из них следует, что при сварке плавящимся электродом в аргоне [2, 3] электродной проволокой диаметром 1,0...1,2 мм с воздействием ПОМП наблюдается 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 уменьшилась в 1,5 раза и незначительно возрасла ширина шва (валика) (при этом производительность расплавления проволок не изучалась) [4]. Для наплавки валиков проволокой Св-08ГА диаметром 2 мм под флюсом АН-348А, изменении частоты ПОМП в пределах  $f = 0...20$  Гц и индукции магнитного поля  $B_x = 0...0,015$  Тл (при обратной полярности) приведены данные, которые являются не количественными, а качественными, т. е. установлена только тенденция влияния частоты индукции ПОМП на глубину проплавления металла и ширину валика [5]. В работе [6] показано, что при наплавке проволокой Св-08А диаметрами 4 и 5 мм под флюсом АН-348А на пластины из стали Ст3 под воздействием ПОМП частотой 50 Гц происходит уменьшение глубины проплавления металла и увеличение ширины валика. Отмечено также, что при индукции ПОМП у поверхности пластины свыше 18...20 мТл наблюдаются обрывы дуги, что не позволило применить более высокие значения индукции. Влияние ПОМП на коэффициент расплавления проволоки  $\alpha_p$  диаметром 1,8...2,0 мм при наплавке под флюсом рассмотрено только в работе [7]. Установлено, что воз-

действие ПОМП приводит к незначительному увеличению  $\alpha_p$ , 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 размерами зоны проплавления основного металла, но и значением  $\alpha_p$  электрода.

Целью данной работы было исследование влияния ПОМП на коэффициент расплавления  $\alpha_p$  электродной проволоки диаметром 3...5 мм при дуговой наплавке под флюсом.

Для создания управляющего ПОМП разработано устройство (рис. 1), которое представляет собой магнитопровод 4, состоящий из трех участков — два наклонных, на которых размещены катушки 7, и горизонтальный, соединенный с наклонными с помощью болтовых соединений 6. Магнитопровод собран из пластин электротехни-

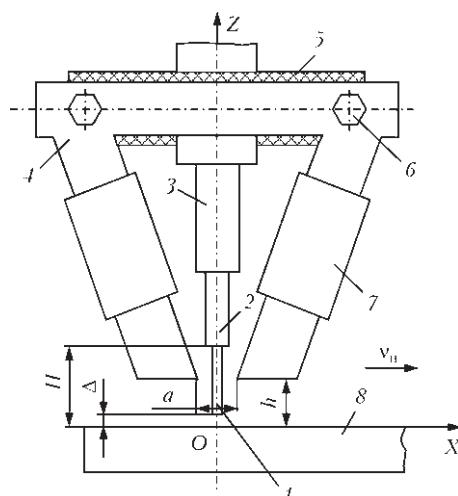


Рис. 1. Схема устройства для создания ПОМП (обозначения см. в тексте)

ческой 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 70. Устройство, генерирующее ПОМП, крепилось к сварочному автомату АДС-1002 с помощью хомутов. При этом магнитопровод 4 изолировался от автомата изолятором 5. Автомат позволял изменять вылет электрода  $H$ , 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. 1 использована также система координат, принятая для исследования магнитного поля (начало координат располагалось на поверхности пластины под осью электрода).

В настоящей работе для управления переносом электродных капель использовали постоянное либо переменное ПОМП промышленной частотой 50 Гц, поскольку такие магнитные поля наиболее просто реализовать на практике. Для создания указанных магнитных полей в катушках устройства пропускался постоянный ток от сварочного выпрямителя ВСЖ-303, либо переменный ток от сварочного трансформатора ТМ-402. В зоне электродной капли и дуги проводили измерения компонент индукции  $B_x$  и  $B_z$  миллитесламетром типа ЭМ-4305 с датчиком Холла с измерительной базой 1×1 мм для постоянного и типа Ф-4356 для переменного ПОМП. Измерения проводили при  $Z = 0, Y = 0$  в точках  $X = 0; 5; 10; 15; 20$  мм. Расстояние от торца электрода до поверхности пластины  $\Delta$  выдерживали постоянным ( $\Delta = 5$  мм). При этом вылет электрода составлял  $H = 25$  мм ( $h = 25$  мм), а расстояние между нижними торцами магнитопровода по горизонтали  $a = 35$  мм. В исследованиях индукции магнитного поля использовали проволоку Св-08ГА и Св-12Х18Н10Т диаметром 4 мм, а в качестве основного металла – пластины из стали 09Г2С и 12Х18Н10Т.

На рис. 2 приведено распределение компонент индукции  $B_z$  и  $B_x$  постоянного и переменного ПОМП частотой 50 Гц с использованием сварочной проволоки Св-08ГА (ферромагнетик) диаметром 4 мм и основного металла – пластины из стали 12Х18Н10Т (немагнитный материал) при токе в катушках  $I_k = 60$  А. 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  $OX$ . В зоне под торцом электрода компонента индукции  $B_z$  (рис. 2, кривые 1, 3) значительно меньше, чем  $B_x$  (рис. 2, кривые 2, 4). Установлено также, что компоненты индукции  $B_z, B_x$  практи-

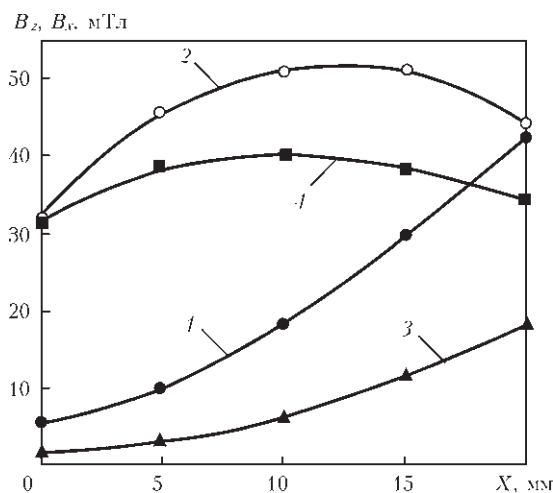


Рис. 2. Распределение компонент индукции  $B_z, B_x$  ПОМП вдоль оси  $OX$  ( $Z = 0, Y = 0, I_k = 60$  А): 1, 3 —  $B_z$ ; 2, 4 —  $B_x$ ; 1, 2 — постоянное ПОМП; 3, 4 — переменное ПОМП частотой 50 Гц

чески линейно возрастают (во всех точках вдоль оси  $OX$ ) при увеличении постоянного либо переменного частотой 50 Гц тока в катушках устройства, генерирующего ПОМП. Результаты исследований о влиянии ферромагнитных свойств электродных проволок и основного металла на компоненты индукции  $B_x$  постоянного и переменного ПОМП частотой 50 Гц при токе в катушках  $I_k = 60$  А приведены на рис. 3. Полученные данные показывают, что при использовании ферромагнитной проволоки и ферромагнитной пластины компонента индукции  $B_x$  в зоне под торцом электрода незначительна, порядка 4 мТл (рис. 3, а, кривая 1). При использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА и пластины из немагнитной стали 12Х18Н10Т компонента индукции  $B_x$  в зоне под торцом электрода имеет значение порядка 30...40 мТл. При использовании электродной проволоки и основного металла из немагнитных материалов уровень индукции  $B_x$  постоянного ПОМП (рис. 3, а, кривая 3) аналогичен уровню, наблюдаемому при использовании проволоки из ферромагнитного материала Св-08ГА и основного металла из немагнитной стали 12Х18Н10Т (рис. 3, а, кривая 2). Полагали, что уровень индукции  $B_x$  порядка 30...40 мТл в зоне под торцом электрода достаточен для управления переносом капель электродного металла.

Аналогично ферромагнитные свойства основного и электродного материалов влияют на уровень индукции переменного ПОМП частотой 50 Гц. При использовании электродной проволоки и основного металла из немагнитных материалов компонента индукции  $B_x$  практически соответствует уровню, полученному при использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА и немагнитного основного металла из стали 12Х18Н10Т (рис. 3, б, кривые 2, 3) и значительно

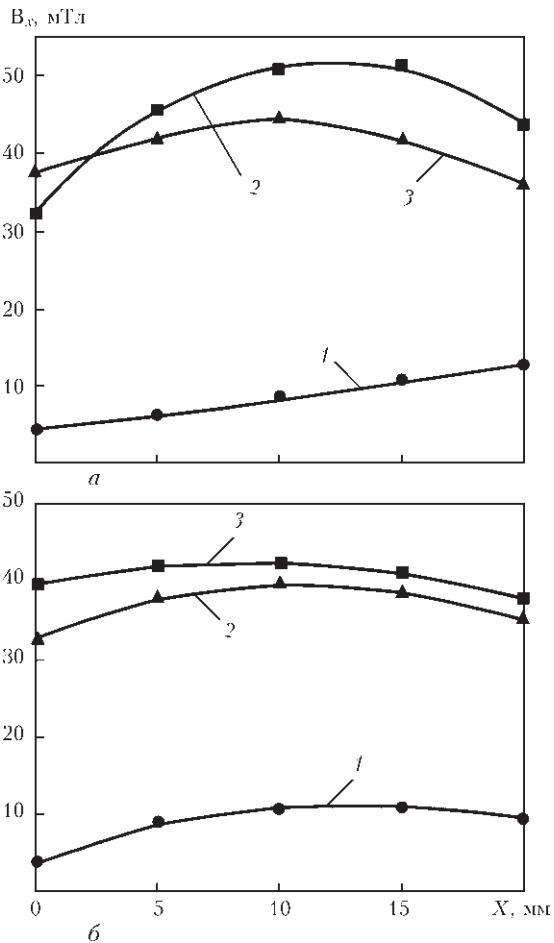


Рис. 3. Распределение индукции  $B_x$  постоянного (а) и переменного ПОМП частотой 50 Гц (б) вдоль оси  $Ox$  в зависимости от ферромагнитных свойств сварочной проволоки диаметром 4 мм и основного металла ( $Z = 0; Y = 0; I_k = 60 \text{ А}$ ): 1, 2 — проволока Св-08ГА; 3 — Св-12Х18Н10Т; 1 — пластина 09Г2С; 2, 3 — 12Х18Н10Т

больше, чем при использовании ферромагнитных основного металла и проволоки (рис. 3, б, кривая 1), и этот уровень индукции  $B_x$  (30...40 мТл) также достаточен для управления переносом электродных капель при дуговой наплавке.

Влияние ПОМП на коэффициент расплавления электродного металла  $\alpha_p$  при дуговой наплавке определяли по стандартной методике (методом взвешивания). Экспериментальные наплавки выполняли автоматом АДС-1002 с независимой от напряжения дуги скоростью подачи электрода от выпрямителя ВДУ-1202 (с падающей внешней характеристикой) на обратной полярности на пластины из стали 12Х18Н10Т. Использовали проволоку Св-08ГА диаметром 4 мм, флюс АН-348А и флюс АН-26П при наплавке проволокой Св-12Х18Н10Т. Наплавки выполняли с воздействием и без воздействия постоянного либо переменного ПОМП частотой 50 Гц. Запись параметров режима наплавки ( $I_n, U_d$ ) проводили приборами типа НЗ90. Во всех экспериментах параметры режима наплавки без воздействия ПОМП устанавливали предварительно по стрелочным приборам и для

$d_3 = 4 \text{ мм}$  они составляли:  $I_n = 480...520 \text{ А}$ ;  $U_d = 30...32 \text{ В}$ , скорость наплавки  $v_n = 27 \text{ м/ч}$ . Поскольку при включении ПОМП ток наплавки уменьшался, увеличивали скорость подачи электродной проволоки, чтобы напряжение дуги находилось в пределах  $U_d = 30...32 \text{ В}$ . Процесс наплавки составлял не менее 30 с. На каждом режиме выполняли по три наплавки.

Данные исследований показали, что при наплавке с воздействием как постоянного, так и переменного ПОМП частотой 50 Гц и использовании ферромагнитной проволоки Св-08ГА при увеличении индукции  $B_x$  ПОМП коэффициент ее расплавления  $\alpha_p$  возрастает и при  $B_x = 40...45 \text{ мТл}$  достигает максимальных значений (порядка 17,5 г/(А·ч), в то время как при наплавке без воздействия ПОМП его значения составляли 12,5...13,0 г/(А·ч). При этом  $\alpha_p$  электродов из ферромагнитного материала (Св-08ГА) и немагнитного материала (Св-12Х18Н10Т) повышается при увеличении индукции как постоянного, так и переменного ПОМП частотой 50 Гц. Повышение значений  $\alpha_p$  проволок при наплавке с воздействием постоянного ПОМП несколько больше, чем при наплавке с воздействием переменного ПОМП частотой 50 Гц (рис. 4, а). Максимальное относительное повышение  $\alpha_p$  ( $\Delta\alpha_p/\alpha_p$ ) проволок диаметрами 4, 5 мм при наплавке с воздействием постоянного ПОМП составляет 27...30 % при уровне индукции поля  $B_x = 40...45 \text{ мТл}$ , а для проволок диаметром 3 мм — 23...25 % при уровне индукции  $B_x = 30...35 \text{ мТл}$ . Для переменного ПОМП частотой 50 Гц относительное повышение  $\alpha_p$  составляет соответственно 30, 25, 20 % для диаметров электродов 5, 4 и 3 мм (рис. 4, б). Как известно [8, 9], максимальное повышение  $\alpha_p$  проволоки диаметром 4, 5 мм при наплавке под флюсом с воздействием продольного магнитного поля (ПРМП) достигает 30 % (при обратной полярности процесса). Таким образом, при наплавке под флюсом на обратной полярности с воздействием ПОМП уровень  $\alpha_p$  проволок повышается практически в той же степени, что и при наплавке с воздействием ПРМП. Следует отметить, что при наплавке под флюсом воздействие ПРМП не повышает значение  $\alpha_p$  проволок из немагнитных материалов [9], в то время как воздействие ПОМП повышает значение  $\alpha_p$  проволок как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов.

Рост  $\alpha_p$  проволок при наплавке в ПРМП происходит вследствие разрушения (удаления с торца электрода) вращающихся капель [10]. При воздействии постоянного ПОМП капли удаляются с торца электрода (в горизонтальной плоскости вдоль оси  $OY$ ) под действием электромагнитной силы, образованной взаимодействием тока наплавки (направление вдоль оси  $OZ$ ) с компонентой

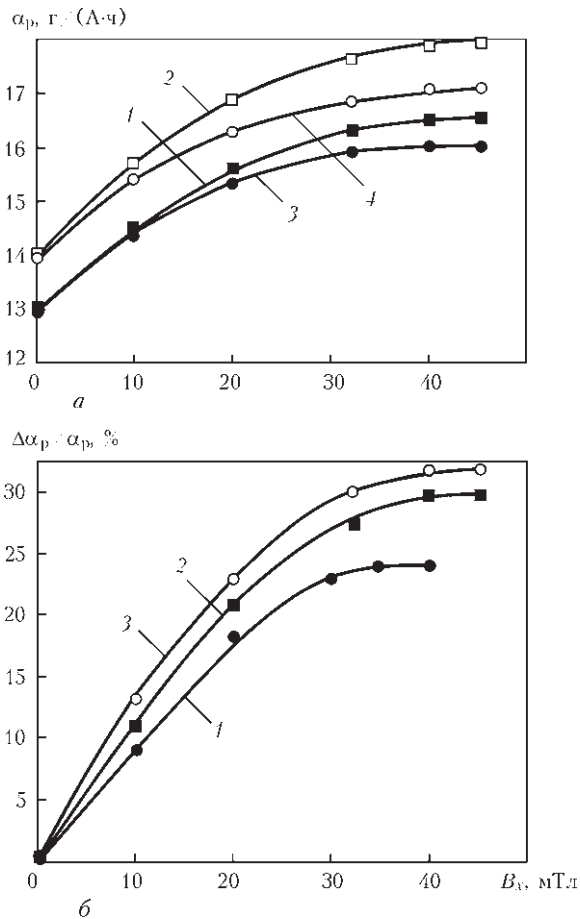


Рис. 4. Влияние компоненты индукции  $B_x$  ПОМП на  $\alpha_p$  электродных проволок диаметром 4 мм (а) и повышение коэффициента расплавления электродных проволок  $\Delta\alpha_p/\alpha_p$  (б); а: 1, 3 — Св-08ГА; 2, 4 — Св-12Х18Н10Т; 1, 2 — постоянное ПОМП; 3, 4 — переменное ПОМП частотой 50 Гц; б: проволока Св-08ГА, переменное ПОМП частотой 50 Гц; 1 —  $d_3 = 3$  мм,  $I_H = 340...350$  А; 2 —  $d_3 = 4$  мм,  $I_H = 460...480$  А; 3 —  $d_3 = 5$  мм,  $I_H = 700...720$  А

индукции  $B_x$  ПОМП, направленной вдоль оси  $OX$ . При наплавке в ПОМП частотой 50 Гц изменяется направление электромагнитной силы, действующей на электродную каплю (на  $180^\circ$  вдоль оси  $OY$ ). Эффективность воздействия электромагнитной силы на удаление электродных капель с торца электрода при наплавке в переменном частотой 50 Гц ПОМП, вероятно, меньше, чем при наплавке в постоянном ПОМП. Этим, с нашей точки зрения, и обусловлено менее эффективное увеличение  $\alpha_p$  электродов при наплавке с воздействием постоянного ПОМП.

Процесс дуговой наплавки на обратной полярности проволокой под флюсом с воздействием

ПОМП позволяет уменьшить затраты электроэнергии на наплавку на 20...30 %, т. е. является энергосберегающим процессом.

### Выводы

1. При дуговой наплавке под флюсом увеличение индукции как постоянного, так и переменного ПОМП частотой 50 Гц в зоне под торцом электрода приводит к росту коэффициента расплавления проволок из ферромагнитных и немагнитных материалов.

2. Максимальное относительное увеличение  $\alpha_p$  проволок диаметрами 4, 5 мм при наплавке с воздействием постоянного ПОМП составляет 27...30 % при уровне индукции поля  $B_x = 40...45$  мТл, а для проволок диаметром 3 мм — 23...25 % при  $B_x = 30...35$  мТл. Для переменного ПОМП частотой 50 Гц относительное повышение  $\alpha_p$  составляет 30, 25, 20 % соответственно для диаметров 5, 4 и 3 мм.

1. Размышляев А. Д. Управление геометрическими размерами шва при дуговой сварке и наплавке воздействием магнитных полей (Обзор) // Свароч. пр-во. — 1994. — № 9. — С. 28–31.
2. Акулов А. И., Конаев Б. В. Магнитное управление дугой при сварке плавящимся электродом в аргоне // Автомат. сварка. — 1972. — № 7. — С. 39–42.
3. 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.
4. Шейкин М. З., Варяхов Н. Ф. Применение магнитных колебаний при сварке под флюсом // Там же. — 1969. — № 6. — С. 24–25.
5. Гаген Ю. Г., Мартынюк Т. А. Магнитное управление формированием шва при автоматической сварке под флюсом // Автомат. сварка. — 1985. — № 11. — С. 73–74.
6. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке. — Мариуполь: ПГТУ, 2000. — 245 с.
7. 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. // Свароч. пр-во. — 1991. — № 1. — С. 34–35.
8. Болдырев А. М., Биржнев В. А., Черных А. В. Повышение производительности расплавления электродной проволоки при сварке в продольном магнитном поле // Там же. — 1989. — № 4. — С. 18–19.
9. Размышляев А. Д., Дели А. А., Миронова М. В. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом // Автомат. сварка. — 2007. — № 6. — С. 31–35.
10. Размышляев А. Д., Миронова М. В. Расчет параметров продольного магнитного поля, обеспечивающих удаление капли с торца электрода, при дуговой наплавке // Там же. — 2009. — № 7. — С. 30–34.

A device has been developed, which generates a transverse magnetic field (TMF) for the process of submerged-arc surfacing with wire. It is shown that in reverse polarity surfacing the impact of a constant and alternating TMF of 50 Hz frequency increases the coefficient of melting (am) of electrode wire both from ferromagnetic and nonmagnetic materials to the same extent. Maximum increase of wire am is equal to 20...30 % at the magnitude of transverse component of TMF induction of 30...45 mT.

Поступила в редакцию 22.12.2010