

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140415>

УДК 621.791.75

И 37

LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON DEPTH OF FUSION IN ARC WELDING OF BUTT JOINTS

ИЗМЕНЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Oleksandr D. Razmyshliaiev

razmyshljaev@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-6616-7717

Pavlo O. Vydmysh

buohuk@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4074-9246

Stanislav V. Yarmonov

stanislav.rnd@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5512-126X

Maryna V. Agieieva

marinamykyta@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-8275-6781

А. Д. Размышляев,

д-р техн. наук, проф.¹;

П. А. Выдмыш,

асп.¹;

С. В. Ярмонов,

асп.¹;

М. В. Агеева,

канд. техн. наук, доц.²

¹State High Educational Organization «Priazovsky State Technical University», Mariupol

²Donbass State Machine-building Academy, Kramatorsk

¹Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет»,
г. Мариуполь

²Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Abstract. This paper investigates the influence of welding modes and longitudinal magnetic field on the butt joints, formation of welds of low carbon steel of 3...4 mm thickness. The influence of longitudinal magnetic field frequency on the depth of base metal penetration was studied. The investigations on welding joints of low carbon steel with 4 mm thickness on the reverse polarity under the AN-348A flux were conducted. Welding of the fluxcopper lining of the C4 connection type was studied. It is shown that the depth of metal penetration increases with the increase of the longitudinal magnetic field frequency from 2 to 50 Hz. The values of the longitudinal magnetic field induction are 20...30 mT by 2...12 Hz frequency at magnetizing force of at least 2000 ampere-turns. The possibility of metal welding of 3 mm thickness in a longitudinal magnetic field is shown. All these operations listed below are provided at longitudinal magnetic field with indicated parameters: formation of high-quality welds, complete penetration without burning-through metal, formation of the reverse bead which matches the requirements of GOST 8713-79 and absence of porosity in the welds. The research results can be applied to the welding of single-sided butt joints of 3...4 mm metal thickness.

Keywords: arc welding, longitudinal magnetic field, magnetic field induction, frequency, depth of metal penetration.

Анотация. Исследовано влияние режимов сварки и воздействие продольного магнитного поля на формирование швов стыковых соединений тонколистового металла. Рассмотрено влияние частоты продольного поля на глубину проплавления основного металла. Определены оптимальные значения индукции продольного магнитного поля, обеспечивающие качественное формирование швов. Показано, что при воздействии продольного магнитного поля возможна односторонняя сварка стыковых соединений металла толщиной 3...4 мм.

Ключевые слова: дуговая сварка, продольное магнитное поле, индукция магнитного поля, частота, глубина проплавления металла.

Анотація. Досліджено вплив режимів зварювання і вплив поздовжнього магнітного поля на формування швів стикових з'єднань тонколистового металу. Розглянуто вплив частоти поздовжнього поля на глибину проплавлення основного металу. Визначено оптимальні значення індукції поздовжнього магнітного поля, що забезпечують якісне формування швів. Показано, що при дії поздовжнього магнітного поля можливе одностороннє зварювання стикових з'єднань металу товщиною 3...4 мм.

Ключові слова: дугове зварювання, поздовжнє магнітне поле, індукція магнітного поля, частота, глибина проплавлення металу.

REFERENCES

- [1] Boldyrev A.M., Birzhev V.A., Chernykh A.V. Upravlenie glubiny proplavleniya pri dugovoy svarke i naplavke s pomoshchyu prodolnogo peremennogo magnitnogo polya [The penetration depth management under the arc welding and surfacing with alternating longitudinal magnetic field]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1993, no. 6, pp. 30–31.
- [2] Lebedev V.A., Maksimov C.Yu. *Sovremennoe mekhanizirovannoe oborudovanie dlya svarki i naplavki i ego tekhniko-tekhnologicheskie vozmozhnosti* [Modern mechanized equipment for welding and surfacing and its technical and technological capabilities]. Kyiv, Osnova Publ., 2012, 390 p.
- [3] Razmyshlyaev A.D., Mironova M.V. Osobennosti proplavleniya osnovnogo metalla pri dugovoy naplavke v prodolnom magnitnom pole [Features of base metal penetration under the arc welding in longitudinal magnetic field]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 2008, no. 8, pp. 24–28.
- [4] Razmyshlyaev A.D., Maevskiy V.R. Vliyaniye upravlyayushchikh magnitnykh poley na geometricheskie razmery shva pri dugovoi svarke pod flusom [The influence of controlling magnetic fields on geometrical dimensions of weld under the submerged arc welding]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1996, no. 2, pp. 17–19.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Общеизвестно, что проблематичным является применение автоматической электродуговой сварки для получения качественно сформированных стыковых соединений. Особенно возрастают трудности при односторонней сварке стыковых соединений типа С4 металла толщиной 4 мм. В ГОСТе 8713–79 указано, что возможна сварка стыковых соединений типа С4 металла толщиной 4 мм при использовании медной или флюсомедной подкладки. При этом проблематичным является обеспечение удовлетворительного формирования обратной стороны шва. Необходим поиск технических решений указанной проблемы.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы формирования швов при дуговой односторонней сварке стыковых соединений сложны и недостаточно изучены. Одним из направлений для решения таких задач является использование современного оборудования с адаптивными системами управления, а также применение инверторных источников питания [2]. В то же время имеются публикации [1, 3, 4], в которых показано, что при автоматической электродуговой наплавке проволокой под флюсом на изделия из малоуглеродистых сталей использование управляющего продольного магнитного поля (ПРМП) позволяет существенно уменьшить глубину проплавления металла. Кроме того, ПРМП создается простой конструкцией устройства ввода, и это поле целесообразно использовать для управления формированием швов при дуговой сварке тонколистового металла. Исследований о влиянии ПРМП на проплавление и формирование металла шва стыковых соединений при дуговой односторонней сварке в настоящее время нет. В связи с этим представлялось целесообразным выполнение исследований в указанном направлении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – расширение технологических возможностей автоматической электродуговой односторонней сварки под слоем флюса стыковых соединений малых толщин из малоуглеродистых сталей путем воздействия управляющего продольного магнитного поля.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящее время нет исследований о технологических особенностях процесса односторонней сварки стыковых соединений из малоуглеродистых сталей (ферромагнетиков) с воздействием управляющих продольных магнитных полей. В предыдущих публикациях были выполнены исследования по дуговой наплавке проволокой под флюсом с воздействием продольного магнитного поля [1–3]. Применительно к сварке тонколистового металла такие исследования не выполнялись. В статье приведены результаты исследований касательно односторонней сварки стыковых соединений тонколистового металла в продольном магнитном поле.

Рассматривали возможность применения для сварки конструкции устройства ввода (УВ) ПРМП, которое размещали над сварочной ванной по схеме, приведенной на рис. 1.

Устройство ввода ПРМП представляло собой стержень 2 квадратной формы сечением 3×3 см из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Обмотка 3 выполнялась четырехслойно медным проводом диаметром 2,0 мм с числом витков $W = 100$.

Исследовали индукцию, которую генерирует УВ ПРМП при размещении его над моделью сварочной ванны. Модель сварочной ванны выполняли методом сквозного сверления пластины из стали ВМСт3сп толщиной 4 мм (рис. 2). Размеры ванны соответствовали изотерме плавления для режима сварки: $I_{cb} = 350$ А, $U = 30...32$ В, $V_{cb} = 30$ м/ч. Расстояние от торца электрода до пластины составляло $\Delta = 5$ мм,

расстояние $a = 10$ мм; расстояние $h = 25$ мм (см. рис. 1). Измерения индукции выполняли универсальным тесламетром 43205 с датчиком Холла с измерительной базой $0,9 \times 0,9$ мм.

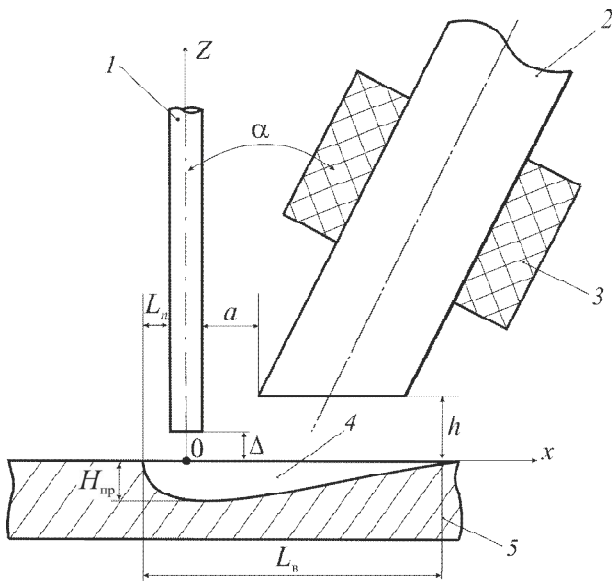


Рис. 1. Схема размещения УВ ПРМП над сварочной ванной: 1 – электрод; 2 – стержень; 3 – обмотка; 4 – сварочная ванна; 5 – пластина

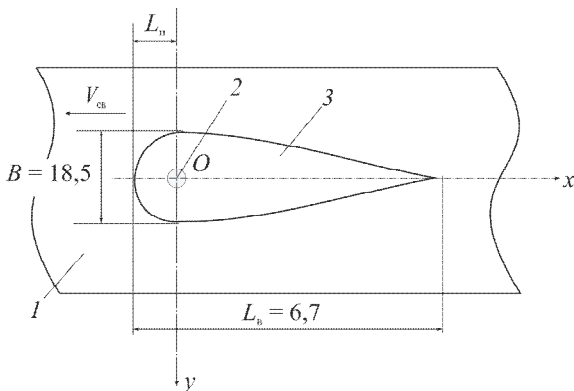


Рис. 2. Вид сверху на модель сварочной ванны

Данные измерений индукции B_z, B_x (при размещении УВ ПРМП по рис. 1) приведены на рис. 3.

Сначала исследовали распределение индукции B_x у поверхности пластины из Ст3 толщиной 4 мм (без ванны). Данные (кривые 1, 2 на рис. 3) показали, что индукция B_z у поверхности пластины составляет величину порядка 40...50 мТл, а индукция B_x незначительна (порядка 1...2 мТл).

При наличии ванны (полости, имеющей $\mu = 1$), как это приведено на рис. 2, индукция B_z (кривая 3) меньше, чем при отсутствии ванны (кривая 1), и составляет порядка 26...30 мТл, индукция B_x (кривая 4 на рис. 3) незначительна (в пределах 1...4 мТл). Таким образом, при наличии ванны (полости с $\mu = 1$) индукция B_z уменьшается у поверхности ванны приблизительно в 1,5 раза.

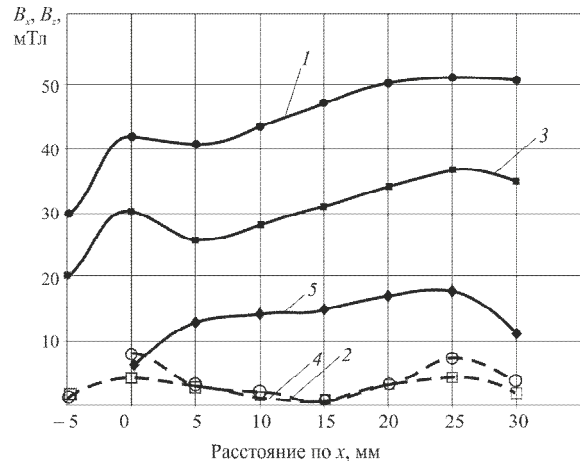


Рис. 3. Распределение индукции B_z, B_x вдоль оси Ox ($a = 10$ мм; $h = 25$ мм; $I \times W = 2240$): 1, 3, 5 – B_z ; 2, 4 – B_x ; 1, 2 – плоская пластина; 3, 4, 5 – наличие ванны

У дна ванны (кривая 5 на рис. 3) индукция B_z значительно снизилась до значений порядка 13...17 мТл (у поверхности была порядка 26...30 мТл; кривая 3 на рис. 3). Таким образом, индукция B_z у дна ванны глубиной 4 мм ($S = 4$ мм) уменьшается в 2 раза.

Необходимо отметить, что во всех исследованных вариантах уровень индукции B_x у поверхности и у дна ванны был незначительным (не превышал 2...4 мТл), и можно утверждать, что УВ ПРМП по рис. 1 обеспечивает при сварке в жидком металле ванны в основном продольную компоненту индукции B_z . При ампервитках $I \times W = 2240$ ($I_k = 22,4$ А; $W = 100$) уровень индукции B_z составляет порядка 20...30 мТл, и этот уровень индукции достаточен, как и предполагалось, для управления глубиной проплавления металла формированием швов при сварке.

Исследовали влияние ПРМП на глубину проплавления металла и формирование швов при односторонней сварке стыковых соединений.

Сварку осуществляли проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом АН-348А на обратной полярности. Свариваемые пластины были из стали ВМСт3сп толщиной $S = 4$ мм. Для сварки использовали автомат АДС-1002, а также источник питания ВДУ-1002, который включали на падающую внешнюю характеристику. Была произведена сварка стыковых соединений указанных пластин на флюсомедной подкладке, тип соединения С4, АФм, без разделки кромок (ГОСТ 8713–79). Во всех исследованиях при сварке выдерживали неизменными следующие значения параметров: $I_{св} = 350$ А; $U = 30...32$ В; $V_{св} = 30$ м/ч; $a = 10$ мм; $h = 25$ мм (см. рис. 1).

Выполнялась сварка без воздействия магнитного поля, при воздействии постоянного поля, а также с воздействием ПРМП частотой 2, 12 и 50 Гц; число ампервитков составляло $I \times W = 2240$.

Для исследования глубины проплавления из образцов после сварки вырезали поперечные темплеты

шириной 15...20 мм. Из темплетов изготавливали макрощлифы. Данные исследования о влиянии частоты ПРМП на глубину проплавления приведены на рис. 4. Видно, что с ростом частоты ПРМП глубина проплавления возрастает и при частоте 50 Гц достигает величины полного проплавления, которое характерно для сварки без воздействия ПРМП (линия 1 на рис. 4).

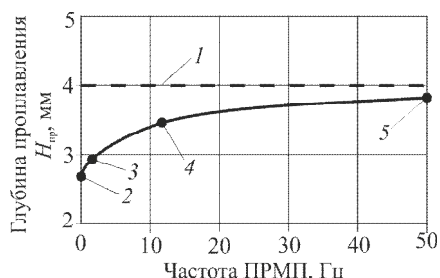


Рис. 4. Влияние частоты ПРМП на глубину проплавления $H_{пр}$: 1 – без поля; 2 – при постоянном поле; 3 – при частоте 2 Гц; 4 – при 12 Гц; 5 – при 50 Гц

Тот факт, что при воздействии ПРМП частотой меньше 50 Гц уменьшается глубина проплавления, можно объяснить более интенсивным движением жидкого металла сварочной ванны, чем при частоте ПРМП 50 Гц.

При вращении под воздействием ПРМП жидкий металл ванны подтекает под дугу, увеличивает толщину жидкой прослойки под дугой и уменьшает глубину проплавления металла. Эффективность перемешивания жидкого металла сварочной ванны максимальная при воздействии постоянного ПРМП. В этом случае образуется максимальная толщина прослойки под дугой, что обеспечивает минимальное проплавление металла.

При частоте 50 Гц жидкий металл в ванне из-за ее инерционности не успевает перемещаться, поэтому

эффективность проплавления металла такая же, как и без воздействия ПРМП. Для односторонней сварки стыковых соединений типа С4 толщиной 4 мм оптимальным является применение ПРМП с продольной компонентой индукции 30...40 мТл, при этом число ампервитков должно составлять не менее 2000.

Следует отметить также, что при частоте ПРМП ориентировочно до 12 Гц имеет место интенсивное перемешивание жидкого металла, что обеспечивает по литературным данным измельчение структуры металла шва и значительное повышение механических и служебных свойств сварных соединений.

Поскольку при уменьшении частоты ПРМП глубина проплавления металла уменьшается (см. рис. 4), то в дальнейшем целесообразно использовать ПРМП частотой 2...12 Гц при сварке стыковых соединений металла толщиной менее 4 мм, например 2...3 мм.

ВЫВОДЫ

1. При сварке стыковых соединений тонколистового металла с использованием предложенной конструкции УВ ПРМП в зоне жидкого металла сварочной ванны обеспечивается высокий уровень продольной компоненты индукции B_z и незначительный уровень поперечной компоненты индукции (B_x либо B_y).

2. При сварке тонколистовых стыковых соединений с использованием УВ ПРМП снижается глубина проплавления металла, что позволяет повысить сварочный ток, а соответственно и производительность процесса сварки.

3. Для сварки стыковых соединений тонколистового металла целесообразно применение ПРМП частотой в пределах 2...12 Гц, а намагничивающая сила катушки УВ ПРМП должна быть не менее 2000 ампервитков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Болдырев, А. М.** Управление глубиной проплавления при дуговой сварке и наплавке с помощью продольного переменного магнитного поля [Текст] / А. М. Болдырев, В. А. Биржев, А. В. Черных // Сварочное производство. – 1993. – № 6. – С. 30–31.
- [2] **Лебедев, В. А.** Современное механизированное оборудование для сварки и наплавки и его технико-технологические возможности [Текст]: монография / В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов. – К.: Основа, 2012. – 390 с.
- [3] **Размышляев, А. Д.** Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле [Текст] / А. Д. Размышляев, М. В. Миронова // Автоматическая сварка. – 2008. – № 8. – С. 24–28.
- [4] **Размышляев, А. Д.** Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом [Текст] / А. Д. Размышляев, В. Р. Маевский // Сварочное производство. – 1996. – № 2. – С. 17–19.

© О. Д. Размышляев, П. О. Видмиш, С. В. Ярмонов, М. В. Агеева

Надійшла до редколегії 14.05.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький