

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СВАРКИ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ МАРКИ ТМВ5-МК

А.А. Голякевич¹, Л.Н. Орлов¹, С.Ю. Максимов²

¹ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», 03150, г.Киев, ул. Казимира Малевича, 15. E-mail: office@veldtec.ua

²ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В настоящее время на мировом рынке сварочных материалов сохраняется устойчивая тенденция роста потребления порошковых проволок. Одной из быстро развивающихся технологий изготовления металлоконструкций является дуговая сварка в защитных газах порошковой проволокой с металлическим сердечником. Металлопорошковые проволоки по технологии использования не отличаются от проволок сплошного сечения, а по ряду технологических характеристик даже превосходят их. В ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» разработано и освоено производство высокопроизводительной металлопорошковой проволоки марки ТМВ5-МК для сварки в смеси 82% Ar + 18% CO₂. Установлено, что металлопорошковая проволока обеспечивает высокую стабильность горения дуги в широком диапазоне режимов сварки. При сварке на одинаковых режимах в оптимальном диапазоне показатель стабильности горения дуги при использовании проволоки сплошного сечения Св-08Г2С ниже в 3 раза по сравнению с металлопорошковой проволокой ТМВ5-МК. Показано, что на стабильность процесса сварки значительное влияние оказывают электродинамические свойства источника питания и этот фактор необходимо учитывать при оценке сварочно-технологических свойств сварочных проволок и разработке рекомендаций по их применению. Библиогр. 8, табл. 1, рис. 4.

Ключевые слова: металлопорошковая проволока, проволока сплошного сечения, источник питания, стабильность горения дуги, короткие замыкания

В настоящее время в странах Евросоюза, особенно Польше, Чехии, Словакии и Германии наблюдается существенный подъем производства различных металлоконструкций и соответственно увеличение объема сварочных работ. На мировом рынке сварочных материалов сохраняется устойчивая тенденция роста потребления порошковых проволок в различных отраслях промышленности [1, 2]. В последние годы одной из быстро развивающихся технологий изготовления металлоконструкций является дуговая сварка порошковой проволокой с металлическим сердечником в среде углекислого газа либо смесей аргона с углекислым газом [3, 4]. Металлопорошковые проволоки современной номенклатуры по технологии использования не отличаются от проволок сплошного сечения, а по ряду технологических характеристик даже превосходят их [5–7]. В первую очередь это касается стабильности процесса горения дуги, переноса жидкого электродного металла, характеристики проплавления основного металла и формирования металла сварного шва за счет использования композиции сердечника. Последний включает кроме металлических порошков небольшое количество минеральных компонентов, стабилизирующих горение электрической дуги и улучшающих металлургические характеристики плавления проволоки и формирование металла шва.

При сварке металлопорошковой проволокой используется практически такая же техника, как и при сварке порошковой проволокой, при том,

что она удобнее и проще в работе, образует более ровный сварной шов и обеспечивает минимальное разбрызгивание электродного металла и образование только следов шлака на поверхности шва.

По сравнению с проволокой сплошного сечения металлопорошковая проволока обеспечивает более высокое качество сварных швов и сравнимую производительность сварки (коэффициент наплавки 92...98 %) и в то же время помогает снизить ее себестоимость. Кроме того, в странах ЕС от сварщиков с допуском к процессу МАГ не требуется проходить дополнительную аттестацию, поэтому они сразу допускаются к работе металлопорошковой проволокой (стандарт ISO 9606 часть 1).

Учитывая мировые тенденции развития механизированной сварки и отсутствие отечественных аналогов в ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» разработано и освоено производство высокопроизводительной металлопорошковой проволоки марки ТМВ5-МК для сварки в смеси М21 (82% Ar + 18% CO₂).

Целью проведенных исследований было изучить особенности процесса сварки металлопорошковой проволокой по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения. Контроль электрических параметров процесса сварки выполнялся с применением информационно-измерительной системы (ИИС) на базе персонального компьютера и модуля аналогового ввода Е–440 [8]. ИИС выполнялся непрерывный анализ и запись показателей регистрируемых параметров с частотой 10 кГц во время всего цикла сварки.

Электрические и временные параметры процесса сварки металлопорошковой проволокой ТМВ5-МК

Номер п/п	U_{cp} , В	I_{cp} , А	K_V^U , %	K_V^I , %	$N_{к.з.}$	$\tau_{к.з.ср}$, мс	$N_{к.з.действ.}$	$\tau_{к.з.действ.}$	$f_{к.з.}$, Гц
1	27	198	4,1	7,9	-	-	-	-	-
2	24	187	4,9	11,0	-	-	-	-	-
3	21	181	8,1	14,7	55	0,0009	16	0,0021	2,8
4	22,5	124	4,7	16,1	11	0,0006	-	-	0,55
5	19,9	118	9,0	25,7	134	0,0013	63	0,0024	6,1
6	24,2	287	7,3	7,8	-	-	-	-	-
7	27,9	302	3,7	3,6	-	-	-	-	-
8	30,7	304	3,1	3,6	-	-	-	-	-

Примечание. U_{cp} , I_{cp} — средние значения напряжения дуги и тока сварки; K_V^U , K_V^I — коэффициенты вариации по напряжению и току; $N_{к.з.}$, $f_{к.з.}$ — количество и частота коротких замыканий; $\tau_{к.з.ср}$ — среднее значение длительности коротких замыканий; $N_{к.з.действ.}$ и $\tau_{к.з.действ.}$ — количество и длительность действительных коротких замыканий.

Для оценки особенностей процесса сварки измеряли следующие электрические и временные параметры: U_d и $I_{св}$ — напряжение дуги и ток сварки; $U_{г.д}$ и $I_{г.д}$ — напряжение и ток горения дуги; $U_{к.з}$ и $I_{к.з}$ — напряжение и ток короткого замыкания; $T_{к.з}$ — интервал между короткими замыканиями электродного промежутка каплей расплавленного металла. Характер переноса металла оценивали по длительности коротких замыканий $\tau_{к.з}$ их количеству $N_{к.з}$ и частоте $f_{к.з}$. Анализ особенностей горения дуги проводили по гистограммам напряжения на дуге и

тока сварки с помощью метода поэтапной обработки многомодальных распределений. В этом случае для каждого отдельного участка гистограммы определялись количество событий (измерений), среднее значение параметра, дисперсия и коэффициент вариации K_V [8].

Полученная информация позволяет получить количественную оценку кинетики плавления порошковой проволоки и перехода расплавленного металла в сварочную ванну, стабильности процесса горения сварочной дуги.

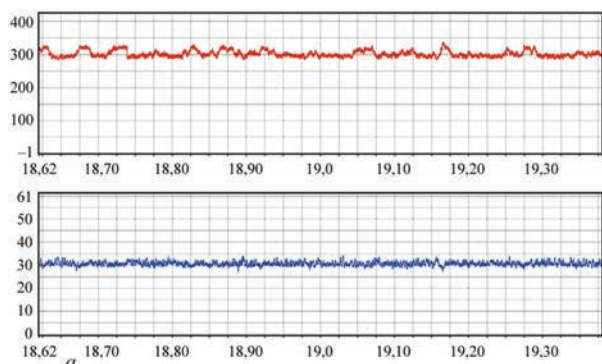


Рис. 1. Осциллограмма (а) процесса сварки металлопорошковой проволокой ТМВ5-МК и гистограммы тока и напряжения (б)

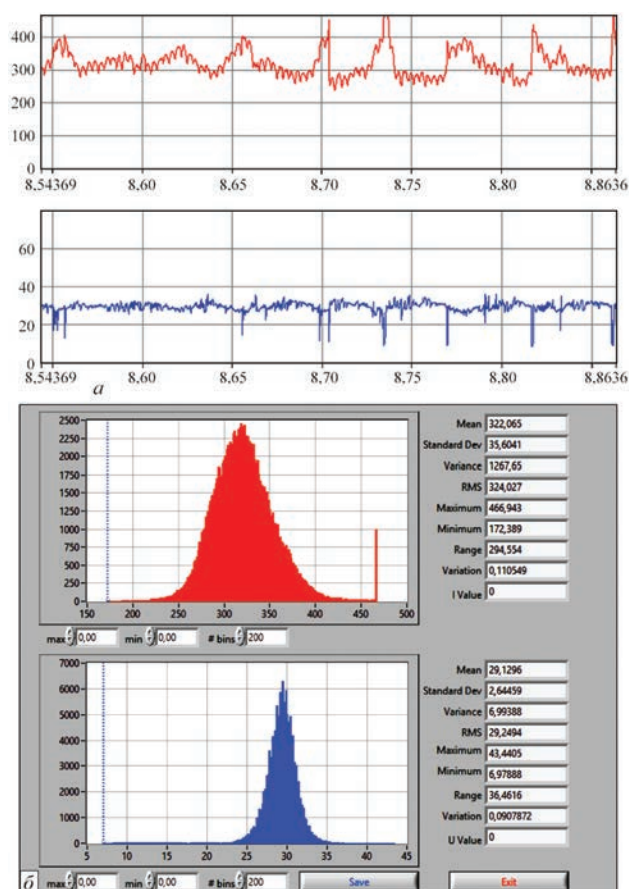


Рис. 2. Осциллограмма (а) процесса сварки проволокой Св-08Г2С и гистограммы тока и напряжения (б)

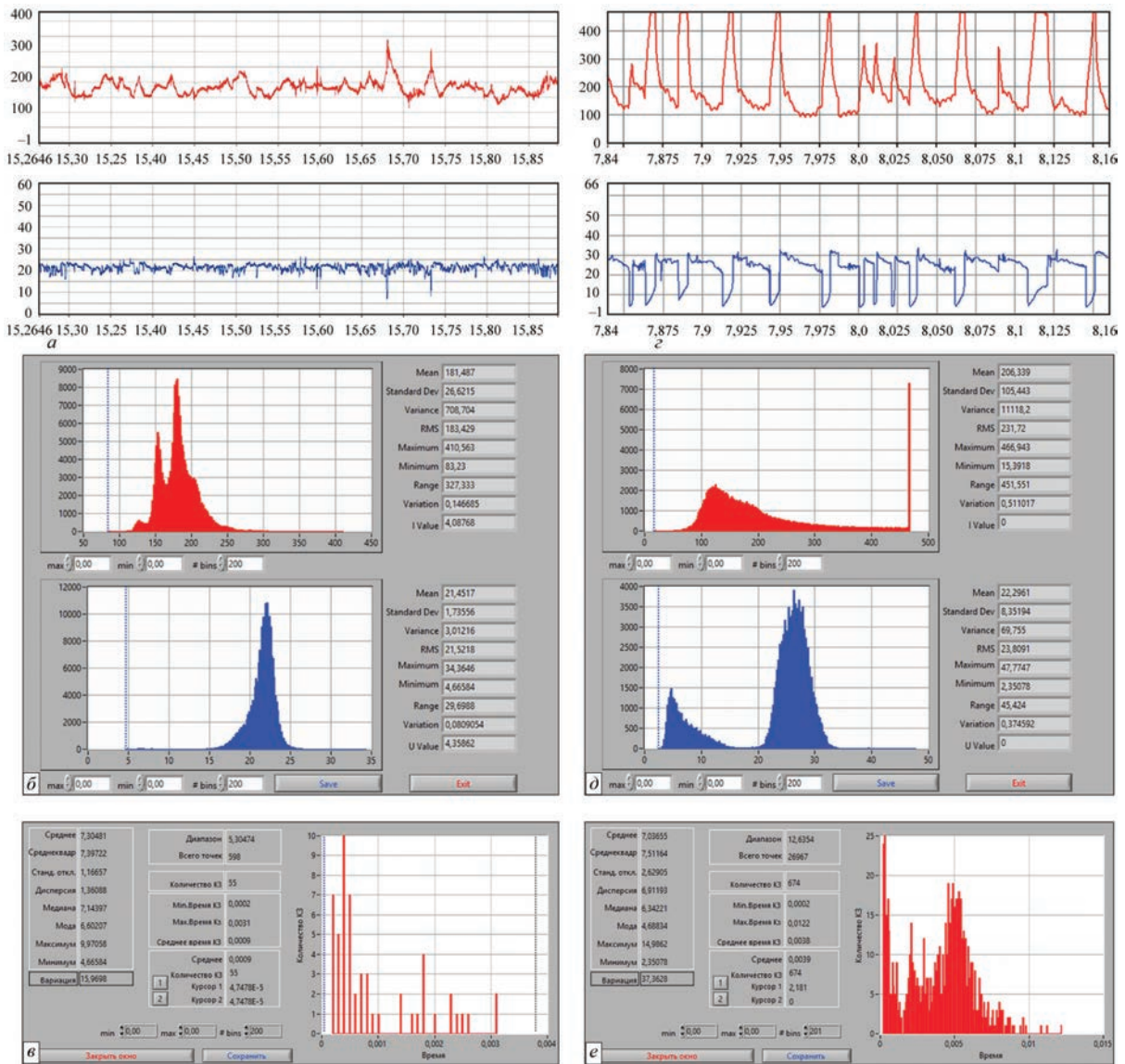


Рис. 3. Осциллограммы (а, з), гистограммы тока и напряжения (б, д) коротких замыканий (в, е) при сварке на пониженном режиме проволоками ТМВ5-МК и Св-08Г2С, соответственно

Сварка металлопорошковой проволокой ТМВ5-МК диаметром 1,2 мм выполнялась в автоматическом режиме. Параметры режима сварки изменялись в следующем диапазоне: $I_{св} = 120...300$ А, $U_d = 21...31$ В, $v_{св} = 14$ м/ч. Полученные результаты приведены в таблице.

Как видно из приведенных данных при сварке на короткой дуге ($U_d \leq 23$ В) процесс сопровождается кратковременными короткими замыканиями. С увеличением напряжения они исчезают и максимальная стабильность процесса сварки достигается на максимальных режимах $I_{св} = 300$ А, $U_d = 31$ В. Об этом свидетельствует минимальное значение коэффициента вариации по напряжению (3,1 %). Осциллограмма процесса и гистограммы тока и напряжения приведены на рис. 1. Ось ординат гистограмм представляет собой количество повторений мгновенного значения исследуемого параметра.

Для сравнения на рис. 2 приведена аналогичная информация, полученная при сварке проволокой сплошного сечения Св-08Г2С.

Из приведенных рисунков видно, что в последнем случае сварка проходит менее стабильно с периодическими колебаниями тока и напряжения в момент перехода капель, коэффициент вариации по напряжению больше почти в 3 раза (9,1 %). На пониженных режимах сварки преимущество металлопорошковой проволоки становится еще более заметным (рис. 3). Несмотря на появление кратковременных коротких замыканий со средней длительностью 2,1 мс коэффициент вариации по напряжению сохраняется на низком уровне (8,1 %). Сварка проволокой Св-08Г2С сопровождается периодическими короткими замыканиями со средней длительностью 4,7 мс, коэффициент вариации по напряжению вырос более чем в 4 раза (37,5 %). Необходимо отметить, что гисто-

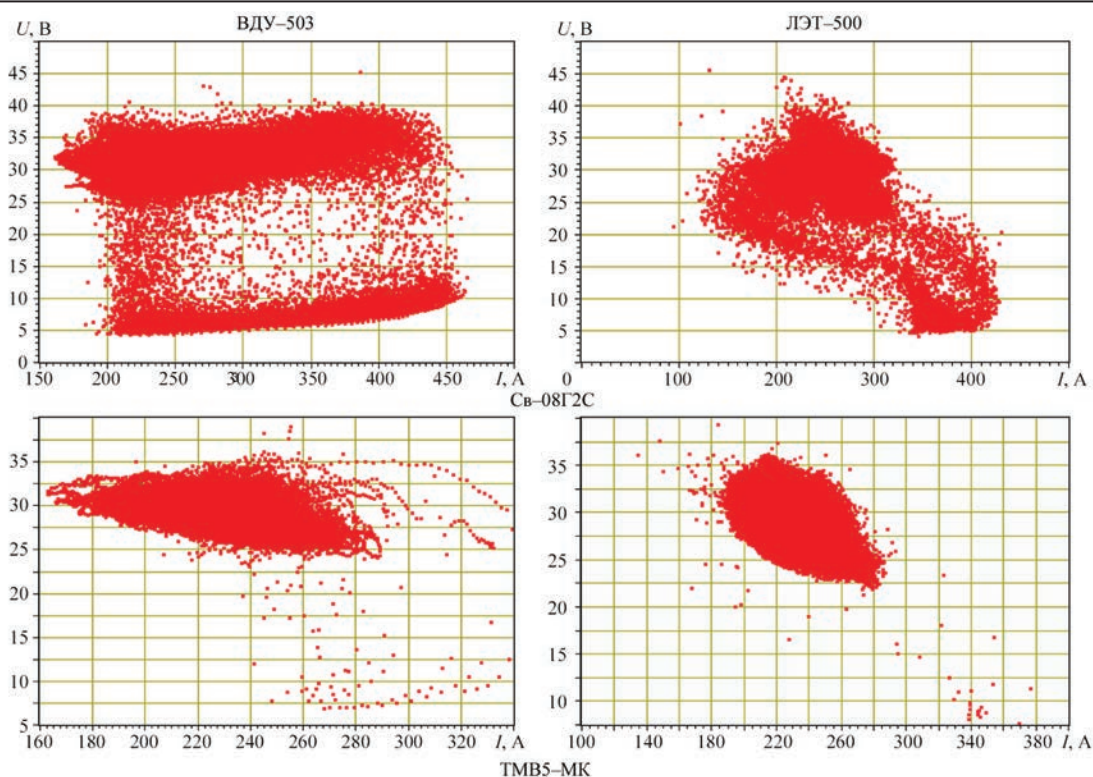


Рис. 4. Динамические вольтамперные характеристики процесса сварки

граммы коротких замыканий имеют двухмодальный характер — левая мода представляет собой случайные, а правая — действительные короткие замыкания.

В ходе исследований было отмечено значительное влияние на стабильность процесса сварки типа сварочного источника питания, что связано с его внешней характеристикой и электродинамическими показателями. На рис. 4 приведены динамические вольт-амперные характеристики процесса сварки с использованием тиристорного источника питания ВДУ-503 и инверторного ЛЭТ-500. Инверторный источник питания ЛЭТ 500 обеспечил более стабильный процесс, для которого характерна более локализованная зона событий регистрируемых электрических параметров горения сварочной дуги.

Выводы

1. Процесс сварки металлпорошковой проволокой характеризуется высокой стабильностью горения дуги в широком диапазоне режимов сварки с более высокими технологическими показателями ее применения по сравнению с проволокой сплошного сечения Св-08Г2С.

2. При сварке на одинаковых режимах в оптимальном диапазоне показатель стабильности горения дуги при использовании проволоки сплошного сечения Св-08Г2С ниже в 3 раза.

3. Сварка на пониженных режимах сварки приводит к появлению коротких замыканий, однако для

металлопорошковой проволоки коэффициент вариации по напряжению сохраняется на уровне 8,1 %, тогда как для проволоки сплошного сечения он увеличился более чем в 4 раза до 37,5 %, что значительно превышает допустимое значение 20 %.

4. Электродинамические свойства источника питания оказывают значительное влияние на стабильность процесса сварки и это фактор необходимо учитывать при оценке сварочно-технологических свойств сварочных проволок.

Список литературы

1. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Бровченко Н.С. (2015) Порошковые проволоки на мировом и региональном рынках сварочных материалов (Обзор). *Автоматическая сварка*, 5-6, 68–74.
2. Шлепаков В.Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. (2010) Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей. *Там же*, 3, 46–51.
3. Reinhard Rosert, Карасев М.В. Порошковые проволоки – тенденции, развитие и их применение в промышленности. *Международная научно-техн. конф. «Сварочные материалы-2012» к 100-летию «ЦНИИМ», 16–18 октября 2012 г.*, Санкт-Петербург, сс. 220–230.
4. Карасев М.В., Алимов А.Н., Гребенчук В.Г. и др. (2008) Сварка стыковых швов мостовых конструкций и трубопроводов порошковой проволокой с использованием оборудования для управления переносом металла. *Автоматическая сварка*, 0, 48–52.
5. Металлопорошковая проволока OUTERSHIELD®. <https://www.lincolnelectric.com/ru-ru/support/process-and-theory/Pages/metal-cored-wires.aspx>.
6. Advantages and Disadvantages of Metal Cored Wires. <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/advantages-and-disadvantages-of-metal-cored-wires.cfm>.
7. Газоэлектрическая сварка металлоконструкций порошковой проволокой с металлическим сердечником. <http://www.spetselectrode>.

ru/download/2017-Gazoelectricheskaya-svarka-metallokonstrukciy-poroshkovoy-provolokoy-s-metallicheskim-serdechnikom/1.htm.

8. Пирумов А.Е., Скачков И.О., Супрун С.А., Максимов С.Ю. (2007) Специализированная информационно-измерительная система для мониторинга процесса дуговой сварки. *Автоматическая сварка*, **8**, 41–43.

References

1. Mazur, A.A., Makovetskaya, O.K., Pustovojt, S.V., Brovchenko, N.S. (2015) Flux-cored wires at the world and regional markets of welding consumables (Review). *The Paton Welding J.*, **5-6**, 63-69.
2. Shlepakov, V.N., Gavrilyuk, U.A., Kotelchuk, A.S. (2010) State-of-the-art of development and application of flux-cored wires for welding of carbon and low-alloyed steels. *Ibid.*, **3**, 38-42.
3. Rosert, R., Karasyov, M.V. (2012) Flux-cored wires: tendencies, development and their application in industry. In: *Proc. of St.-Petersburg Int. Conf. on Welding Consumables*

-2012 to 100th Anniversary of TsNIIM (Russian, St.-Petersburg, 16-18 October, 2012), 220-230.

4. Karasyov, M.V., Rabotinsky, D.N., Alimov, A.N. et al. (2008) Welding of butt joints of bridge structures and pipelines using flux-cored wire and equipment for metal transfer control. *The Paton Welding J.*, **0**, 42-45.
5. Metal cored wire OUTERSHIELD®. <https://www.lincolnelectric.com/ruru/support/process-and-theory/Pages/metal-cored-wires.aspx>.
6. Advantages and disadvantages of metal cored wires. <http://www.esabna.com./us/en/education/blog/advantages-and-disadvantages-of-metal-cored-wires.cfm>
7. Gas-arc welding of metal structures by flux-cored wire with metal core. <http://www.spetsselectrode.ru/download/2017-Gazoelectricheskaya-svarka-metallokonstrukciy-poroshkovoy-provolokoy-s-metallicheskim-serdechnikom/1.htm>.
8. Pirumov, A.E., Skachkov, I.O., Suprun, S.A., Maksimov, Yu.S. (2007) Specialized information-measuring system for monitoring the process of arc welding. *The Paton Welding J.*, **8**, 34-36.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛОПОРОШКОВИМ ДРОТОМ МАРКИ ТМВ5-МК

А.А. Голякевич¹, Л.М. Орлов¹, С.Ю. Максимов²

¹ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 15. E-mail: office@veldtec.ua

²ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В даний час на світовому ринку зварювальних матеріалів зберігається стійка тенденція зростання споживання порошкових дротів. Однією з технологій, що швидко розвиваються при виготовленні металоконструкцій, є дугове зварювання в захисних газах порошковим дротом з металевим сердечником. Металопорошкові дроти за технологією використання не відрізняються від дротів суцільного перетину, а по ряду технологічних характеристик навіть перевершують їх. В ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» розроблено та освоєно виробництво високопродуктивних металопорошкових дротів марки ТМВ5-МК для зварювання в суміші 82% Ar + 18% CO₂. Встановлено, що металопорошкові дроти забезпечують високу стабільність горіння дуги в широкому діапазоні режимів зварювання. При зварюванні на однакових режимах в оптимальному діапазоні показник стабільності горіння дуги при використанні дроту суцільного перетину Св-08Г2С нижче в 3 рази в порівнянні з металопорошковим дротом ТМВ5-МК. Показано, що на стабільність процесу зварювання значний вплив мають електродинамічні властивості джерела живлення і цей фактор необхідно враховувати при оцінці зварюально-технологічних властивостей зварювальних дротів і розробці рекомендацій по їх застосуванню. Бібліогр. 8, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: металопорошковий дріт, дріт суцільного перетину, джерело живлення, стабільність горіння дуги, короткі замикання

PECULIARITIES OF WELDING PROCESS USING METAL FLUX-CORED WIRE OF GRADE TMV5-MK

A.A. Golyakevich¹, L.N. Orlov¹, S.Yu. Maximov²

¹LLC «TM.VELTEK». 15 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@veldtec.ua

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

Currently, in the world market of welding consumables there is a steady trend in growing consumption of flux-cored wires. One of the rapidly developing technologies for manufacture of metal structures is arc welding in shielding gases using flux-cored wire with a metal core. The metal flux-cored wires as to the technology of application do not differ from the wires of solid section, and as to the number of technological characteristics they even surpass them. Taking into account the global trends in the development of mechanized welding and the lack of domestic analogues, LLC «TM.VELTEK» developed and mastered the production of high-performance metal flux-cored wire TMV5-MK for welding in a mixture of 82% Ar + 18% CO₂. It was established that metal flux-cored wire provides a high stability of arc burning in a wide range of welding conditions. Using the wire of solid section Sv-08G2S in welding at the same modes in the optimal range, the value of stability of arc burning is 3 times lower as compared to the metal flux-cored wire TMV5-MK. It is shown that the stability of welding process is significantly influenced by electrodynamic properties of the power source and this factor should be taken into account during evaluation of welding and technological properties of welding wires and development of recommendations for their application. 8 Ref., 1 Tabl., 4 Fig.

Key words: metal flux-cored wire, wire of solid section, power source, stability of arc burning, short circuit

Поступила в редакцію 17.04.2019