

- ment in operating efficiency of continuous casting machine slab rolls. *Metallurgist*, 2018, vol. 62, pp. 681-685. doi:10.1007/s11015-018-0708-9.
7. Dombrovskiy F.S., Leshchinskiy L.K. *Rabotosposobnost naplavlennykh rolikov mashin nepreryvnogo litya zagotovok* [Operability overlaid rollers continuous casting machines]. Kiev, Institute elektrosvariki im. E.O.Patona Publ., 1995. 198 p. (Rus.)
 8. Bulanov S.V., Korzun L.G., Parfenov E.P. *Mashiny nepreryvnogo litya zagotovok. Teoriya i raschet* [Continuous Billet Casting Machine. Theory and Design]. Ekaterinburg, Uralmach, Metallurgicheskoe oborudovanie Publ., 2004. 349 p. (Rus.)
 9. Krylov S.V., Karaulanov O.V., Shebetovskiy O.V. Modernizatsiya naplavochnykh ustanovok v usloviyakh remontnykh predpriyatiy [Modernization of surfacing installations in the conditions of repair enterprises]. *Oborudovanie i instrument dlya professionalov – Equipment and Tools for Professionals*, 2018, no. 1, pp. 72-73. (Rus.)

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 15.03.2019

УДК 621.791.927

doi: 10.31498/2225-6733.38.2019.181370

© Гулаков С.В.¹, Бурлака В.В.², Міроненко А.І.³,
Псарьова І.С.⁴, Тимошенко М.В.⁵

ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ З МАГНІТНИМ КЕРУВАННЯМ

Розглянуто можливість регламентованого керування процесом переміщення дуги по торцю стрічкового електрода за рахунок її взаємодії з наведеним магнітним полем. Запропоновано два шляхи керування процесом наплавлення – із застосуванням профільованої електродної стрічки і плоскої (непрофільованої). Показано можливість управління закономірністю процесу переміщення дуги по торцю електрода в залежності від умов тепловкладення енергії дуги в електрод і основний метал та зварювальну ванну. Наведено схеми процесу магнітного управління переміщенням дуги по торцю стрічкового електрода за рахунок дії магнітного поля.

Ключові слова: електродугове наплавлення, перетворювач, стрічковий електрод, якість наплавлення, зварювальна дуга.

Гулаков С.В., Бурлака В.В., Міроненко А.І., Псарєва І.С., Тимошенко М.В. Дугова наплавка ленточним електродом с магнитным управлением. Рассмотрена возможность регламентированного управления процессом перемещения дуги по торцу ленточного электрода за счет ее взаимодействия с наведенным магнитным полем. Предложены два пути управления процессом наплавки – с применением профилированной электродной ленты и плоской (непрофилированной). Показана воз-

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, gulakov_s_v@pstu.edu

² д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, VladimirV.Burlaka@gmail.com

³ мол. наук. співроб., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, kulyabina-ai@rambler.ru

⁴ канд. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, psareva.irina@gmail.com

⁵ студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, psareva_masha@mail.ru

возможность управления закономерностью процесса перемещения дуги по торцу электрода в зависимости от условий тепловложения энергии дуги в электрод и основной металл и сварочную ванну. Приведены схемы процесса магнитного управления перемещением дуги по торцу ленточного электрода за счет действия магнитного поля.

Ключевые слова: электродуговая наплавка, преобразователь, ленточный электрод, качество наплавки, сварочная дуга.

S.V. Gulakov, V.V. Burlaka, A.I. Mironenko, I.S. Psareva, M.V. Timoshenko. Electric arc surfacing using ribbon electrode with magnetic control. Increasing the productivity of the arc surfacing process with a ribbon electrode can be achieved by increasing the width of the electrode. However, as the width of the electrode increases, the likelihood of weld defects forming is increased. This is due to the dispersion of the thermal influence of the arc on the base metal; increasing the size of the weld pool; the occurrence of a magnetic blast effect, because of which the displacement of weld pool liquid metal is possible; the appearance of cuts, irregularities of the edges of the deposited metal. By taking control over the movement of the welding arc at the end of the ribbon electrode, thereby stabilizing the melting of the base metal, it is possible to use the magnetic control of the arc movement at the end of the electrode and eliminate the effect of «magnetic blast». In the presented article, the possibility of controlling the process of moving the arc along the end of the tape electrode due to its interaction with the induced magnetic field is considered. Two ways of controlling the surfacing process are proposed – one for case of using profiled ribbon electrode tape and the other – for case of using flat (non-profiled) ribbon electrode. The possibility of controlling the regularity of the process of moving the arc along the end of the electrode depending on the conditions of heat input of the arc energy into the electrode and the base metal and the weld pool is shown. This will allow to use ribbon electrodes with increased width, thus improving deposition process efficiency. Schemes of the process of magnetic control of arc movement along the end of the tape electrode due to the action of a magnetic field are presented.

Keywords: electric arc surfacing, converter, ribbon electrode, surfacing quality, welding arc.

Постановка проблеми. Збільшення продуктивності процесу дугового наплавлення стрічковим електродом можна досягти, збільшуючи ширину електрода [1-5]. Однак із зростанням ширини електрода збільшується ймовірність формування дефектів зварного з'єднання. Це пов'язано з розосередженням теплового впливу дуги на основний метал; збільшенням розмірів зварювальної ванни; виникненням ефекту магнітного дуття, при якому можливе зміщення рідкого металу ванни; виникненням підрізів, нерівностей крайок валика, що наплавляється [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із факторів, що впливають на якість шару, наплавленого стрічковим електродом, є характер переміщення дуги по його торцю [4-6]. Упорядкувати переміщення дуги по торцю стрічкового електрода, стабілізувавши тим самим проплавлення основного металу, можна шляхом використання магнітного управління характером переміщення дуги по торцю електрода і усунення ефекту «магнітного дуття», в істотній мірі погіршуючого характер формування бездефектного робочого шару при широкошаровому наплавленні стрічковим електродом [7-9]. Описані в наведених джерелах технологічні процеси та устаткування не дозволяють забезпечити регламентований характер переміщення дуги по торцю стрічкового електрода, що може негативно позначатися на якості наплавленого шару.

Мета роботи – розробка устаткування для дугового наплавлення стрічковим електродом з магнітним керуванням, що забезпечує високу якість наплавлених виробів.

Виклад основного матеріалу. Найпростіше вирішити задачу магнітного управління переміщенням дуги по торцю можливо з використанням профільованого стрічкового електрода з числом n прямолінійних ділянок (рис. 1) шляхом накладення змінного магнітного поля, що створюється чотириполюсною магнітною системою.

Якщо в районі горіння дуги в точці А профільованого стрічкового електрода-1 прикласти два взаємно перпендикулярних магнітних потоки, напрям яких показаний на рис. 1, то при зворотній полярності зварювального струму на дугу діятиме результуюча сила F_3 , яка перемістить

дугу в точку В. Подальше переміщення дуги буде неможливе, оскільки її рух по торцю електрода повинен здійснюватися проти дії сили F_1 . При зміні напрямку потоку $H1$ на протилежний дуга переміститься з точки В в точку С і зупиниться.

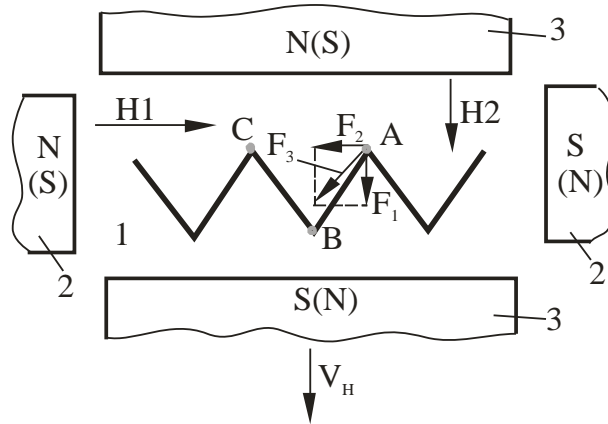


Рис. 1 – Схема магнітного керування процесом переміщення дуги по торцю профільованого стрічкового електрода

Таким чином, реверсуючий потік $H1$ при постійному напрямі потоку $H2$ можна дискретно рухати дугу з одного краю електрода в інший.

Для руху дуги у зворотному напрямі досить змінити напрям потоку $H2$.

Для переміщення дуги з одного краю електрода в інший необхідно перемкнути напрям потоку $H1$ n разів при постійному напрямі магнітного потоку $H2$.

З огляду на те, що на краях зварювальної ванни умови тепловідведення кращі, в цих місцях необхідно збільшувати тепловкладення. Для цього дугу доцільно затримувати на час τ на краях торця стрічкового електрода. Тоді час повного циклу переміщення дуги від одного краю електрода до іншого і повернення її в початковий стан дорівнює $T1 = 2(nT + \tau)$ (див. рис. 2) При цьому магнітний потік, перпендикулярний напрямку наплавлення, може мати регульовану скважність.

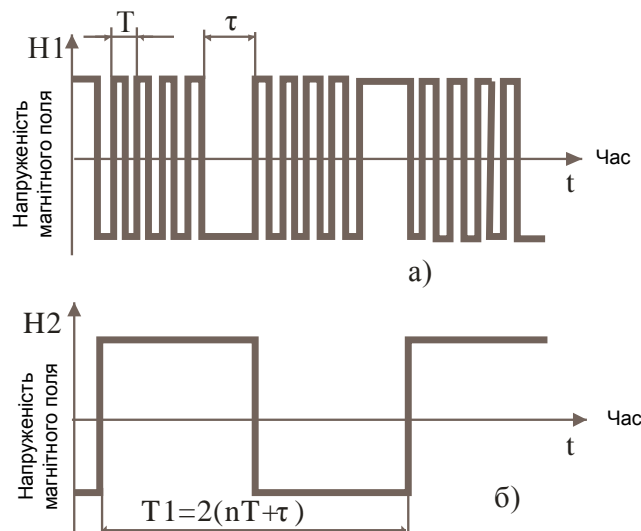


Рис. 2 – Характер зміни параметрів магнітного поля у зазорах магнітної системи

При горінні дуги на передній і задній кромках профільованого стрічкового електрода вплив її на основний метал різний. При горінні дуги на передній кромці (в точці В) вона інтенсивно впливає на основний метал, так як зварювальна ванна знаходиться ззаду.

Теплота основному металу при горінні дуги на задній кромці (в точці А) передається через рідкий метал ванни.

Змінюючи час горіння дуги на передній і задній кромках, можна регулювати тепловкладення в основний метал і зварювальну ванну і тим самим змінювати характер розплавлення основного металу і параметри зварювальної ванни.

При горінні дуги на передній кромці електрода доцільно витратити енергію, в основному, на розплавлення основного металу, а при горінні її на задній кромці – плавити електродний матеріал. Для цього в момент горіння дуги на задній кромці електрода можна здійснювати модуляцію зварювального струму з метою інтенсифікації переходу електродного металу в ванну.

Для реалізації запропонованої технології розроблено пристрій магнітного керування зварювальною дугою, який складається з двох силових Н-мостів на польових транзисторах IRFP4110, до виходів яких підключені обмотки електромагнітів; і керуючого мікроконтролера ATMEGA48. Затворні ланцюги силових транзисторів керуються із використанням спеціалізованих мікросхем-драйверів IRS2184. Керуюча програма мікроконтролера дозволяє реалізувати режими переміщення дуги із заданою швидкістю, також реалізована можливість регулювання струмів електромагнітів за рахунок використання широтно-імпульсної модуляції.

При використанні непрофільованих стрічкових електродів система магнітного управління дещо ускладнюється (рис. 3). Пристрій містить електромагнітну систему, що складається з пар полюсів, розташованих уздовж торця стрічкового електрода так, щоб магнітні силові лінії перетинали зварювальну дугу у напрямі вектору швидкості зварювання (рис. 3). При такому їх розташуванні взаємодія зварювальної дуги з магнітним полем викличе дію сили, спрямованої уздовж кромки стрічкового електрода.

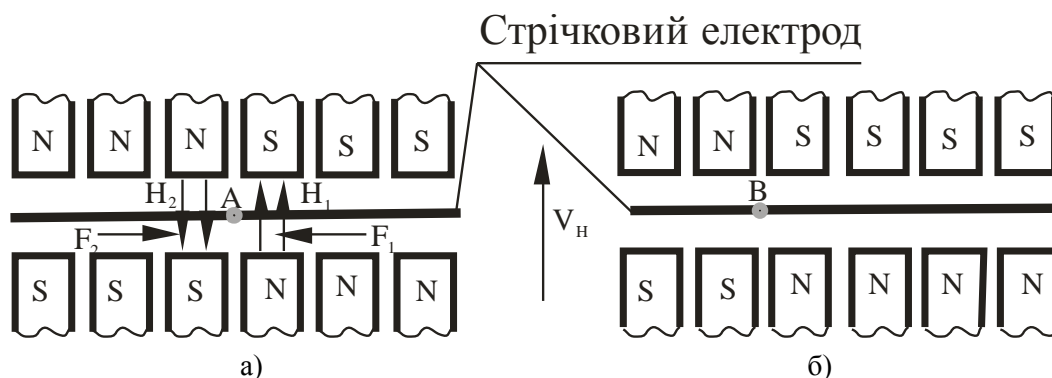


Рис. 3 – Схема магнітного управління процесом переміщення дуги по торцю стрічкового електрода

Припустимо, що полярність окремих пар полюсів у нинішній момент часу відповідає зображеній на рис. 3, а зварювальна дуга знаходиться в точці А. При взаємодії дуги з полем, утвореним трьома парами правих полюсів, на неї діє сила F_1 , а від лівих (за рисунком) – F_2 . Оскільки ці сили зустрічно спрямовані і рівні, зварювальна дуга знаходитиметься в точці А. При випадковому збудженні зварювальної дуги в іншій області торця електрода вона обов'язково переміститься в точку А, де зупиниться.

Якщо в якийсь момент часу змінити напрям магнітного потоку в третій (ліворуч) парі полюсів на протилежну (рис. 3), зварювальна дуга переміститься в точку В.

Перемикаючи послідовно полярність другої і першої (зліва) пари полюсів, можна послідовно перемістити зварювальну дугу на лівий край торця електрода.

Послідовне перемикання полюсів у зворотному напрямі змусить зварювальну дугу переміщатися в протилежну сторону. Швидкість переміщення зварювальної дуги визначатиметься частотою перемикання полярності полюсів магнітної системи. Змінюючи частоту генератора за певним законом, можна забезпечити керований закон переміщення дуги по торцю електрода.

Пристрій магнітного керування зварювальною дугою може складатися з силової частини, аналогічній описаній вище, із використанням більш потужного керуючого мікроконтролера, наприклад, STM32F030C8T6, який дозволить забезпечити керування більшою кількістю елект-

ромагнітів (до 7) та має на борту 12-розрядний АЦП зі швидкістю до 1 MSPS, що вкупі з 32-бітним ядром ARM Cortex-M0 дозволить реалізувати необхідні закони керування струмами електромагнітів в реальному часі.

Висновки

Запропоновано спосіб підвищення ефективності процесу наплавлення стрічковим електродом за рахунок магнітного керування положенням зварювальної дуги на торці електрода. Використання способу дозволить здійснювати наплавлення стрічковими електродами збільшеної ширини при збереженні якості наплавленого шару за рахунок стабілізації глибини проплавлення основного металу і забезпечення надійного сплавлення основного металу з наплавленим. Запропоновано варіанти реалізації такого способу і описано відповідні алгоритми управління.

Перелік використаних джерел:

1. Мастенко В.Ю. Особенности наплавки электродной лентой шириной до 200 мм / В.Ю. Мастенко, В.Д. Ходаков, Н.А. Волосов // Автоматическая сварка. – 1981. – № 3. – С. 50-52.
2. Eichhorn F. Unterpulver – Auftragschweissen mit 60 – 90 und 120 mm breiten Cr-Ni-Stahlbandelektroden / F. Eichhorn, U. Dilthey, W. Huwer // Industrie-Anzeiger. – 1972. – N. 98. – Pp. 2369-2372.
3. Кравцов Т.Г. Электродуговая наплавка электродной лентой / Т.Г. Кравцов. – М. : Машиностроение, 1978. – 168 с.
4. Гулаков С.В. Наплавка под флюсом ленточным электродом / С.В. Гулаков, В.Н. Матвиенко, Б.И. Носовский. – Мариуполь : ПГТУ, 2006. – 136 с.
5. Размышляев А.Д. Автоматическая электродуговая наплавка ленточным электродом под флюсом / А.Д. Размышляев. – Мариуполь : ГБУЗ «ПГТУ», 2013. – 180 с.
6. Размышляев А.Д. Перемещение дуги при плавлении ленты под флюсом // Автоматическая сварка. – № 6. – 1983. – С. 70-71.
7. Размышляев А.Д. Строение магнитного поля в межэлектродном промежутке при дуговой наплавке ленточным электродом / А.Д. Размышляев // Сварочное производство. – 1995. – № 2. – С. 15-18.
8. Тарасов В.В. Широкойнаплавка в поперечном магнитном поле открытой дугой. / В.В. Тарасов, П.Ф. Лаврик, Л.К. Лещинский // Автоматическая сварка. – 1973. – № 1. – С. 73-74.
9. Размышляев А.Д. Управление формированием валика при дуговой наплавке ленточным электродом / А.Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 2000. – № 4. – С.13-15.

References:

1. Mastenko V.Iu., Khodakov V.D., Volosov N.A. Osobennosti naplavki elektrodnoi lentoi shirinoi do 200 mm [Features of surfacing with electrode tape up to 200 mm wide]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1981, no. 3, pp. 50-52. (Rus.)
2. Eichhorn F., Dilthey U., Huwer W. Unterpulver – Auftragschweissen mit 60 – 90 und 120 mm breiten Cr-Ni-Stahlbandelektroden. *Industrie-Anzeiger*, 1972, no. 98, pp. 2369-2372. (Germ.)
3. Kravtsov T.G. *Elektrodugovaia naplavka elektrodnoi lentoi* [Electric arc surfacing with electrode tape]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 168 p. (Rus.)
4. Gulakov S.V., Matvienko V.N., Nosovskii B.I. *Naplavka pod fliusom lentochnym elektrodom* [Surfacing with flux tape electrode]. Mariupol, SHEE «PSTU» Publ., 2006. 136 p. (Rus.)
5. Razmyshliaev A.D. *Avtomaticheskaiia elektrodugovaia naplavka lentochnym elektrodom pod fliusom* [Automatic arc welding surfacing with a ribbon electrode]. Mariupol, SHEE «PSTU» Publ., 2013. 180 p. (Rus.)
6. Razmyshliaev A.D. Peremeshchenie dugi pri plavlenii lenty pod fliusom [Moving the arc when melting the tape submerged arc]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1983, no. 6, pp. 70-71. (Rus.)
7. Razmyshliaev A.D. Stroenie magnitnogo polia v mezhelektrodnom promezhutke pri dugovoi naplavke lentochnym elektrodom [The structure of the magnetic field in the interelectrode gap during arc surfacing with a tape electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1995, no. 2, pp. 15-18. (Rus.)

8. Tarasov V.V., Lavrik P.F., Leshchinskii L.K. Shirokosloinaia naplavka v poperechnom magnitnom pole otkrytoi dugoi [Wide-layer surfacing in a transverse magnetic field by an open arc]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1973, no. 1, pp. 73-74. (Rus.)
9. Razmyshliaev A.D. Upravlenie formirovaniem valika pri dugovoi naplavke lentochnym elektrodom [Management of the formation of the roller during arc surfacing with a tape electrode]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 2000, no. 4, pp. 13-15. (Rus.)

Рецензент: В.М. Матвієнко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 13.02.2019

УДК 621.791.753.042

doi: 10.31498/2225-6733.38.2019.181399

© Щетинин С.В.¹, Щетинина В.И.², Коваль А.В.³,
Никитенко П.В.⁴, Элсаед Халед⁵

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ НАПЛАВКЕ НА НИЗКОЙ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ

Установлены закономерности влияния скорости наплавки и погонной энергии на термический цикл. Разработан способ высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, обеспечивающий сокращение термического цикла, снижение сварочных напряжений и измельчение микроструктуры, предотвращение образования трещин, повышение трещиностойкости и износостойкости.

Ключевые слова: термический цикл, трещины, сварочные напряжения, измельченные микроструктуры, высокоскоростная наплавка на низкой погонной энергии.

Щетинін С.В., Щетиніна В.І., Коваль О.В., Никитенко П.В., Елсаед Халед. Підвищення тріщиностійкості та зносостійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії. Опорні валки, які запобігають прогину і поломці робочих валків, працюють в умовах високих питомих тисків і виготовляються з високовуглецевої сталі, схильної до утворення гарячих і холодних тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості і зносостійкості є важливою науково-технічною проблемою. Найбільш ефективно підвищення тріщиностійкості шляхом збільшення швидкості наплавлення, при підвищенні якої знижується погонна енергія. Швидкість наплавлення визначає тепловкладення і термічний цикл. З підвищенням швидкості наплавлення внаслідок зниження погонної енергії тепловкладення і максимальна температура зменшуються, швидкість нагріву і охолодження зростає. Пропорційно швидкості зварювання підвищується швидкість кристалізації і зменшується час існування зварювальної ванни в рідкому стані. В результаті зерна не встигають вирости, і забезпечується дрібнозерниста структура. Внаслідок зменшення тепловкладення знижуються зварювальні напруги. Подрібнення микроструктури і зниження зварювальних напруг підвищують тріщиностійкість наплавленого металу. При високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії зменшується тепловкладення і енергія, зі зниженням якої внаслідок зменшення міжатомної відстані і збільшення міжатомних сил зв'язків, збереження рівноваги і мінімуму енергії тріщиностійкість наплавленого металу підвищується. Мінімум

¹ д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ аспірант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ аспірант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁵ аспірант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь