

- of the Jst JFAC Symposium on Automation for Mineral Resource Development. – Pergamon Press, Oxford, 1986. – P. 301–307.
13. Herbst J.A. Optimal Control of Communion Operations / J. A. Herbst, F. A. Alba, W. T. Pate, A. E. Oblad // International Journal of Mineral Processing. – 1988. – Vol. 22. – № 1–4. – P. 275–296.
 14. Herbst J. A. Model-based control of mineral processing operations / J. A. Herbst, W. T. Pate, A. E. Oblad // Powder Technology. – 1992. – Vol. 69. – P. 21–32.
 15. SCADA TRACE MODE в АСУТП обогащення руди Северного ГОКа [Електронний ресурс]. – <http://www.tracemode.ua>.
 16. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В. В., Топчаев В. П., Улитенко К. Я. и др.]. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
 17. Иванов А. Б. Перспективные направления автоматизации процессов дробления и измельчения руды / А. Б. Иванов, В. Н. Куваев, Я. Г. Куваев // Горный журнал. – 2010. – № 11. – С. 74–76.
 18. Улитенко К. Я. Управление водными режимами измельчения и классификации в современных АСУТП / К. Я. Улитенко // Обогащение руд. – 2008. – № 1. – С. 35–42.
 19. Кондратець В. О. Оптимізація прогнозування розрідження пульпи у кульових млинах при змінній витраті води в піски класифікатора / В. О. Кондратець, 20. А. М. Мацуї // Вісник Житомирського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 1(79). – С. 171–181.
 20. Козин В. З. Опробование минерального сырья / Козин В. З. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горного ун-та, 2011. – 316 с.
 21. Клейн М. С. Опробование и контроль технологических процессов обогащения / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – 131 с.
 22. Младецький І. К. Випробування і контроль в процесах збагачення корисних копалин / І. К. Младецький, П. І. Пілов. – Дніпропетровськ : НГУ, 2005. – 155 с.
 23. Козин В. З. Исследование руд на обогатимость / Козин В. З. – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. горного ун-та, 2008. – 312 с.

пост. 20.10.2017

Д.Г. НОСОВ, к.т.н., доцент, nosov_dstu@ukr.net

В.В. ПЕРЕМІТЬКО, д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

Вплив частоти та індукції поздовжнього магнітного поля на втрати електродного металу та його розбризування при МАГ-зварюванні

В роботі розглянуто питання масопереносу електродного металу, краплеутворення при МАГ-зварюванні із додатковим впливом поздовжнього магнітного поля; визначено діапазони оптимальних індукцій та частот поздовжнього магнітного поля; встановлено характеристики їх взаємного впливу на процес масопереносу електродного металу.

The paper deals with the issues of mass transfer of electrode metal, drop formation during MAG-welding with additional influence of the longitudinal magnetic field; the ranges of optimal inductions and frequencies of the longitudinal magnetic field are determined; the characteristics of their mutual influence on the process of mass transfer of electrode metal.

Постановка проблеми

Механізований спосіб зварювання в активному захисному газі дротом суцільного перерізу — МАГ-зварювання — поза сумнівом, має низку незаперечних переваг перед ручним дуговим способом зварювання. Проте, разом з перевагами цей спосіб зварювання має і недоліки, що знижують ефективність його застосування: невисоку продуктивність в порівнянні з автоматичними способами зварювання; залежність якості зварного з'єднання від кваліфікації зварника; значні втрати металу на розбризування, які складають до 10...15 % маси зварювального дроту.

Розробка математичних моделей, застосування яких дозволило б визначати додаткові режими зварювання з метою зниження втрат електродного металу шляхом зменшення рівня його розбризування є актуальною проблемою зварювального виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розбризування супроводжується викиданням із зони дуги бризок рідкого металу різного розміру, які

вступають у фізико-хімічну взаємодію з поверхневими шарами зварюваного металу [1,2]. Захист поверхні металу від налипання бризок та/або її зачистка призводить до необхідності виконання додаткових операцій в обсязі 20...40% від загальної трудомісткості зварювальних операцій [3,4].

До основних причин викидання крапель металу із зони зварювання відносяться: нестабільний характер перенесення металу, коли сила, що відриває краплю від електроду, направлена убік від ванни і крапля викидається за її межі; місцеве вибухоподібне виділення газів в об'ємі металу зварної ванни, що викликається металургійними реакціями; руйнування містка рідкого металу, що утворюється при перенесенні металу з короткими замиканнями в результаті різкого збільшення щільності струму при звуженні перемички (пінч-ефект) [3,5].

Інтенсивність розбризування металу залежить від складу дроту (компонентів захисної суміші) і стану поверхні кромок основного металу; характеристик джерела живлення (встановлено залежність між динаміч-

ними характеристиками джерела живлення і втратами на розбризування електродного металу); величини і співвідношення параметрів режиму зварювання та ін.

Тому нами зроблені припущення про можливість керування процесом масопереносу електродного металу шляхом впливу на дугу зовнішнім магнітним полем. Проте, точні дані про показники розбризування при МАГ-зварюванні з використанням додаткового впливу на дугу зовнішнім електромагнітним полем практично відсутні.

Формулювання мети дослідження

Об'єктом дослідження є процес електродугового зварювання плавким електродом в середовищі активних захисних газів із додатковим впливом на дугу зовнішнім електромагнітним полем.

Предметом дослідження є вплив частоти та індукції поздовжнього магнітного поля на процеси краплеутворення та масопереносу електродного металу при МАГ-зварюванні.

У результаті дослідження необхідно встановити умови, за яких можна зменшити коефіцієнт втрат на розбризування електродного металу ψ під впливом зовнішнього електромагнітного поля при МАГ-зварюванні. Впровадження нових технологій у виробничих умовах покращить ефективність процесу МАГ-зварювання, призведе до зниження матеріало-, трудо- та енергоємності.

Основними задачами дослідження є: визначення діапазону частот та індукцій ПДМП, які забезпечують зниження коефіцієнта ψ ; визначення характеристик їх взаємного впливу на процес масопереносу електродного металу; розробка математичних моделей, що пов'язують частоту та індукцію ПДМП з коефіцієнтом втрат на розбризування електродного металу

Виклад основного матеріалу

У дослідженнях використовували листову конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості Ст3сп, зварювальний дріт марки Св-08Г2С, двоокис вуглецю вищого сорту; зварювальне устаткування: установку типу УД-209-УХЛ4, джерело живлення — універсальний випрямляч ВДУ-506; ваги аналітичні лабораторні.

Для створення зовнішнього електромагнітного поля використано спеціалізований мундштук зварювальної головки із вбудованим соленоїдом. Його живлення забезпечували від лабораторного пристрою ЛАТР-1 та спеціалізованого блоку керування режимами БКРН-2 [6]. Експериментальну установку наведено на рис. 1.

При проведенні досліджень були призначені наступні режими зварювання: $I_{зв} = 220 \dots 250 \text{ А}$; $U_d = 20 \dots 22 \text{ В}$; $V_{н,д} = 0,085 \text{ м/с}$; струм постійний зворотної полярності. Товщина металу 10^{-2} м , діаметр електродного дроту $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Компоненти індукції ПДМП B_z вимірювали поблизу поверхні пластини на відстані від плоского торця електроду до пластини $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Індукцію постійного МП визначали мілітесламетром типу ЕМ-4305 з датчиком Холла з базою $1 \times 1 \text{ мм}$, а змінного — мілітесламетром типу Ф-4356 з датчиком Холла з базою $4 \times 4 \text{ мм}$.

Рівень розбризування електродного металу оцінювали коефіцієнтом, який чисельно дорівнює відсотковому відношенню мас дроту, витрачених відповідно на розбризування $m_{розбр}$ та на формування 1 м валика на дослідному зразку $m_{др}$:

$$\psi = (m_{розбр} / m_{др}) \cdot 100 \% ; \quad (1)$$

$$m_{розбр} = m_{др} - m_{шв}; \quad (2)$$

$$m_{др} = \gamma_{др} \cdot l_{др} \cdot \pi \cdot d_{др} / 4, \quad (3)$$

де $m_{шв}$ — маса шва, яка дорівнює різниці мас дослідного зразка до і після зварювання, кг; $\gamma_{др}$ — густина матеріалу дроту, кг; $l_{др}$ — довжина дроту, необхідна для формування 1 м валика, м.

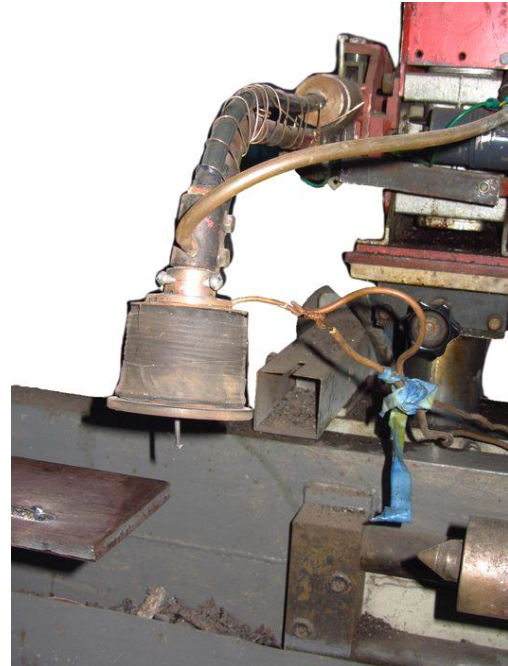


Рис. 1. Експериментальна установка

Зміни параметрів масопереносу електродного дроту при зварюванні з додатковим впливом різночастотним зовнішнім ПДМП досліджували за методикою, що ґрунтується на наплавленні на мідний диск, який обертається із заданою кутовою швидкістю. В умовах проведення експерименту кутова швидкість складала 0,185 об/с. Періодично його верхню поверхню діаметром 0,5 м змашували протипригарною рідиною. Для забезпечення однакового часу горіння дуги, який під час кожного експерименту становив 15 с, зварювальне джерело живлення, генератор імпульсів ПДМП і привод спеціалізованого пальника у напрямку до центру диска вмикали за допомогою пристрою керування з електронним таймером. Обробку експериментальних даних починали з вимірювання відстаней між сусідніми краплями, що необхідно для визначення частоти переносу.

При складанні матриці експерименту було прийнято два фактори, що впливають на результат — індукція ПДМП та її частота. Коефіцієнт втрат електродного дроту, кількість крапель електродного металу є відгукми даної матриці. Для отримання статистичних даних та розробки математичних моделей було обрано ортогональний центральний композиційний план другого порядку.

Параметри зовнішнього ПДМП (індукцію B_z , мТл, частоту імпульсів $f_{имп}$, Гц) змінювали у межах $0 \dots 80 \text{ мТл}$ та $0 \dots 50 \text{ Гц}$ відповідно (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця плану експерименту та результати досліджень

Індукція МП B_Z , мТл	Частота МП $f_{имп}$, Гц	Коефіцієнт витрат, ψ , %	Кількість крапель, $n_{кр}$
+	+	15,3	212
-	+	12,6	172
+	-	14,2	189
-	-	14	78
+	0	14,9	200
-	0	10,9	162
0	+	11,2	168
0	-	10,6	168
0	0	10,1	181

Обробку експериментальних даних виконували за допомогою програмного продукту *StatSoft Statistica*. Отримані залежності між параметрами представлено у вигляді тривимірних графіків (рис.2 та 3).

Аналіз графіка залежності коефіцієнта витрат електродного дроту від індукції та частоти ПДМП (рис. 2) показав, що більший вплив на контрольований параметр має величина індукції ПДМП, ніж його частота. Із збільшенням індукції керівного ПДМП від 0 до 18 мТл величина коефіцієнта витрат електродного дроту зменшується в середньому на 25% (в абсолютних величинах від 14 до 10%).

Зі збільшенням частоти ПДМП від 0 до 36 Гц при значеннях його індукції до 35 мТл також спостерігається зменшення коефіцієнту витрат електродного дроту. Подальше збільшення частоти ПДМП має зворотній ефект, тобто коефіцієнт витрат електродного дроту збільшується від мінімуму в 10% до 12,5%. Таким чином, додатковий вплив на дугу зовнішнім ПДМП має позитивний характер, так як при зварюванні без застосування ПДМП за рівних режимних умов коефіцієнт втрат електродного дроту дорівнював 14,2% проти 12,5%.

Таким чином, мінімальних значень ψ приймає за умов впливу на дугу змінним ПДМП частотою 16...34 Гц індукцією 18...38 мТл.

Вплив на зварювальну дугу поздовжнім магнітним полем індукцією більше 40 мТл призводить до збільшення коефіцієнта витрат електродного дроту. При значеннях B_Z 40...70 мТл величина коефіцієнта втрат електродного дроту наближається до середніх показників для випадку МАГ-зварювання без застосування ПДМП. Подальше збільшення B_Z викликає різке збільшення коефіцієнта витрат електродного дроту з 14 до 17,5 %.

Визначені залежності можна виразити математично через наступне рівняння:

$$\Psi = 13,414 - 0,1377 \cdot B_Z - 0,1043 \cdot f_{имп} + 0,0019 \cdot B_Z^2 + 0,0006 \cdot B_Z \cdot f_{имп} + 0,0016 \cdot f_{имп}^2. \quad (4)$$

Експериментальним шляхом встановлено, що значний вплив на кількість крапель електродного металу має як величина індукції ПДМП, так і його частота (рис. 3).

Із збільшенням індукції ПДМП кількість крапель електродного металу збільшується майже удвічі (від 100 до 200). При збільшенні частоти ПДМП також спостерігається збільшення кількості крапель електродного металу. Проте, вплив частоти ПДМП на величину $n_{кр}$ менш значний ніж вплив індукції цього поля. Так, зокрема, при показниках індукції ПДМП до 20 мТл приріст $n_{кр}$ склав 60 %, при $B_Z = 30...50$ мТл приріст $n_{кр}$ склав 80 %.

Максимальна кількість крапель утворюється за наступних умов: індукція ПДМП $B_Z = 75...90$ мТл, частота ПДМП $f_{имп} = 12...36$ Гц. При цьому масоперенос електродного металу набуває струменевого характеру.

Визначені залежності можна виразити математично через рівняння:

$$n_{кр} = 94,5833 + 1,4063 \cdot B_Z + 2,81 \cdot f_{имп} + 0,0022 \cdot B_Z^2 - 0,0178 \cdot B_Z \cdot f_{имп} - 0,0264 \cdot f_{имп}^2. \quad (5)$$

Таким чином, підвищити ефективність процесу МАГ-зварювання можна шляхом керування масопереносом електродного металу при зниженні коефіцієнта втрат на розбризування електродного металу за допомогою додаткового впливу на дугу поздовжнім магнітним полем.

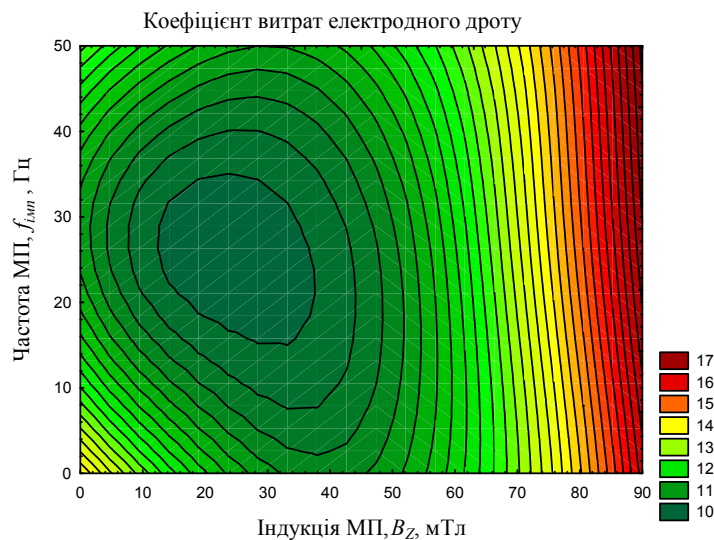


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта витрат електродного дроту від індукції та частоти ПДМП

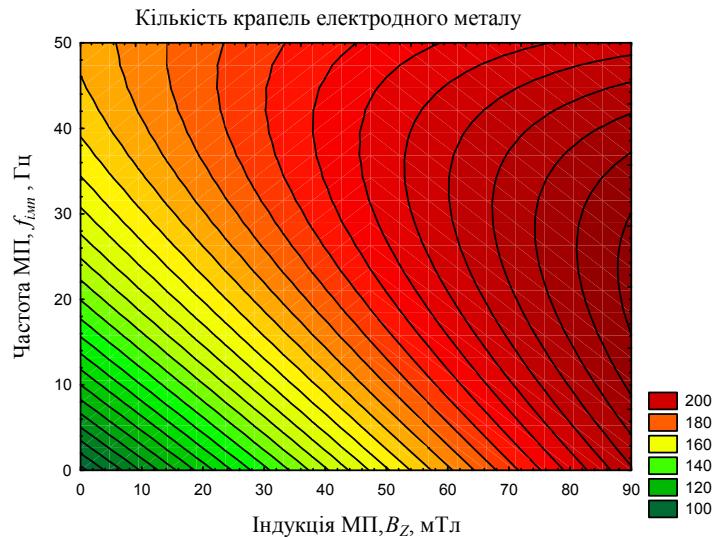


Рис. 3. Графік залежності кількості крапель електродного металу від індукції та частоти ПДМП

Висновки та перспективи подальших досліджень

У роботі визначено діапазон частот та індукцій поздовжнього МП, які забезпечують зменшення коефіцієнта витрат електродного дроту; встановлено характеристики їх взаємного впливу на процес масопереносу електродного металу; розроблено математичні моделі, що пов'язують частоту та індукцію поздовжнього МП з коефіцієнтом витрат на розбризкування електродного металу. А саме:

- мінімальних значень коефіцієнт витрат електродного дроту приймає за умов впливу на дугу змінним ПДМП частотою 16...34 Гц індукцією 18...38 мТл;
- при МАГ-зварюванні за умов впливу на дугу змінним ПДМП індукцією понад 75 мТл загальна кількість крапель електродного металу збільшується удвічі, при цьому спостерігали перехід до струменевого переносу електродного металу;
- збільшення величини індукції ПДМП більше 70 мТл неприпустимо, так як призводить до різкого збільшення коефіцієнту витрат електродного дроту.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на визначення впливу індукції та частоти ПДМП на розподіл крапель електродного металу по фракціях та розробку технологічних рекомендацій, які дадуть змогу підвищити ефективність процесу МАГ-зварювання шляхом керування масопереносом електродного металу та зниження його витрат на розбризкування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потапьевский А.Г., Лаврищев В.Я. Разбрызгивание при сварке CO_2 проволокой Св-08Г2С // Автоматическая сварка. 1972. № 8. С. 39–42.
2. Fedko V.T., Tomas K.I. and Sapozhkov S.B., Protecting the surfaces welded components against molten metal

splashes in CO_2 welding// Welding International. 1998. № 1. S. 58–62.

3. Chinakhov D A Calculation of Gas-dynamic Impact of the Active Shielding Gas on the Electrode Metal Drop in Gas Jet Shielded Welding *Applied Mechanics and Materials* Vol. 379 (2013) p. 188–194
4. Chinakhov D.A., Zuev A.V., Filimonenko A.G. Gas-dynamic Impact of a Shielding Gas Jet on the Drop Transfer When Welding with a Consumable Electrode *Advanced Materials Research* Vol. 1040 (2014) p. 850–853.
5. Nosov D.G., Maltsev V.V. The influence of magnetic fields by a melting rate of wire for arc surfacing under flux *Applied Mechanics and Materials* Vol. 379 (2013) p. 178–182.
6. Размышляев А.Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
7. Носов Д.Г. Источник питания электромагнитной системы для дуговой наплавки с применением внешних управляющих магнитных полей / Сварщик. – 2010. – № 4. – с. 18–19.
8. Носов Д.Г. Вплив частоти зовнішнього електромагнітного поля на геометричні параметри валика наплавленого під флюсом / Д.Г. Носов, В.В. Кліменко, В.В. Мальцев / Збірник наукових праць ДДТУ: (технічні науки)/Дніпродзержинськ:ДДТУ, 2013. – с. 78–84.
9. Peremitko V.V. Influenza sag parti del telaio indossare macchine stradali / V.V. Peremit'ko, V.D. Kuznetsov, I.O.Cherednyk // Italian Science Review. – 2014. – № 8(17). – PP. 93–96.
10. Patskevitch I R Longitudinal magnetic field influence on the surfacing and transfer of electrode metal I.R. Paskevich A.V. Zernov V.S. Serafimov *Welding production* 1973 #7 p. 8–10.