

## References:

1. Ermakov S.S., Ermakov B.S. Vliianie zhidkoi fazy na formirovanie struktury spechennykh splavov. *Materialy IV Vsesoiuznoi nauch.-tekhn. konf. «Goriachee pressovanie v poroshkovoii metallurgii»* [Influence of the liquid phase on the formation of the structure of sintered alloys. Proceedings of IV All-Union Sci.-Tech. Conf. «Hot pressing in powder metallurgy»]. Novocherkassk, 1991, pp. 85-88. (Rus.)
2. Mamedov A.T. *Konstruktsionnye i antifriktsionnye poroshkovye materialy* [Structural and anti-friction powder materials]. Baku, Elm Publ., 2005. 458 p. (Rus.)

## Перелік використаних джерел:

1. Ермаков С.С. Влияние жидкой фазы на формирование структуры спеченных сплавов / С.С. Ермаков, Б.С. Ермаков / Горячее прессование в порошковой металлургии : материалы IV Всесоюзной научно-технической конференции. – Новочеркасск, 1991. – С. 85-88.
2. Мамедов А.Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы / А.Т. Мамедов. – Баку : Элм, 2005. – 458 с.

Reviewer: A.T. Mammadov

PhD in Engineering, a professor, Azerbaijan Technical University

The article was admitted on 05.03.2020

УДК 621.791.754

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216172

© Носовський Б.І.<sup>1</sup>, Козарь Р.А.<sup>2</sup>, Балашов А.В.<sup>3</sup>**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ НА ПАРАМЕТРИ ІМПУЛЬСІВ, КЕРУЮЧИХ ПЕРЕНЕСЕННЯМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ**

*В результаті аналізу літературних даних встановлено, що до 20% електродного металу втрачається на угар і розбризкування, що зумовлене короткими замиканнями дугового проміжку великими краплями і їх вибухом. Для зменшення втрат примусово збільшують частоту переходу крапель імпульсами струму, механічними імпульсами, імпульсами магнітного поля.*

**Ключові слова:** магнітна система, опір магнітного потоку, амплітуда імпульсу, повітряний зазор, струм короткого замикання, вибух краплі, розбризкування, перенесення, комутація.

*Носовский Б.И., Козарь Р.А., Балашов А.В. Исследование влияния конструкции магнитной системы на параметры импульсов, управляющих переносом электродного металла. В результате анализа литературных данных установлено, что до 20% электродного металла теряется на угар и разбрызгивание, обусловленное короткими замыканиями дугового промежутка большими каплями и их взрывом. Для уменьшения потерь принудительно увеличивают частоту перехода капель импульсами тока, механическими импульсами, импульсами магнитного поля.*

**Ключевые слова:** магнитная система, сопротивление магнитному потоку, амплитуда управляющего импульса, воздушный зазор, ток короткого замыкания, взрыв капли, разбрызгивание, перенос, коммутация.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>2</sup> студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [kozarregina02@gmail.com](mailto:kozarregina02@gmail.com)

<sup>3</sup> студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

*B.I. Nosovsky, R.A. Kozar, A.V. Balashov. Investigation of the magnetic system design influence on the parameters of the pulses controlling the transfer of the electrode metal. As a result of the analysis of the literature data, it was found that up to 20% of the electrode metal is lost to waste and spattering caused by short circuits of the arc gap with large drops and their explosion. To reduce losses, the frequency of droplet transition is forcedly increased by current pulses, mechanical pulses, magnetic field pulses. To transfer droplets by pulses of the electrode wire feed speed, a 5 W synchronous electric motor is used. When using a mechanical oscillatory circuit, and overcoming the cavitation threshold at a frequency of more than 270 Hz, 2 W power is supplied to the excitation winding. When a drop is transported by an axial magnetic field, current pulses with an amplitude of 2500 A are required. They are provided by the energy of a capacitor charged up to 800 Volts. High currents require reliable switching devices, and high voltages require reliable insulation to protect the welder from electric shock. Therefore, the task to investigate the effect of design parameters on the magnitude of the magnetic field in the drop formation zone was set in order to reduce the parameters of control pulses. To fulfil the research, an inductor with a ferromagnetic coil without the cheek in its upper part was made. There is a winding on the coil, the current in which is regulated by the rectifier voltage. The segment of the electrode is located symmetrically to the magnetic circuit, that's why it is possible to measure the magnetic induction in the upper and lower parts of the inductor. Measurements have shown that the induction at the top of the inductor is twice as high as at the bottom. This is due to the fact that the ferromagnetic coil cheek shunts the downward magnetic flux. When replacing the non-ferromagnetic current lead with a ferromagnetic one, the magnetic field induction in the upper part of the inductor has become three times higher as compared to its lower part. To increase the magnetic induction, the air gap was replaced with a ferromagnetic cylinder with a cone. The magnetic induction in the drop formation zone has increased up to 900 mTs, at only 500 ampere-turns. To create such a field in the known inductor, the ampere turns made up  $2500 \text{ A} \times 28 = 70,000$  ampere-turns, therefore, a decrease in the resistance of the magnetic circuit made it possible to reduce the magnetizing force by a factor of 100-140 and maintain the magnitude of the control pulses. To get it, it is necessary to reduce the air gaps to a minimum and swing the inductor  $180^\circ$ .*

**Keywords:** magnetic system, resistance to magnetic flux, control pulse amplitude, air gap, short-circuit current, drop explosion, spattering, transfer, switching.

**Постановка проблеми.** Для перенесення крапель електродного металу використовують імпульси [1] амплітудою 2500 А, що в десять разів перевищує зварювальний струм і створює проблеми з комутацією і безпекою. Необхідно удосконалити конструкцію магнітної системи з метою зменшити параметри імпульсів струму при збереженні імпульсів керуючого магнітного поля.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При зварюванні плавким електродом у середовищі вуглекислого газу до 20% металу втрачається на розбризкування. Розбризкування погіршує процес зварювання, підвищує витрати на зварювальні матеріали та зачистку поверхні від крапель.

Розбризкування обумовлено короткими замиканнями дугового проміжку великими краплями металу та вибухом [2]. Для зменшення розбризкування зменшують швидкість наростання струму короткого замикання та його амплітуду введенням в зварювальний ланцюг індуктивності або виконують керування частотою перенесення крапель. При збільшенні частоти перенесення крапель зменшується їх діаметр і короткі замикання не відбуваються. Перенос крапель виконують імпульсами струму, механічними імпульсами та імпульсами магнітного поля, імпульсами струму зварюваного джерела живлення. Перенос крапель алюмінію та його сплавів виконують в середовище аргону.

При зварюванні у вуглецевому газі сили поверхневого натягу значно більші в порівнянні з аргонем, тому використовують механічні імпульси. При частоті коливань торця електрода, що перевищує 270 Гц, спрацьовує кавітація, яка розриває краплю на дрібні частини, забезпечує перенесення без коротких замикань та зменшує розбризкування до 3-4% [3]. У однофазних зва-

ривальних випрямлячах затримують включення тиристорів на  $90^\circ$  і механічний імпульс синхронізують з принципом напруги. Це забезпечує перенесення краплі в зварювальну ванну без струму та без розбризкування [4], краплі переносяться коливаннями електродного дроту при зварюванні під флюсом [5].

Для примусового перенесення краплі використовують магнітні поля. В роботі [1] застосовується магнітне поле, яке співпадає з напрямом ліній струму у рідкому металі краплі, що значно зменшує взаємодію магнітного поля. Тому для перенесення краплі застосовується імпульсне магнітне поле, яке наводить вихрові струми в краплі, останні взаємодіють з магнітним полем і відривають її. Для перенесення краплі виготовлено індуктор з феромагнітною котушкою, на якому розташовано захисне покриття, яке виготовлено з мідної трубки з методом охолодження проточною водою.

Складна взаємодія магнітного поля з краплею рідкого металу вимагає імпульсу струму амплітудою 2500 А, яка забезпечується конденсатором з напругою 800 В.

При таких параметрах імпульсів струму виникає проблема з комутацією, а висока напруга є небезпечною і вимагає спеціальних заходів безпеки. Велика вага індуктора, охолодження котушки поточною водою зменшує можливість застосування при напівавтоматичному зварюванні.

**Мета статті** – дослідження впливу параметрів конструкції магнітопроводу на параметри імпульсів, що керують перенесенням рідкого електродного металу.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено магнітопровід згідно з даними роботи [1]. Котушку виготовлено з феромагнітного матеріалу, на якому розташовано 1080 витків мідного дроту.

Це дозволило зменшити струм намагнічування і регулювати його за допомогою малопотужного лабораторного випрямляча В-24, оснащеного вимірюючими приладами.

Вимірювали магнітну індукцію в зоні утворення краплі за допомогою мілітесломіра ЄМ-440, датчик магнітної індукції розташували на відстані 2 мм від торця електрода. Для порівняння магнітну індукцію вимірювали знизу і зверху індуктора.

В індукторі, запропонованому в роботі [1], каркас котушки з однією щогою виготовлено з феромагнітного матеріалу. Щока котушки розташована внизу індуктора. Струмівідвід виготовлено з немагнітного матеріалу – міді або бронзи. Бронза має активний опір близький до сталі.

Схема розташування дроту датчика магнітної індукції, котушки з каркасом та результати вимірів представлені на рис. 1-2.

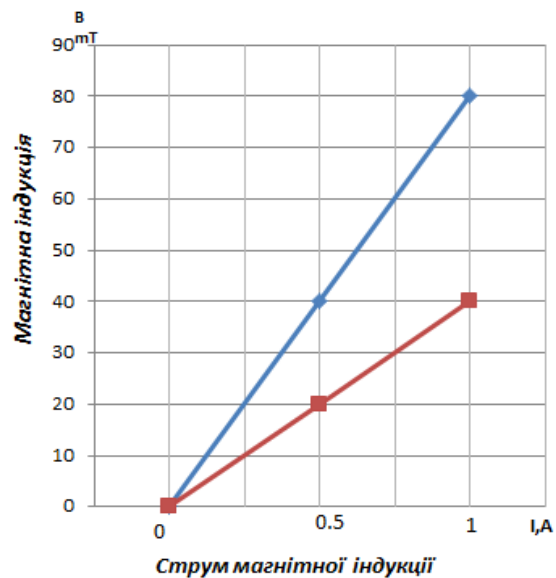
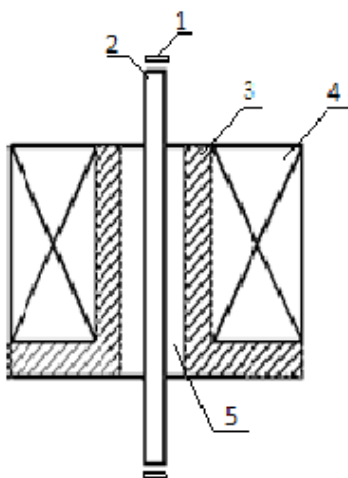


Рис. 1 – Схема магнітного індуктора: 1 – розміщення датчика; 2 – зона утворення краплі на дроту; 3 – феромагнітний каркас; 4 – котушка; 5 – феромагнітний струмопровід

Рис. 2 – Залежність магнітної індукції від струму: синього кольору – зверху індуктора; червоного кольору – знизу індуктора

Результати експериментів свідчать, що магнітна індукція над індуктором вдвічі більша, ніж в нижній частині.

Це обумовлено тим, що щочка каркасу котушки, розташована в нижній частині індуктора, шунтує магнітний потік, направляючи його вгору.

Магнітний потік, що наведений в дроту, шунтується циліндричною частиною каркасу котушки, тому у зоні утворення краплі індукція магнітного поля незначна. Для збільшення індукції магнітного поля немагнітний струмопровід виготовлено з магнітного матеріалу.

Схема вимірів з магнітним струмопроводом та результати експериментів представлено на рис. 3-4.

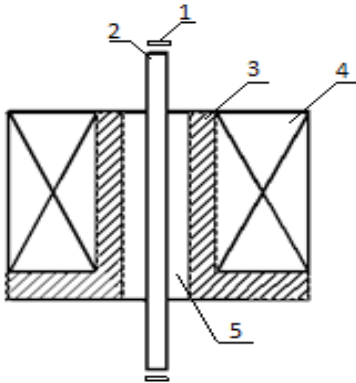


Рис. 3 – Схема магнітного індуктора: 1 – розміщення датчика; 2 – зона утворення краплі на дроту; 3 – феромагнітний каркас; 4 – котушка; 5 – феромагнітний струмопровід

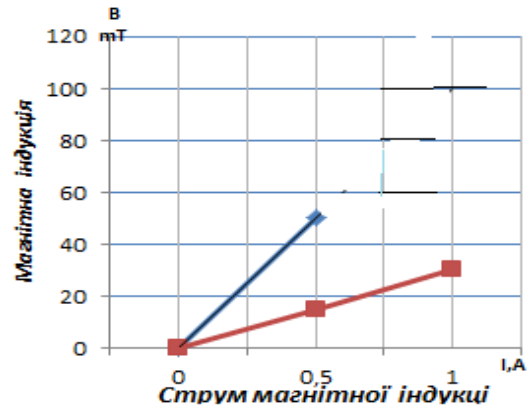


Рис. 4 – Залежність магнітної індукції від струму: синього кольору – зверху індуктора; червоного кольору – знизу індуктора

Магнітна індукція у верхній частині індуктора збільшилась, а в нижній зменшилась. Слід відзначити, що співвідношення магнітної індукції у верхньої частини індуктора до нижньої частини індуктора в три рази менше, але магнітна індукція залишилась на рівні 80 мТл, тому що магнітний потік над котушкою проходить по повітряному проміжку, опір якого значно його зменшує.

Повітряний проміжок над котушкою замінили феромагнітним циліндром з конусом, який значно зменшив опір магнітному потоку. Результати вимірів представлено на рис. 5-6.

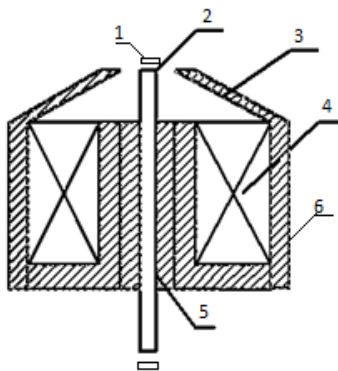


Рис. 5 – Схема магнітного індуктора: 1 – датчик; 2 – електрод; 3 – магнітопровід зовнішній; 4 – обмотка; 5 – струмовідвід феромагнітний; 6 – котушка феромагнітна

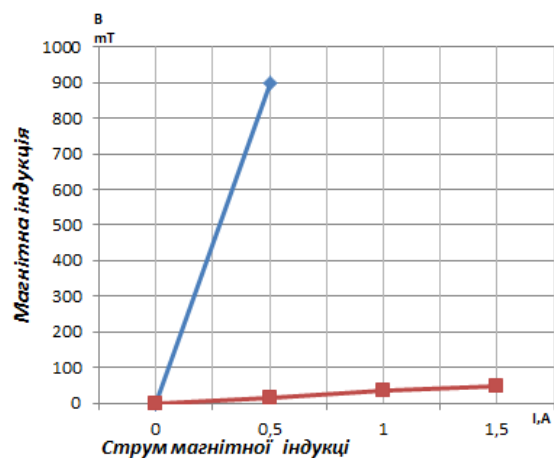


Рис. 6 – Залежність магнітної індукції від струму: синього кольору – зверху індуктора; червоного кольору – знизу індуктора

При зварюванні в середовищі  $\text{CO}_2$  втрачається до 30% електродного металу на розбрикування; це є одним з основних недоліків цього способу зварювання. Розбрикування зумовлено коротким замиканням дугового проміжку великими краплями металу та їх вибухом.

Для зменшення розбрикування застосовують примусове перенесення електродного металу. Для відриву краплі від торця електрода використовують магнітні поля. На рис. 7 представлена залежність магнітної індукції від діаметру електродного дроту.

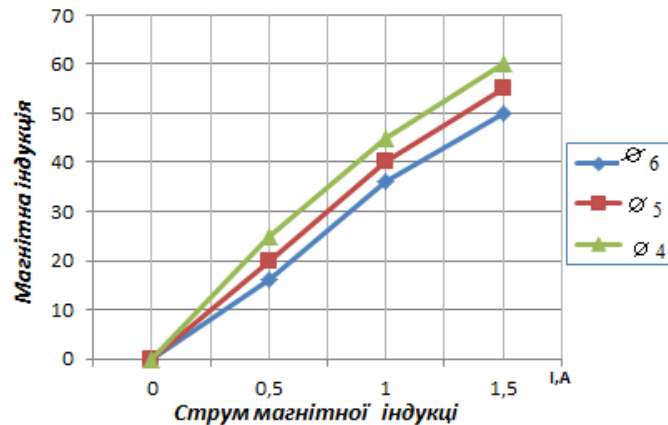


Рис. 7 – Залежність магнітної індукції від діаметрів електрода

В роботі [6] пропонується застосування магнітного поля, яке співпадає з напрямом ліній струму у рідкому металі краплі, що значно зменшує взаємодію магнітного поля з краплею. Тому застосовується імпульсивне магнітне поле, яке наводить вихрові струми в краплі, останні взаємодіють з магнітним полем і відривають краплю. Для перенесення краплі необхідні імпульси струму за амплітудою 2500 А.

Тому була поставлена задача дослідити магнітне поле запропонованого індуктора і вдосконалити його з метою зменшення величини струму. Для цього було виготовлено індуктор з котушкою з магнітного матеріалу, на якому розташовано 1080 витків мідного дроту, вимірювали величину магнітного потоку мілітесламіром СМ-440. За результатами вимірів побудована залежність величини магнітного поля біля торця електрода зверху і знизу індуктора.

Встановлено, що магнітне поле над індуктором вдвічі більше, ніж в нижній частині. Отже для зменшення струму намагнічування необхідно використовувати верхню частину індуктора, для цього його необхідно повернути на  $180^\circ$ . Встановлено, що магнітна індукція зверху магнітного індуктора, запропонованого у [6], вдвічі більша, ніж в нижній його частині.

Для вивчення впливу властивостей струмопідводу на магнітну індукцію в зоні рідкої краплі немагнітний стрижень замінив на магнітний. В стрижень вставляли дротяні електроди діаметром п'ять і шість міліметрів. Таким чином, порівнюючи результати вимірів з першими, магнітна індукція збільшилась в три рази.

Поставлена задача зменшення повітряного шляху магнітних силових ліній за рахунок вдосконалення конструкції магнітопроводу. Для цього встановили магнітопровід, у якого шлях магнітного потоку в повітрі зменшили до 8 мм. Повторні вимірювання магнітної індукції показали її збільшення до 600 мТл при струмі намагнічування 0,35 мА, а з протилежного боку – лише 9 мТл.

В результаті дослідження було встановлено, що нова конструкція індуктора дозволила зменшити струм намагнічування у 67 разів, таким чином струм зменшився до 38 А. і також регулювали перенесення крапель металу. Для зменшення амплітуди струмів, що керують перенесенням крапель рідкого металу з торця електрода в зварювальну ванну, необхідно зменшити шлях магнітного потоку в повітрі до можливого мінімуму. Магнітний індуктор необхідно розвернути на  $180^\circ$ , що забезпечить збільшення магнітних керуючих полів і зменшення струмів, що керують перенесенням крапель.

Комутовати струм величиною 2500 А з напругою на конденсаторі 800 В є небезпечним для зварювальника і вимагає спеціальних заходів безпеки. Зниження напруги до 30-50 В під-

вищує рівень безпеки. Таким чином, 36 В змінного струму які вважаються безпечними, еквівалентні 140 В постійного струму по дії на організм людини.

#### Висновки

1. Каркас котушки з феромагнітного матеріалу шунтує магнітне поле і знижує магнітну індукцію в зоні утворення крапель в 2-3 рази. Тому індуктор необхідно повернути на 180°.

2. Зменшення повітряного проміжку індуктора до 8 мм збільшує магнітну індукцію в зоні утворення краплі у 67 разів, що дозволяє зменшити амплітуду імпульсу струму до 38 А. Це зменшує напругу на конденсаторі і робить метод безпечним. Комутувати керуючі струми стає можливим за допомогою тиристорів або транзисторів.

3. Діаметр електродного дроту мало впливає на магнітну індукцію.

#### Перелік використаних джерел:

1. Пат. 29439 Україна, МПК В 23 К 9/08. Спосіб керування процесом перенесення електродного металу із застосуванням імпульсних електродних полів / П.Ю. Сидоренко, Р.М. Рижов. – № u200710918; заявл. 02.10.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1. – 2 с.
2. Погланьевский А.Г. Перенос електродного металу при зварюванні в вуглецевому газу / А.Г. Погланьевский // Автоматическая сварка. – 1971. – № 6. – С. 1-4.
3. Пат. 84237 Україна, МПК В 23 К 9/12. Спосіб дугового зварювання електродом, що плавиться / Б.І. Носовський, О.І. Ковалевський. – № a200709624; заявл. 27.08.2007; опубл. 25.09.2008, Бюл. №18. – 4 с.
4. Пат. 24440 Україна, МПК В 23 К9/12. Спосіб дугового зварювання електродом, що плавиться / Б.І. Носовський, М.Б. Носовський. – № 97041923; заявл. 22.04.1997; опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 4 с.
5. Пат. 95030 Україна, МПК В 23 К 9/00. Пристрій для імпульсних переміщень електродного дроту / І.В. Сімутенков, С.В. Драган, А.Ф. Галь, В.О. Лебедев, Ю.О. Ярос, В.О. Тищенко. – № u201406651; заявл. 13.06.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. – 5 с.
6. Сидоренко П.Ю. Керування процесом перенесення електродного металу застосуванням імпульсних електромагнітних дій при дуговому зварюванні: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Сидоренко Павло Юрійович; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». – Київ, 2010. – 20 с.

#### References:

1. Sidorenko P.Yu., Rizhov R.M. *Sposib keruvannya procesom perenesennya elektrodnoho metalu iz zastosuvannyam impulsnih elektrodnih poliv* [A method of controlling the process of electrode metal transfer using pulsed electrode fields]. Patent UA, no. 29439, 2008. (Ukr.)
2. Poglanevskij A.G. *Perenos elektrodnoho metalu pri zvaryuvanni v vuglecevomu gazu* [Transfer of electrode metal during welding in carbon gas]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic welding*, 1971, no. 6, pp. 1-4. (Rus.)
3. Nosovskij B.I., Kovalevskij O.I. *Sposib dugovogo zvaryuvannya elektrodom, sho plavitsya* [Method of arc welding with melting electrode]. Patent UA, no. 84237, 2008. (Ukr.)
4. Nosovskij B.I., Nosovskij M.I. *Sposib dugovogo zvaryuvannya plavkim elektrodom* [The method of arc welding with a fusible electrode]. Patent UA, no. 24440, 2001. (Ukr.)
5. Simutenkov I.V., Drohan S.V., Gol A.F., Lebedev V.O., Yaros Yu.O., Tishenko V.O. *Pristrij dlya impulsnih peremishen elektrodnoho drotu* [Device for pulsed movements of the electrode wire]. Patent UA, no. 95030, 2014. (Ukr.)
6. Sidorenko P.Yu. *Keruvannya procesom perenesennya elektrodnoho metalu zastosuvannyam impul'snih elektromagnitnih dij pri dugovomu zvaryuvanni*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Control of the process of electrode metal transfer using pulsed electromagnetic actions during arc welding. Thesis of cand. tech. sci. diss.]. Kyiv, 2010. 20 p. (Ukr.)

Рецензент: В.І. Щетиніна  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 23.03.2020