

# Вплив подовжнього керуючого магнітного поля на ефективність дугового процесу

Х. Елсаєд<sup>1</sup> • О.Д. Размишляєв<sup>1</sup> • М.В. Агєєва<sup>2</sup> • О.Г. Білик<sup>1</sup>

Received: 3 September 2021 / Accepted: 25 October 2021

**Проблематика.** При наплавленні і зварюванні з дією подовжнє магнітне поле (ПДМП) підвищується продуктивність розплавлення електродного металу, можливе управління геометричними розмірами поперечного перерізу наплавлених валиків і зварних швів, подрібнюється структура наплавленого металу і швів, збільшується твердість, підвищується міцність і пластичність металу шва, підвищується опірність швів утворенню гарячих тріщин.

**Мета дослідження.** Проаналізувати літературні дані про вплив ПДМП на ефективність процесу дугового наплавлення зношених поверхонь деталей і конструкцій з урахуванням магнітних властивостей електродних дротів і основного металу для підвищення ефективності цього процесу.

**Методика реалізації.** Виконали експерименти по наплавленню під флюсом дротом Св-08А діаметром 5 мм з дією знакозмінного ПДМП. Досліджували вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення основного металу і ширину наплавлених валиків.

**Результати досліджень.** Встановлено, що при частотах ПДМП в межах  $f = 5 \dots 50$  Гц глибина проплавлення менше, а ширина валика більша, ніж при напавленні без дії ПДМП. В подальшому потрібно виконати дослідження по впливу ПДМП при напавленні порошковими дротами і стрічками на структуру металу наплавлених валиків і їх службові характеристики.

**Висновки.** Встановлено, що для подрібнення структурних складових металу, наплавленого з дією ПДМП, необхідно забезпечити ефективне перемішування рідкого металу в зварювальній ванні, тобто по всій її довжині. При цьому потрібно забезпечити оптимальні параметри керуючих магнітних полів. Не має теорії, яка пояснювала би механізм подрібнення структури швів при дуговому напавленні з дією ПДМП, а існуючі погляди на цей механізм суперечливі. Наведені в літературі дані відносяться до процесу дугового напавлення і зварювання дротами суцільного перерізу, відсутні дані про напавлення з використанням порошкових дротів і стрічкових електродів.

**Ключові слова:** дугове напавлення; подовжнє магнітне поле; індукція; глибина проплавлення; ширина валиків; подрібнення структури.

## Вступ

Використання подовжнього магнітного поля (ПДМП) при дуговому напавленні і зварюванні дротом під флюсом дозволяє підвищити ефективність цих процесів. Важливим є виконання аналізу технологічних переваг, які досягаються при використанні керуючого ПДМП при дуговому напавленні та зварюванні електродним дротом. Такий аналіз необхідний з метою

раціонального вибору оптимальних параметрів керуючих (зовнішніх) магнітних полів технологами в області зварювального виробництва з урахуванням особливостей конструкції, що зварюється або напавляється. Ефективність процесу дугового напавлення підвищується у разі підвищення продуктивності розплавлення електродного металу, можливості управляти геометричними розмірами зварних швів і валиків (глибиною проплавлення основного металу і шириною наплавлених валиків), подрібненням структури наплавленого металу і шва, підвищенням працездатності деталей і конструкцій. Слід відзначити, що магнітне управління має низку переваг у порівнянні з механічними способами управління, так як здійснюється без безпосереднього контакту керуючих засобів з зоною зварювання, не потрібно істотних змін стандартного устаткування і техніки напавлення.

✉ О.Д. Размишляєв  
razmyshljaev@gmail.com

<sup>1</sup> ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, Маріуполь, Україна

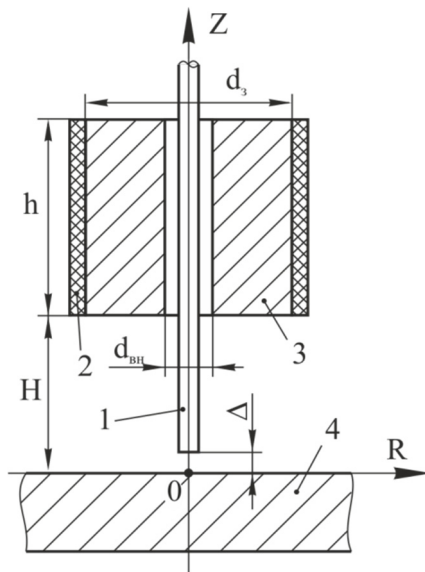
<sup>2</sup> Державна донбаська машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

Основні (узагальнені) дані про ефективність використання ПДМП при дуговому зварюванні та наплавленні наведені в роботах [1–5]. Але в останній час були опубліковані нові дані по вказаному питанню. В зв'язку з цим потрібен більш детальний аналіз літературних даних по вказаному питанню.

Мета роботи: проаналізувати літературні дані про вплив подовжнього магнітного поля на ефективність процесу дугового наплавлення зношених поверхонь деталей і конструкцій з урахуванням магнітних властивостей електродних дротів і основного металу для підвищення ефективності цього процесу.

**Методика.** Зовнішнє подовжнє магнітне поле генерують в зоні горіння дуги за допомогою пристрою введення (ПВ) ПДМП, який встановлюють на зварювальній головці зварювального автомату співвісно з електродним дротом.

Схема пристрою введення ПДМП, який використовують при автоматичному електродуговому наплавленні дротяними електродами, наведена на рис. 1. Наявність осердя з феромагнітного матеріалу (3), електрода (1) і виробу (4) з немагнітних матеріалів або феромагнітних матеріалів значно впливає на рівень подовжню компоненту індукції –  $B_z$  у поверхні пластини. Як встановлено в роботі [1], збільшує подовжню компоненту індукції –  $B_z$  у поверхні пластини при наявності фероосердя в 2 рази в порівнянні з варіантом, коли немає фероосердя. В роботі [2] показано, що якщо виріб з феромагнітного матеріалу, то індукція під торцем електрода (при зазорі  $\Delta = 5$  мм) підвищується ще в 2 рази. Якщо ж не тільки виріб-пластина, але і електродний дріт – феромагнетики, то індукція  $B_z$  під торцем електрод (при  $\Delta = 5$  мм) підвищується не в 2, а в 3 рази і більше.



**Рис. 1.** Схема пристрою введення ПДМП: 1 – електродний дріт; 2 – обмотка; 3 – осердя; 4 виріб (пластина)

**Результати та їх обговорення.** Процес дугового наплавлення і зварювання дротом під флюсом з дією ПДМП доцільно виконувати, якщо виріб і електродний дріт виготовлені з феромагнітного матеріалу. Діаметр (зовнішній) фероосердя (3) ПВ ПДМП (з феромагнітної сталі, наприклад, Ст 45) не повинен перевищувати 52 мм [5], так як подальше його збільшення знижує рівень  $B_z$  у поверхні як феромагнітної, так і не феромагнітної пластини.

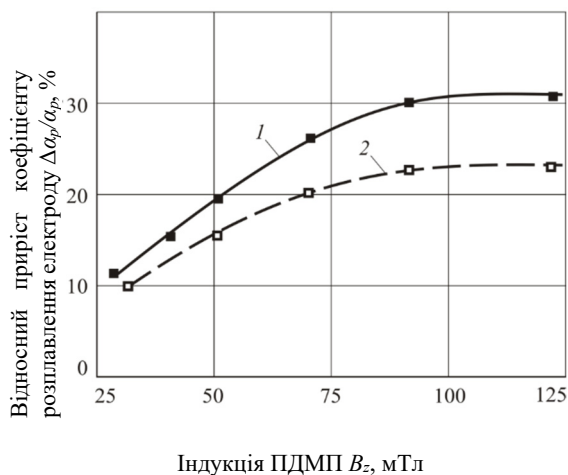
При наплавленні з дією постійного ПДМП підвищення коефіцієнта розплавлення електродних дротів ( $\alpha_p$ ) при зворотній полярності процесу наплавлення досягає 30%. При наплавленні дротами, які виготовлені із немагнітних матеріалів, при ПДМП  $\alpha_p$  електродів не підвищується. Підвищення  $\alpha_p$  електродів обумовлено примусовим видаленням (за рахунок дії ПДМП) електродних крапель з торця електрода, що плавиться. Механізм дії ПДМП на видалення електродних крапель з торців електродів при зварюванні докладно викладений в роботі [4].

При збільшенні індукції приблизно до 40 мТл спостерігається практично лінійне зростання продуктивності розплавлення електродного дроту. Знакозміні ПДМП частотою 50 Гц також підвищує  $\alpha_p$  електрода, проте в меншій мірі, ніж постійне ПДМП [7].

Встановлено, що підвищення  $\alpha_p$  електродних дротів залежить від величини подовжньої компоненти індукції ПДМП  $B_z$  (рис. 2) і становить в середньому 30% при дії постійного ПДМП і 20% при дії змінного частотою 50 Гц ПДМП [7].

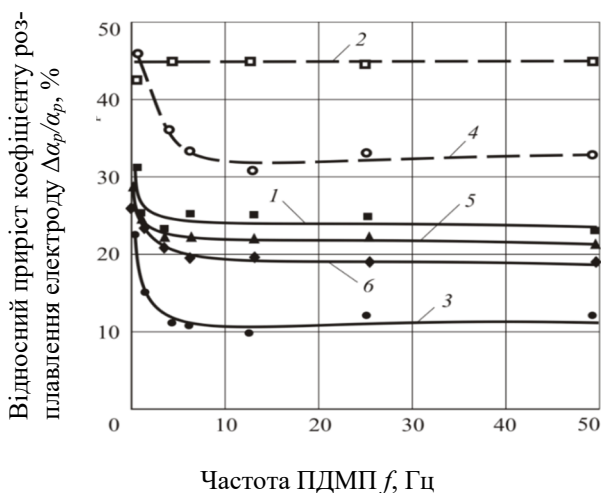
В роботі [9] досліджено швидкість розплавлення електродних дротів діаметром 2...5 мм при автоматизованому зварюванні під флюсом в діапазоні струмів 200...1000 А. Дослідження проводили на пластинках зі сталі 10ХСНД, проволокою Св-08А під флюсом АН-348АМ. Індукцію магнітного поля змінювали до 100 мТл. При цьому спостерігали, що при дії керуючого зовнішнього подовжнього магнітного поля збільшується швидкість розплавлення електродної проволоки при незмінній тепловій при одних і тих же параметрах режиму наплавлення, що і при наплавленні без дії магнітного поля. При збільшенні індукції приблизно до 40 мТл спостерігається практично лінійне зростання продуктивності розплавлення електродного дроту. При перевищенні рівня індукції  $B_z = 80$  мТл спостерігається ефект припинення росту  $\alpha_p$  дроту.

На ефект підвищення  $\alpha_p$  дроту впливає частота ПДМП. Були виконані дослідження по встановленню впливу частоти ПДМП на  $\alpha_p$  електродних дротів при дуговому наплавленню постійним струмом. Живлення котушок ПВ ПДМП забезпечувалось спеціальним джерелом прямокутих знакозмінних імпульсів (струму  $I_k$  в котушках і індукції  $B_x$ ), що описано раніше в роботі [5]. Встановлено (рис. 3) [8], що при зворотній полярності наплавлення максимальний ефект підвищення ( $\Delta \alpha_p / \alpha_p$ ) має місце при впливі постійного ПДМП. При збільшенні частоти ПДМП від 1 Гц до 4 Гц ефект підвищен-



**Рис. 2.** Вплив подовжньої компоненти індукції ( $B_z$ ) ПДМП на відносне збільшення ( $\Delta \alpha_p / \alpha_p$ ) коефіцієнту розплавлення електродного дроту Св-08А: 1 – постійне ПДМП; 2 – ПДМП частотою  $f = 50$  Гц [6]

ня  $\alpha_p$  електрода знижується, до частоти  $f = 10$  Гц зменшується плавно і при збільшенні частоти від 10 до 50 Гц залишається на одному рівні (криві 1, 3, 5, 6 на рис. 3). В роботах [4, 9] було встановлено, що при дуговому наплавленні дротом Св-08А під флюсом на зворотній полярності з впливом постійного ПДМП коефіцієнт розплавлення електродного дроту ( $\alpha_p$ ) підвищується на 30%. Також було відзначено, що через інерційність розплаву краплі на торці електрода змінне ПДМП частотою 50 Гц не ефективно впливає на  $\alpha_p$  дротів при дуговому наплавленні [4]. Знакозмінні ПДМП частотою 50 Гц також підвищує  $\alpha_p$  електрода, проте в меншій мірі, ніж постійне ПДМП [7].



**Рис. 3.** Вплив частоти ПДМП на відносне збільшення ( $\Delta \alpha_p / \alpha_p$ ) коефіцієнту розплавлення електродів: 1, 3, 5 – зворотна полярність; 2, 4 – пряма полярність; 1, 2 – Св-08А; 3, 4 – ПП-12Х13; 5 – Св-08Г2С; 6 – Нп-30ХГСА [7]

Причини підвищення коефіцієнта розплавлення електродних дротів при дуговому наплавленні з дією ПДМП пояснені в роботах [2–5, 8]. При наплавленні в подовжньому магнітному полі характер теплопередачі від дуги через рідку краплю до твердого металу електроду змінюється. В роботах [4, 8] показано, що при дії ПДМП на краплю електродного металу виникають відцентрові сили, що викликають обертання та дроблення електродного металу на більш дрібні краплі. При цьому зменшується висота краплі в напрямку осі електрода (і час її існування), це покращує умови теплопередачі ( $q$ ) через краплю і підвищується коефіцієнт розплавлення електродного дроту.

В літературі мало даних про вплив частоти ПДМП на геометричні розміри валиків у поперечному перерізі при дуговому наплавленні (зварюванні) під флюсом [2–5, 8–13]. В зв'язку з цим виконували наплавлення на пластини зі сталі ВМСт.Зсп товщиною 20 мм дротом Св-08А діаметром 5 мм під флюсом АН-348А при зворотній полярності процесу при дії на дугу ПДМП і без дії ПДМП. Режим наплавлення:  $I_n = 750 \dots 780$  А;  $U_d = 34 \dots 36$  В;  $V_n = 30$  м/год. Котушку соленоїду, що генерує ПДМП, живили від генератора прямокутних знакозмінних імпульсів [5].

Розміри валиків (швів) визначали на макрошліфах (як середнє з трьох значень на кожному режимі наплавлення).

Величина подовжньої компоненти індукції  $B_z$  магнітного поля, вимірювання під електродом у поверхні виробу-пластини з маловуглецевої сталі становила 30...40 мТл. Експерименти по наплавленню з дією ПДМП виконували при частотах ПДМП: 5 Гц, 10 Гц, 20 Гц, 33 Гц і 50 Гц. Дані дослідження про вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення наведені на рис. 4, а.

Дані показують, що з ростом частоти знакозмінного ПДМП до  $f = 20$  Гц є деяке зниження глибини проплавлення основного металу, а від частоти ПДМП  $f = 20$  Гц до  $f = 50$  Гц глибина проплавлення дещо збільшилася (крива 2 на рис. 4, а). Ширина валика з ростом частоти ПДМП до  $f = 20$  Гц дещо збільшилася, а від частоти ПДМП  $f = 20$  Гц до  $f = 50$  Гц ширина валика дещо зменшується (крива 2 на рис. 4, б). Таким чином, частота знакозмінного ПДМП зменшує глибину проплавлення металу і збільшує ширину валику. При частотах  $f = 5 \dots 50$  Гц глибина проплавлення менше, а ширина валика більша, ніж при наплавленні без дії ПДМП.

Важливим є питання підвищення експлуатаційних властивостей зварних з'єднань і наплавлених деталей. Це можливо досягти за рахунок подрібнення структури металу, наплавленого з дією ПДМП. Є значна кількість публікацій, в яких встановлено, що при дуговому зварюванні з дією ПДМП відбувається подрібнення структури металу шва (або наплавлення) і підвищення механічних властивостей зварних швів. Наведемо короткий аналіз цих даних.

В існуючих роботах простежується прямий зв'язок між механічними властивостями і структурою швів, зварених з дією ПДМП. Якщо ці характеристики

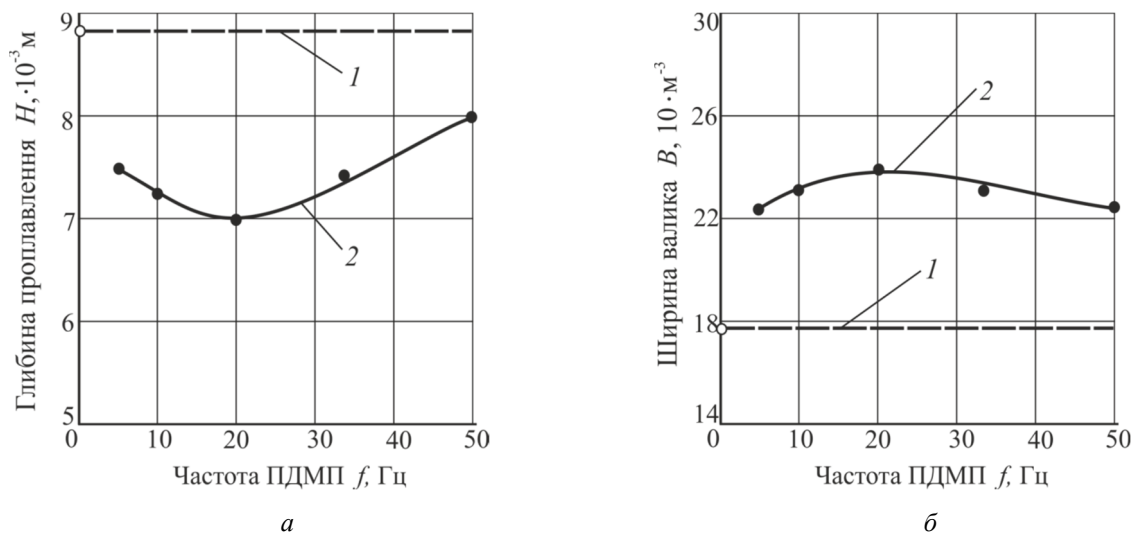


Рис. 4. Вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення  $H_{np}$  основного металу (а) і ширину валика (б): 1 – без поля; 2 – при дії знакозмінного ПДМП

увияти графічно в залежності від параметрів ПДМП, то вони мають вигляд кривих з максимумом. Причому максимуми будуть відповідати оптимальним параметрам ПДМП. Завдяки дії магнітних полів при зварюванні збільшується твердість, підвищуються міцність і пластичні властивості металу шва, підвищується опірність швів утворенню гарячих тріщин [1–5, 14–22].

Показано [14, 15], що при зварюванні високоміцних сталей з дією змінного ПДМП в області оптимальних режимів ПДМП різко зростає опірність утворенню гарячих і холодних тріщин. При цьому пластичність металу шва зросла в 3...3,5 рази в порівнянні з показниками пластичності зразків, отриманих при зварюванні без дії ПДМП. Встановлено, що оптимальною є частота ПДМП в межах 0,6...15 Гц, що збігається з рекомендованими значеннями частот у багатьох роботах [5, 16–27]. Це досягається за рахунок перемішування рідкого металу у зварювальній ванні. При перемішуванні розплаву у ванні при дугового наплавленні з дією магнітних полів відбувається подрібнення структурних складових. Для ефективного перемішування в ванні необхідно, щоб рідкий метал розплаву досягав крайніх точок в хвостовій частині ванни. Оскільки при зварюванні (наплавленні) якісне формування швів (валиків) спостерігається тільки при дії знакозмінного ПДМП, то необхідно визначити оптимальні параметри знакозмінних ПДМП, які забезпечували б ефективне

(по всій довжині ванни) перемішування металу при дуговому наплавленні (зварюванні) електродним дротом.

Слід відзначити, що наведені в літературі дані відносяться до процесу дугового наплавлення дротами суцільного перерізу і потрібно виконання досліджень в цьому напрямку для дугового наплавлення з використанням порошкових дротяних і стрічкових електродів.

## Висновки

1. Аналіз літературних даних дозволив встановити, що використання керуючого подовжнього магнітного поля (ПДМП при дуговому наплавленні і зварюванні дозволяє підвищити продуктивність розплавлення електродного металу, змінювати геометричні зварних швів (валиків), подрібнювати структурні складові наплавленого металу і швів, збільшувати твердість, підвищувати міцність і пластичність металу шва, підвищується опірність швів утворенню гарячих тріщин, тобто підвищити службові характеристики деталей і конструкцій.

2. Огляд літературних даних показав, що наведені дані відносяться до процесу дугового наплавлення дротами суцільного перерізу, відсутні дані про наплавлення з використанням порошкових дротяних і стрічкових електродів, тому в подальшому необхідно виконувати такі дослідження.

## References

- [1] V.P. Chernysh *et al*, *Svarka s elektromagnitnym peremeshivaniem*. Kiev, Ukraine: Tekhnika, 1983.
- [2] A.D. Razmyshlyayev, *Magnitnoe upravlenie formirovaniem shvov pri dugovoi svarke*. Mariupol', Ukraine: PGTU, 2000.
- [3] B.V. Efremenko, A.G. Belik and S.L. Makurov, "Vliyaniye magnitnogo polya na strukturu pokrytiya iz Cr-Ni-Si chuguna", *Novye materialy v metallurgii i mashinostroenii*, No. 1, pp. 28–32, 2016.
- [4] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Mironova, *Magnitnoe upravlenie formirovaniem valikov i shvov pri dugovoi naplavke i svarke*. Mariupol', Ukraine: GVUZ "PGTU", 2009.



- [5] A.D. Razmyshlyayev, P.A. Vydmysh and M.V. Ageeva, *Avtomaticheskaya elektrodugovaya svarka pod flyusom s vozdeistviem vneshnego magnitnogo polya*. Mariupol', Ukraine: GVUZ "PGTU", 2017.
- [6] A.D. Razmyshlyayev, V.R. Maevskii and S.M. Sidorenko, "Raschet induktzii magnitnogo polya solenoida s ferromagnitnym serdechnikom primenitel'no k dugovoi naplavke", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 8, pp. 22–24, 2001.
- [7] A.D. Razmyshlyayev and V.R. Maevskii, "Vliyanie upravlyayushchikh magnitnykh polei na geometricheskie razmery shva pri dugovoi svarke pod flyusom", *Svarochnoe proizvodstvo*, No. 2, pp. 17–19, 1996.
- [8] A.D. Razmyshlyayev, A.A. Deli and M.V. Mironova, "Vliyanie prodol'nogo magnitnogo polya na proizvoditel'nost' rasplavleniya provoloki pri elektrodugovoi naplavke pod flyusom", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 6, pp. 31–35, 2007.
- [9] A.D. Razmyshlyayev, M.V. Mironova and A.A. Deli, "Vliyanie chastoty prodol'nogo magnitnogo polya na koeffitsient rasplavleniya provoloki pri elektrodugovoi naplavke pod flyusom", *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitet*, No. 17, pp. 150–152, 2007.
- [10] A.M. Boldyrev, V.A. Birzhev and A.V. Chernykh, "Increasing the melting efficiency of electrode wire in welding in a longitudinal magnetic field", *Welding International*, Vol. 4, Issue 9, pp. 746–748, 1990. <https://doi.org/10.1080/09507119809447812>
- [11] A.D. Razmyshlyayev and V.R. Maevskii, "Vliyanie upravlyayushchikh magnitnykh polei na geometricheskie razmery shva pri dugovoi svarke pod flyusom", *Svarochnoe proizvodstvo*, No. 2, pp. 17–19, 1996.
- [12] A.D. Razmyshlyayev, "Vliyanie magnitnogo polya na razmery zony proplavleniya pri naplavke pod flyusom" *Avtomaticheskaya svarka*, No. 8, pp. 25–27, 30, 1996.
- [13] A.M. Boldyrev, V.A. Birzhev and A.V. Chernykh, "Upravlenie glubinoi proplavleniya pri dugovoi svarke i naplavke s pomoshch'yu prodol'nogo peremennogo magnitnogo polya", *Svarochnoe proizvodstvo*, No. 6, pp. 30–31, 1993.
- [14] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Mironova, "Osobennosti proplavleniya osnovnogo metalla pri dugovoi naplavke v prodol'nom magnitnom pole", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 8, pp. 24–28, 2008.
- [15] I.G. Tyumentsev and S.V. Polishchuk, "Vliyanie peremennogo prodol'nogo magnitnogo polya na konstruktsionnyu prochnost' svarnykh soedinenii vysokoprochnykh staley", in *Proc. Aktual'nye problemy elektrometallurgii, svarki, kachestva*, 2006, T. 2, pp. 83–84.
- [16] I.G. Tyumentsev and S.V. Polishchuk, "Energeticheskii metod otsenki prochnosti metalla shva, pri udarnom nagruzenii, poluchennogo pri svarke v usloviyakh kristallizatsii v prodol'nom magnitnom pole", in *Proc. Metallurgiya: novye tekhnologii, upravlenie, innovatsii i kachestvo*, 2007, pp. 191–193.
- [17] G.V. Sutyryn, "Issledovanie mekhanizma vozdeistviya nizkochastotnoi vibratsii na kristallizatsiyu svarochnoi vanny", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 5, pp. 7–10, 1975.
- [18] S.V. Aristov and V.L. Russo, "Kristallizatsiya metalla shva pri nizkochastotnykh kolebaniyakh rasplava", *Svarochnoe proizvodstvo*, No. 11, pp. 42–44, 1982.
- [19] V.P. Morozov, "Vliyanie kolebatel'nogo mekhanizma kristallizatsii na protsess izmel'cheniya pervichnoi struktury metalla shva i zony termicheskogo vliyaniya", *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie*, MGTU im. N.E. Baumana, No. 9, pp. 1–8, 2010.
- [20] V.P. Morozov, "Opredelenie svyazi mezhdu periodichnost'yu protsessa kristallizatsii metalla svarnogo shva, izmeneniyami mgnovennoi skorosti zatverdevanii i pokazatelyami tekhnologicheskoi prochnosti", *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie*, MGTU im. N.E. Baumana, No. 9, pp. 3–9, 2010.
- [21] V.P. Morozov, "Vliyanie vneshnego pul'siruyushchego istochnika tepla na rasplavlennyy metall svarnogo shva v protsesse ego kristallizatsii s tsel'yu effektivnogo upravleniya strukturoobrazovaniem", *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie*, MGTU im. N.E. Baumana, No. 10, pp. 4–8, 2010.
- [22] A.M. Boldyrev, E.V. Dorofeev and E.G. Antonov, "Upravlenie kristallizatsiei metalla pri svarke plavlaniem", *Svarochnoe proizvodstvo*, No. 6, pp. 35–37, 1971.
- [23] M.V. Ageeva and A.D. Razmyshlyayev, "O peremeshivanii rasplava v svarochnoi vanne pri elektrodugovoi naplavke v prodol'nom magnitnom pole", in *Proc. Fundamental'ni ta prikladni doslidzhennya u suchasni nautsi*, 2019, p. 54. <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.04.05>
- [24] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Ageeva "Izmel'chenie struktury metalla pri dugovoi naplavke pod vozdeistviem prodol'nogo magnitnogo polya", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 2, pp. 25–28, 2019. <https://doi.org/10.15407/as2019.02.03>
- [25] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Ageeva, "Vliyanie magnitnogo polya na kristallizatsiyu shvov pri dugovoi svarke", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 1, pp. 40–43, 2019. <https://doi.org/10.15407/as2019.01.05>
- [26] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Ageeva, "O mekhanizme izmel'cheniya struktury metalla shva pri dugovoi svarke s vozdeistviem magnitnykh polei (Obzor)", *Avtomaticheskaya svarka*, No. 3, pp. 29–33, 2018. <https://doi.org/10.15407/as2018.03.05>
- [27] A.D. Razmyshlyayev and M.V. Ageeva, "Optimal'nye parametry prodol'nogo magnitnogo polya, obespechivayushchie peremeshivanie rasplava v vanne pri elektrodugovoi naplavke", *Tekhnichni nauki ta tekhnologii*, No. 2 (16), pp. 7–15, 2019.

## Influence of Longitudinal Control Magnetic Field on Efficiency of the Arc Process

K. Elsayed, A.D. Razmyshlyayev, M.V. Ahieieva, O.G. Bilyk

**Problematic.** When surfacing and welding with the action of a longitudinal magnetic field (LMF), the productivity of melting of the electrode metal increases, it is possible to control the geometric dimensions of the cross-section of the surfaced beads and welds, the structure of the surfaced metal and welds is refined, the hardness increases, the strength and ductility of the weld metal increases, and the resistance of the welds hot cracking.

**Research objective.** Analyze the literature data on the effect of LMF on the efficiency of the arc surfacing process of worn-out surfaces of parts and structures, taking into account the magnetic properties of electrode wires and base metal to increase the efficiency of this process.

**Realization technique.** Experiments were performed on submerged-arc surfacing with Sv-08A wire with a diameter of 5 mm with the action of an alternating LMF. Investigated the effect of the LMF frequency on the depth of penetration of the base metal and the width of the surfaced beads.

**The results of research.** It has been established that at frequencies of the LMF within the range  $f = 5...50$  Hz, the penetration depth is less, and the width of the bead is greater than in surfacing without the action of the LMF. In the future, it is necessary to carry out studies on the effect of LMF during surfacing with flux-cored wires and strips on the metal structure of the surfaced beads and their service characteristics.

**Conclusions.** It has been established that for grinding the structural components of the metal surfaced with the action of LMF, it is necessary to ensure effective mixing of the liquid metal in the weld pool, that is, along its entire length. In this case, it is necessary to ensure the optimal parameters of the control magnetic fields. There is no theory that would explain the mechanism of refinement of the weld structure during arc surfacing with the action of LMF, and the existing views on this mechanism are contradictory. The data presented in the literature refer to the process of arc surfacing and welding with solid wire, there are no data on surfacing using flux-cored wires and strip electrodes.

**Keywords:** arc surfacing; longitudinal magnetic field; induction; penetration depth; bead width; structure refinement.

## Влияние продольного управляющего магнитного поля на эффективность дугового процесса

Х. Элсаед, А.Д. Размышляев, М.В. Агеева, А.Г. Белик

**Проблематика.** При наплавке и сварке с действием продольного магнитного поля (ПРМП) повышается производительность расплавления электродного металла, возможно управление геометрическими размерами поперечного сечения наплавленных валиков и сварных швов, измельчается структура наплавленного металла и швов, увеличивается твердость, повышается прочность и пластичность металла шва, повышается сопротивляемость швов образованию горячих трещин.

**Цель исследования.** Проанализировать литературные данные о влиянии ПРМП на эффективность процесса дуговой наплавки изношенных поверхностей деталей и конструкций с учетом магнитных свойств электродных проволок и основного металла для повышения эффективности этого процесса.

**Методика реализации.** Выполнили эксперименты по наплавке под флюсом проволокой Sv-08A диаметром 5 мм с действием знакопеременного ПРМП. Исследовали влияние частоты ПРМП на глубину проплавления основного металла и ширину наплавленных валиков.

**Результаты исследований.** Установлено, что при частотах ПРМП в пределах  $f = 5...50$  Гц глубина проплавления меньше, а ширина валика больше, чем при наплавке без действия ПРМП. В дальнейшем нужно выполнить исследования по влиянию ПРМП при наплавке порошковыми проволоками и лентами на структуру металла наплавленных валиков и их служебные характеристики.

**Выводы.** Установлено, что для измельчения структурных составляющих металла, наплавленного с действием ПРМП, необходимо обеспечить эффективное перемешивание жидкого металла в сварочной ванне, то есть по всей ее длине. При этом нужно обеспечить оптимальные параметры управляющих магнитных полей. Нет теории, которая объясняла бы механизм измельчения структуры швов при дуговой наплавке с действием ПРМП, а существующие взгляды на этот механизм противоречивы. Приведенные в литературе данные относятся к процессу дуговой наплавки и сварки проволокой сплошного сечения, отсутствуют данные о наплавке с использованием порошковых проволок и ленточных электродов.

**Ключевые слова:** дуговая наплавка; продольное магнитное поле; индукция; глубина проплавления; ширина валиков; измельчение структуры.