УДК 621.791.75 DOI: https://doi.org/10.37434/as2021.08.02

ВПЛИВ ПОЗДОВЖНЬОГО КЕРУЮЧОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

О.Д. Размишляєв[1], М.В. Агєєва[2], О.Г. Білик[1], Е. Халед[1]

[1]ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7. E-mail: office@pstu.edu
[2]Донбаська державна машинобудівна академія. 84300, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72

Огляд літературних даних показав, що для підвищення ефективності процесів при дуговому наплавленні та зварюванні застосовують поздовжнє магнітне поле (ПДМП). При наплавленні і зварюванні з дією ПДМП підвищується продуктивність розплавлення електродного металу, можливе управління геометричними розмірами поперечного перерізу наплавлених валиків і зварних швів, подрібнення структури наплавленого металу і швів, збільшується твердість, міцність і пластичність металу шва, підвищується опірність швів утворенню гарячих тріщин. 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. В даній роботі виконали експерименти по наплавленню під флюсом дротом Св-08А діаметром 5 мм з дією ПДМП при частотах: 5, 10, 20, 33 та 50 Гц на пластини з низьковуглецевої сталі товщиною 20 мм. Величина поздовжньої компоненти індукції B_z магнітного поля при вимірюванні під електродом у поверхні виробу-пластини становила 30...40 мТл. Досліджено вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення основного металу і ширину наплавлених валиків. Встановлено, що при частотах ПДМП в межах f = 5…50 Гц глибина проплавлення менше, а ширина валика більша, ніж при наплавленні без дії ПДМП. Бібліогр. 25, рис. 4.

Ключові слова: дугове наплавлення під флюсом, зварювальний дріт, керуюче магнітне поле, оптимальні режими, якість зварних з'єднань

Використання поздовжнього магнітного поля (ПДМП) при дуговому наплавленні і зварюванні дротом під флюсом дозволяє підвищити ефективність цих процесів. Важливим є виконання аналізу технологічних переваг, які досягаються при використанні керуючого ПДМП при дуговому наплавленні 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 наплавляється. Ефективність процесу дугового наплавлення 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, оскільки здійснюється без безпосереднього контакту керуючих пристроїв з зоною зварювання, не потрібно істотних змін стандартного устаткування і техніки наплавлення.

Основні (узагальнені) дані про ефективність використання ПДМП при дуговому зварюванні та наплавленні наведено в роботах [1–4]. Але в останній час були опубліковані нові дані. В зв'язку з цим потрібен більш детальний аналіз літературних даних по вказаному питанню.

Мета роботи – проаналізувати літературні дані про вплив поздовжнього 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.

Зовнішнє поздовжнє 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 поздовжньої компоненти індукції B_z у поверхні пластини. Як встановлено в роботі [1], збільшує поздовжню компоненту індукції B_z у поверхні пластини наявність 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 Δ = 5 мм) підвищується ще в 2 рази. Якщо ж не тільки виріб-пластина, але і електродний дріт – феромагнетики, то індукція B_z під торцем електрода (при Δ = 5 мм) підвищується не в 2, а в 3 рази і більше.

Таким чином, процес дугового наплавлення і зварювання дротом під флюсом з дією ПДМП доцільно виконувати, якщо виріб і електродний дріт

Размишляєв О.Д. – https://orcid.org/0000-0001-6616-7717, Агеєва М.В. – https://orcid.org/0000-0001-8275-6781
Білик О.Г. – https://orcid.org/0000-0002-6240-1497
© О.Д. Размишляєв, М.В. Агєєва, О.Г. Білик, Е. Халед, 2021

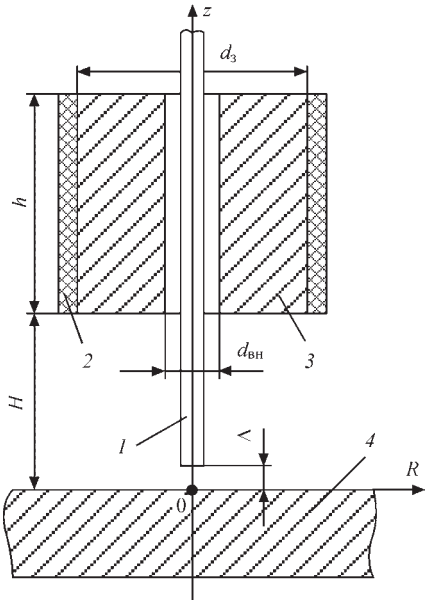

Рис. 1. Схема пристрою введення ПДМП: *1* – електродний дріт; *2* – обвитка; *3* – осердя; *4* – виріб (пластина)

виготовлені з феромагнітного матеріалу. Діаметр (зовнішній) фероосердя *3* ПВ ПДМП (з феромагнітної сталі, наприклад, сталь 45) не повинен перевищувати 52 мм [5], оскільки подальше його збільшення знижує рівень B_z у поверхні як феромагнітної, так і неферомагнітної пластини. При наплавленні з дією постійного ПДМП підвищення коефіцієнта розплавлення електродних дротів $\alpha_р$ при зворотній полярності процесу наплавлення досягає 30 %. При наплавленні дротами, які виготовлені з немагнітних матеріалів, з дією ПДМП $\alpha_р$ електродів не підвищується. Підвищення $\alpha_р$ 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 викладено в роботі [3].

При збільшенні індукції приблизно до 40 мТл спостерігається практично лінійне зростання продуктивності розплавлення електродного дроту. Знакозмінне ПДМП частотою 50 Гц також підвищує $\alpha_р$ електрода, проте в меншій мірі, ніж постійне ПДМП (рис. 2).

Встановлено, що підвищення $\alpha_р$ електродних дротів залежить від величини поздовжньої компоненти індукції ПДМП B_z (див. рис. 1) і становить в середньому 30 % при дії постійного ПДМП і 20 % при дії змінного частотою 50 Гц ПДМП [6].

В роботі [7] досліджено швидкість розплавлення електродних дротів діаметром 2…5 мм при автоматизованому зварюванні під флюсом в діапазоні струмів 200…1000 А. Дослідження проводили на пластинах зі сталі 10ХСНД, дротом Св-08А під флюсом АН-348АМ. Індукцію магнітного поля змінювали до 100 мТл. При цьому спостерігали, що при дії керуючого зовнішнього поздовжнього магнітного поля збільшується швидкість розплавлення електродного дроту при одних і тих же параметрах режиму на-

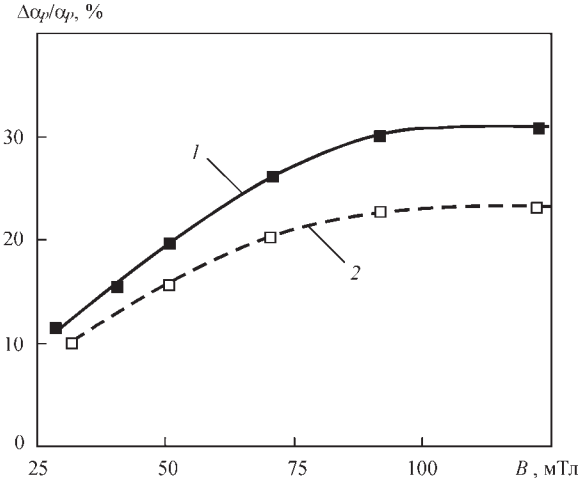

Рис. 2. Вплив поздовжньої компоненти індукції B_z ПДМП на відносне збільшення ($\Delta\alpha_р/\alpha_р$) коефіцієнта розплавлення електродного дроту Св-08А: *1* – постійне ПДМП; *2* – ПДМП частотою f = 50 Гц [6]

плавлення, 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 $\alpha_р$ дроту.

На ефект підвищення $\alpha_р$ дроту впливає частота ПДМП. Були виконані дослідження по встановленню впливу частоти ПДМП на $\alpha_р$ електродних дротів при дуговому наплавленню постійним струмом. Живлення котушок ПВ ПДМП забезпечувалось спеціальним джерелом прямокутних знакозмінних імпульсів (струму $I_к$ в котушках і індукції B_x), що описано раніше в роботі [4]. Встановлено (рис. 3 [8]), що при зворотній полярності наплавлення максимальний ефект підвищення $\Delta\alpha_р/\alpha_р$ має місце при впливі постійного ПДМП. При збільшенні частоти ПДМП від 1 до 4 Гц ефект підвищення $\alpha_р$ електрода знижується, до частоти f = 10 Гц зменшується плавно і при збільшенні частоти від 10 до 50 Гц залишається на одному рівні (рис. 3, криві *1*, *3*, *5*, *6*). В роботах [3, 7] було встановлено, що при дуговому наплавленні дротом Св-08А під флюсом на зворотній полярності з впливом постійного ПДМП коефіцієнт розплавлення електродного дроту $\alpha_р$ підвищується на 30 %. Також було відзначено, що через інерційність розплавлення краплі на торці електрода змінне ПДМП частотою 50 Гц неефективно впливає на $\alpha_р$ дротів при дуговому наплавленні [3]. Знакозмінні ПДМП частотою 50 Гц також підвищує $\alpha_р$ електрода, проте в меншій мірі, ніж постійне ПДМП [6].

Причини підвищення коефіцієнта розплавлення електродних дротів при дуговому наплавленні з дією ПДМП пояснено в роботах [2–4, 8]. При наплавленні в поздовжньому магнітному полі характер теплопередачі від дуги через рідку краплю до твердого металу електрода змінюється. В роботах [3, 8] показано, що при дії ПДМП на краплю електродного металу виникають відцентрові сили, що викликають обертання та подрібнення

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 [2–4, 8–12]. В зв'язку з цим виконували наплавлення на пластини зі сталі ВМСт.3сп 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: $I_н$ = 750…780 А; $U_д$ = = 34…36 В; $V_н$ = 30 м/год. Котушку соленоїду, що генерує ПДМП, живили від генератора прямокутних знакозмінних імпульсів [4].

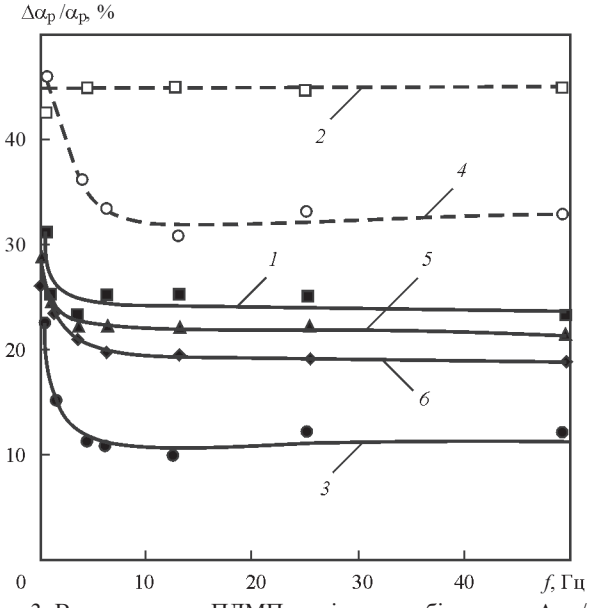

Рис. 3. Вплив частоти ПДМП на відносне збільшення $\Delta\alpha_р/\alpha_р$ коефіцієнта розплавлення електродів: *1*, *3*, *5*, *6* – зворотна полярність; *2*, *4* – пряма полярність; *1*, *2* – Св-08А; *3*, *4* – ПП-12Х13; *5* – Св-08Г2С; *6* – Нп-30ХГСА [7]

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

Величина поздовжньої компоненти індукції B_z магнітного поля, вимірювана під електродом у поверхні виробу-пластини з низьковуглецевої сталі становила 30...40 мТл. Експерименти з наплавлення з дією ПДМП виконували при частотах ПДМП: 5, 10, 20, 33 та 50 Гц. Дані дослідження про вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення наведено 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 (рис. 4, а, крива *2*). 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 (рис. 4, *б*, крива *2*). Таким чином, частота знакозмінного ПДМП зменшує глибину проплавлення металу і збільшує ширину валика. При частотах f = 5…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 уявити графічно в залежності від

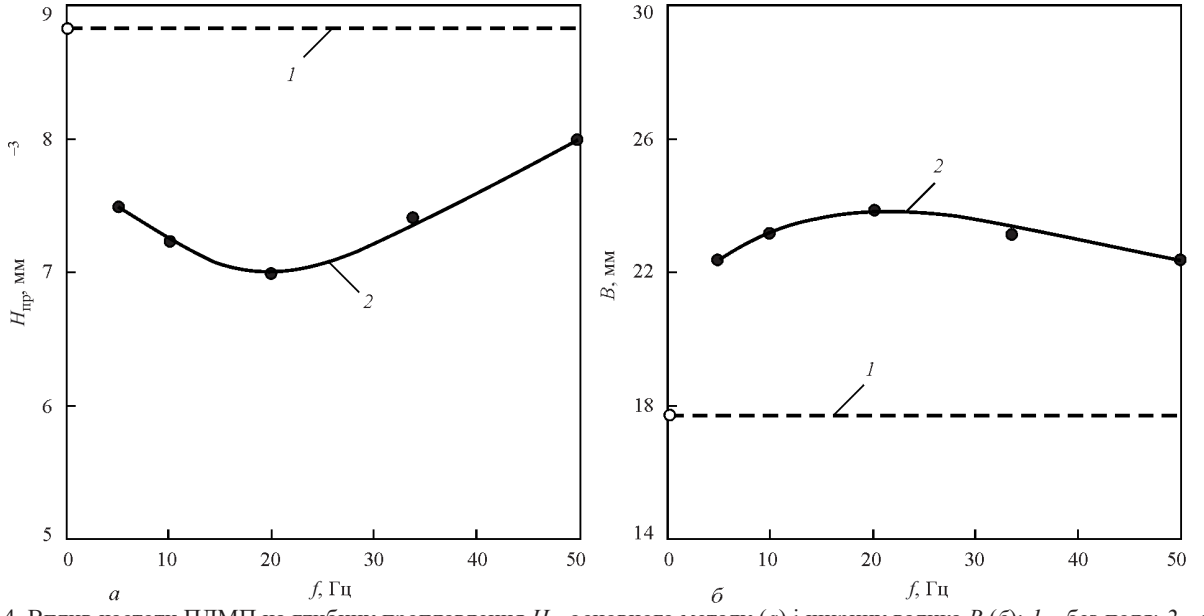

Рис. 4. Вплив частоти ПДМП на глибину проплавлення $H_{пр}$ основного металу (*а*) і ширину валика *B* (*б*): *1* – без поля; *2* – при дії знакозмінного ПДМП

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 [1–4, 13–21].

Показано [13, 14], 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 3,0…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 [4, 15–25]. Це досягається за рахунок перемішування рідкого металу у зварювальній ванні. При перемішуванні розплаву у ванні при дуговому 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 поздовжнього магнітного поля (ПДМП) при дуговому наплавленні і зварюванні дозволяє підвищити продуктивність розплавлення електродного металу, змінювати геометричні параметри зварних швів (валиків), подрібнювати структурні складові наплавленого металу і швів, збільшувати твердість, підвищувати міцність і пластичність металу шва, 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.

Список літератури

1. Черныш В.П., Кузнецов В.Д., Брискман А.Н., Шеленков Г.М. (1983) *Сварка с электромагнитным перемешиванием.* Киев, Техника.
2. Размышляев А.Д. (2000) *Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке.* Мариуполь, ПГТУ.
3. Размышляев А.Д., Миронова М.В. (2009) *Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке.* Мариуполь, Изд-во ПГТУ.
4. Размышляев А.Д., Выдмыш П.А., Агеева М.В. (2017) *Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля.* Мариуполь, Изд-во ПГТУ.
5. Размышляев А.Д., Маевский В.Р., Сидоренко С.М. (2001) Расчет индукции магнитного поля соленоида с ферромагнитным сердечником применительно к дуговой наплавке. *Автоматическая сварка*, **8**, 22–24.
6. Размышляев А.Д., Дели А.А., Миронова М.В. (2007) Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом. *Автоматическая сварка*, **6**, 31–35.
7. Boldyrev, A.M., Birzhev, V.A., Chernykh, A.V. (1990) Increasing the melting efficiency of electrode wire in welding in a longitudinal magnetic field. *Welding International*, 4, **9**, 746–748.
8. Размышляев А.Д.. Миронова М.В., Дели А.А. (2007) Влияние частоты продольного магнитного поля на коэффициент расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом. *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць*. Маріуполь, ПДТУ, 17, сс. 150–152.
9. Размышляев А.Д., Маевский В.Р. (1996) Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом. *Сварочное производство*, **2**, 17–19.
10. Размышляев А.Д. (1996) Влияние магнитного поля на размеры зоны проплавления при наплавке под флюсом. *Автоматическая сварка*, **8**, 25–27, 30.
11. Болдырев А.М., Биржев В.А., Черных А.В. (1993) Управление глубиной проплавления при дуговой сварке и наплавке с помощью продольного переменного магнитного поля. *Сварочное производство*, **6**, 30–31.
12. Размышляев А.Д., Миронова М.В. (2008) Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле. *Автоматическая сварка*, **8**, 24–28.
13. Тюменцев И.Г., Полищук С.В. (2006) Влияние переменного продольного магнитного поля на конструкционную прочность сварных соединений высокопрочных сталей. Актуальные проблемы электрометаллургии, сварки, качества: *труды Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 25–26 мая, 2006.* Т. 2. Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк, СибГИУ, сс. 83–84.
14. Тюменцев И.Г., Полищук С.В., Тюменцев М.И. и др. (2007) Энергетический метод оценки прочности металла шва при ударном нагружении, полученного при сварке в условиях кристаллизации в продольном магнитном поле. Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество: *труды Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 16–19 октября,* 2007. Новокузнецк СибГИУ, сс. 191–193.
15. Сутырин Г.В. (1975) Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны. *Автоматическая сварка*, **5**, 7–10.
16. Аристов С.В., Руссо В.Л. (1982) Кристаллизация металла шва при низкочастотных колебаниях расплава. *Сварочное производство*, 11, 42–44.
17. Карпов В.М., Ли Д.С., Воропаев А.О. и др. (2014) Влияние электромагнитного перемешивания на структуру металла шва, выполненного автоматической сваркой под водой. *Мор. интеллект. технол.*, 4, **1**, 80–84.
18. Морозов В.П. (2010) Влияние колебательного механизма кристаллизации на процесс измельчения первичной структуры металла шва и зоны термического влияния. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, **9**, 1–8.
19. Морозов В.П. (2010) Определение связи между периодичностью процесса кристаллизации металла сварного шва, изменениями мгновенной скорости затвердевания и показателями технологической прочности. *Там же*, **9**, 3–9.
20. Морозов В.П. (2010) Влияние внешнего пульсирующего источника тепла на расплавленный металл сварного шва в процессе его кристаллизации с целью эффективного управления структурообразованием. *Там же*, **10**, 4–8.
21. Болдырев А.М., Дорофеев Э.В., Антонов Е.Г. (1971) Управление кристаллизацией металла при сварке плавлением. *Сварочное производство*, **6**, 35–37.

22. Агеева М.В., Размышляев А.Д. (2019) О перемешивании расплава в сварочной ванне при электродуговой наплавке в продольном магнитном поле. *«Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці»: VII Наукова конференція, Харків, 30 жовтня 2019 р. Харків, Технологічний центр»*, 54.
23. Размышляев А.Д., Агеева М.В. (2019) Измельчение структуры металла при дуговой наплавке под воздействием продольного магнитного поля. *Автоматическая сварка*, **2**, 25–28.
24. Размышляев А.Д., Агеева М.В. (2019) Влияние магнитного поля на кристаллизацию швов при дуговой сварке. *Там же*, **1**, 40–43.
25. Размышляев А.Д., Агеева М.В. (2018) О механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием магнитных полей (Обзор). *Там же*, **3**, 29–33.

References

1. Chernysh, V.P., Kuznetsov, V.D., Briskman, A.N., Shelenkov, G.M. (1983) *Welding with electromagnetic stirring*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
2. Razmyshlyaev, A.D. (2000) *Magnetic control of weld formation in arc welding*. Mariupol, PGTU [in Russian].
3. Razmyshlyaev, A.D., Mironova, M.V. (2009) *Magnetic control of bead and weld formation in arc surfacing and welding*. Mariupol, PGTU [in Russian].
4. Razmyshlyaev, A.D., Vydmysh, P.A., Ageeva, M.V. (2017) *Automatic submerged arc welding under action of external magnetic field.* Mariupol, PGTU [in Russian].
5. Razmyshlyaev, A.D., Maevsky, V.R., Sidorenko, S.M. (2001) Calculation of magnetic field induction of solenoid with ferromagnetic core for arc surfacing. *The Paton Welding J.*, **8**, 18-21.
6. Razmyshlyaev, A.D., Deli, A.A., Mironova, M.V. (2007) Effect of longitudinal magnetic field on efficiency of wire melting in submerged-arc surfacing. *Ibid*., **6**, 23-27.
7. Boldyrev, A.M., Birzhev, V.A., Chernykh, A.V. (1990) Increasing the melting efficiency of electrode wire in welding in a longitudinal magnetic field. *Welding Intern.*, 4(**9**), 746–748.
8. Razmyshlyaev, A.D., Mironova, M.V., Deli, A.A. (2007) Influence of longitudinal magnetic field frequency on melting coefficient of wire in submerged arc surfacing. *Visnyk PDTU*, 17, 150–152 [in Russian].
9. Razmyshlyaev, A.D., Maevsky, V.R. (1996) Influence of controlling magnetic fields on geometrical dimensions of welds in submerged arc welding. *Svarochn. Proizvodstvo*, **2**, 17–19 [in Russian].
10. Razmyshlyaev, A.D. (1996) Influence of magnetic field on dimensions of penetration zone in submerged arc surfacing. *Avtomatich. Svarka*, **8**, 25–27, 30 [in Russian].
11. Boldyrev, A.M., Birzhev, V.A., Chernykh, A.V. (1993) Control of penetration depth in arc welding and surfacing by longitudinal variable magnetic field. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 30–31 [in Russian].
12. Razmyshlyaev, A.D., , Mironova, M.V. (2008) Peculiarities of base metal penetration in arc surfacing in longitudinal magnetic field. *The Paton Welding J.*, **8**, 24–28.
13. Tyumentsev, I.G., Polishchuk, S.V. (2006) Influence of the variable magnetic field on structural strength of high-strength welded joints. *In: Proc. of Int. Sci.-Pract. Conf. on Actual Problems of Electrometallurgy, Welding, Quality (Novokuznetsk, 25-26 May 2006). Vol. 2*, SibGIU, Novokuznetsk, 83–84.
14. Tyumentsev, I.G., Polishchuk, S.V., Tyumentsev, M.I. et al. (2007) Energy method of evaluation of weld metal strength under impact loading produced by welding under crystallization conditions in longitudinal magnetic field. *In: Proc. of All-Russian Sci.-Pract. Conf. on Metallurgy: New Technologies, Management, Innovation and Quality (Novokuznetsk, 16-19 October 2007)*. SibGIU, Novokuznetsk, 191–193 [in Russian].
15. Sutyrin, G.V. (1975) Investigation of mechanism of low-frequency vibration action on weld pool crystallization. *Avtomatich. Svarka*, 5, 7–10 [in Russian].
16. Aristov, S.V., Russo, V.L. (1982) Weld metal crystallization in low-frequency oscillations of melt. *Svarochn. Proizvodstvo*, **11**, 42–44 [in Russian].
17. Karpov, V.M., Li, D.S., Voropaev, A.O. et al. (2014) Influence of electromagnetic stirring on structure of weld metal produced by automatic underwater welding. *Mor. Intellekt. Tekhnol*., 4(**1**), 80–84 [in Russian].
18. Morozov, V.P. (2010) Influence of oscillating mechanism of crystallization on the process of primary structure refinement of the weld metal and heat-affected zone. *Nauka i Obrazovanie, MGTU*, **9**, 1–8 [in Russian].
19. Morozov, V.P. (2010) Determination of the relation between periodicity of the weld metal crystallization process, changes of instantaneous solidification speed and values of technological strength. *Ibid*., **9**, 3–9 [in Russian].
20. Morozov, V.P. (2010) Influence of the external pulsating heat source on melted weld metal during its crystallization for efficient control of structure formation. *Ibid*., **10**, 4–8 [in Russian].
21. Boldyrev, A.M., Dorofeev, E.V., Antonov, E.G. (1971) Control of metal crystallization in fusion welding. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 35–37 [in Russian].
22. Ageeva, M.V., Razmyshlyaev, A.D. (2019) About stirring of melt in weld pool in electric arc surfacing in longitudinal magnetic field. *In: Proc. of 7th Sci. Conf. on Fundamental and Applied Research in Modern Science (Kharkiv, 30 October 2019)*. Kharkiv, Technological Center, 54 [in Russian].
23. Razmyshlyaev, A.D., Ageeva, M.V. (2019) Refinement of metal structure in arc surfacing under the effect of longitudinal magnetic field. *The Paton Welding J.*, **2**, 19-21.
24. Razmyshlyaev, A.D., Ageeva, M.V. (2019) Influence of magnetic field on crystallization of welds in arc welding. *Ibid*., **1**, 25–27.
25. Razmyshlyaev, A.D., Ageeva, M.V. (2018) On mechanism of weld metal structure refinement in arc welding under action of magnetic field (Review). *Ibid*., **3**, 25-28.

INFLUENCE OF LONGITUDINAL CONTROLLING MAGNETIC FIELD ON THE EFFECTIVENESS OF ARC SURFACING PROCESS

O.D. Razmyshlyaev[1], M.V. Ageeva[2], O.G. Bilyk[1], E. Khaled[1]

[1]SHEI «Priazovskyi State Technical University». 7 Universitetskaya str., Mariupol, 87500. E-mail: office@pstu.edu
[2]Donbas State Mechanical Engineering Academy. 72 Akademichna Str., Kramatorsk, 84300

Literature data review showed that the longitudinal magnetic field (LMF) is used to increase the process effectiveness at arc surfacing and welding. At surfacing and welding with LMF impact, the electrode metal melting rate increases, control of the cross-sectional geometrical dimensions of the deposited bead and weld becomes possible, the structure of the deposited metal and welds is refined, and hardness, strength and ductility of weld metal, as well as hot cracking resistance of the welds become higher. It was established that effective stirring of liquid metal in the weld pool, i.e. along its entire length, should be ensured for refinement of structural components of the metal deposited under LMF impact. Here, optimum parameters of the controlling magnetic fields should be provided. In this work, experiments were performed on submerged-arc surfacing of plates from 20 mm thick low-carbon steel with 5 mm Sv-08A wire under the impact of LMF at the following frequencies: 5, 10, 20, 33 and 50 Hz. The magnitude of the longitudinal component of magnetic field induction B_z was 30...40 mT, when measured under the electrode at the surface of the plate product. The influence of LMF frequency on base metal penetration depth and deposited bead width was studied. It is found that at LMF frequencies in the range of f = 5…50 Hz, the penetration depth is smaller, while the bead width is greater than at surfacing without LMF application. 25 Ref., 4 Fig.

Keywords: submerged-arc surfacing, welding wire, controlling magnetic field, optimum modes, welded joint quality

Надійшла до редакції 08.06.2021