

алов конструкционного и антифрикционного назначения / Б.Г. Дорофеев, В.А. Гейдаров, А.Т. Мамедов // Порошковая металлургия. – 1987. – № 9. – С. 42-47.

4. Гейдаров В.А. Структура и свойства износостойких порошковых материалов для бытовых кондиционеров и оптимизация параметров их получения : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / Гейдаров Вагиф Абас оглы – Новочеркасск, 1986. – 203 с.

Reviewer: N.Sh. Ismayilov

PhD in Engineering, a professor, Azerbaijan Technical University

The article was admitted on 05.03.2020

УДК 621.798.927

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216166

© Роянов В.О.¹, Захарова І.В.²

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ З ПУЛЬСУЮЧИМ ПОВІТРЯНО-РОЗПИЛЮВАЛЬНИМ СТРУМЕНЕМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ З ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

З метою зниження окисного впливу розпилювального струменя на рідкий метал торців, які плавляться, раніше запропонований і розроблений спосіб періодичного (пульсуючого) впливу на рідкий метал електродів повітряного розпилювального струменя з урахуванням того, що пауза між моментами дії потоку дозволяє забезпечити плавлення електродів з обмеженим обсягом повітря. Представлено пристрій, розроблений таким чином, що забезпечує отримання пульсацій потоку з різною частотою і тривалістю, отримані дані про вплив пульсуючого потоку на технологічні характеристики покриттів, зокрема, значне зниження втрат легуючих елементів. В якості вирішення проблеми енергозбереження при дуговій металізації розглянуто питання про використання кисню повітряного розпилювального струменя з метою отримання зносостійких покриттів з високою міцністю зчеплення за рахунок утворення твердих оксидів з недефіцитних порошків металів і сплавів. Зважаючи на обмежений діапазон складів дротів суцільного перетину, запропоновано застосування порошкових дротів, що складаються з маловуглецевої оболонки і стрижня з недефіцитних, поширених порошків металів і феросплавів, що забезпечують отримання високо зносостійких покриттів з підвищеною міцністю зчеплення. В якості досліджуваного було взято економно-легований порошковий дріт ПП-ММ-2, розроблений на кафедрі автоматизації та механізації зварювального виробництва Приазовського державного технічного університету. У даній роботі розглядається вплив частоти пульсацій розпилювального потоку повітря при дуговій металізації на мікроструктуру і величину мікротвердості покриттів, отриманих шляхом застосування порошкових дротів.

Ключові слова: дугова металізація, порошковий дріт, легуючі елементи, карбіди, розпилювальний потік, частота пульсацій, покриття, мікротвердість, мікроструктура.

Роянов В.А., Захарова І.В. Применение метода электродуговой металлизации с пульсирующей воздушно-распыляющей струей для нанесения покрытий из порошковой проволоки. С целью снижения окислительного воздействия распыляю-

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID:0000-0002-0899-173X

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0002-3492-0134, zakharovaiv75@gmail.com

цей струи на жидкий металл торцов плавящихся электродов ранее предложен и разработан способ периодического (пульсирующего) воздействия на жидкий металл электродов воздушной распыляющей струи с учетом того, что пауза между моментами действия потока позволяет обеспечить плавление электродов с ограниченным объемом воздуха. Разработана конструкция устройства, обеспечивающего получение пульсаций потока с различной частотой и длительностью, получены данные о влиянии пульсирующего потока на технологические характеристики покрытий, в частности, значительного снижения потерь легирующих элементов. В качестве решения проблемы энергосбережения при дуговой металлизации рассмотрен вопрос об использовании кислорода воздушной распыляющей струи с целью получения износостойких покрытий с высокой прочностью сцепления за счет образования твердых оксидов из недефицитных порошков металлов и сплавов. Ввиду ограниченного диапазона составов проволок сплошного сечения предложено применение порошковых проволок, состоящих из малоуглеродистой оболочки и стержня из недефицитных, широко распространенных порошков металлов и ферросплавов, обеспечивающих получение высоко износостойких покрытий с повышенной прочностью сцепления. В качестве исследуемой была взята экономно легирующая порошковая проволока ПП-ММ-2, разработанная на кафедре автоматизации и механизации сварочного производства Приазовского государственного технического университета. В данной работе рассматривается влияние частоты пульсаций распыляющего потока воздуха при дуговой металлизации на микроструктуру и величину микротвёрдости покрытий, полученных путем применения порошковых проволок.

Ключевые слова: дуговая металлизация, порошковая проволока, легирующие элементы, карбиды, частота пульсаций, распыляющий поток, покрытие, микротвёрдость, микроструктура.

V.O. Royanov, I.V. Zakharova. Applications of electric arc metallization method with pulsating air-spraying flow for application of coatings made from a cored wire. In order to reduce the oxidizing effect of the spraying flow on the liquid metal of the ends of the molten electrodes the method of periodic (pulsating) impact of the air spraying flow on the liquid metal of the electrodes has been previously proposed and developed, considering that the pause between the moments of the flow impacts allows ensuring the melting of the electrodes with a limited amount of air. The design of the device which provides pulsations of a stream with various frequency and duration is developed, data on the influence of a pulsing stream on technological characteristics of coatings, in particular, a considerable decrease in losses of alloying elements are received. As a solution to the problem of energy saving in arc metallization, the use of oxygen of the air spraying flow was considered in order to obtain wear-resistant coatings with high adhesion strength through the formation of solid oxides from non-deficient powders of metals and alloys. Due to a limited range of compositions of solid cross-section wires, it is suggested to use cored wires consisting of low-carbon shell and rod made of non-deficient, widely spread metal and ferroalloy powders, which provide high wear-resistant coatings with increased adhesion strength. The economically alloyed flux-cored wire PP-MM-2 developed at the Department of Automation and Mechanization of Welding Production of the Priazovsky State Technical University was taken as the investigated one. In this paper, the influence of spraying airflow pulsation frequency in arc metallization on microstructure and micro hardness value of coatings obtained by using powder wires is considered.

Keywords: arc metallization, cored wire, alloying elements, carbides, pulsation frequency, spraying flow, coating, microhardness, microstructure.

Постановка проблеми. Аналіз можливості використання пульсуючого потоку повітряно-розпилювального струменя для покриттів, отриманих із застосуванням порошкових дрітків, шляхом вивчення їх мікроструктури і величини твердості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Рядом науковців при проведенні процесу

дугової металізації в якості транспортуючого газу рекомендується використовувати стиснене повітря або нейтральні і відновні газові суміші. Розпилення стисненим повітрям забезпечує стабільний розпил металу, що плавиться, проте якість покриття не дуже висока через велику кількість пір і оксидів [1-3]. Порошкові дроти, як електродний матеріал для дугової металізації (ДМ), знаходять все більш широке застосування завдяки своїм перевагам: практично необмежені можливості по зміні складу; можливості використовувати матеріали, які неможливо ввести до складу електродного матеріалу цільно-тягнутих металевих дротів. Разом з тим, номенклатура таких дротів досить обмежена [4] і раніше не було розглянуто вплив повітря на формування покриття нанесеного методом дугової металізації з пульсуючим розпилювальним потоком повітря.

Мета роботи – провести дослідження мікроструктури покриттів, отриманих із застосуванням економно-легуючого порошкового дроту ПП-ММ-2 при дуговій металізації з пульсуючим розпилювальним струменем.

Виклад основного матеріалу. З метою зниження окисного впливу розпилювального струменя на рідкий метал торців, які плавляться, пропонується використовувати пульсуючий розпилювальний струмінь повітря. На кафедрі автоматизації та механізації зварювального виробництва ПДТУ (Приазовського державного технічного університету, м Маріуполь) розроблений метод електродугової металізації із застосуванням пульсуючого розпилювального струменя повітря [5-7]. Для вирішення поставленого завдання було розроблено відповідний пристрій [8].

В якості базового взятий дріт ПП-ММ-2 [9], розроблений на кафедрі автоматизації та механізації зварювального виробництва ДВНЗ «ПДТУ».

Хімічні властивості покриттів досліджували на зразках, отриманих електродуговою металізацією при різних частотах розпилювального струменя повітря.

Як матеріал основи використовували сталь 09Г2С в вигляді пластин розміром 75×35×5 мм. Перед напиленням зразки знежирювали бензином і піддавали піскоструминній обробці корундом з подальшим обдуванням стисненим повітрям (для видалення пилу). Напилення проводили за допомогою електродугового металізатора ЕМ-17 з розробленим пристроєм на режимах: тиск $P = 0,55$ МПа, сила струму $I = 210...230$ А, напрузі $U = 30...32$ В, швидкість подачі дроту $v = 4,8...5,4$ м/хв. Відстань до напилюваного зразка – 120 мм. Живлення дуги здійснювалось від джерела ВДУ-506.

Мікроструктура покриттів, отриманих різною частотою пульсуючого повітряно-розпилювального струменя з використанням порошкового дроту ПП-ММ-2, представлена на рисунку 1.

Видно, що мікроструктура покриття змінюється при зміні числа пульсацій: при відсутності пульсацій повітряно-розпилювального потоку структура покриття неоднорідна, з великою кількістю частинок різної форми (рис. 1, а), відзначені частки сферичної форми, не биті напором повітря на більш дрібні, при цьому більшість частинок витягнутої, деформованої форми, є наявність оксидних плівок.

По мірі використання пульсуючого повітряно-розпилювального газового струменя покриття мають більш рівномірну мікроструктуру: кількість частинок з різним розміром зменшується, мабуть частки піддавалися значній пластичній деформації (рис. 1, б).

При частоті пульсацій 43 Гц структура покриттів по всій товщині рівномірна, що свідчить про стабільність процесу. У перехідній зоні спостерігаються оксидні плівки, але їх значно менше в порівнянні з структурою покриття, виконаного за відсутності пульсуючого повітряно-розпилювального струменя. При частоті в 43 Гц відзначається істотна зміна форми частинок, які напилюються; в порівнянні з будовою покриття без пульсацій вони мають менші розміри. Середній розмір частинок знаходиться в межах 100-450 мкм.

При частоті 64 Гц відзначається значна кількість частинок малих розмірів, на ряду з великими (рис. 1, в). Середній розмір частинок коливається в межах 50-350 мкм. Причини цього в тому, що проміжок в проходженні імпульсів повітряно-розпилювального струменя має меншу за часом величину, ніж на частоті в 43 Гц.

Швидкість плавлення електродів і утворення рідкого металу на торці має більшу величину, ніж часовий проміжок в проходженні повітряно-розпилювального потоку при даній частоті, що збільшує зусилля скидання рідкого металу з торців електродів силою розпилюваль-

ного потоку.

При частотах вище 105 Гц значної зміни в розмірах часток не зазначено, але все ж незначні відмінності є (рис. 1, г). Наявність проміжку в проходженні повітряно-розпилювального потоку має мале значення в порівнянні з часом, необхідним для формування рідкого металу на електродах. Сила впливу розпилювального потоку на рідкий метал стає практично постійною. Зміна структури пояснюється, як сумарний вплив сил поверхневого натягу і сил впливу повітряно-розпилювального потоку, які мають значний вплив на процес відриву рідких крапель з торця електродів. Про це свідчить збільшення числа великих часток. Структура покриття близька, як і при відсутності імпульсів.

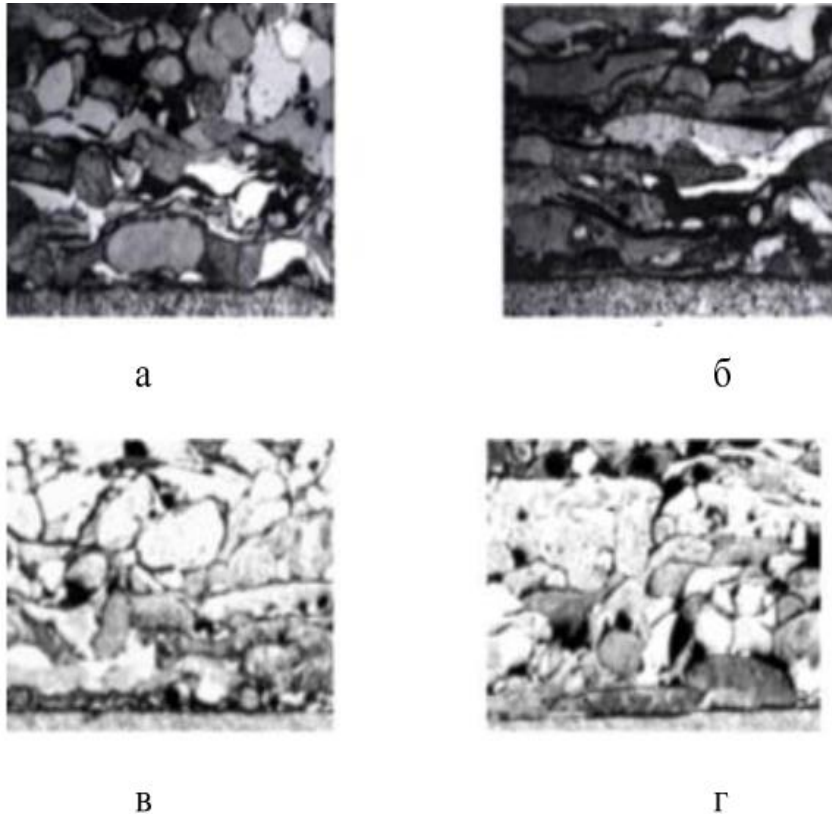


Рис. 1 – Мікроструктура покриттів, одержаних із застосуванням порошкового дроту ПП-ММ-2 в залежності від частоти пульсацій стисненого повітря, $\times 50$: а – без пульсацій; б – пульсації 43 Гц; в – пульсації 65 Гц; г – пульсації 105 Гц

Дослідження впливу частоти пульсацій на мікроструктуру і мікротвердість частинок проводилося на приладі LM-100 при навантаженні 500 г.с., при використанні порошкового дроту ПП-ММ-2. На рис. 2 представлена мікроструктура і мікротвердість окремих частинок покриттів.

Аналіз показує, що характерною структурою частинок є в основному феррит або ферито-перліт з наявністю фази карбіду або включень хрому і оксидів алюмінію, мікротвердість становить 180 HV (рис. 2, а). Зі збільшенням частоти кількість карбідної фази в частинках покриття збільшується, твердість, відповідно, – 311 HV, 276 HV, 206 HV (рис. 2, б-г). При частотах 65 і 105 Гц в частинках з'являються гартівні структури твердістю 320 HV-263 HV (рис. 2, д, ж), що обумовлено зміною розмірів часток і підвищенням швидкостей охолодження. Разом з тим в частинках покриття при частоті 85 і 105 Гц переважає феррито-перлітна структура з включенням карбідів (як і в частинках покриття, отриманих без пульсації або низьких частотах 25 Гц) твердістю 368 HV, 349 HV (рис. 2, е, з).

На підставі проведених досліджень встановлено, що оптимальним діапазоном частот пульсацій повітряно-розпилювального струменя є 65-85 Гц, що забезпечує поліпшення властивостей покриття при використанні порошкового дроту ПП-ММ-2.

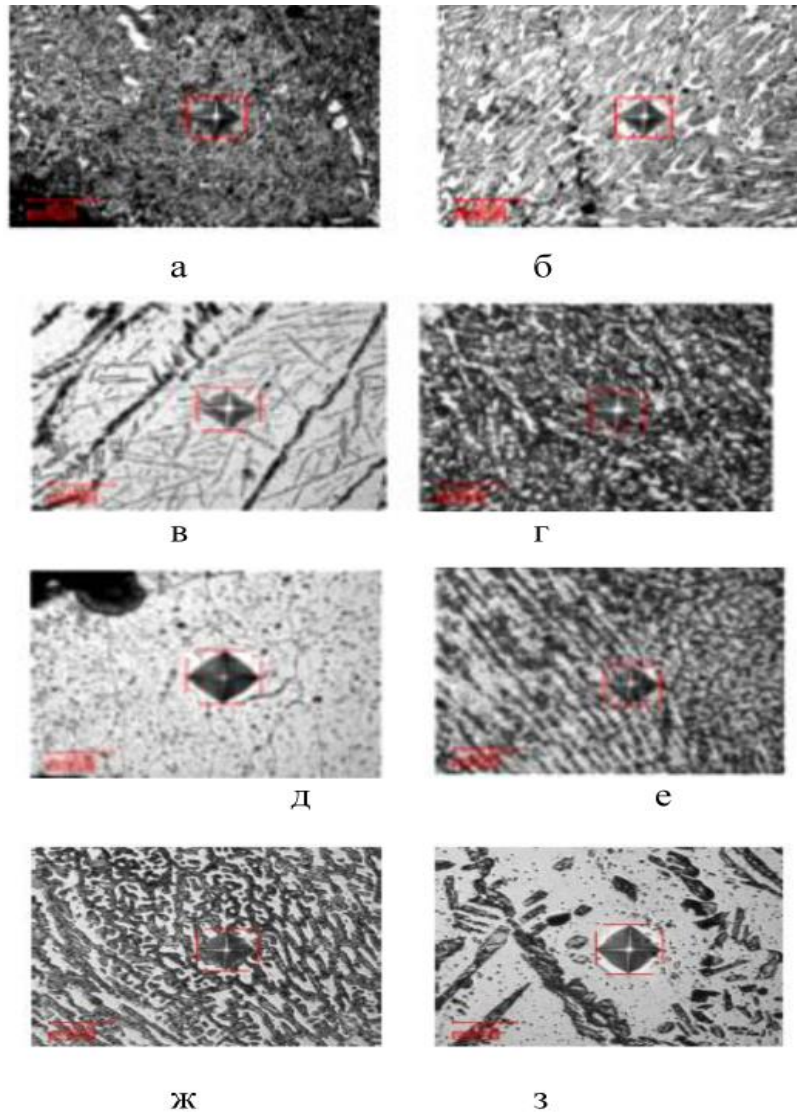


Рис. 2 – Мікроструктура і мікротвердість частинок покриттів при різній частоті пульсацій, $\times 500$: а – без пульсацій, структура фериту з виділенням фази карбіду; б – пульсації 25 Гц, структура перліт з рівномірно розподіленими карбідами хрому; в – пульсації 43 Гц, структура пластинчастий перліт з рівномірно розподіленими карбідами хрому; г – пульсації 65 Гц, легований ферит, карбіди хрому; д – пульсації 65 Гц, дрібнодисперсний сорбіт з карбідами хрому; е – пульсації 85 Гц, карбіди хрому, структура перліт і легований ферит; ж – пульсації 105 Гц, голчасті бейніт, ферит і стовпчасті карбіди хрому; з – пульсації 105 Гц, пластинчастий перліт, ферит і карбіди хрому

Висновки

Встановлено, що оптимальним діапазоном частот пульсацій повітряно-розпилювального струменя є 65-85 Гц, що забезпечує поліпшення властивостей покриття при використанні порошкового дроту ПП-ММ-2.

Перелік використаних джерел:

1. Коробов Ю.С. Восстановление деталей методом активированной дуговой металлизации / Ю.С. Коробов, В.М. Изойтко, А.С. Прядко // Автомобильная промышленность. – 2000. – № 1. – С. 23-24.
2. Алхимов А.П. Научные основы технологии холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов / А.П. Алхимов, В.Ф. Косарев, А.В. Плохов. –

- Новосибірск : НГТУ, 2006. – 280 с.
3. Коробов Ю.С. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим напылением / Ю.С. Коробов, В.И. Шумяков, А.С. Прядко // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 3. – С. 17-21.
 4. Порошковые проволоки Fe-Cr-Al для дуговой металлизации жаростойких покрытий / Ю.С. Коробов [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2015. – Т. 1. – С. 81-84. – (Серия : Metallurgiya).
 5. Zakharova I. The effect of a pulsating spraying jet on the volume of air that comes in contact with metal electrodes during arc metallization / I. Zakharova // Technium: Romanian Journal of Applied Science sand Technology. – 2020. – Vol. 2, no. 5. – Pp. 139-147. – Mode of access: DOI: 10.47577/technium.v2i5.1199.
 6. Zakharova I. Development of equipment for arc metallization with pulsating spray in gair flow to improve the technological properties of the coating / I. Zakharova // The scientific heritage. – 2020. – № 49, vol. 1. – Pp. 18-21.
 7. Захарова І.В. Теоретичні дослідження та практична розробка процесу дугового напилення з пульсуючим розпилювальним потоком повітря з метою підвищення якості покриттів / І.В. Захарова, В.О. Роянов, О.М. Серенко// Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2020. – № 1 (11). – С. 114-121. – Режим доступу : DOI: 10.30837/2522-9818.2020.11.114.
 8. Захарова І. Обґрунтування конструктивних особливостей пульсатора для забезпечення пульсуючого розпилювального потоку повітря при дуговій металізації / І. Захарова, В. Роянов // Технологічні науки та технології. – 2020. – № 1 (19). – С. 72-78. – Режим доступу : DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-65-71.
 9. Роянов В.А. Экономнолегированные порошковые проволоки для электродугового напыления износостойких покрытий / В.А. Роянов, В.П. Семенов // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 1995. – Vol. 1. – С. 157-160.

References:

1. Korobov Iu.S., Izoitko V.M., Priadko A.S. Vosstanovlenie detalei metodom aktivirovannoi dugovoi metallizatsii [Restoration of parts by the method of activated arc metallization]. *Avtomobil'naiapromyshlennost' – Automotive industry*, 2000, no. 1, pp. 23-24. (Rus.)
2. Alkhimov A.P., Kosarev V.F., Plokhov A.V. *Nauchnye osnovy tekhnologii kholodnogo gazodinamicheskogo napyleniia (KhGN) i svoistva napylennykh materialov* [Scientific foundations of cold gas-dynamic spraying technology (CGN) and properties of sprayed materials]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2006. 280 p.(Rus.)
3. Korobov Iu.S., Shumiakov V.I., Priadko A.S. Ratsional'nyi podkhod k vosstanovleniiu detalei oborudovaniia gazotermicheskim napyleniem [A rational approach to the restoration of equipment parts by thermal spraying]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiia – Repair, Reconditioning, Modernization*, 2013, no. 3, pp. 17-21. (Rus.)
4. Korobov Yu.S., Filippov M.A., Tabatchikov A.S., Nevezhin S.V., Verkhorubov V.S., Rimer G.A. Poroshkovye provoloki Fe-Cr-Al dlia dugovoi metallizatsii zharostoikikh pokrytii [Cored Fe-Cr-Al Wires for Arc Metallization of Heat-Resistant Coatings]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Metallurgii – Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 81-84. (Rus.)
5. Zakharova I. The effect of a pulsating spraying jet on the volume of air that comes in contact with metal electrodes during arc metallization. *Technium: Romanian Journal of Applied Science sand Technology*, 2020, vol. 2, no. 5, pp. 139-147. doi: 10.47577/technium.v2i5.1199.
6. Zakharova I. Development of equipment for arc metallization with pulsating spray in gair flow to improve the technological properties of the coating. *The scientific heritage*, 2020, no. 49, vol. 1, pp. 18-21.
7. Zakharova I.V., Royanov V.O., Serenko O.M. Teoretichni doslidzhennia ta praktichna rozrobka protsesu dugovogo napilennia z pul'suiuchim rozpiliuval'nim potokom povitria z metoiu pidvishchennia iakosti pokrittiv [Theoretical research and practical development of the process of arc spraying with pulsating spray air flow to improve the quality of coatings]. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2020, no. 1 (11), pp. 114-121. doi: 10.30837/2522-9818.2020.11.114. (Ukr.)

8. Zakharova I.V., Roianov V.O. Obruntuvannia konstruktivnii osoblivostei pul'satora dlia zabezpechennia pul'suiuchogo rozpiliuval'nogo potoku povitria pri dugovii metalizatsii [Substantiation of constructive features of a pulsator for maintenance of a pulsating spray stream of air at arc metallization]. *Tekhnologichni nauki ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, 2020, no. 1 (19), pp. 72-78. doi: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-65-71.
9. Roianov V.A., Semenov V.P. Ekonomnolegirovannye poroshkovye provoloki dlia elektrodugovogo napyleniia iznosostoikikh pokrytii [Economically alloyed flux-cored wires for electric arc spraying of wear-resistant coatings]. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 1995, vol. 1, pp. 157-160. (Rus.)

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

Стаття надійшла 05.04.2020

UDC 621.762.4

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216169

© Musurzayeva Batura Beybala gizi *

MICROSTRUCTURE AND ELEMENTAL ANALYSIS OF POWDER IRON-BASED COMPOSITE MATERIALS

This article studies the kinetics of structure formation of a composite powder material containing solid lubricants such as graphite, talc and zinc stearate. For the experiments were prepared charge containing powders, wt.%: Cu – 4-18; Sn – 1-2.0; C – 1.5-2.5; talc – 2.0-3.5; zinc stearate – 0.5, Fe – the rest. Mixing of powders was carried out in a Y-shaped mixer, pressing of charges was carried out on a hydraulic press at pressures of 400-1000 MPa, and sintering of compacts – in a conveyor furnace in a protective gas (endothermic gas) in the temperature range 850-1150 °C. There is no pearlite in the microstructure of iron-bronze sintered at 850 °C. This is due to the adsorption capacity of talc on the surface of iron particles, which prevents the diffusion of carbon into the iron crystal lattice. An increase in the sintering temperature to 1000 °C leads to the formation of pearlite in the structure of iron-bronze, while pearlite prevails over ferrite. This indicates the partial burnout of talc from the surface of the iron particles and the open paths of carbon diffusion. At a sintering temperature of 1150 °C, a pearlite structure and a network of light inclusions are formed in the microstructure of iron-bronze samples. The study of the chemical composition of light inclusions with a micro-X-ray spectral analyzer showed that these inclusions contain solid solutions of variable compositions either Fe-Cu-Sn, Cu-Fe-Sn or Cu-Sn-Fe. To confirm these assumptions, X-ray phase analysis was performed. The diffraction patterns of these samples are reflections of Fe and Cu. The absence of diffraction effects characteristic of Sn is due to its solubility in the Cu lattice. This is due to the low melting point of Sn (232 °C) and its ionic radius, which allows the isomorphic substitution of Cu and Fe ions with Sn ions (their difference is no more than 15%).

Keywords: structure, ironbronza phase, powdered composition, the liquid sintering, the porosity of, non-metallic phases, perlite, braking, verd particles.

Мусурзаєва Батура Бейбала кизи. Мікроструктура і елементний аналіз порошкових композиційних матеріалів на основі заліза. У даній статті вивчено кінетику структуроутворення композиційного порошкового матеріалу, що містить тверді мастильні матеріали типу графіту, тальку і стеарата цинку. Для прове-

* applicant, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan, musurzayeva71@mail.ru