

## ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ОКИСЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ, ЩО РОЗПИЛЮЄТЬСЯ, ПРИ ДУГОВІЙ МЕТАЛІЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПОВІТРЯНО-ПОРОШКОВОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СТРУМЕНЯ

<sup>1</sup>Державний вищий навчальний заклад  
«Приазовський державний технічний університет», Маріуполь

*Серед методів нанесення покриттів процес дугової металізації є найтехнологічнішим за тепловою ефективністю, відносною вартістю покриттів (вартість в 3...10 разів дешевше покриттів, одержуваних іншими методами) із забезпеченням їх високої міцності.*

*Інтенсивне нагрівання частинок напилюваного матеріалу в процесі дугової металізації є основною причиною зниження вмісту деяких компонентів складу. Втрати легуючих елементів складають: марганцю — 30 %, кремнію — 20 %, а також вуглецю до 60 %,.*

*На сьогодні відсутні системні рішення щодо запобігання при дуговій металізації інтенсивного вигорання з металу легуючих елементів і насичення шару, що наноситься, газами атмосфери.*

*Кінцевою метою дугової металізації, як і інших процесів обробки матеріалів, є отримання виробів із заданими властивостями, які визначаються процесами деформації і теплообміну у разі контакту крапель розпалюваного матеріалу з основою, а також фізико-хімічною взаємодією крапель з газовою атмосферою під час руху до основи. Таким чином, зміни основних параметрів процесу металізаційної швидкості, температури в двофазному потоці, інтенсивності надходження газів в метал крапель, дає можливість прогнозувати властивості покриттів, що і досліджувалося в роботі.*

*На підставі результатів досліджень, які показують наявність розрідження в зоні функціонування дуги, а також можливості ефективнішого використання кисню розпилювального струменя, запропоновано створення комбінованого повітряно-розпилювального струменя, що складається з центральної частини — повітряно-порошкової (введення легуючих порошоків) і зовнішньої — розпилювальної.*

**Ключові слова:** дугова металізація, легуючі елементи, покриття, розпилювальний струмінь, частинка, порошки.

### Вступ

Процес утворення газотермічних покриттів полягає в тонкому розпиленні витратного матеріалу на дрібні частинки, нагріванні частинок до розплавленого або пластичного стану і переміщенні їх струменем газу до зіткнення з поверхнею виробу [5]. На властивості покриттів впливають багато факторів, пов'язаних з характеристиками розпилювального пристрою, витратного матеріалу, параметрів руху частинок по дистанції напилювання і їх взаємодії з розпилювальним струменем, а потім — з основою.

Концентроване тепловкладання в розпилюваний матеріал у поєднанні із взаємодією часток з атмосферою під час польоту, призводять до хімічних змін в складі і структурі напилених покриттів, а саме:

- селективне випаровування легуючих елементів;
- зміна фазового складу металевих компонентів, наприклад, зміни в твердих фазах в присутності кисню;

– утворення стабільних оксидів, нітридів з активних металів.

Означені процеси призводять до зміни хімічного складу, зниження концентрації легуючих елементів, надмірного вмісту оксидів у покритті [1]—[3], [9].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для підвищення концентрації легуючих елементів та зниження надмірного вмісту оксидів в покритті низкою авторів в схемах процесу дугової металізації як транспортуючий газ використовується стиснене повітря або нейтральні та відновні газові суміші. Розпилення стисненим повітрям забезпечує стабільний розпил розплавленого металу, проте якість покриття недостатньо висока через велику кількість пор і оксидів [4]. Використання при металізації для розпилення інертних газів [5] нетехнологічне через їх високу вартість.

Перспективним є використання суміші «стиснене повітря—вуглеводні». Це додасть тепла в процесі згорання суміші, знизить надходження кисню в краплі металу при відновному характері газового струменя. У цьому випадку пропонується, наприклад, використовувати в суміші з повітрям метан [7]. У ВНПТУВІД «Ремдеталь» запропоновано як вуглеводні використовувати гас [6]. В. Е. Барановським запропоновано як транспортувальний газ використовувати продукти згорання пропан-кисневої суміші [8]. Однак, у цих роботах кількісні розрахунки або відсутні взагалі [5], [7], або мають наближений характер [6], [8]. Це не дозволяє повною мірою реалізувати переваги вибраної схеми.

В роботі розглянуті можливості ефективнішого використання кисню розпилювального струменя, а саме запропоновано створення комбінованого повітряно-розпилювального струменя.

*Метою дослідження є* запобігання в процесі дугової металізації інтенсивному вигорянню з металу покриттів легуючих елементів, що наноситься, і насиченню шару газами атмосфери, за рахунок створення комбінованого повітряно-розпилювального струменя, який складається з повітряно-порошкової (легуючої) частини та зовнішньої — розпилювальної.

### Основна частина дослідження

Під час електродугового напилення під дією тепла дуги відбувається плавлення торців електродів в умовах обмеженого впливу розпилювального потоку. З накопиченням рідкого металу на торцях електродів відбувається виштовхування його до периферійних зон торців, де він підхоплюється повітряним потоком і транспортується до напилюваної поверхні. Плавкі торці електродів розташовуються в зоні стрибка (падіння) тиску розпилювального струменя, величина сумарного тиску газу між торцями близька до атмосферного або має місце невелике розрідження.

На підставі наведених раніше результатів досліджень, що показують наявність розрідження в зоні функціонування дуги, а також можливості ефективнішого використання кисню розпилювального струменя, запропоновано створити комбінований повітряно-розпилювальний струмінь, що складається з центральної частини: повітряно-порошкової-легуючої і зовнішньої — розпилювальної. Введення порошоків в струмінь здійснювалося за рахунок інжекції таким чином, щоб повітряно-порошкова суспензія розташовувалася у центрі потоку [10]. З цією метою повітряно-дугтвове циліндричне сопло металізатора ЕМ-ЮА замінено інжекторним з бункерною приставкою (рис. 1), що забезпечує дозування порошку в розпилювальний струмінь.

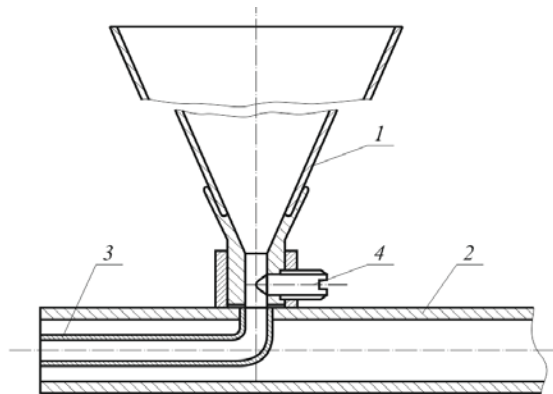


Рис. 1. Схема сопла металізатора для створення комбінованого повітряно-порошкового розпилювального струменя:  
1 — бункер для порошку, 2 — циліндричне розпилювальне сопло, 3 — патрубок для введення порошку в струмінь,  
4 — гвинт регулювання подачі порошку

З метою збереження енергії і швидкості витікання розпилювального струменя зберігалось незмінним (в межах  $F_{\text{інж}} = 0,8 \dots 0,9$ ) співвідношення площ інжекторного каналу і виходу розпилювального сопла [11].

Дослідження проводилися для оптимальних параметрів режиму дугового металізації з використанням маловуглецевого дроту Св-08А діаметром 2 мм. Параметри режиму напылення  $I_{\text{д}} = 200 \dots 220$  А;  $U_{\text{д}} = 28 \dots 30$  В;  $V_{\text{под}} = 3$  м/хв;  $P_{\text{воз}} = 0,55 \pm 0,05$  МПа;  $l_{\text{уд}} = 150$  мм. Витрата порошку визначалася вагою порошку, що розпилюється, за встановлюваний проміжок часу.

Проведений аналіз дозволив встановити, що для отримання зносостійких покриттів газотермічним напыленням широко використовуються порошки з легуваних сталей і сплавів на основі нікелю, кобальту, молібдену тощо, а також композиційні матеріали, що складаються з вищезазначених сталей, карбідів металів, боридів і нітридів. Для отримання зносостійких покриттів застосовують карбіди кремнію, титану та вольфраму.

В процесі досліджень встановлювалося вплив витрати порошків металів: марганцю, алюмінію, титану, нікелю та феросплавів: феромарганцю, фероалюмінію і ферованадію на хімічний склад покриттів.

З використанням порошків і металів в покриття введені: до 50 % нікелю, до 12 % марганцю, до 8 % алюмінію, до 4 % титану рис. 2. На рис. 2 показано, що вміст марганцю в покритті може бути доведено до 12 %, з використанням феротитану — титану та 3 %, фероалюмінію — алюмінію до 11 %, ферованадію — ванадію до 15 %. Характер зміни вмісту легуючих компонентів у покритті показано на рис. 3. Результати експерименту підтвердили наявність фізичних умов для легування покриттів при подачі порошків — металів і феросплавів в повітряно-розпилювальний струмінь.

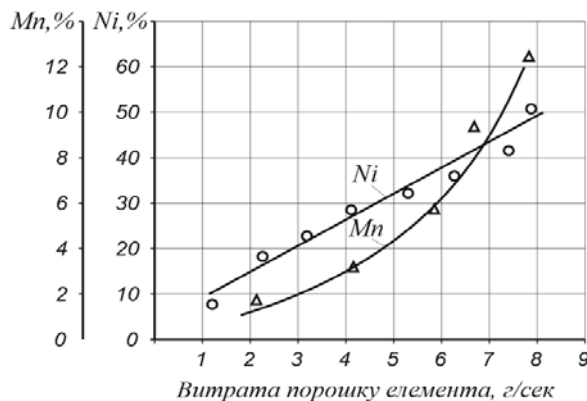


Рис. 2. Вплив витрати порошків металів в повітряно-порошковому розпилювальному струмені на утримання елементів в покритті

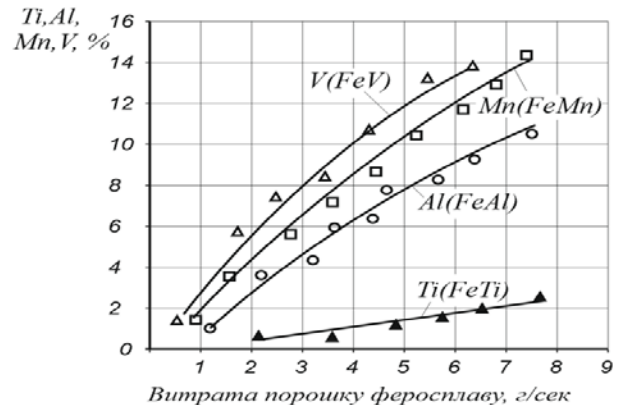


Рис. 3. Вплив витрати порошків феросплавів в повітряно-розпилювальному струмені на утримання елементів в покритті у разі дугової металізації

Показана можливість введення в покриття легуючих елементів за допомогою двофазної центральної частини струменя, що складається з суміші повітря порошку. Застосування повітряно-порошкового розпилювального струменя дозволяє отримати в покритті до 12 ... 14 % Mn, 10 % Ni, 2 % Ti, 14 % V, 10,5 % Al. При цьому просліджується, підвищений рівень витрат порошків, за рахунок обмеженого зазору між електродами і обтікання електродів струменем.

Визнана необхідність підвищення теплових показників дуги на 5...15 % у разі використання процесу, позаяк є необхідність додаткового нагрівання і плавлення частинок порошку в зоні плавлення електродів [12], [13], щоби уникнути зниження та утримати міцність зчеплення покриття з основою на рівні не менш 50 МПа.

### Висновки

Введення додаткових порошкових матеріалів (легуючих компонентів) у розпилювальний потік під час дугової металізації за рахунок створення комбінованого повітряно-розпилювального струменя дає можливість впливати на утримання легуючих елементів у нанесеному покритті, підвищує їх наявність у складі покриття до 15 % в залежності від кількості внесеного порошку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Б. С. Митин, *Порошковая металлургия и напыленные покрытия*. М.: Машиностроение, 1987, 791 с.

- [2] В. А. Вахалин, С. Б. Масленников, и В. В. Кудинов, «Процессы плавления и распыления материалов при электродуговой металллизации», *Физика и химия обработки материалов*, № 3, с. 58-63, 1981.
- [3] В. А. Роянов, В. Я. Зусин, С. С. Самотугин, и И. В. Захарова, *Дефекты, контроль и управление качеством при сварке и родственных технологиях*, учеб. Мариуполь, Украина: «Рената», 2014, 225 с.
- [4] В. П. Демянцевич, *Металлургические и технологические основы дуговой сварки*. М.; Л.: Машгиз. [Ленингр. отделение], 1962, 96 с.
- [5] ТПП УССР.-№ 6-23-16/4-10с, «Новые научные данные о факторах электродугового напыления», *Satkwewis-Mitteilungen*, vol. 29, № 9, pp. 936-942, 1988.
- [6] В. В. Кудинов, и Г. В. Бобров, *Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование*, Москва: Металлургия, 1992, 432 с.
- [7] Ю. С. Коробов, и В. Н. Бороненков, «Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металллизации», *Сварочное производство*, № 7, с. 30-36, 2003.
- [8] А. В. Будякин, «Стационарный электродуговой металлзатор», *Сварочное производство*, № 9, с. 35-36, 2000.
- [9] В. М. Корж, *Технологія та обладнання для напылення*. Київ, Україна, 2000, 150 с.
- [10] В. А. Роянов, и И. В. Захарова, *Энерго- и ресурсосбережение при электродуговом напылении покрытий*, моногр. Мариуполь, Украина: ГВУЗ "ПГТУ", ПРАТ газета "Призовский рабочий", 2018, 143 с.
- [11] С. Г. Гузов, «Расчет истечения газов из круглых отверстий (сопел) применительно к практике газопламенной обработки материалов», *Труды ВНИИАвтогенмаш*. Госхимиздат, 1956, с. 27-30.
- [12] Е. В. Войцеховский, «Повышение коррозионной стойкости алюминиевых электрометаллизационных покрытий.» дис. канд. техн. наук, Москва, Завод-ВТУЗ, 1982.
- [13] В. А. Роянов, В. П. Семенов, и А. Г. Мосиенко, «Абразивная стойкость покрытий, нанесенных методом дуговой металллизации», *Сварочное производство*, № 6, 1983.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.10.2020

**Роянов В'ячеслав Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, e-mail: royanov\_v\_o@pstu.edu ;

**Захарова Ірина В'ячеславівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, e-mail: Zakharovaiv75@gmail.com .

Державний вищий навчальний заклад «Призовський державний технічний університет», Мариуполь

**V. O. Roianov<sup>1</sup>**  
**I. V. Zakharova<sup>1</sup>**

## **Reducing the Oxidation Level of the Sprayed Material During Arc Metallization by Using a Combined Air-Powder Spraying Flow**

<sup>1</sup> State Higher Educational Institution «Priazovskiy State Technical University», Mariupol

*Among coating methods, the arc metallization process is the most technologically advanced in terms of thermal efficiency, the relative cost of coatings (the cost is 3...10 times cheaper than coatings obtained by other methods) with ensuring their high strength.*

*Intensive heating of the sprayed material particles during the arc metallization process is the main reason for the reduction of the content of certain ingredients of the composition. Losses of alloying elements are manganese — 30 %, silicon — 20 %, as well as carbon up to 60 %.*

*Currently, there are no systematic solutions to prevent intensive burnout of alloying elements from the metal and saturation of the applied layer with atmospheric gases during arc metallization.*

*The ultimate goal of arc metallization, as well as other technologies of material processing, is to obtain products with specified properties, which are determined by the processes of deformation and heat exchange at the contact of droplets of the atomized material with the base, as well as physical and chemical interaction of droplets with the gas atmosphere when moving to the base. Thus, changes in the basic parameters of the process of metallization speed, the temperature in the two-phase flow, the intensity of gas inflow into the metal droplets, makes it possible to predict the properties of coatings, which was studied in the work.*

*Based on the results of research showing the presence of rarefaction in the area of arc functioning, as well as the possibility of more efficient use of oxygen in the spraying flow, it was proposed to create a combined air-spraying flow, consisting of the central part: air-powder (introduction of alloying powders) and external spraying.*

**Keywords:** alloying elements, arc metallization, coating, drop, powders, spray jet.

**Roianov Viacheslav O.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automation and Mechanization of Welding Production, e-mail: royanov\_v\_o@pstu.edu ;

**Zakharova Iryna V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Automation and Mechanization of Welding Production, e-mail: Zakharovaiv75@gmail.com

## **Снижение уровня окисления материала, распыляемого при дуговой металлизации, за счет применения комбинированного воздушно-порошкового распыляющего потока**

<sup>1</sup>Государственное высшее учебное заведение

«Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

*Среди методов нанесения покрытий процесс дуговой металлизации является наиболее технологичным по тепловой эффективности, относительной стоимости покрытий (стоимость в 3...10 раз дешевле покрытий, получаемых другими методами) с обеспечением их высокой прочностью.*

*Интенсивный нагрев частиц напыляемого материала при дуговой металлизации является главной причиной снижения содержания некоторых компонентов состава. Потери легирующих элементов составляют: марганца — 30 %, кремния — 20 %, а также углерода — до 60 %,*

*В настоящее время отсутствуют системные решения по предотвращению при дуговой металлизации интенсивного выгорания из металла легирующих элементов и насыщения наносимого слоя газами атмосферы.*

*Конечной целью дуговой металлизации, как и других процессов обработки материалов, является получение изделий с заданными свойствами, которые определяются процессами деформации и теплообмена при контакте распыляемых капель материала с основанием, а также физико-химическим взаимодействием капель с газовой атмосферой при движении к основанию. Таким образом, изменения основных параметров процесса скорости металлизации, температуры в двухфазном потоке, интенсивности поступления газов в металл капель, дает возможность прогнозировать свойства покрытий что и исследовалось в работе.*

*На основании результатов исследований, показывающих наличие разрежения в зоне функционирования дуги, а также возможности более эффективного использования кислорода распыляющей струи, предложено создание комбинированного воздушно-распыляющего потока, состоящего из центральной части — воздушно-порошковой (введение легирующих порошков) и внешней — распылительной.*

**Ключевые слова:** дуговая металлизация, легирующие элементы, покрытие, распыляющий поток, частица, порошки.

**Роянов Вячеслав Александрович** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и механизации сварочного производства, e-mail: royanov\_v\_o@pstu.edu ;

**Захарова Ирина Вячеславовна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и механизации сварочного производства, e-mail: Zakharovai75@gmail.com