

**І. В.Захарова***Приазовський державний технічний університет***ВИКОРИСТАННЯ ПУЛЬСУЮЧОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ**

*В роботі представлені обґрунтування використання пульсуючого потоку для нанесення захисних покриттів методом електродугової металізації при відновленні і зміцненні зношених деталей обладнання різних галузей промисловості, які працюють в умовах абразивного, ударно-абразивного і газоабразивного зносу. Показано, що ключову роль в забезпеченні високого комплексу властивостей, грає формування напиленого покриття з дрібнозернистою структурою і мінімальною кількістю оксидів.*

*Ключові слова:* ударно абразивний знос, газоабразивний знос, напилений шар, покриття.

**И. В. Захарова****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА ВОЗДУХА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЫЛЕНИЯ**

*В работе представлены обоснования использования пульсирующего потока для нанесения защитных покрытий методом электродуговой металлизации при восстановлении и упрочнении изношенных деталей оборудования различных отраслей промышленности, работающих в условиях абразивного, ударно-абразивного и газоабразивного износа. Показано, что ключевую роль в обеспечении высокого комплекса свойств, играет формирование напиленного покрытия с мелкозернистой структурой и минимальным количеством оксидов.*

*Ключевые слова:* ударно абразивный износ, газоабразивный износ, напиленный слой, покрытие.

**I. V. Zakharova****USE OF PULSATING AIRFLOW FOR DEPOSITION OF PROTECTIVE COATINGS BY ELECTRIC ARC SPRAYING**

*The paper presents the reasoning for the usage of pulsating airflow to apply protective coatings by electric arc metallization in restoring and strengthening worn parts of equipment of various industries operating in conditions of abrasive, shock-abrasive, and gas-abrasive wear. It is shown that the key role in ensuring a set of high properties is played by the formation of a sprayed coating with a fine-grained structure and a minimum amount of oxides.*

*Keywords:* shock-abrasive, and gas-abrasive wear. sprayed layer, coating.

**Постановка проблеми.** Технологія напилення знаходить широке застосування при відновленні та зміцненні зношених деталей машинобудівної, металургійної, гірничо-видобувної, сільськогосподарської промисловості до яких постійно застосовуються нові та більш жорсткі вимоги. У зв'язку із зростанням вимог до якості та експлуатаційної стійкості відновлених поверхонь деталей, до зменшення технологічних витрат на проведення металізації, питання підвищення якості покриттів та застосування ресурсо- та енергозберігаючих процесів напилення є дуже актуальними для підприємств різних галузей виробництва.

**Аналіз сучасних досліджень.**

В випадку формування покриття при дуговому напиленні використовується повітряний струмінь з великою масовою витратою для формування і транспортування крапель, яка призводить до інтенсивного вигорання з металу легуючих елементів і насичення шару, що наноситься, газами з атмосфери. Це призводить до зміни хімічного складу, зниження концентрації легуючих елементів, надмірного вмісту оксидів в покритті.

Для формування повітряно-розпилювального струменя на серійних металізатора типу ЕМ-15, ЕМ-17 використовуються головки, що розпилюють з соплом циліндричної форми [6,7], які дають високу ступінь окислення легуючих елементів, котрі вводяться в електродний матеріал, широка пляма розподілу рідкого металу в повітряному розпилювальному струмені (несе за собою великі втрати напилюваного матеріалу), відносно низьку швидкість польоту металізаційних частинок.

В ряді робіт [1-5] для отримання високих швидкостей польоту металізаційних частинок були зроблені спроби використовувати металізатор, який оснащений трубними насадками до повітряно-розпилювального сопла. Хоча це призводило до забивання насадки тобто налипання металізаційних частинок на її внутрішню поверхню і не давало бажаних результатів. Позитивні результати були отримані при використанні конусної насадки з більшим кутом конусності, де

повітряно-розпилювальний струмінь, проходячи через пористий кільцеподібний вкладиш, навколишній отвір сопла, створює газовий потік, що обтікає стінки насадки і спрямований до його вихідного отвору. Закруглені назвні кромки вихідного отвору насадки забезпечують контрольоване відведення газу вздовж поверхні виробу, який металізується.

Але все вище перераховане, створювані сприятливі умови в процесі металізації, в даному випадку, зводяться нанівещь високою витратою стисненого повітря. Підвищена витрата повітря негативно впливає на тепловий режим процесу електродугової металізації, сприяє інтенсивнішому окисленню розплавленого електродного металу, знижуючи тим самим якість і працездатність покриттів. Як наслідок, значні витрати розпилювального газу (40÷60 м<sup>3</sup>/год) необхідні для ведення процесу електродугової металізації, роблять недоцільним заміну стисненого повітря будь-яким іншим інертним газом, який не окислюється (наприклад гелій, аргон, азот тощо) з причини високої вартості нанесення покриття. У зв'язку з цим постає необхідність розробки удосконаленого способу наплення, який дозволить отримати покриття високої якості одночасно буде дешевшим та ресурсозберігаючим.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення експлуатаційної довговічності деталей, відновлених дуговим напленням із використанням пульсуючого потоку повітря при.

**Основний матеріал статті.** З метою зниження окисного впливу розпилювального струменя на рідкий метал торців електродів, що плавляться, пропонується використовувати при дуговій металізації пульсуючий розпилювальний струмінь повітря, розроблено відповідний пристрій [8-11].

Встановлюється пристрій співвісно з каналом сопла металізатора перед розпилювальним соплом (рис. 1). Пульсатор дозволяє отримати пульсуючий режим витікання розпилювального струменя в межах 0÷130 Гц.

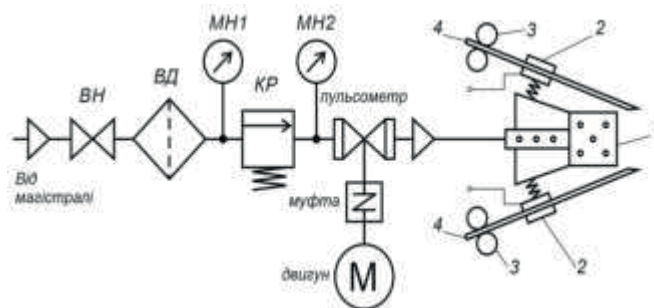


Рис. 1. Кінематична схема установки для пульсуючого розпилювання: ВН – вентиль, ВД – вологовідокремлювач, МН – манометр, КР – клапан редукційний; 1 – розпилювальне сопло; 2 – струмопідводи; 3 – ролики; 4 – електродний матеріал.

Наявність пульсації стисненого повітря призводить до інтенсивного обміну енергією між суміжним шаром струменя стиснутого повітря з сопла і потоком повітря з навколишнього середовища. Кінетична енергія стисненого повітря збільшується, отже, зменшується опір руху ядра струменя металоповітряного потоку, що забезпечує формування циліндричного струменя потоку з високою швидкістю польоту частинок по його перетину [9-13].

Частоти при яких проводилося наплення були від 20 до 120 Гц.

Вибираючи точну частоту за допомогою цифрового осцилографа було проведено пробне наплення в спеціальну ємність. Дисперсність частинок також визначали за методикою, наведеною в роботі [13], шляхом уловлювання матеріалу, що розпилювався в посудині з водою.

Визначали вагу кожної фракції в дослідній порції матеріалу, що розпилювався:

$$n = \frac{M_{\text{опит}}}{M_{\text{фр}}} 100\% ,$$

де  $M_{\text{опит}}$  - маса матеріалу за результатами дослідження, г;

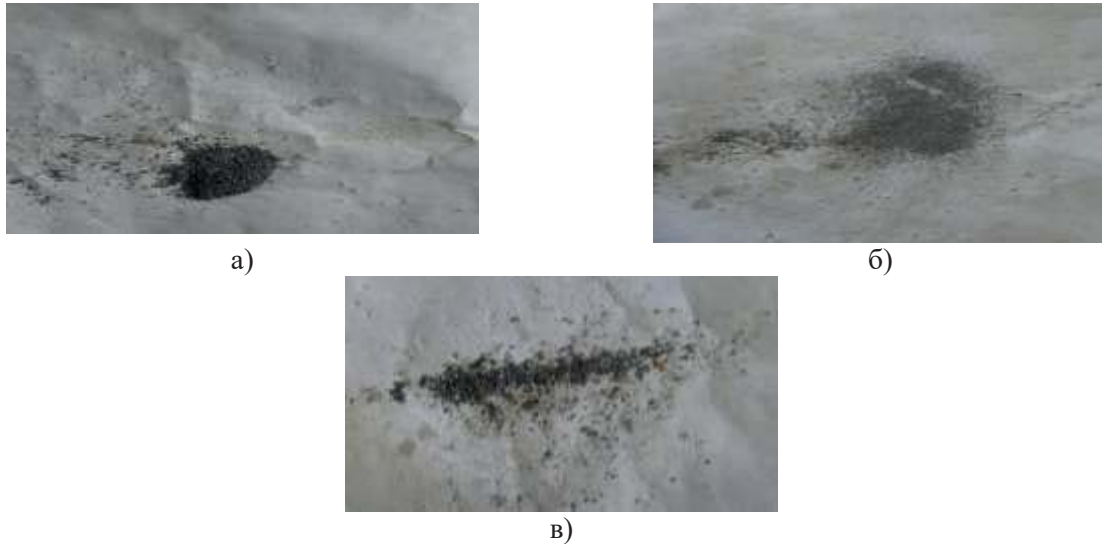
$M_{\text{фр}}$  - маса частинок фракції, г.

Дослідження проводилися для частот пульсації струменя 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 Гц. Результати фракційного аналізу для сталі 10Г2ФБ, представлені на рис. 2.

Характер зміни розмірів частинок фракційного складу при розпилюванні дротів суцільного перетину істотно не змінюється при приблизно рівному співвідношенні фракцій  $n$  для різних частот, тому що енергетичні параметри електричної дуги - нагрівання і плавлення матеріалу,

розпилюється залишаються незмінними, що визначає масу металу, який періодично накопичується на торцях електродів, що розпилюються.

Представлені результати дозволяють зробити висновок, що основним чинником, який визначає дисперсність частинок при електродуговому напиленні пульсуючим розпилювальним потоком, є енергія електричної дуги. При накопиченні рідкого металу на торцях електродів, які розпилюються, при  $F_{п.н.} \leq F_{e.d}$  рідкий метал під дією  $F_{e.d}$  виштовхується в розпилювальний потік повітря.



**Рис. 2. Загальний вигляд часток, розпилених без пульсації (0,3 мм) (а), з частотою 80 Гц (Ø 0,063 мм) (б), з частотою 120 Гц (Ø 0,6 мм - невелика кількість крупних часток) (в)**

При відсутності пульсації відбувається незначне накопичення рідкого металу на поверхні торців електродів, алк під постійною дією повітря проходить вигорання легуючих компонентів під час плавлення та транспортування матеріалу. При частотах порядку 80 Гц час утворення рідкого металу на торцях електродів збігається з частотою імпульсів розпилювального потоку, а відсутність повітря дає можливість зберегти хімічний склад розплавленого металу, при цьому розміри частинок оптимальні. При підвищених частотах (близько 120 Гц) дії потоку рідкий метал не встиг накопичитись на торцях електродів в достатньої кількості під час паузи і зривання його потоком повітря здійснюється при повторному (кілька разів) впливі розпилювального потоку. При цьому величина маси рідкого металу визначається енергією дуги і істотного впливу частоти пульсуючого потоку на дисперсність часток не передбачається. Слід також врахувати, що рівень енергії розпилювального потоку не змінюється, тому що форма і розмір сопла металізатора, температура газу, тиск, умови утворення потоку залишаються постійними при пульсуючому електродуговому напиленні.

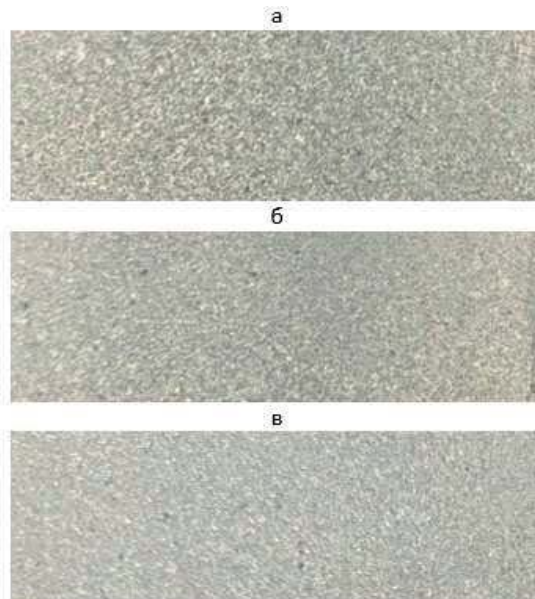
На рисунках 3 і 4 показані фотографії зразків із покриттям із різних металів (цинк, цинк-алюміній), нанесеним із різною частотою пульсації повітря (фото надані підприємствами, на яких проходило впровадження даного методу дугової металізації). Ці фотографії підтверджують, що при частоті пульсації близько 70 Гц покриття має дрібнозернисту, близьку до однорідної, структуру з мінімальною кількістю окислів.

На підприємствах постійно вдосконалюють технологію нанесення покриттів і її подальшої обробки, просочення лаками та іншими покриттями. З урахуванням результатів проведених досліджень, встановлені й рекомендовані оптимальні характеристики розпилювального потоку в залежності від частоти пульсації, що забезпечують найбільшу ефективність процесу дугової металізації. Така технологія дозволяє дати гарантію покриттям на 5 років і зробити продукцію високо конкурентною на ринку регіону.

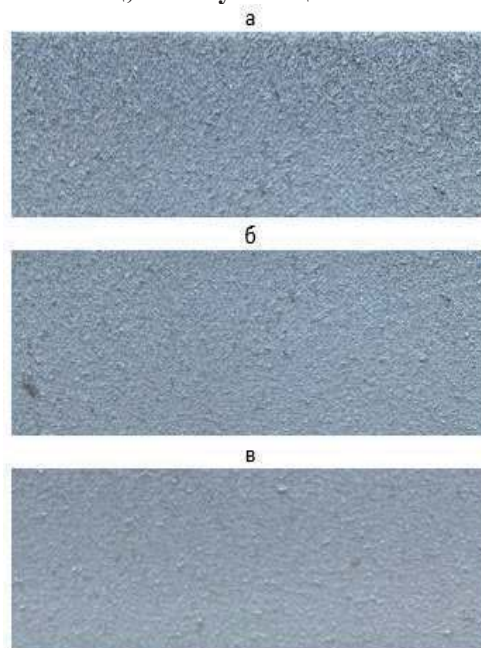
На рис. 5 і 6 показані елементи конструкцій зупиночних павільйонів, що проходили процес нанесення корозійного покриття за розробленою технологією. Зупиночні павільйони є важливою частиною дорожньої інфраструктури міста, які піддаються впливу високих і низьких температур, а також атмосферній корозії. Зупиночний павільйон має в своєму складі декілька металевих елементів: несучій каркас конструкції павільйону, каркас даху, опори під сидіння.

Якісне і стійке протягом багатьох років покриття є не тільки декоративним вимогою, а й обов'язковою вимогою при виборі виробу замовником. Нанесення покриття проводили із пульсатором, встановленим на металізатор «OSU Hessler 300A Anticor» (комплекс експлуатувався протягом 5 місяців). Нанесене цинкове або алюмінієве покриття в подальшому може бути покрито лаком або емаліями, які утримуються на поверхні завдяки пористості покриття. Стійкість покриттів на відкритому повітрі сягає 5 років.

Інше підприємство використовувало технологію електродугової металізації з пульсуючим розпилювальним струменем для відновлення і зміцнення окремих деталей комплексу обладнання для приготування сумішей, а саме шнеків і лопастей змішувальної групи. На підприємствах машинобудівної, металургійної та інших галузей промисловості, транспортування пилоподібних, вибухонебезпечних, порошкоподібних і дрібнокускових насипних вантажів виконується переважно гвинтовими конвеєрами (шнеками).



**Рис. 3. Цинковий дріт: а - металізація без пульсатора; б - металізація з пульсацією частотою 40Гц; в - з пульсацією частотою 70 Гц.**



**Рис. 4. Цинк-алюмінієвий дріт: а - металізація без пульсатора; б - з пульсацією частотою 40 Гц; в - з пульсацією частотою 70 Гц.**

Крім гвинтових конвеєрів, широкого поширення набули шнекові живильники, застосовувані в різних технологічних процесах у вигляді самостійних машин або у вигляді вузлів технологічних машин.

Живильники призначені для рівномірної безперервної подачі матеріалів в дробильно-помольні, формуючі та інші технологічні машини або на транспортуючі пристрої.

Живильники переміщують матеріал на невеликі відстані (1,5-2 м) і, часто, крім основної функції - транспортування матеріалу, виконують також різні допоміжні: перемішування, розпушування, ущільнення. Живильники забезпечують заданий ритм технологічного процесу і дозволяють механізувати і автоматизувати виробництво.

Переваги шнекових живильників, такі як безперервність подачі, герметичність, простота конструкції, можливість створення надлишкового тиску на виході з шнека, можливість агрегування з іншим обладнанням, зумовили їх широке застосування в дозуючих бункерах в виробничому процесі. Основним недоліком шнекових живильників є низька продуктивність через з'єднання з шнековою лопаткою транспортованого матеріалу не тільки поступального руху, а й обертального, що призводить до зношування поверхонь тертя.



а)



б)

Рис. 5. Зовнішній вигляд опори під сидіння зупиночних павільйонів: після струминної обробки (а); після електродугового наплення із застосуванням пульсуючого розпилювального потоку (б).



а)



б)



в)

Рис. 6. Зовнішній вигляд несучого каркасу конструкції павільйону виробу: підготовленого до покриття (а); після струминної обробки (б); після електродугового наплення із застосуванням пульсуючого розпилювального потоку (в)

Для підвищення продуктивності шнекових живильників, які подають пластичні і пилоподібні матеріали, застосовуються різні пристрої: контр-ножі, гребінки, скребки, які очищують шнеки, а також внутрішня поверхня шнекової порожнини виконується не гладкою, а рифленою. Всі перераховані деталі піддаються високим навантаженням при терті та вимагають якісного відновлення з додаванням поверхні спеціальних властивостей економічно обґрунтованим способом. Відновлення деталей здійснюється із застосуванням електродугової металізації з удосконаленою технологією, що використовує пульсуючу подачу розпилювального повітря. На рис. 7. представлені шнеки живильної установки після дугової металізації з використанням розробленої технології з пульсуючим повітряним потоком (відновлення зносу ребра) та оброблені

в розмір. Результати експлуатаційних випробувань показали збільшення стійкості відновлених деталей на 25 %.



а)



б)

*Рис. 7. Шнеки живильної установки: а – партія шнеків після електродугової металізації (відновлення зношеного ребра); б - оброблений в розмір шнек.*

### Висновки

1. Пульсація розпилювального повітряного потоку суттєво підвищує якість електродугових покриттів. Рекомендована частота пульсації повітряного потоку становить 80 Гц.

2. Перспективність методу підтверджена його використанням на виробництві. Експлуатаційні випробування покриттів показали підвищення їх довговічності в реальних умовах роботи (вплив атмосферної корозії, абразивного зношування).

### Список літератури

1. Попов В.Г. Разработка конструктивных схем раздвижных сопел жрд и методики их проектирования / В.Г. Попов, А.В. Викулин, Н.Л. Ярославцев, И.Ю. Ионова // Научные труды (Вестник МАТИ) № 12 (84) 2007. - С. 89-98.
2. Туник Ю. В. Дегонационное горение водорода в сопле Лавала с центральным коаксиальным цилиндром [Текст] / Ю. В. Туник // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2014. – С.142-148.
3. А . с. 863005 СССР, МПК<sup>3</sup> В 05 В 7/22. Устройство для электродуговой металлизации / Н. Н. Дорожкин, А. П. Елистратов, В. Э. Барановский (СССР). – № 2865457/23-05 ; заявл. 03.01.1980 ; опубл. 15.09.1981; Бюл. № 34.
4. А . с. № 1659126 СССР, МПК<sup>5</sup> В 05 В 7/22. Распылительная головка элек-тродугового металлизатора / В. Э. Барановский, Л. А. Ковриго, А. С. Прядко, Н. Н. Петюшев (СССР). – № 4612217/05 ; заявл. 24.10. 1988 ; опубл. 30.06.1991, бюл. № 24.
5. А . с. 990322 СССР, МПК<sup>3</sup> В 05 В 7/22. Распыляющая головка металлизатора / Е. В. Войцеховский (СССР). – № 3332554/23-05 ; заявл. 14.08.1981 ; опубл. 23.01.83; Бюл. № 3.
6. Роянов В.А. Устройство для электродуговой металлизации с пульсирующим режимом истечения воздушно-распыляющей струи /В.А.Роянов, В.И. Бобиков //Сварочное производство №4,2015 с.12-15
7. Роянов В.А., Снижение воздействия кислорода на жидкий металл при электродуговом напылении пульсирующей струей воздуха // В.А.Роянов, Захарова И.В., Крючков Н.С./WorldScience 5(45), Warsaw RS Global Sp.2.O.O.IndexCopernicus, academia.edu.2019
8. V. Royanov, I.Zakharova, E. Lavrova. Development of properties of spray flow and nature of pressure distribution in electric arc metalization // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/5 ( 90 ) 2017, - С.41-49.
9. В.А. Роянов И.В. Захарова Н. Крючков Изучение влияния конструкций распыляющего устройства на качество напыленного слоя// Университетская наука – 2017: Междун. науч.-техн. конф., Приазовский государственный технический университет, г.Мариуполь, 18-19 мая 2017 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ЛПТУ», 2017.- Т2.- С. 86-87
10. 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. – 2020.- Vol. 2 No. 5 . - P. 139-147.
11. Zakharova I. Development of equipment for arc metallization with pulsating spraying airflow to improve the technological properties of the coating The scientific heritage. – 2020. – Vol. 1, N 49. – P. 18–21.
12. V. Royanov, A. Serenko Zakharova I The analysis of conditions for separation of liquid metal drops from electrode ends at arc metallization within the conditions of a pulsating spray flow exposure // The scientific heritage. – 2020. – Vol. 1, N 52. – P. 39–44.
13. V. Royanov, M. Kriuchkov, V. Chigarev Investigation of factors, determining dispersity of coating particlesat arc sputtering with pulsating spraying stream // World Science. – 2020. – N 6 (58), Vol. 1, June. – P. 10–20.