



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України  
Інститут газу НАН України



## **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**IV ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
СТУДЕНТІВ, АСПРАНТІВ ТА НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ**

**«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»**

25 травня 2017 року

Київ 2017



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”  
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України  
Інститут газу НАН України

## **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**IV ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
СТУДЕНТІВ, АСПРАНТІВ ТА НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ**

**“ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД”**

25 травня 2017 року

Київ 2017

Інженерія поверхні. Комплексний підхід: Матеріали четвертої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників: К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТОВ “Фастпринт”, 2017. – 37 с.

В збірнику матеріалів другої всеукраїнської міжгалузевої науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників “Інженерія поверхні. Комплексний підхід” наведені тези доповідей, які були представлені на конференції. Основні питання, що були висвітлені у ході конференції відносяться до отримання функціональних покриттів методами газотермічного напилення та наплавлення, дослідження і аналіз властивостей покриттів, нових технологій в інженерії поверхні, інформаційного і методичного забезпечення.

## ОРГАНІЗАТОРИ

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Кафедра інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Інститут газу НАН України

**Матеріали видаються за оригіналами поданими авторами.**

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

### ***Голова:***

**Смирнов І.В.**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ***Заступники голови:***

**Копилов В.І.**, д.т.н., проф. каф. інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського;

**Чорний А.В.**, к.т.н., доц. каф. інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського.

### ***Учений секретар:***

**Солодкий С.П.**, к.т.н., ст. вик. каф. інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського.

### ***Члени оргкомітету:***

**Головко В.В.**, д.т.н., професор, завідувач відділом ІЕЗ ім. Є.О. Патона;

**Петров С.В.**, д.т.н., провідний науковий співробітник Інституту газу;

**Степанов Д.В.**, к.т.н., асис. каф. інженерії поверхні КПІ ім. Ігоря Сікорського.

## З М І С Т

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ</b> .....                                                                           | 5  |
| <i>Степанова Т.Б., Копилов В.І.</i> Вплив дисперсної фази на дислокаційну структуру плазмових багатокомпонентних покриттів .....          | 5  |
| <b>СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ</b> .....                                                                                             | 7  |
| <i>Д.А. Московченко, студент, І.В. Смирнов</i> Огляд метало – керамічних захисних покриттів отриманих плазмовим напиленням .....          | 7  |
| <i>Дюмін О.К., Булеєв О.А., Чорний А.В.</i> Підвищення зносостійкості вкладишів підшипників ковзання двигунів внутрішнього згорання ..... | 9  |
| <i>Скорий А.Р., Степанов О.В., Степанов Д.В.</i> Використання нанопорошкових матеріалів при наплавленні в .....                           | 10 |
| <i>Гаманець Ю.М., Копилов В.І.</i> Підвищення фізико – механічних властивостей покриттів дифузійно – механічним легуванням .....          | 11 |
| <i>Фурман В.К., Чорний А.В., Макаревич В.В.</i> Модифікування плазмово-напиленних покриттів нанопорошком оксиду титану .....              | 13 |
| <i>Сайчишин М.М., Пащенко В.М.</i> Покриття із градієнтним розподілом властивостей .....                                                  | 15 |
| <i>Соломаха Б.Д., Смирнов І.В.</i> Моделювання взаємодії частинки порошку з поверхнею при газотермічному напиленні .....                  | 16 |
| <i>Трипак В.В., Копилов В.І.</i> Стійкість молібденових плазмових покриттів при фретинг – корозії .....                                   | 17 |
| <i>Єлисеєв М.Є., Смирнов І.В.</i> Нагрів плакованих частинок в процесі плазмового напилення покриттів .....                               | 18 |
| <b>СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ</b> .....                                                                             | 19 |
| <i>Захаров Є.А., Попіль Ю.С.</i> Спосіб зміцнення крайок прес-форм .....                                                                  | 19 |
| <i>Порицький В.В., Попіль Ю.С.</i> Способи та обладнання для отримання плазми з воднево-кисневої суміші та її продуктів горіння .....     | 21 |
| <i>Скорий А.Р., Степанов Д.В.</i> Введення наноконпонентів у зварювальну ванну під час наплавлення .....                                  | 22 |
| <i>Макаревич В.В., Гетманець С.М.</i> Відновлення наплавленням деталей з алюмінієвої бронзи .....                                         | 23 |
| <i>Захаров Є.А., Порицький В.В., Черняк В.Я., Попіль Ю.С.</i> Дослідження теплофізичних властивостей воднево-кисневої плазми .....        | 24 |
| <i>Гаманець Ю.М., Єлисеєв М.Є., Гетманець С.М.</i> Підготовка зразків для металографічного аналізу металу .....                           | 26 |
| <i>Колупайло Т.Ю., Смирнов І.В.</i> Підвищення зносостійкості шипів монтерських лазів .....                                               | 27 |
| <i>Колупайло Т.Ю., Макаревич В.В., Гетманець С.М.</i> Реновація вкладишів з бронзи БрАЖ 9-4Л наплавленням .....                           | 28 |
| <i>Скорий А.Р., Трипак В.В., Гетманець С.М.</i> Механізоване зварювання чавуну нікелевим дротом .....                                     | 29 |
| <i>Московченко Д.А., Гетманець С.М.</i> Зварювання чавуну мідно-залізними електродами .....                                               | 30 |
| <i>Тарасюк М.М.</i> Методика спостереження за зварювальними краплинами при дуговому зварюванні .....                                      | 31 |
| <i>Сайчишин М.М., Гетманець С.М.</i> Технологічна підготовка ремонтного зварювання .....                                                  | 32 |
| <i>Іванченко К.В., Кузнецов В.Д.</i> Визначення вмісту нанопорошків у зварювальній ванні залежно від умов наплавлення .....               | 33 |
| <i>Бублик Б.С., Степанов Д.В.</i> Відновлення фрикційного клина візка вантажного залізничного вагону .....                                | 34 |
| <b>СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ</b> .....                                                                                      | 35 |
| <i>Несін В.В.</i> Способи імітації поверхневих дефектів типу «пора» на навчальних зразках .....                                           | 35 |

## СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

### ВПЛИВ ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ НА ДИСЛОКАЦІЙНУ СТРУКТУРУ ПЛАЗМОВИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИТТІВ

*Т.Б. Степанова, магістр, В.І. Копилов, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

При механічних випробуваннях визначаються межі макроскопічної текучості, міцності і інші характеристики. З фізико-механічними дослідженнями пов'язані дослідження розсіяння енергії пружних коливань. В цьому випадку використовуються дані по внутрішньому тертю (ВТ) у вигляді залежностей декремента коливань від температури і амплітуди деформацій. По залежностях поглинання енергії пружних коливань від деформації можуть бути визначена межа мікроскопічної деформації і мікроскопічна межа пружності.

Метою роботи був аналіз структурних особливостей і впливу їх на дислокаційну структуру сформованих плазмових багатофазових покриттів.

Застосовувалися армко – залізо, як основа і одно - і багатокомпонентні порошки для покриттів. Досліджувалися покриття напилені без подальшої термообробки і після дифузійного відпалу при температурі 1100 °С, протягом 2 – 3 годин.

Амплітудну залежність внутрішнього тертя (АЗВТ) для оцінки властивостей системи «основа – покриття», вимірювали на установці, що є «зворотним крутильним маятником». Дослідження поглинання інфразвуку проводилися на дротяних зразках з Fe (армко-железо) діаметром 1 мм і довжиною 100 мм.

Аналіз дислокаційної структури КМ проводиться за результатами вимірів декремента коливань  $\delta$  (внутрішнього тертя  $Q^{-1}$ ). Загасання енергії пружних коливань  $\delta$  визначається залежністю від величини деформації кручення (амплітуди)  $\gamma$  у вигляді:

$$\delta = C_1/\gamma \exp(-C_2/\gamma) \quad (1)$$

з подальшою перебудовою в логарифмічні координати:

$$\ln(\delta\gamma) = \ln C_1 - \frac{C_2}{\gamma} \quad (2)$$

Залежність (2) виражається прямою, нахил якої  $C_2$  є мірою концентрації домішкових атомів в зонах Котрелла, що закріплюють дислокації, а величина  $C_1$  характеризує щільність цих дислокацій. Константа  $C_2$  в рівнянні (2) залежить від розмірів сегментів дислокаційної лінії  $L_c$ :

$$C_2 = k\eta a / L_c. \quad (3)$$

У рівнянні (3)  $k$  – коефіцієнт;  $a$  – параметр решітки;  $\eta$  – різниця атомних радіусів металу-розчинника і домішки.

Безповоротним процесам в мікрообластях відповідають певна межа критичної деформації  $\gamma_{кр}''$  і максимальна (критична) напруга  $\tau_{кр2}$ . Критична напруга зсуву пов'язана з деформацією зсуву через модуль зсуву співвідношенням:

$$\tau_{кр} = G \cdot \gamma_{кр}'' \quad (4)$$

Початкова напруга течії  $\tau_{кр2}$  в сплаві, що містить достатню кількість дисперсної

фази, визначається залежністю:

$$\tau_{кр2} = Gb/L_N. \quad (5)$$

Знаючи величину  $\gamma''_{кр}$ , визначаємо довжину дислокаційного відрізка  $L_N$ :

$$L_N = \frac{b}{\gamma''_{кр}} = \frac{bG}{\tau_{кр2}} \quad (6)$$

У таблиці представлені експериментальні і розрахункові параметри структури для ряду досліджуваних покриттів.

Нанесення покриттів приводить до зменшення межі критичної мікроскопічної деформації  $\gamma''_{кр}$ . В той же час наявність дисперсних фаз для дифузійних покриттів приводить до протилежного результату. Наявність дисперсних часток в матриці металу викликає помітну зміну розміру дислокаційної лінії  $L_N$ .

Таблиця 1 – Параметри дислокаційної структури досліджуваних плазмових покриттів

| N<br>п/п               | Композиція           | Параметри                |                   |                   |
|------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|                        |                      | $\gamma''_{кр}, 10^{-4}$ | $L_N, 10^{-4}$ см | $L_c, 10^{-4}$ см |
| 1                      | Fe – основа          | 2,3-7,5                  | 1,08              | 0,59              |
| 2                      | Mo                   | 1-2                      | 2,5               | 1,3               |
| 3                      | Ti                   | 1,8                      | 1,1               | 0,6               |
| 4                      | NiAl                 | 1,9-3,2                  | 1,38              | 0,39              |
| 5                      | NiAl+Ti              | 1,7                      | 1,77              | 0,36              |
| Покриття після відпалу |                      |                          |                   |                   |
| 6                      | Mo (2 ч., 1273 Т,К)  | 100                      | 2,2               | 0,53              |
| 7                      | Mo (2 ч., 1373 Т, К) | 140                      | 1,6               | 0,47              |
| 8                      | Mo (3 ч., 1373 Т,К)  | 160                      | 1,4               | 0,43              |

Додаткова термодифузійна обробка приводить в основному до зменшення елементів дислокаційної лінії  $L_c$  і  $L_N$ . Дисперсні частки в матриці в значній мірі затримують розвиток процесів, що приводять до незміцнення. У досліджуваних композиціях значне незміцнення в мікрообластях покриття супроводжується пониженням мікроскопічної межі пружності, і, навпаки, в разі зміцнення.



## СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ

### ОГЛЯД МЕТАЛО – КЕРАМІЧНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ОТРИМАНИХ ПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ

*Д.А. Московченко, студент, І.В. Смирнов, професор, (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Одним із найперспективніших способів захисту поверхні деталей та конструкцій є нанесення захисного шару покриття з металу, сплаву, кераміки, пластмаси або інших матеріалів і композицій. У наш час велика увага приділяється саме композиційним покриттям, які мають підвищені захисні властивості.

Впевненим поступом в напрямі до вирішення проблеми антикорозійного захисту є розробка нового композиційного метало-керамічного покриття, а також технології та обладнання для його нанесення.

Чому кераміка? Кераміка є більш конкурентоздатним, порівняно з металами, класом матеріалів, які широко використовуються при високих температурах, насамперед через набагато вищу, ніж у металів, температуру плавлення. Принциповим недоліком кераміки є її крихкість, а також складність обробки, що ускладнює процес надавання виробам з кераміки потрібної форми. Керамічні матеріали не можуть бути застосовані в умовах механічних або термічних ударів, а також при циклічних навантаженнях. Властива їм висока чутливість до надрізів робить керамічні деталі вельми вразливими до ударів під час експлуатації. У той же час керамічні матеріали характеризуються високою корозійною стійкістю і малою теплопровідністю, також важливим фактором є порівняно з металами низька ціна. Вельми перспективним здається їх використання для виготовлення елементів теплового та корозійного захисту. В разі застосування керамічних покриттів необхідно вирішити дві проблеми: знайти найкращі варіанти систем покриття і розробити способи нанесення їх на поверхню.

Плазмовий спосіб напилення є ефективним рішенням для розв'язання цієї проблеми. Цей спосіб нанесення покриття має низку переваг, серед яких: висока швидкість напилюваних частинок, що забезпечує більшу щільність покриттів; покращення умов для взаємодифузії між покриттям і поверхнею та посилення адгезії; великий відсоток використання матеріалів (до 40%); найбільш висока точність контролю складу покриття та середовища, в якому проходить процес; низький температурний вплив на поверхню деталей; простота експлуатації обладнання; високий рівень механізації технологічного процесу та багато інших.

Шляхом вирішення завдання з пошуку нової системи покриття може бути використання нового композиційного алюмо-керамічного покриття.

Алюмо-керамічне покриття виконує свої функції тільки у разі точного забезпечення умов його формування. За умови правильно обраного режиму напилення всі частки алюмінієвого порошку прогриваються до повного плавлення і розганяються до швидкості 300–500 м/с, а кераміки – до оплавлення поверхні й швидкості 200–400 м/с (залежно від щільності матеріалу). Фракційний склад алюмінієвих і керамічних порошків, параметри їх введення в плазмовому струмені обрані таким чином, щоб максимально знизити аеродинамічне дроблення

розплавлених частинок, підвищити кількість зіткнень. Це сприяє кращому сплавленню різномірних матеріалів з утворенням хімічних зв'язків та інтерметалідів. Під час удару об поверхню виробу частки деформуються, вкорінюються в нерівності основи і утворюють місця схоплювання.

Частинки кераміки порівняно з алюмінієм мають більший запас теплової енергії, утворюють в покритті ділянки мікросплавлення з інтерметалідами. Навколо частинок кераміки утворюються ділянки з посиленням когезійним зв'язком і щільністю. Ці обставини призводять до формування міцно зчепленого з основою і щільного алюмінієвого покриття з рівномірно розподіленими в ньому частинками кераміки й інтерметалідів. Таке покриття має високі корозійні й механічні характеристики. Наявність твердих частинок кераміки в м'якій матриці алюмінію призводить до підвищення міцності, стійкості до механічних впливів і зносостійкості покриття. Саме в цьому полягає якісний стрибок від широко відомих алюмінієвих металізованих покриттів до композиційного алюмо-керамічного.

У алюмо-керамічному покритті, за рахунок композиційної будови під впливом агресивного середовища, утворюється безліч мікрогальванічних елементів, які стимулюють хімічні реакції утворення нерозчинного осаду. Він щільно закупорює пори і вирівнює шорсткості, виконує роль дифузійного бар'єру або пасиватора, запобігаючи впливу агресивного середовища на метал. Тому алюмо-керамічне покриття має властивості протекторного захисту.

З огляду на всі властивості, які характерні для алюмо-керамічного покриття отриманого плазмовим напиленням, використання такого композиту, дало б змогу отримати надійний корозійний захист металевих конструкцій, таких як: трубопроводи, корпуси суден, нафтові платформи, резервуари, мости тощо.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

*О.К. Дюмін, студ., О.А. Булеєв, студ., А.В. Чорний, доц. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Вкладиші підшипників ковзання двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) виготовляються з антифрикційними шарами з різних сплавів на основі олова, свинцю, міді та алюмінію. При експлуатації їх найбільш вразливим місцем є вкладиші підшипника, які працюють в складнонапружених умовах. Основними видами відмови тонкостінних вкладишів підшипників є: знос антифрикційного шару, задир і втрата натягу. Аналіз технічного стану замінних вкладишів підшипників показує, що в 90% випадків причинами їх відмов є різні види зношування антифрикційних шарів: абразивне, гідроерозійне, втома та ін.

Антифрикційні характеристики вузлів тертя визначаються властивостями поверхневого шару деталей, які можливо досягти шляхом формуванням на ньому тонких шарів-покриттів товщиною, близькою до величини максимально допустимого зносу. Тому нанесення зносостійких антифрикційних покриттів не тільки збільшує надійність і довговічність вузлів, але і знижує витрати на дефіцитні і дорогі матеріали, зменшує витрати на обслуговування та ремонт обладнання.

Для нанесення зносостійких антифрикційних матеріалів перспективним є використання потоків іонів і плазми, що генеруються в умовах вакууму або при атмосферному тиску. Метод іонно-плазмового осадження дозволяє отримувати покриття на поверхнях обраних деталей з різних матеріалів та сплавів шляхом прямого синтезу з високою адгезією покриття до поверхні, що обробляється.

Мета роботи полягала в підвищенні зносостійкості поверхневих шарів вкладишів підшипників ковзання шляхом нанесення тонких антифрикційних шарів на основі алюмінію іонно-плазмовим методом.

Підвищення зносостійкості поверхневих шарів вкладишів реалізувалося за допомогою нанесення не суцільних покриттів іонно – плазмовим осадженням в вакуумі. Вакуумно-дугове покриття з сплаву на основі алюмінію завтовшки 3–5 мкм напилювали на модернізованій установці АНГА-1. Режими визначали, виходячи з максимальної концентрації іонів металу в потоці плазми. В даному випадку, діапазон концентрацій іонів алюмінію складав  $7 \cdot 10^{15} - 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  залежно від дистанції напилювання, що відповідало струму дуги 70 – 90 А при залишковому тиску в камері  $3 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ .

Для формування покриття у вакуумі з одиничних ділянок (острівців) найбільш простим технічним рішенням є розміщення сепаратора між випаровувачем і основою. Для формування не суцільних покриттів на вкладишах підшипників основним елементом формоутворюючого сепаратора використовували маску з металевої сітки з квадратними комітками товщиною не більше 0,2 мм.

Нанесення не суцільного покриття з алюмінієвого сплаву в вакуумі основи показало, що при знятті сепаратора з основи відбувається утворення покриття з поодиноких ділянок форми зрізаної чотирьохгранної піраміди. Випробуванні на тертя отриманих іонно-плазмових покриттів показало краще пропрацьовування напиленого шару і зменшення коефіцієнту тертя на 20-30%.

## **ВИКОРИСТАННЯ НАНОПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ**

*А.Р. Скорий, студент, О.В. Степанов, студент, Д.В. Степанов, асистент  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Нанотехнології – високотехнологічна галузь, направлена на вивчення і роботу з атомами та молекулами. Одна з найважливіших напрямків нанотехнологій – це отримання наночастинок (нанопорошків) та їх застосування на практиці.

Застосування нанопорошків дозволить суттєво покращити параметри існуючих технологічних процесів, а також дає змогу створювати нові технології. На сьогодні нанопорошки можна виготовляти з сотень різноманітних матеріалів. Наноматеріали діляться на чотири групи: оксиди металів, складні оксиди, порошки чистих металів та їх сумішей.

Завдяки унікальним властивостям нанопорошок внесений в розплавлений метал сприяє його модифікації. Він викликає перерозподіл шкідливих домішок між границями зерен, розмір яких зменшується, що сприяє підвищенню межі плинності, міцності і пластичності, а також призводить до зменшення коефіцієнту тертя. Тугоплавкі нанопорошки можна використовувати в якості центрів кристалізації. Мала площа поверхні зерна порошку обумовлює велику площу контакту між матрицею модифікованого матеріалу і частинками порошку. Це призводить до збільшення міцності зчеплення між основним металом і порошковим сплавом. Малі розміри частинок сприяють рівномірному розподілу їх в об'ємі розплавленого металу.

Завдяки таким властивостям нанопорошків їх застосування повинно давати позитивний ефект у вигляді підвищення експлуатаційних характеристик наплавленого металу.

Внесення нанопорошків можливе при різних методах наплавлення: ручному дуговому наплавленні покритим електродом, дуговому наплавленні під флюсом, плазмовому наплавленні, лазерному, газополуменовому наплавленні та інших способах.

При всіх перевагах, що дають використання нанопорошків є й деякі складнощі. Так через високу вартість нанопорошків не завжди економічно доцільне їх використання. Також однією з проблем є внесення та контроль внесеної кількості нанопорошку в розплавлений метал. В різних способах наплавлення різняться способи внесення нанопорошку в розплавлену ванну.

Отже, можна зробити висновок, що застосування нанопорошків у наплавленні є досить перспективним напрямком. Воно дає змогу модифікувати вже наплавленні покриття, відновлювати властивості вже відпрацьованих покриттів. Також використання нанопорошків дає змогу більш гнучко та точно впливати на властивості наплавленого шару.

## ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО – МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ ДИФУЗІЙНО – МЕХАНІЧНИМ ЛЕГУВАННЯМ

*Ю.М. Гаманець, магістр, В.І. Копилов, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Науково-технічний прогрес у різних галузях промисловості вимагає створення матеріалів, здатних підвищити надійність і довговічність виробів і знизити їх матеріалоємність.

Одним з найбільш перспективних технологічних процесів порошкової металургії, що дозволяє одержувати матеріали з високим комплексом фізико-механічних властивостей, є механічне легування (МЛ). У загальному процес виробництва композиційних порошків методом МЛ або механохімічного синтезу (МХС) полягає в змішуванні елементів або основних сплавів у формі порошку, а також при необхідності з потрібною дисперсною фазою за допомогою спеціальних високоенергетичних кульових млинів – з відносно високим вмістом подрібнюючих куль. При проведенні МХС в інертній атмосфері частинки металів, потрапляючи між кулями, деформуються, наклепують, подрібнюються. Нова ювенільна поверхня, що утворилася в результаті руйнування частинок, створює можливість їх зварювання, яке приводить до збільшення їх розміру. Композиційні частинки набувають при цьому характерної шаруватої структури, яка складається з різних комбінацій початкових компонентів. Після помолу впродовж деякого періоду часу настає рівновага між рівнем зварки, яка приводить до збільшення розміру частинок, і рівнем подріблення, що приводить до зменшення розміру композиційних частинок. Енергія, яка передається частинкам у момент удару, частково перетворюється на внутрішню енергію молекул. Продуктом процесу є дрібнодисперсний порошок, що складається з однорідної суміші всіх компонентів і в багатьох випадках утворюється твердий розчин, інтерметалід або аморфний сплав.

В основі процесу МЛ лежить явище прискореної дифузії й для опису процесу користуються такими поняттями, як "аномальна дифузія", "аномальний масопереніс", які пов'язуються з більшими швидкостями деформації твердого тіла. Найбільший вплив на об'ємну дифузію в сплавах заміщення (при близьких діаметрах атомів різних металів) робить генерація нерівномірних вакансій, а також міжвузельних атомів, які можуть дифундувати з високою швидкістю.

Порошки, отримані дифузійно-механічним легуванням мають застосування у нанесенні з них захисних покриттів, в тому числі плазмовим (газотермічним) напиленням.

Після отримання композиційних порошків методом МЛ встановили, що в порошках, наприклад, системи Fe-Cr-Ti при  $V = 200$  об/хв і  $\tau = 2$  год основна маса частинок порошків зберігає початкову форму і структуру. При збільшенні часу помолу до 5 год відбувається деформація частинок заліза, що набувають пластинчастої форми, і в них „вростають” частинки хрому. Разом з тим в суміші зберігається значна кількість початкових компонентів хоча і в подрібненому стані, але не об'єднаних в композит.

При збільшенні швидкості обертання до 400 об/хв процес МХС істотно інтенсифікується. При цьому відбувається деформація і подрібнення частинок не тільки заліза, але і хрому і формування при  $\tau = 10$  год композиційних частинок

переважно округлої форми з достатньо рівномірним розподілом дрібнодисперсних компонентів в об'ємі.

Дослідження показали, що застосування захисних середовищ не тільки перешкоджає інтенсивному окисленню компонентів шихти, але і впливає на морфологію і структуру отриманих композиційних порошків. Покриття, отримані з порошку синтезованого при  $V=400$  об/хв в атмосфері аргону, формуються у вигляді тонких ламелей і напіврозплавлених деформованих металевих частинок. У них утворюється велика кількість оксидів різних форм і розмірів.

Покриття з порошків, отриманих МХС в середовищі аргону при тривалому помолі, не містять в своєму складі початкових компонентів, що приводить до значного підвищення їх твердості. Застосування захисного середовища повністю захистило частинки порошку від окислення.

## МОДИФІКУВАННЯ ПЛАЗМОВО-НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ НАНОПОРОШКОМ ОКСИДУ ТИТАНУ

*В.К. Фурман, аспірант, А.В. Чорний, доцент, В.В. Макаревич, магістр  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

На сьогоднішній день для захисту деталей і конструкцій, що працюють в умовах високих навантажень і температур, разом з впливом агресивних середовищ, широко використовують плазмово-напилені покриття. Існуючі способи обробки даних покриттів, спрямовані на покращення їх експлуатаційних властивостей, вельми обмежені. Саме тому актуальним є питання розробки нових порошкових матеріалів для плазмового напилення покриттів поліфункціонального призначення. У ряді випадків, рішення даної проблеми досягається шляхом введення до складу напилюваних матеріалів нанорозмірних частинок (оксидів, нітридів, карбідів, боридів та ін), які виконують роль модифікаторів.

Для плазмового напилення використовували порошок оксиду алюмінію з розміром частинок 40-63 мкм, що одержав широке поширення завдяки високій зносостійкості, корозійної та ерозійної стійкості. В якості модифікатора використовували нанопорошок оксиду титану з розміром частинок 40-50 нм, який вводили в кількості від 0,5 до 5,0 об.%. Приготування гомогенної порошкової суміші з мікро - і наночастинок проводили в планетарному шаровому млині XQM-2 протягом 8 хв з додатковим вакуумуванням робочих ємностей.

Дифрактометричний аналіз проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV.

Для встановлення раціональної кількості нанокomпонентів в плазмово-напилених покриттях досліджували корозійну стійкість, адгезійну міцність і мікротвердість. Оцінку корозійної стійкості отриманих покриттів здійснювали за допомогою методу поляризаційного опору на приладі P5126, який успішно застосовується для корозійних досліджень різних матеріалів в агресивних середовищах. Мікротвердість отриманих покриттів визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 шляхом вдавлювання алмазної піраміди Віккерса з навантаженням 1,96 Н в поверхню покриття. Адгезійну міцність покриттів з основою визначали за допомогою випробувань на відрив у відповідності зі стандартом ASTM C 633.

Доказом присутності наночастинок оксиду титану в покритті є дифрактограми вихідної порошкової суміші та плазмово-напилених покриттів, які наведені на рис.1.

Дані дифрактометричного аналізу керамічного покриття свідчать про наявність титану в покритті при напиленні порошковою сумішшю. Це опосередковано може підтверджувати, що наночастинки оксиду титану при напиленні переносяться в покриття, а також про правильність вибору конструкції плазмотрона і встановлення режимів плазмового напилення.

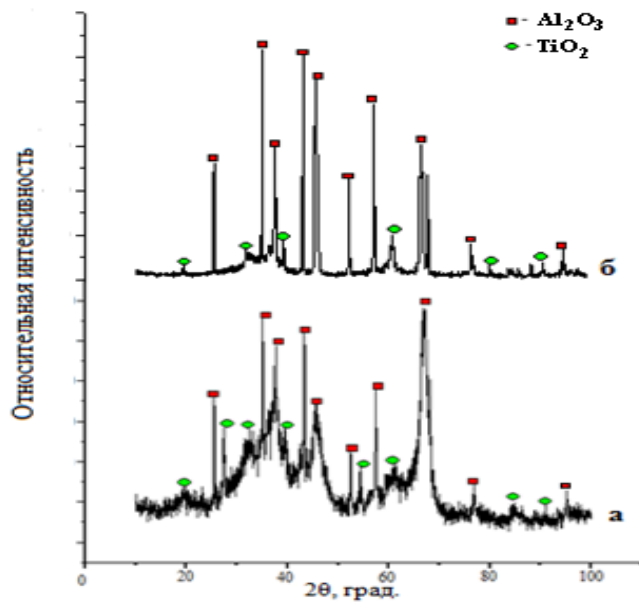


Рис. 1. Дифрактометричний аналіз вихідної порошкової суміші з оксиду алюмінію з добавкою нанопорошка оксиду титану (а) та плазмово-напиленого покриття (б)

Для встановлення впливу добавок нанопорошка оксиду титану на механічні властивості плазмово-напилених покриттів досліджували мікротвердість, адгезійну міцність та корозійну стійкість. Отримані результати наведені в табл. 1.

Таблиця – 1. Механічні характеристики керамічних покриттів

| Матеріал покриття                                    | Міцність зчеплення, МПа | Поляризационное опір, Ом | Мікротвердість, ГПа |
|------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | 16                      | 88                       | 5,8                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +0,5%TiO <sub>2</sub> | 18                      | 96                       | 6,9                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1,5%TiO <sub>2</sub> | 20                      | 206                      | 8,2                 |

Отримані результати адгезійної міцності показали, що при введенні нанопорошка оксиду титану в кількості 1,5 об.% відбувається збільшення міцності зчеплення покриття з основою. Результати корозійних випробувань зразків з покриттями з оксиду алюмінію модифікованих нанопорошком оксиду титану в кількості 1,5 об.%, показали збільшення поляризаційного опору в 2,8 рази в порівнянні з чистим покриттям з оксиду алюмінію, що свідчить про підвищення корозійної стійкості модифікованих покриттів. При порівнянні значень мікротвердості плазмово-напилених покриттів виявлено, що зі збільшенням кількості добавки нанодисперсного порошку оксиду титану до 1,5 об.% відбувається збільшення мікротвердості до 8 ГПа.

**Висновки.** Результати проведених досліджень показали, що раціональна кількість введення нанопорошку оксиду титану до складу порошку оксиду алюмінію складає 1,5 об.%, це підвищує характеристики адгезійної міцності на 15-20 %, мікротвердості – на 25-30% та показники корозійної стійкості у 2,8 рази.



## ПОКРИТТЯ ІЗ ГРАДІЄНТНИМ РОЗПОДІЛОМ ВЛАСТИВОСТЕЙ

*М.М. Сайчишин, студент, В.М. Пащенко, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Стійкою тенденцією практики застосування сучасних зразків техніки є розширення параметричних діапазонів її експлуатації – перехід в області більш високих температур, швидкостей, тисків тощо. Це висуває підвищені вимоги до фізико-механічних та експлуатаційних характеристик поверхневих шарів виробів. Одним із шляхів вирішення цих задач є формування на поверхнях, що працюють в екстремальних умовах, функціональних покриттів [1].

Особливо контрастно згадані проблеми виявляються на виробках, які працюють в умовах високих температур та частих теплозмін (компоненти газових турбін та двигунів, корпусні деталі літаків та космічних апаратів тощо). Розповсюдженою практикою створення відповідних функціональних поверхонь є нанесення теплозахисних та термостійких покриттів. Такі покриття характеризуються високим тепловим опором, який забезпечується використанням тугоплавких оксидів або металоїдів. Напилення тугоплавких оксидів на металеву основу потребує узгодження фізико-механічних характеристик двох матеріалів і, зокрема, коефіцієнтів термічного розширення (КТР). Крім того, існує проблема забезпечення міцного зчеплення покриття з основою. Використання металевого підшару лише частково вирішує згадані проблеми, бо залишається ступінчастий перехід значень КТР за товщиною стінки виробу, а значить і висока ймовірність розтріскування або відшарування покриття.

Ефективним рішенням проблеми може бути застосування покриття, в якому реалізований поступовий перехід від властивостей матеріалу основи до властивостей функціонального шару. Покриття такої конструкції товщиною кілька мікрметрів наносяться, зазвичай, вакуумно-конденсаційними методами і носять назву функціонально-градієнтних матеріалів (ФГМ) [2, 3].

Розширення області застосування ФГМ можливе за рахунок збільшення їх товщини до значень (0,5 – 3) мм, що принципово неможливо при вакуумних методах і цілком реально при застосуванні газотермічних.

Для практичної реалізації такої технології необхідно дослідження процесів формування газотермічного покриття із одночасним використанням двох (або більше) джерел вихідного матеріалу із поступовим переходом від одного матеріалу до другого, а також створення комплексу обладнання, яке дозволяє такий процес відтворювати.

Література.

1. Кузін М. О. Визначення оптимальних параметрів структури поверхневих шарів деталей з урахуванням умов експлуатації / М. О. Кузін // Загальне та поліграфічне машинобудування. – 2013. – С. 55 – 64.

2. Савуляк В. І. Зносостійкі покриття з градієнтними властивостями / В. І. Савуляк, В. В. Савуляк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – №1. – С. 82 – 88.

3. Слюсарь Д. В. Управління складом функціонально-градієнтних покриттів в перехідних зонах / Д. В. Слюсарь, В.П. Колесник, Л.В. Литовченко, Н.П. Степанушкін // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2015. – № 6. С. 58 – 63.

# МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЧАСТИНКИ ПОРОШКУ З ПОВЕРХНЕЮ ПРИ ГАЗОТЕРМІЧНОМУ НАПИЛЕННІ

*Б.Д. Соломаха, студент, І.В. Смирнов, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Взаємодія частинок порошку з поверхнею при газотермічному напиленні починається з формування фізичного контакту, що є наслідком пластичної деформації мікрорельєфу поверхні. Величина фізичного контакту визначає повноту наступних хімічних і дифузійних процесів, що протікають на активних центрах в зоні контакту. Знання динаміки деформування і зміни фізичної площі контакту в часі дозволить оцінити формування фактичної площі контакту, що визначає міцність зв'язків покриття з основою. Для побудови математичних та комп'ютерних моделей було виконано математичне моделювання формування фізичного контакту частинок порошку з мікрорельєфу поверхні при плазмовому напиленні.

Мета роботи полягала у дослідженні впливу форми поверхні на величину її деформації при взаємодії з частинкою порошку під час газотермічного напилення за допомогою комп'ютерного моделювання.

Для досягнення поставленої мети за допомогою допоміжних функцій програми Ansys було створено частинку порошку у вигляді сфери і поверхню деталі у вигляді виступу або западини на яку вона падає з різною швидкістю. Після побудови основних деталей в інтерфейсі програми можна задавати різні матеріали частинки та основи, змінювати радіуси виступу (западини) та швидкість падіння частинки. В якості матеріалу частинки був обраний алюмінієвий сплав, в якості основи конструкційна сталь.

Радіус частинки задавався від 10 до 100 мкм, радіус виступу змінювався в діапазоні 50-100 мкм, швидкість падіння частинки задавалась в межах 120-400 м/с.

Для побудови впадини було обрано деталь (torus), яка передає зображення впадини, що дасть змогу провести моделювання максимально точно.

В результаті моделювання виявилось, у випадку коли частинка з радіусом 50 мкм падає на поверхню зі швидкістю 120 м/с виникає найменша деформація при зіткненні з плоскою поверхнею.

Отримання результатів деформації при зіткненні частинки порошку на виступи різних радіусів показало, що найменша деформація утворюється на виступі радіусом 50 мкм, а найбільша на виступі з радіусом 75 мкм.

Після дослідження деформації при падінні частинки порошку у впадину виявлено, що під час проведення всіх експериментів було отримано меншу деформацію, ніж на виступах, але більшою ніж деформація при зіткненні сфери з виробом об плоску поверхню. Отже, рекомендації щодо збільшення міцності зчеплення порошку з поверхнею виробу являється наявність на поверхні більшості виступів ніж впадин. Таким чином, отримані результати допомогли обрати оптимальні параметри для напилення та краще зрозуміти процес взаємодії частинки з поверхнею основи при газотермічному напиленні.

## СТІЙКІСТЬ МОЛІБДЕНОВИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ФРЕТИНГ – КОРОЗІЇ

*В.В. Трипак, магістр, В.І. Копилов, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Фретинг-корозія є одним з найбільш поширених дефектів, що виникають у вузлах авіаційної техніки. Вказані дефекти можна усунути захисними покриттями, зокрема, плазмовим напиленням.

Випробування на фретинг-корозію проводилися по методиці, згідно якої торець рухомого зразка у вигляді втулки, знаходячись в контакті з торцем нерухомого циліндрового зразка, приводиться в поворотно-обертальний рух. Критерієм зносостійкості служила усереднена глибина пошкодження робочих поверхонь. Дослідження проводили на титанових зразках з Мо плазмовим покриттям, яке напилювалося на плазмовій установці УПУ-3Д.

Показано зростання зносу, який прямо пропорційний амплітуді мікропереміщень до 200 мкм, і нелінійно зростає при амплітудах більше 200-240 мкм. Покриття з молібдену показало вищі показники по стійкості у всіх діапазонах досліджених амплітуд (від 50 до 300 мкм) і питомих навантажень (від 10 до 40 МПа) в порівнянні з титановим зразком. Знос титанового сплаву ВТ-22 в 2,5 разу вище за знос плазмових покриттів. У молібдені релаксація напруги в плямах контакту при ефективному розсіянні енергії коливань зменшує небезпеку руйнування [1].

Процеси релаксації контактної напруги при дії динамічних навантажень тісно пов'язані з рівнем і механізмами внутрішнього тертя, які, у свою чергу, контролюють найбільш важливі теплотворні види дисипації механічної енергії, пов'язані з проявом мікропластичності контактуючих матеріалів. Тому важливим чинником зниження динамічної напруженості трибосистеми в умовах фретинг-корозії є дія сприятливих мікропластичних механізмів, що визначають характер амплітудної і температурної залежностей внутрішнього тертя.

Деформований молібден характеризується інтенсивнішою зміною внутрішнього тертя з підвищенням амплітуди циклічної напруги. Це свідчить про формування в молібдені в процесі деформації великої щільності легко рухливих дислокацій, які обумовлюють високий рівень внутрішнього тертя. Підвищення температури вимірів до 300 С супроводиться зростанням внутрішнього тертя.

Кінець кінцем, в молібдені формується сприятливе співвідношення високої щільності заблокованих малорухливих дислокацій і кількості рухливих точкових і лінійних дефектів кристалічної структури, що забезпечує підвищену контактну міцність і зносостійкість унаслідок достатньої динамічної релаксаційної здатності.

Таким чином, встановлені захисні властивості молібденових плазмових покриттів, здатних підвищити стійкість при фретинг-корозії високоміцного титанового сплаву ВТ-22, вживаного для виготовлення елементів авіаційної техніки. Молібден, будучи міцним тугоплавким металом, після пластичної деформації проявляє високу мікропластичність, що відбивається на підвищеному рівні амплітудо залежної області внутрішнього тертя. Невисока енергія зв'язку атомів домішок з дислокаціями наводить до швидкого розмноження легко рухливих дислокацій при дії циклічних навантажень. Механізми внутрішнього тертя забезпечують дисипацію механічної енергії, що підводиться, з переводом її в теплоту, одночасно будучи чинником зниження динамічної напруженості поверхонь тертя.

## НАГРІВ ПЛАКОВАНИХ ЧАСТИНОК В ПРОЦЕСІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННІ ПОКРИТТІВ

*М.Є. Єлисеєв, студент, І.В. Смирнов, професор (КПІ ім. Імені Сікорського)*

При плазмовому напиленні покриттів велика увага приділяється встановленню оптимального температурного режиму частинок напилюваного порошку, який залежить від безлічі факторів пов'язаних в першу чергу з кінетичними і теплофізичними параметрами, як плазмового струменя, так і напилюваного матеріалу. Завдання ускладнюється у разі використання для напилення керамічних порошоків через їх специфічних фізичних властивостей і термодинамічної нестійкості. При теплових потоках порядку  $10^8$ - $10^9$  Вт/м<sup>2</sup>, які реалізуються при плазмовому напиленні, температурні перепади в частинках оксидів можуть досягати 107-109 К/м, в цьому випадку температура поверхні частинки може перевищувати температуру плавлення зі збереженням в центрі твердого ядра. Наявність таких градієнтів температури призводить до значного зростання часу прогріву всієї частки до необхідної температури плавлення.

На розвиток температурних процесів і як наслідок фазових перетворень значний вплив може чинити наявність металевої оболонки на поверхні керамічної частинки, яка в свою чергу забезпечує підвищення адгезійно-когезійних властивостей напилених покриттів. Змінюючи умови теплообміну за допомогою плакувальної оболонки на частинках порошку, можна зближувати або розділяти процеси їх нагрівання, плавлення і випаровування при напиленні.

Мета роботи полягала в дослідженні впливу плакувальної оболонки на нагрів керамічних частинок в плазмовому струмені за допомогою математичних моделей теплопровідності.

Більшість керамічних оксидів спектрально частково прозорі. Тому в загальному випадку їх нагрівання описується рівнянням, що містить кондуктивну і радіаційну складові. Однак для частинок, діаметром менше 100 мкм для будь-яких часів нагріву і діаметром менше 3 мкм при часу нагріву не більше 3 мс, радіаційну складову в рівнянні енергії можна не враховувати. У цьому випадку рівняння енергії для частинки зводиться до рівняння теплопровідності, конкретний вид якого залежить від будови і форми частинки.

При моделюванні процесу нагріву частинки в плазмовому потоці виходили з таких припущень: частка має сферичну форму і розподіл в ній температури має сферичної симетрією; частка є однорідним, ізотропним тілом; внутрішні джерела тепла відсутні.

В результаті була побудована математична модель нагріву частинки порошку з оболонкою при плазмовому напиленні, яка враховує узгодження температури плазмового струменя і частинки в часі, на основі чого встановлено вплив товщини оболонки на прогрів ядра плакованої частки. Для частки оксиду алюмінію діаметром 50 мкм була визначена оптимальна товщина мідної оболонки на рівні 1,5 мкм, при якій досягається максимальний прогрів тугоплавкого керамічного ядра, що сприяє отриманню якісних плазмових покриттів.

## СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

### СПОСІБ ЗМІЩЕННЯ КРАЙОК ПРЕС-ФОРМ

*Є.А. Захаров, студент, Ю.С. Попіль, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Для виготовлення об'ємних виробів з поліетилену, поліпропілену, поліхлорвінілу та інших полімерних матеріалів методом екструзії роздуву використовують видувні прес-форми.

Найбільш поширеним способом підвищення стійкості прес-форм є підвищення функціональних властивостей ріжучих та обсічних крайок.

Для прес-форм в роботі з рідкою пластмасою в режимі робочих температур в діапазоні 100-240<sup>0</sup>С доцільно використовувати сталь 40Х13.

Аналіз існуючих методів гартування показав, що кожний з методів має, як ряд переваг, так і недоліків.

Одним з напрямів підвищення продуктивності є модифікація поверхні шляхом дії концентрованими потоками (безперервними або імпульсними) енергії, до яких належать, плазмові струмені і імпульси, лазерне випромінювання і інші.

Враховуючи, що операція гартування при виготовленні прес-форм є останньою фінішною, то оплавлення поверхні крайок недоцільно.

При мікро-плазмовому гартуванні енергетичні характеристики цього методу по щільності енергії в імпульсі наближаються до лазерної обробки. В той же час мікро-плазмове гартування поверхні вигідно відрізняється від лазерної технології по простоті устаткування, його габаритам і мірі корисного використання потужності.

Використання мікро-плазмового гартування дає можливість, як ручного так і автоматизованого здійснення процесу в локальній площині, отримувати загартовані шари з змінними властивостями в залежності від режимних і технологічних параметрів,

В якості обладнання застосовувалась установка для мікроплазмового зварювання УМП-4 з мікро-плазмовим пальником ОБ-1160А, плазмоутворюючим газом був аргон.

При параметрах процесу гартування швидкості переміщення пальника  $W= 95$  мм/хв, потужності  $P=1,5$ кВт і витратах аргону  $V=2-5$ л/хв., в структурі верхніх шарів металу відбуваються структурні перетворення, з утворенням голчастого мартенситу, що дає твердість до 50-54 HRC, при зменшенні швидкості  $W= 60$  мм/хв і потужності  $P=0,6$ кВт утворюється зернистий мартенсит. При цьому твердість поверхневого гартованого шару змінюється в межах 48-52 HRC, яка є оптимальною для технологічного режиму роботи ріжучих крайок прес-форм.

## **ВІДНОВЛЕННЯ ФРИКЦІЙНОГО КЛИНА ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВАГОНУ**

*Б.С.Бублик студент, Д.В. Степанов, асистент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Успішне вирішення завдання підвищення ефективності суспільного виробництва суттєво залежить від вирішення проблеми надійності та довговічності роботи деталей і механізмів, економного використання матеріалів, енергії та трудових ресурсів. Це нерозривно пов'язано із забезпеченням ефективного захисту поверхні деталей від зношування.

Одним з найбільш ефективних і економічних шляхів зменшити витрати легуючих елементів та продовжити строк служби спрацьованих деталей є їх відновлення за рахунок наплавлення.

Наплавлення – це процес нанесення шару металу на поверхню виробу. Шляхом наплавлення можна отримати вироби зі зносостійкими, жароміцними, антифрикційними властивостями. Наплавлення застосовують при виготовленні нових та відновленні зношених деталей. При ремонтному відновленні наплавлення ефективно завдяки тому, що відновлена деталь часто коштує в декілька разів менше нової деталі і при правильному виборі технології відновлення не поступається їй за працездатністю.

Метою даної роботи є розроблення технологічного процесу наплавлення зношеної похилої поверхні фрикційного клину візка вантажного вагону та проектування установки для наплавлення. Актуальність даної проблеми полягає в тому, що правильна розробка технологічного процесу (вибору матеріалів для наплавлення, режиму, обладнання) дозволяє зменшити витрати при виготовленні деталі, отримати необхідні властивості матеріалу на робочих ділянках деталі.

Для реалізації розробленого технологічного процесу відновлення похилих поверхонь фрикційного клину візка вантажного вагона було обране автоматичне дугове наплавлення в захисних газах.

Було запропоновано, виконувати операції з використанням спеціального допоміжного обладнання. Наплавлення ми виконуємо порошковим дротом ВЕЛТЕК-Н290 під шаром флюсу АН-70 на установці, укомплектованій маніпулятором, зварювальним автоматом АД-298, випрямлячем ВДУ-506 на запропонованих режимах:  $I_{зв} = 140 - 280 \text{ А}$ ;  $U_{зв} = 23 - 28 \text{ В}$ ;  $V_n = 10 \text{ м/год}$ .

Розроблений технологічний процес відновлення фрикційного клина забезпечує підвищення продуктивності відновлення з одночасним зниженням вартості, що обумовлено використанням прогресивних технологій під час виконання операцій наплавлення. Запропонований спосіб наплавлення підвищує якісні характеристики наплавленого металу.

Комплекс заходів з охорони праці та навколишнього середовища враховує всі джерела небезпеки і шкідливого впливу при виконанні виробничого процесу, а дотримання всіх встановлених правил виключає можливість нанесення шкоди співробітникам і навколишньому середовищу. Економічні розрахунки підтвердили доцільність і ефективність прийнятих інженерних рішень, які забезпечують з прогнозований економічний ефект.

## СПОСОБИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПЛАЗМИ З ВОДНЕВО-КИСНЕВОЇ СУМІШІ ТА ЇЇ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ

*В.В. Порицький, студент, Ю.С. Попіль, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

В якості плазмоутворюючого середовища може використовуватись воднево-киснева суміш, яка є ефективним, екологічним джерелом енергії. Спосіб отримання воднево-кисневого плазмового струменю полягає в тому що, воднево-кисневу суміш (ВКС), яка виробляється електролізно-водяними генераторами (ЕВГ), подається в плазмотрон, в якості плазмоутворюючої, де між катодом та між електродною вставкою, за допомогою осцилятора прикладається високовольтний та високочастотний потенціал створюючи допоміжну дугу, після утворення зони з високою електропровідністю дуга перекидається на сопло-анод і утворює основну дугу, при цьому осцилятор, який живить допоміжну дугу вимикається. Основна дуга, яка існує вже без допоміжної нагріває та іонізує плазмоутворюючу суміш, утворюючи на виході з водоохолоджувального сопла-анода плазмовий струмінь.

Спосіб отримання плазмового струменю де в якості плазмоутворюючого середовища використовується продукти горіння воднево-кисневої суміші реалізується наступним чином: воднево-кисневу суміш, яка виробляється ЕВГ подають в газовий без інжекторний пальник, за допомогою якого відбувається спалювання даної суміші в приймаючій камері. В наслідок чого продукти горіння надходять в середину плазмотрону, як плазмоутворююче середовище. В якості обладнання використовувались, електролізно-водяний генератор монополярного типу *A1803УХЛЧ*, розроблений ІЕС ім. Є.О. Патона з максимальною продуктивністю по виробленню воднево-кисневої суміші – 1,6 м<sup>3</sup>/год, джерело живлення інверторного типу для плазмового різання СUT-40, з напругою холостого ходу 300 В і максимальним струмом 40 А. За основу конструкції плазмотрону було обрано катодний вузол мікроплазмового пальника ОБ-1160А, який використовується для мікроплазмового зварювання, перероблений на мідний електродотримач з гафнієвою вставкою, який водоохолоджувався, розроблений водоохолоджувальний анодний вузол. Подача газу в сопло плазмотрону здійснювалось аксіально. Діаметр водоохолоджувального мідного електроду 7мм, гафнієвої вставки 2мм, діаметр сопла-анода 3мм.

Генерація воднево-кисневої плазми здійснювалось, за допомогою пускових газових сумішей, таких, як повітря, на якому запалювалась і утворювалась повітряна плазма, через газову систему вентелями ВКС подавалась в повітря. За допомогою витратомірів і манометрів слідкували за тим, щоб тиск повітря був менший за тиск ВКС.

При іонізації газів в плазмовому генераторі утворювалась воднево азотно-киснева плазма, після чого вентилям перекривалось повітря і отримувалась плазмовий струмінь де плазмоутворюючим газом була ВКС. Робоча напруга при реалізації першого способу складала 90-95 В при витратах ВКС більше 400 л/год. струмінь турбулентний характер плазмового струменю.

Робоча напруга другого способу складала 55-60 В при витратах ВКС 400 л/год, схожі дані робочої напруги на даному обладнанні були отримані при ініціюванні повітряної плазми з витратами 250 л/год. Плазмовий струмінь отриманий даним способом мав ламінарний характер витікання.

## ВВЕДЕННЯ НАНОКОМПОНЕНТІВ У ЗВАРЮВАЛЬНУ ВАННУ ПІД ЧАС НАПЛАВЛЕННЯ

*А.Р. Скорий, студент, Д.В. Степанов, асистент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Можливість експлуатації тої чи іншої деталі, одного або іншого механізму визначається властивостями поверхневого шару. Одним з найпоширеніших способів одержання поверхневого шару з унікальними властивостями є наплавлення. На сьогодні існує велика номенклатура матеріалів для наплавлення, однак вони не повністю задовольняють вимоги, які перед ними ставить промисловість. Зокрема це стосується матеріалів для наплавлення виробів, що працюють в умовах тертя металу по металу. Вказану проблему можна вирішити створенням нових чи використанням існуючих матеріалів зі складною легувальною системою, однак такі матеріали є більш вартісними, і, незважаючи на їх загальну доступність, вітчизняні підприємства не схильні їх використовувати, а шукають більш дешеві аналоги.

Перспективним напрямком підвищення зносостійкості матеріалів без змін систем легування може бути вплив на структурний фактор, зокрема з використанням модифікаторів. Модифікатори впливають на умови кристалізації, розмір первинної структури і, відповідно, властивості наплавлених валиків. Важливою особливістю модифікаторів є те, що вони чинять позитивний вплив на властивості наплавленого металу навіть при введенні незначної їх кількості.

Останнім часом проводяться дослідження використання в якості модифікаторів матеріалів нанорозмірного діапазону (до 100 нм).

Одним зі способів введення наноконпонентів є плавлення попередньо виготовленого парафінового стержня. Стержень виготовляють шляхом додавання в рідкий парафін нанопрошку в кількості, яка буларозрахована раніше з тим, щоб контролювати вміст наноконпонентів у наплавленому шарі. У процесі наплавлення наноконпоненти не проходять через дугу і при розплавленні анодною плямою дуги потрапляють у зварювальну ванну, і, відповідно, не вигорають. Парафін слугує в якості скріплюючого матеріалу, щоб наноконпоненти не розліталися в ході процесу. Однак під дією температури ванни, або металу на який проводиться наплавлення, парафін плавиться та випаровується, таким чином його вплив на метал ванни є мізерним.

При випробуванні схеми, що пропонується, було проведено наплавлення дротом Нп-30ХГСА, який рекомендований для наплавлення виробів, що працюють, зокрема в умовах тертя металу по металу. Після 105 хв випробувань на тертя, наплавлений метал показав збільшення зносостійкості до 5 разів. При цьому твердість змінилася з 215 *HV* до 250 *HV*. Водночас при введенні нанопорошку оксиду кремнію у суміші з парафіном у ферито-перлітній матриці помітно збільшується кількість дрібних цементитних виділень, що позитивно впливає на зносостійкість.

Таким чином було розроблено новий спосіб вдосконалення наплавленого металу за допомогою нанопорошків оксидів, який за своєю простотою та технологічністю переважає вже існуючі.



## ВІДНОВЛЕННЯ НАПЛАВЛЕННЯМ ДЕТАЛЕЙ З АЛЮМІНІЄВОЇ БРОНЗИ

*В.В. Макаревич, студент, С.М. Гетманець, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Алюмінієво-залізнi бронзи мають достатньо високi механiчнi i антифрикцiйнi властивостi та є поширеним матеріалом для різноманітних корпусних деталей, які виготовляють методом лиття, наприклад, бронза БрАЖ 9-4Л.

Великі контактні навантаження є головною причиною зношення деталей, які приводять до змінання металу робочих поверхонь, що може складати до 8 – 10 мм. Велика схильність до крихкості алюмінієво-залісної бронзи є основною проблемою реновації корпусних деталей наплавленням, яку іноді вирішують шляхом повного переплавлення зношених деталей і виготовлення нових.

Для відновлення зношених поверхонь корпусних литих деталей з алюмінієво-залісної бронзи застосовано механізоване імпульсне аргонодугове наплавлення (ІДН) плавким електродом, яке зменшує втрати легуючих елементів, випаровування і розбризкування, знижує на 20-30% тепловкладення. ІДН порівняно з поширеним MIG-наплавленням підвищує тріщиностійкість наплавки, зменшує кількість пор і оксидних включень, покращує перенос та формування наплавлених валиків.

Наплавлення дослідних зразків з бронзи БрАЖ 9-4Л з метою зниження тепловкладення та оптимізації умов охолодження виконували електродним дротом CastoMag 45751 Ø1,2мм з наступними параметрами режиму:

- сила струму в імпульсі – 210 ÷ 220А, напруга на дузі – 22 ÷ 22,6В;
- сила струму у паузі – 40 ÷ 50А, напруга на дузі – 16 ÷ 18В.

Тривалість імпульсу і паузи ІДН обирали, виходячи з умов забезпечення стабільного переносу і якісного формування наплавленого валика. Дослідним шляхом встановлено, що оптимальне значення тривалості імпульсу становить - 0,5÷0,6с, паузи - 0,7÷0,8с, циклу імпульс/пауза – 1,2÷1,4с.

ІДН дротом CastoMag 45751 на зазначених режимах забезпечує хімічний склад, твердість і механічні властивості наплавленого металу близькі до властивостей алюмінієво-залісної бронзи БрАЖ 9-4Л (табл.1,2).

Таблиця - 1. Хімічний склад (%) основного і наплавленого металу

| Метал          | Fe  | Si   | Mn   | P    | Al   | Pb   | Zn   | Sn   |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| БрАЖ 9-4Л      | 2-4 | 0,1  | 0,5  | 0,01 | 8-10 | 0,01 | 1    | до 1 |
| CastoMag 45751 | 2,1 | 0,08 | 0,19 | 0,01 | 8,57 | 0,01 | 0,07 | 0,03 |

Таблиця - 2. Властивості металу, наплавленого дротом CastoMag 45751

| Межа міцності, Н/мм <sup>2</sup> | Відносне подовження, % | Твердість після наплавки, НВ | Твердість після наклепу, НВ |
|----------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 420 – 440                        | 40 – 45                | 87 – 90                      | 130 – 140                   |

Імпульсно-дугове наплавлення алюмінієво-залісної бронзи БрАЖ 9-4Л дротом CastoMag 45751 на обраних режимах без попереднього і супутнього підігріву забезпечує підвищення опору утворенню тріщин, пор, включень та інших дефектів формування наплавленого валика при відновленні робочих поверхонь корпусних литих деталей з алюмінієво-залісної бронзи.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНЕВО-КИСНЕВОЇ ПЛАЗМИ

*Є.А. Захаров<sup>1</sup>, В.В. Порицький<sup>1</sup>, В.Я. Черняк<sup>2</sup>, Ю.С. Попіль<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, <sup>2</sup> КНУ імені Тараса Шевченка. )*

Одним з важливих наукових напрямків є розробки з енергозберігаючих технологій та використання нових джерел енергії. Перспективним напрямком є використання воднево-кисневої суміші в концентрованих джерел енергії до яких відноситься плазмовий струмінь. Ефективність використання залежить від конструкції плазмотрону, що генерує плазму та плазмоутворюючої суміші.

Тепловміст плазми з використанням водню в 4 рази вищий за аргонову плазму, за рахунок більш низьких температур дисоціації та іонізації водню порівняно з аргоном та гелієм. Дисоціація водню починається при температурі 2000 К, 90 % відбувається при температурі 4700 К, та повністю завершується при температурі 6000 К. В цьому температурному інтервалі водень має надзвичайно високу теплопровідність. Повністю водень іонізується при температурах близьких до 25000 К.

Температура водневої плазми при стандартних умовах становить 5273 К, а ентальпія 4148 Дж/г, в залежності від зміни умов ці показники можуть суттєво зростати, враховуючи, що ВКС виробляється в співвідношенні об'ємів 2:1, інтерес представляє вплив кисню на фізико-хімічні процеси і теплофізичних властивості такої плазми.

Метою робіт, було визначити умови отримання стабільного процесу генерування низькотемпературної воднево-кисневої плазми атмосферного тиску, електродуговим способом, дослідити теплофізичні властивості плазмового струменя та ефективність його застосування.

Методом калориметрування, визначили значення ефективної теплової потужності плазмового струменя. Як показали дослідження ефективної теплової потужності при витратах ВКС 0,4 м<sup>3</sup>/год., що відповідає ламінарному характеру витоку струменя, становила 30 мДж, при прикладеній потужності 4кВт, при збуренні струменя і переході в турбулентний стан витікання, з витратами суміші 0,6-1 м<sup>3</sup>/год була 54-60 мДж.

Враховуючи, що при термічному нагріванні в дуговому каналі плазмотрону ВКС дисоціює і утворює такі компоненти ОН, О та інші їх складові, а внаслідок ерозії електроду з мідних матеріалів Си був застосований метод емісійної спектроскопії для дослідження температури плазмового струменя по його довжині (z). Також було проведено дослідження при відхиленні від центральної осі (h), з урахуванням того, що факел є асиметричний.

Емісійні спектри плазмового факелу реєструвалися за допомогою спектрометра на базі CCD-лінійки Solar III (S-150-2-3648 USB), що працює в діапазоні довжин хвиль 200-1080 нм та має трикутну апаратну функцію з півшириною 0.2 нм в діапазоні довжин хвиль 200-650 нм та 0.3 нм в діапазоні 650-1080 нм. Реєструвалося випромінювання по променям зору перпендикулярним осі плазмового факелу.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновки по температурі: температура заселеності збуджених коливальних і обертальних рівнів гідроксили в межах похибки однакова:  $T_r^*(\text{OH}) = T_v^*(\text{OH}) = 5000 \pm 500 \text{ K}$ ; температури заселеності збуджених електронних рівнів визначені за атомарними компонентами (O та Cu) відрізняються, як за значенням, так і за просторовим розподілом:  $T_e^*(\text{Cu}) = 6700 \pm 1000 \text{ K}$  в межах похибки не змінюється при  $h=0-0.5 \text{ см}$ , а  $T_e^*(\text{O}) = 8400 \pm 1000 \text{ K}$  у випадку  $h=0 \text{ см}$  та спадає до  $T_e^*(\text{O}) = 4100 \pm 1000 \text{ K}$  при відхиленні від осі плазмового факелу до  $h=0.5 \text{ см}$ ; Температури заселеності збудженості електронних  $T_e^*$  рівнів кисню визначені методом діаграм Больцмана нижчу у порівнянні з тими, що були визначені з використанням програмного коду SpecAir, проте ці відмінності не перевищують значення похибки; температури, які були визначення по молекулі (OH) і по атомарним компонентам (O і Cu) відрізняються, це свідчить, що плазма є неізотермічна. Причиною різниці температур може слугувати нерівномірність просторового розподілу випромінюючих частинок та екзотермічних процесів в факелі.

Як показали дослідження теплофізичних властивостей воднево-кисневого плазмового струменю, такий струмінь може ефективно застосовуватись в процесах газотермічної обробки матеріалів

## ПІДГОТОВКА ЗРАЗКІВ ДЛЯ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ МЕТАЛУ

*Ю.М. Гаманець, студент, М.Є. Єлисеєв, студент, С.М. Гетманець, доцент  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Металографічний аналіз виконують для дослідження первинної і вторинної структури наплавленого металу, пористості і дефектів формування валика, ліквації легуючих елементів, форми і розмірів валика, ЗТВ, тощо.

Зразки для металографічного аналізу вирізають з валика наплавленого металу механічним різанням і піддають чистовій обробці, фінішними операціями якої є шліфування і полірування до дзеркального блиску. Відполіровані зразки піддають хімічному або електрохімічному травленню за спеціальною технологією.

Усі способи механічного різання і обробки поверхні зразка (шліфа) приводять до спотворення структури приповерхневого шару металу внаслідок пластичного деформування і локального нагріву. Тому різання і обробку проводять таким чином, щоб товщина спотвореного шару металу на кожному наступному етапі обробки зменшувалась до величини, яка потім буде видалена травленням. При шліфуванні вручну на шліфувальному папері товщина спотвореного шару складає 10-100мкм.

Для шліфування використовують папір з корундом або карбідом кремнію. Зразок шліфують, починаючи з абразивів з максимальним розміром часток 0,18 мм, до видалення слідів різку. Потім зразок повертають на 90° і шліфують до видалення рисок від першого шліфування. Зразки з дуже твердих матеріалів обробляють алмазними шліфувальними кругами або притирами.

Підготовка зразків на початковій стадії однакова для більшості матеріалів, а методика полірування може змінюватися залежно від матеріалу валика. Механічне полірування проводять у два етапи - з крупним і мілким абразивом, відповідно, на горизонтальному полірувальному кругу, вкритому сукном с коротким ворсом, на яке наносять полірувальні суспензії або пасти, з швидкістю обертання 100-300 об/хв.

Хімічне полірування застосовується, головним чином, для швидкої підготовки шліфів з задовільною на відміну від високоякісної поліровки поверхнею. Однак, у випадках, коли отримати поліровану поверхню приповерхневого шару механічними методами дуже складно, хімічне полірування є найкращим способом.

При хіміко-механічному поліруванні шліфа процес прискорюється за рахунок одночасного використання травника, що підсилює хімічну активність матеріалу приповерхневого шару. Електрополірування двох- і багатокомпонентних сплавів дає хороші результати і суттєву економію часу підготовки поверхні шліфа. Найбільше застосування знайшли суміші метанолу з азотною кислотою, концентровані розчини фосфорної, хлорної, оцтової кислоти з етиловим спиртом, тощо.

Після полірування будь-якого виду зразки необхідно ретельно промити у холодній воді, просушити або промити і зразу протравити.

Початкові стадії підготовки зразків для металографічного аналізу однакові для більшості металів і сплавів, методика полірування приповерхневого шару шліфа може змінюватися в залежності від матеріалу. Методика травлення поверхневого шару шліфа має свою специфіку залежно від складу і структури матеріалу.

Склад і концентрація травника, температура, умови і тривалість травлення визначають залежно від мети дослідження – вивчення макро- та мікроструктури металу валика, дефектів формування, ліквації, геометрії валика, тощо.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШИПІВ МОНТЕРСЬКИХ ЛАЗІВ**

*Т.Ю. Колупайло, магістр, І.В. Смирнов професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

На сьогоднішній день в великих містах розвинена інфраструктура електропостачання, інтернету, які переважно проведені по стовпах. Для ремонту, та обслуговування яких використовують спеціальне обладнання для підйому на вертикальні опори-стовпи які мають назву (кігті). Кігті мають різну конструкцію, але в основі кожної, в якості зацепів використовують сталеві шипи. В зв'язку з тим, що більшість ремонтних робіт виконується на бетонних стовпах шипи швидко зношуються та втрачають свою властивість чіплятись за бетон.

Шипи виготовляють з тврдосплавної сталі, яка має твердість приблизно 58-65 одиниць по Роквеллу, враховуючи те, що така сталь має велику ціну, а сам шип не стирається повністю через свою конструкцію, велика кількість матеріалу не використовується.

Мета даної роботи замінити повністю тврдосплавну сталь на леговану більш дешево. Було запропоновано виготовляти шипи з сталі (30ХГСА) з твердістю 30-50 одиниць по Роквеллу та нанести покриття електроіскровим методом.

Основні закономірності та явища, що визначають процеси ЕІЛ, залежать від матеріалу легувального електрода й режимів обробки. Поверхневий шар деталі зміцнюється не тільки за рахунок осадження матеріалу анода, але й у результаті взаємодії цього матеріалу з основою й утворення твердих розчинів, хімічних з'єднань, оксидів, нітридів.

Був обраний сплав на основі титану а тугоплавку складову запропоновано використовувати диборид титану-хрому (Ti, Cr) B2 і композити на його основі, твердість якого складає 65-75 HRC. Такий сплав дозволяє нанести захисний шар в 500мкм. Також можливе використання твердого сплаву ВК8 з схожою твердістю 62-70 HRC, але експериментальні дослідження показали що цей сплав важко наноситься на зразок.

Беручи до уваги вище сказане, можна зробити висновки що запропонована технологія буде доцільною, так як від якості шипів залежить здоров'я та життя людей. А підвищена зносостійкість зменшить трудоємність виготовлення, кількість використаного матеріалу, час.

## **РЕНОВАЦІЯ ВКЛАДИШІВ З БРОНЗИ БРАЖ 9-4Л НАПЛАВЛЕННЯМ**

*Т.Ю. Колупайло, студент, В.В. Макаревич, студент, С.М. Гетманець, доцент  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Вкладиші універсальних шпинделів обладнання металургійного виробництва з алюмінієво-залізної бронзи БрАЖ 9-4Л є відповідальними базовими деталями технологічного устаткування, що працюють у важких умовах тертя ковзанням.

Головна причина зношування робочої поверхні вкладишів шпинделів - високі динамічні і статичні контактні навантаження. Для зношених робочих поверхонь вкладишів характерні наступні дефекти:

- механічне зминання поверхневого шару металу вкладиша, що має локальний або площинний характер;
- пори і мікропористість на робочих поверхнях вкладиша, «волосяні» тріщини та включення оксидних плівок;
- поверхневі локальні газові, усадочні та шлакові раковини (кратери).

Максимальна глибина зношення робочої поверхні вкладиша універсальних шпинделів з бронзи БрАЖ 9-4Л може складати 8 – 10 мм, а площа зношеної робочої поверхні вкладиша досягати до 200 - 300 см<sup>2</sup>.

Для реновації вкладишів дуговим наплавленням з метою мінімізації глибини проплавлення і, відповідно, долі участі основного металу застосовано механізоване імпульсне-дугове наплавлення плавким електродом у інертному газі (ІДН). Спосіб ІДН дозволяє вже у першому – другому шарі наплавки отримати метал робочих поверхонь вкладишів з необхідними властивостями.

Підготовка робочої поверхні вкладиша з бронзи БрАЖ 9-4Л під наплавлення включає в себе виконання наступних етапів робіт:

- фрезерування дефектних ділянок робочої поверхні вкладиша до чистого основного металу на глибину не менше 1 – 1,5 мм;
- шліфування профрезерованих ділянок робочої поверхні для візуального виявлення наявності особливо тонких («волосяних») тріщин та мікропористості;
- проведення, (при необхідності) ультразвукового контролю поверхні;
- мийка, просушування і очищення розчинниками ділянок робочої поверхні вкладиша, підготовлених до наплавлення, від жирових та інших забруднень;
- дегазація (при необхідності) вкладиша з робочими поверхнями сильно насиченими мастилом у печі при температурі 200 – 250°C на протязі 2 - 3 годин з метою попередження утворення пор у наплавленому металі.

Для реновації робочої поверхні вкладишів з бронзи БрАЖ 9-4Л механізоване імпульсне-дугове наплавлення у захисному газі аргоні виконували електродним дротом CastoMag 45751 дротом Ø1,2мм з використанням синергетичного джерела живлення «TotalArc<sup>2</sup> 5000» і механізму подачі DS III («Castolin Eutectic»).

Розроблений технологічний процес реновації вкладишів шпинделів з бронзи БрАЖ 9-4Л механізованим імпульсно-дуговим наплавленням плавким електродом у аргоні дротом CastoMag 45751 без застосування попереднього і супутнього підігріву пройшов апробацію у ремонтних підрозділах металургійних підприємств України.

Результати виробничих випробувань розробленої технології підтвердили можливість відновлення вкладишів з алюмінієво-залізної бронзи типу БрАЖ 9-4Л без переплавлення з високою якістю наплавленого металу.

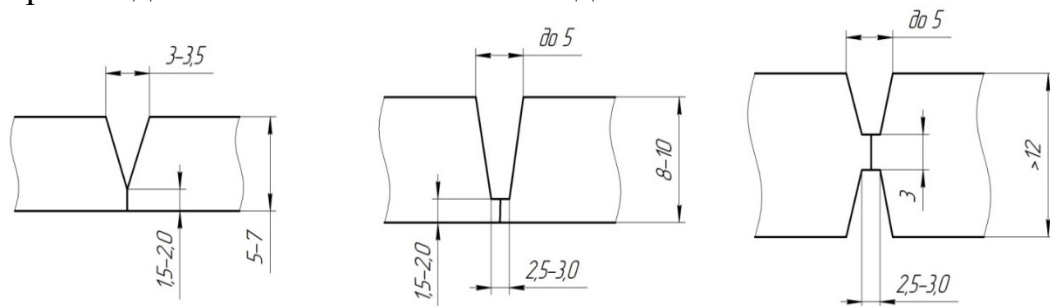
## МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ НІКЕЛЕВИМ ДРОТОМ

*А.Р. Скорий, студент, В.В. Трипак, студент, С.М. Гетманець, доцент  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Механізоване зварювання тонким дротом на основі нікелю застосовують для ремонту переважно тонкостінних 4 – 20 мм литих чавунних деталей та зварювання мілких дефектів лиття. Нікелеві електродні дроти малого діаметру 1,0-1,2 мм дозволяють при холодному зварюванні чавуну отримувати рівномірні основному металу, легко оброблювані і герметичні ремонтні зварювальні з'єднання.

Позитивні властивості дротів на основі нікелю полягають в тому, що нікель не розчиняє вуглець і не утворює структур, що мають високу твердість після нагріву та швидкого охолодження. Відбілювання ділянки часткового розплавлення ЗТВ при невеликих її розмірах практично відсутнє тому, що нікель є графітізатором. В той же час нікель і залізо мають необмежену розчинність, що сприяє їх сплавленню.

При виборі форми і розмірів розробки кромки тріщин слід враховувати глибину проплавлення, яка складає 1,5 - 2,0 мм. Рекомендовані форми і розміри розробки кромки для тонко- і товстостінних деталей показана нижче.



Зварювання самозахисним дротом ПАНЧ-11 ведуть на постійному струмі прямої полярності при наступних параметрах режиму зварювання:

- для дроту  $\varnothing 1,2$  мм: сила струму 100 - 120А, напруга на дузі 14 - 18В;
- для дроту  $\varnothing 1$  мм: сила 80 - 100А; напруга на дузі 16 - 18В.

Зварювання виконують нитковими швами, невеликими ділянками довжиною 40 - 60 мм, з проковкою шва і перервами для охолодження до 50 - 70°C. Порядок накладання ділянок швів від країв тріщини до її середини почергово з двох сторін.

За допомогою механізованого зварювання дротом на основі нікелю можна ремонтувати товстостінні деталі, виконуючи одно- або двошарового облицювання кромки та зварювання кореня шва нікелевим дротом з послідуєчим зварюванням всієї розробки за допомогою електродних матеріалів для зварювання Cr-Ni сталей.

Основними недоліками електродних дротів на основі нікелю є висока вартість і велика усадка, яка приводить до утворення гарячих тріщин. Гарячі тріщини іноді мають вид суцільної сітки, що знижує міцність зварного з'єднання. В зв'язку з цим зварювальні дроти на основі нікелю не рекомендується застосовувати для заварки тріщин в виробах, які несуть значні силові навантаження.

Електродні дроти на основі нікелю діаметром 1,0-1,2 мм є високоефективним зварювальним матеріалом для механізованого холодного зварювання чавуну, які у порівнянні з зварюванням покритими електродами зменшують в 2-5 разів об'єм металу шва, значно скорочують час і забезпечують можливість механізації процесу зварювання, відсутність шлаку і хороший обзор місця зварювання.

## **ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ МІДНО-ЗАЛІЗНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ**

*Д.А. Московченко, студент, С.М. Гетманець, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

При дуговому зварюванні чавуну високий попередній підігрів та уповільнене охолодження попереджають утворення тріщин і пористості за рахунок зростання часу існування зварювальної ванни та зменшення термічних напружень в НШЗ.

При ремонтному зварюванні попередній підігрів у багатьох випадках технічно неможливий внаслідок великих маси та розмірів деталей і конструкцій, а також короблення, яке спотворює геометричні характеристики виробів.

При зварюванні чавуну без підігріву з метою підвищення якості ремонтних зварних з'єднань застосовують зварювальні матеріали, які забезпечують утворення у шві сплавів на основі міді та нікелю – Cu-Ni, Cu-Fe і Fe-Ni та ін., що мають високу пластичність і температуру плавлення близьку до температури плавлення чавуну.

Мідь і нікель не утворюють з'єднань з вуглецем, але їх наявність у сплаві сприяє графітизації і зменшенню імовірності відбілювання. Можливість проковки наплавленого металу в гарячому стані сприяє підвищенню пластичності металу шва та зменшення рівня зварювальних напружень у ремонтному з'єднанні.

Величина і характер перехідних зон при зварюванні електродами з високим вмістом кольорових металів істотно відрізняються від величини і характеру зон, що утворюються при зварюванні сталевими або чавунними електродами. Основне розходження складається у відсутності дифузії вуглецю у метал шва.

Мідно-залізними електродами переважно заварюють пошкодження на литих високонавантажених корпусних деталях. Загальний недолік Cu-Fe електродів - неоднорідна структура металу шва – м'яка мідна основа і дуже тверді включення залізної складової, які ускладнюють механічну обробку зварних з'єднань.

Мідно-залізні електроди містять від 80 до 95% міді і від 5 до 20% заліза. При зварюванні чавуну на режимах, які виключають надмірний розігрів дефектного місця деталі, мідно-залізні електроди забезпечують добру оброблюваність металу шва і достатню міцність та пластичність зварного з'єднання.

Здатність до механічної обробки зварного шва залежить від співвідношення міді і заліза в електроді. Зі збільшенням змісту заліза зростає і кількість вуглецю, що дифундує з розплавленого чавуну, у результаті чого збільшується твердість металу шва. Вміст заліза у наплавленому металі не повинен перевищувати 10...15%, що забезпечує задовільну здатність металу шва до механічної обробки.

Одними з найбільш поширених мідно-залізних електродів є електроди марки ОЗЧ-1 і ОЗЧ-2, що представляють собою мідний стрижень Ø3-5мм з покриттям типу УОНИ-13 (50%) і залізного порошку (50%) замішаному на рідкому склі.

Силу зварювального струму для забезпечення мінімального тепловкладення визначають з розрахунку 30 - 40А на 1 мм діаметру електродного стрижня. Велика рідкотекучість розплавленого чавуну зварювальної ванни обумовлює виконання зварювання тільки у нижньому або похилому положеннях.

Зварювання здійснюють нитковими швами на постійному струмі оберненої полярності, короткими ділянками 30 - 50 мм, у кілька шарів з ретельною очисткою і проковкою кожного шару в гарячому стані та перервами для охолодження місця зварювання до 50-70°C.



## МЕТОДИКА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЗВАРЮВАЛЬНИМИ КРАПЛИНАМИ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

*М.М. Тарасюк, студент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

В сучасній промисловості спостерігається тенденція збільшення використання дугового напівавтоматичного і автоматичного зварювання у захисних газах, що суттєво збільшує продуктивність процесу виробництва та отримання якісних зварювальних швів.

Основними проблемами є мінімізація розбризкування та отримання рівномірних зварювальних швів. У зв'язку з цим, необхідно зосередити увагу на питаннях контролю параметрів. Тому актуальним є дослідження впливу параметрів імпульсних електромагнітних дій було вирішено присвятити даний комплекс досліджень розробці устаткування спостереження за зварювальними каплями після зварювання.

Так як важливо оцінити зварювальну каплю після зварювання з найменшим впливом на неї методики спостереження було вирішено використовувати сплав Вуда як кристалізаційну ванну.

Так як, температура кипіння сплаву Вуда набагато менша за температуру плавлення зварювального металу то метал може кристалізуватись у рідкому сплаві.

Помістивши сплав у спеціальну металічну ємність і розмістивши його нарівні з основним металом, який буде зварюватись.

Важливо розмістити основний метал на рівні з поверхнею розплавленого сплаву для збереження постійних параметрів при зварюванні.

Розігрівання металу проводимо за допомогою свічок до рідкого стану.

Після доведення сплаву до розплавленого стану кількість тепла від свічок зменшуємо, для того щоб сплав Вуда не почав кипіти. Оскільки в такому стані він насичується повітрям, що може зменшити якість зварювання.

Зменшення тепловкладення проводимо за допомогою віддалені свічок.

Після цього починаємо процес зварювання на основному металі, переходячи в розігрітий сплав. Каплі які створюються під час горіння дуги на поверхні сплаву тонуть. За час який каплі тонуть вони встигають кристалізуватись.

Якщо капля після отримання її з сплаву має деформовану форму потрібно збільшити глибину ванни з сплавом або збільшити швидкість зварювання.

Щоб отримати каплі з сплаву ми розміщаємо кристалізований сплав у сито яке промиваємо кип'ятком. Сплав стає рідким і витікає. В нас залишаються готові каплі для проведення їхнього дослідження і оцінювання.

## ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА РЕМОНТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

*М.М. Сайчишин, студент, С.М. Гетманець, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Основними пошкодженнями деталей і конструкцій, які можна відновити за допомогою ремонтного зварювання є тріщини та розтріскування, відколи литих деталей та дефекти лиття, дефекти формування зварних швів (непровари, подрізи, пори, тощо) і корозійне руйнування точкового, лінійного та площинного характеру.

Ефективність ремонту зварюванням залежить від точності визначення причин виникнення пошкодження, які умовно можна поділити на наступні групи:

- помилки технології виготовлення і технологічного процесу виробництва;
- аварійні ситуації та порушення правил експлуатації виробу;
- зношення та/або втома металу при тривалій експлуатації деталі конструкції;
- недостатня для даних умов експлуатації конструктивна міцність.

Організація і проведення раціональної технологічної підготовки ремонтного зварювання забезпечує ефективність відновлення виробу та мінімізує матеріальні і грошові витрати та можливі виходи з ладу деталей і конструкцій після ремонту.

Раціональна технологічна підготовка ремонту виробу зварюванням передбачає виконання наступних обов'язкових етапів робіт:

- визначення причини або причин пошкоджень деталей і конструкцій виробу, які підлягають відновленню зварюванням;
- встановлення вимог до ремонтного зварного з'єднання щодо забезпечення рівномірності металу шва, підвищення опору втомі і крихкому руйнуванню, тощо;
- вибір способу зварювання та зварювальних матеріалів, які забезпечують отримання ремонтного з'єднання з необхідними властивостями;
- призначення параметрів режиму зварювання, попереднього і супутнього підігріву, техніки виконання і термічної обробки ремонтного з'єднання, тощо;
- вибір основного технологічного і допоміжного обладнання та оснащення, складально-зварювальних пристроїв, вимірювальних приладів та інструменту;
- призначення заходів і обладнання та оснащення для проведення вхідного, поточного і вихідного контролю процесу ремонту зварюванням.

Технологічна підготовка ремонтного зварювання має характерні особливості. Різноманіття типорозмірів деталей і конструкцій, технологій виготовлення та матеріалів, умов експлуатації виробів і видів пошкодження не дозволяє мати одну єдину для всіх випадків технологію ремонту зварюванням. Це обмежує можливості використання вже розроблених технологічних процесів ремонтного зварювання.

На етапі виготовлення виробів ремонт зварюванням потребує, як правило, значних витрат, що можуть значно перевищувати собівартість виробу. У цьому випадку технологічна підготовка ремонтного зварювання внаслідок конструктивних і технологічних обмежень викликає великі труднощі та обумовлює необхідність техніко-економічного обґрунтування доцільності ремонту зварюванням.

У випадку ремонтного зварювання виробів, пошкодження яких виникли під час експлуатації, технологічна підготовка визначається вимогами до якості зварного ремонтного з'єднання і відновлення виробу, часом, матеріальними та грошовими витратами на виконання ремонтного зварювання і обумовлює ефективність ремонту деталей та конструкцій зварюванням.

## ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НАНОПОРОШКІВ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ВАННІ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ НАПЛАВЛЕННЯ

*К.В. Іванченко, студент, В.Д. Кузнецов, професор (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

За останні роки поширені дослідження в напрямку застосування наноматеріалів при наплавленні. Певний досвід накопичено при наплавленні низьколегованих сталей з введенням у зварювальну ванну наноксидів.

Аналіз досліджень і публікацій цього періоду показує, що одним з основних структурних елементів формуючих будову залізвуглецевих сплавів є нанорозмірні складові, введення яких в незначних кількостях дозволяє істотно впливати на структуроутворення і механічні властивості металу шва.

Незалежно від типу нанопорошкових матеріалів, у всіх випадках відмічається їх позитивний вплив на структуру і властивості наплавленого матеріалу. Але існуючі дані відносяться до конкретних умов наплавлення і не відображають можливі зміни вмісту нанопорошкових матеріалів у зварювальній ванні при змінах, зокрема, погонної енергії при наплавленні.

Визначення цього вмісту експериментальним шляхом пов'язано зі значними матеріальними витратами.

У роботі визначення вмісту нанопорошкових матеріалів у зварювальній ванні залежно від погонної енергії наплавлення отримане розрахунковим методом.

В основу розрахунків розмірів об'ємів і мас зварювальних ванн покладено

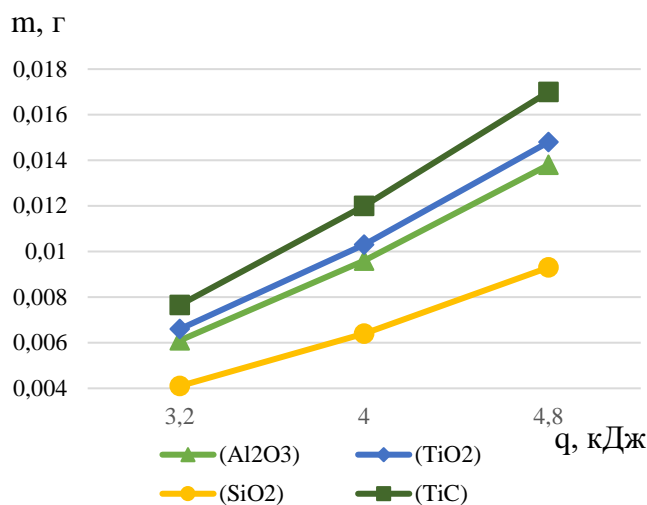


Рисунок 1 - Залежність маси нанопорошків від погонної енергії

нанопорошку карбіду титану становить 0,008 г, при погонній енергії 4,8 кДж його масову частку потрібно збільшувати до 0,017 г.

Закономірності у бік збільшення масових часток при збільшенні погонної енергії спостерігаються і для умов введення наноксидів. Відмінність заключається тільки в значеннях масових часток, що пов'язано з різними значеннями питомої ваги.

Виявленні закономірності потрібно враховувати у практичному використанні технологій наплавлення із застосуванням нанопорошкових матеріалів.

відомі залежності теплових процесів при зварюванні та наплавленні, а при визначенні об'ємних, масових часток – відомі залежності фізичної хімії.

За результатами розрахунків було побудовано графік залежності маси нанопорошків від погонної енергії, який представлений на рис.1.

Було встановлено, що для умов наплавлення порошковим дротом 40X13 при різних погонних енергіях загальним є зміна маси нанопорошкових матеріалів у бік збільшення, відповідно зі збільшенням погонної енергії.

Так, наприклад, якщо при погонній енергії 3,2 кДж масова частка

## ВІДНОВЛЕННЯ ФРИКЦІЙНОГО КЛИНА ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВАГОНУ

*Б.С. Бублик, студент, Д.В. Степанов, асистент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Успішне вирішення завдання підвищення ефективності суспільного виробництва суттєво залежить від вирішення проблеми надійності та довговічності роботи деталей і механізмів, економного використання матеріалів, енергії та трудових ресурсів. Це нерозривно пов'язано із забезпеченням ефективного захисту поверхні деталей від зношування.

Одним з найбільш ефективних і економічних шляхів зменшити витрати легуючих елементів та продовжити строк служби спрацьованих деталей є їх відновлення за рахунок наплавлення.

Наплавлення – це процес нанесення шару металу на поверхню виробу. Шляхом наплавлення можна отримати вироби зі зносостійкими, жароміцними, антифрикційними властивостями. Наплавлення застосовують при виготовленні нових та відновленні зношених деталей. При ремонтному відновленні наплавлення ефективно завдяки тому, що відновлена деталь часто коштує в декілька разів менше нової деталі і при правильному виборі технології відновлення не поступається їй за працездатністю.

Метою даної роботи є розроблення технологічного процесу наплавлення зношеної похилої поверхні фрикційного клину візка вантажного вагону та проектування установки для наплавлення. Актуальність даної проблеми полягає в тому, що правильна розробка технологічного процесу (вибору матеріалів для наплавлення, режиму, обладнання) дозволяє зменшити витрати при виготовленні деталі, отримати необхідні властивості матеріалу на робочих ділянках деталі.

Для реалізації розробленого технологічного процесу відновлення похилих поверхонь фрикційного клину візка вантажного вагона було обране автоматичне дугове наплавлення в захисних газах.

Було запропоновано, виконувати операції з використанням спеціального допоміжного обладнання. Наплавлення ми виконуємо порошковим дротом ВЕЛТЕК-Н290 під шаром флюсу АН-70 на установці, укомплектованій маніпулятором, зварювальним автоматом АД-298, випрямлячем ВДУ-506 на запропонованих режимах:  $I_{зв} = 140 - 280 \text{ А}$ ;  $U_{зв} = 23 - 28 \text{ В}$ ;  $V_n = 10 \text{ м/год}$ .

Розроблений технологічний процес відновлення фрикційного клина забезпечує підвищення продуктивності відновлення з одночасним зниженням вартості, що обумовлено використанням прогресивних технологій під час виконання операцій наплавлення. Запропонований спосіб наплавлення підвищує якісні характеристики наплавленого металу.

Комплекс заходів з охорони праці та навколишнього середовища враховує всі джерела небезпеки і шкідливого впливу при виконанні виробничого процесу, а дотримання всіх встановлених правил виключає можливість нанесення шкоди співробітникам і навколишньому середовищу. Економічні розрахунки підтвердили доцільність і ефективність прийнятих інженерних рішень, які забезпечують з прогнозований економічний ефект.

## СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

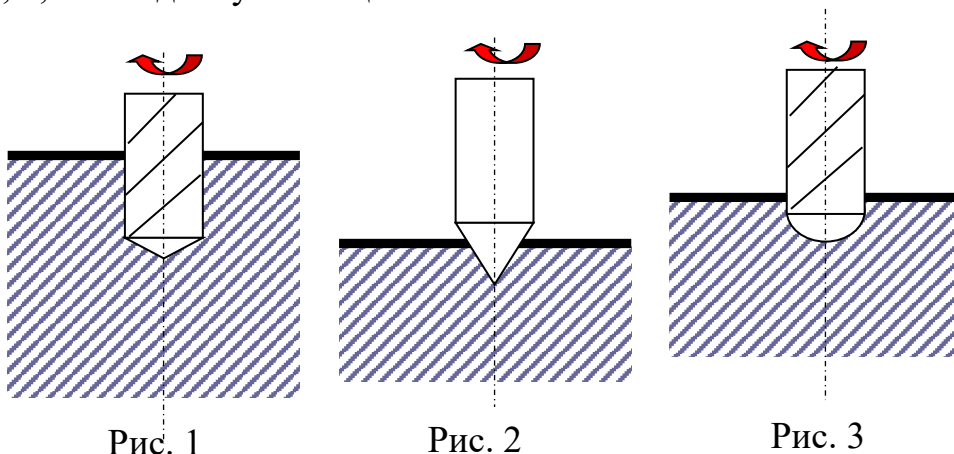
### СПОСОБИ ІМІТАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ТИПУ «ПОРА» НА НАВЧАЛЬНИХ ЗРАЗКАХ

*В.В. Несін, викладач (ДП «МУАЦ ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України»)*

Поверхневі пори на з'єднанні, виконаному зварюванням плавленням – дефекти поширені. Мають позначення 2017 за стандартом ISO 6520. Нормування допустимості цього дефекту передбачене міжнародним стандартом ISO 5817 для всіх рівнів приймання (D, C і B). Виявлення поверхневих пор здійснюють фахівці з візуально-оптичного методу неруйнівного контролю (VT) якості атестовані за I, II чи III рівнем кваліфікації відповідно до ISO 9712.

Практична підготовка таких фахівців передбачає набуття досвіду виявлення, ідентифікації, фіксації (для I-III рівнів) та оцінки допустимості (для II та III рівнів) дефектів розташованих на навчальних зразках з реальними швами, фото зображеннями або на зразках з імітацією дефектів й т. ін. Зразки з реальними дефектами поверхні зварних швів найчастіше виготовляються з реальних об'єктів шляхом кропіткої роботи з виявлення та відбору. Мають значну вартість. Фото дефектів не надає можливості набуття навичку використання стереоскопічного ефекту при застосуванні біноклярного зору фахівцями з VT в процесі органолептичного контролю. Імітації дефектів (у протиположних двох варіантах) мають характерну рельєфну поверхню та можуть бути виконані на зразках тої форми, які зручні для процесу практичної спеціальної підготовки до атестації чи для професійного навчання [1, с.771].

Пропонуються наступні способи виконання імітацій поверхневих дефектів типу «пора» (одиначна – 2017, ланцюжок пор – 2014 та скупчення пор – 2013 за ISO 6520): **1) свердлінням** циліндричних заглиблень з конічним дном (Рис. 1.); **2) гравіруванням** конічних заглиблень (Рис. 2.); **3) фрезеруванням** плоскодонних чи напівсферичних заглиблень (Рис. 3.). Умовні технологічні характеристики імітацій, виконаних способами 1, 2, 3 наведені у таблиці 1.



Свердління дозволяє досягти не лише схожості з поверхневими порами, але й імітувати за певного співвідношення глибини отвору і його діаметру ефект абсолютно чорного тіла [2].

Конічний гравірувальний різець – дозволяє імітувати одним інструментом поверхневі пори різного діаметру – варіюючи глибиною врізання.

Фрезерування напівсферичних заглиблень дозволяє досягти достовірності форми імітованої поверхневої пори.

Таблиця - 1. Порівняння способів імітації дефектів типу «пора»

| Умовна характеристика імітації    | Спосіб 1                  | Спосіб 2    | Спосіб 3    |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| Попередня підготовка поверхні     | Потрібна                  | Не потрібна | Не потрібна |
| Швидкість виконання               | Мала                      | Висока      | Посередня   |
| Вид обладнання, що застосовується | Переносне/<br>стаціонарне | Стаціонарне | Стаціонарне |

#### Висновки:

Наведені способи обробки поверхні дозволяють досягти різних за характером імітацій поверхневих дефектів типу „пора поверхнева”, „ланцюжок пор”, „скупчення пор”.

Найбільш технологічним та достатнім для набуття навичку виявлення та фіксації дефектів є спосіб імітації гравірувальним різцем.

#### Література.

1. Несін, В. В. Візуально-оптичний контроль якості металургійної продукції. Підготовка персоналу [Електрон. ресурс] / В.В.Несін // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XIV Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 19 квітня 2016 р. / [редкол.: В.С.Богушевський (відпов.ред.) та ін.]. - К.: НТУУ "КПІ", 2016. - С.767 - 779. - Режим доступу: <http://www.fhotm.kpi.ua/labours/labours-2016.pdf>

2. Несін, В.В. Особливості виявлення візуально-оптичним методом неруйнівного контролю якості зварних з'єднань поверхневих сферичних пор з малим розкриттям, як природного варіанту фізичної схеми абсолютно чорного тіла. с.13-14. // Досконалість зварювання - комплексний підхід: тези доп. ІХ Всеукр. наук.-техн. конф. / Україна, Київ, 26 травня 2015 р. – К. НТУУ «КПІ», 2015. - 31 с.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Четверта всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та наукових співробітників

**«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»**

**25 травня 2017 року**

**МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

(українською мовою)

**Матеріали видаються за оригіналами поданими авторами**

*Комп'ютерна верстка Чорний А.В.*

---

Підписано до друку 24.05.2017. Формат 60x84. Папір офсетний.

Гарнітура Times. Трафаретний друк.

Умов. друк. арк. 1,8. Наклад 20 прим.

Зам. № 2486241/2924752. Ціна договірна.

Надруковано в ТОВ «Фастпринт»

Типографія оперативного друку «Фастпринт»

01033, м. Київ, вул. Василя Яна 3/5

Тел.: 044 - 503-88-26