

**Ключові слова: система контролю і прогнозування, професійні ризики, математичне моделювання**

## **DEVELOPMENT AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF MONITORING AND FORECASTING OF OCCUPATIONAL RISKS AT THE NETWORK OF AGRICULTURAL ENTERPRISES**

**A. Gavrichenko, R. Belikov**

*Developed automated information-measuring system of monitoring and forecasting of occupational risks can detect the basic parameters of the controlled system, to carry out predictive calculations of technical and economic parameters of control systems in time to plan and implement a proactive science-based activities.*

**Keywords: systems for monitoring and prognozirvoaniya, seasoned professional risks, mathematical modeling**

УДК 621.3.066

## **ОСОБЛИВОСТІ ГАЗОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ**

**І.П. Радько, кандидат технічних наук  
e-mail: nni.elektrik@gmail.com**

*Розглянуто особливості газоплазмового напилення для відновлення контактних вузлів електричних апаратів.*

**Ключові слова: газоплазмове напилення, контактні вузли, плазма, електрична дуга, окислення, покриття**

Підвищення технологічного рівня та якості машин і обладнання – важливий резерв зростання продуктивності праці, економії всіх видів ресурсів і основа науково-технічного розвитку народного господарства України.

Інтерес до технічних можливостей газотермічного нанесення покриттів особливо зростає нині. Це пояснюється, перш за все, тими перевагами, які дають плазмові покриття в деяких галузях техніки. Плазмові методи розпилення дозволили також розробити технологію отримання дисперсних металів (порошків) і виробництво з тугоплавких металів деталей апаратів складної форми і поверхні. Плазмова технологія відкрила нові шляхи отримання високомодульних і високоміцних композиційних матеріалів, що армовані волокнами (матрицею) і застосовуються для захисту від нагрівання,

корозії, ерозійного впливу високотемпературних газових потоків, підвищення зносо- і жаростійкості тощо.

Застосування газоплазмового напилення в електротехніці пов'язано, з одного боку, з покращенням експлуатаційних характеристик електричних апаратів за рахунок використання покриттів контактів зі спеціальними ерозієстійкими характеристиками, і з іншого – з підвищенням надійності всього електрообладнання. Повноцінне функціонування електрифікованого технологічного обладнання неможливе без використання надійних комутаційних апаратів.

**Мета досліджень** – розробка наукових принципів відновлення робочої поверхні контактів методом газоплазмового напилення з використанням композиційних контактних матеріалів.

**Матеріали та методика досліджень.** Для відновлення контакт-деталей електроапаратів є економічно ефективний метод – газоплазмове напилення. Він дозволяє отримувати покриття різноманітних типів контактних матеріалів, які характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю. Для цього може бути використано не досить складне в експлуатації, але вартісне технологічне обладнання.

Нанесення покриттів газоплазмовим розпиленням – один із методів підвищення надійності та терміну служби контактів і деталей електрообладнання та найбільш простий, економічно доцільний і розвинений процес відновлення розмірів зношених поверхонь контакт-деталей електричних комутаційних апаратів.

**Результати досліджень.** Газоплазмове напилювання є найперспективнішим із газотермічних методів нанесення покриттів. Суть цього методу полягає в розплавленні матеріалу, який наноситься за допомогою високотемпературного струменя, що утворюється плазмовою горілкою і наступним розпиленням розплаву потоком іонізованого газу. Електрична дуга в плазмових горілках збуджується між катодом і водоохолоджувальним соплом-анодом. Крізь електродугову камеру продувається плазмоутворюючий газ, який частково іонізується і при високій температурі виходить із сопла з великою швидкістю. Струмінь плазми, що отримується таким чином, характеризується температурою до 500–1500°C і швидкістю, що в декілька разів перевищує швидкість звуку. До високотемпературного газового потоку вводиться у вигляді порошку або проводу матеріал для напилення. Швидкість частинок при напилюванні знаходиться в межах 100 – 400 м/с.

Як плазмоутворюючі матеріали отримали поширення вода і гази: аргон, чистий азот, водень, гелій, а також їхні суміші. Продуктивність установок газоплазмового напилювання коливається від 0,5 до 10 кг/год, міцність зчеплення напиленого покриття досягає 60 МПа [1,2].

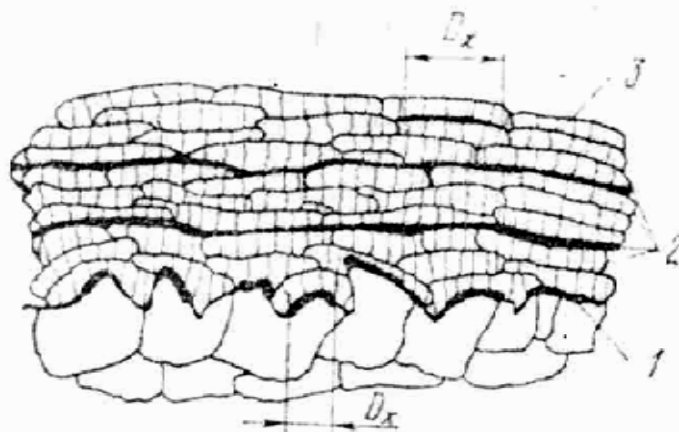
Процес газоплазмового напилювання має такі переваги: універсальність плазмового методу, що забезпечує можливість нанесення покриттів із різноманітних матеріалів; можливість збереження особливостей структури і властивостей матеріалів основи (контактотримачів електричних

апаратів); можливість нанесення покриттів на контакти складної поверхні і форми.

У подальшому передбачається створення плазмотронів потужністю 160–300 кВт, збільшення швидкості напилених частинок до 1000 м/с, досягнення продуктивності 15–20 кг/год. Це дозволить отримати покриття міцністю 150 МПа і густиною 96 %.

Покриття – це шаруватий матеріал, що складається з дуже деформованих часток, які з'єднані між собою по контактних поверхнях зварними ділянками діаметром  $D_x$  і площею  $F_x = (\pi D_x^2)/4$  (рис.1). Зварні ділянки не заповнюють всю площину контакту між частками і тому міцність та густина напилених покриттів нижче міцності і густини матеріалу покриття в компактному стані. Міцність самих зварних ділянок залежить від кількості осередків захвату, які утворюються на площі  $F_x$  під час удару, деформації і твердіння часток та визначається розвитком хімічної взаємодії матеріалів у контакті [2].

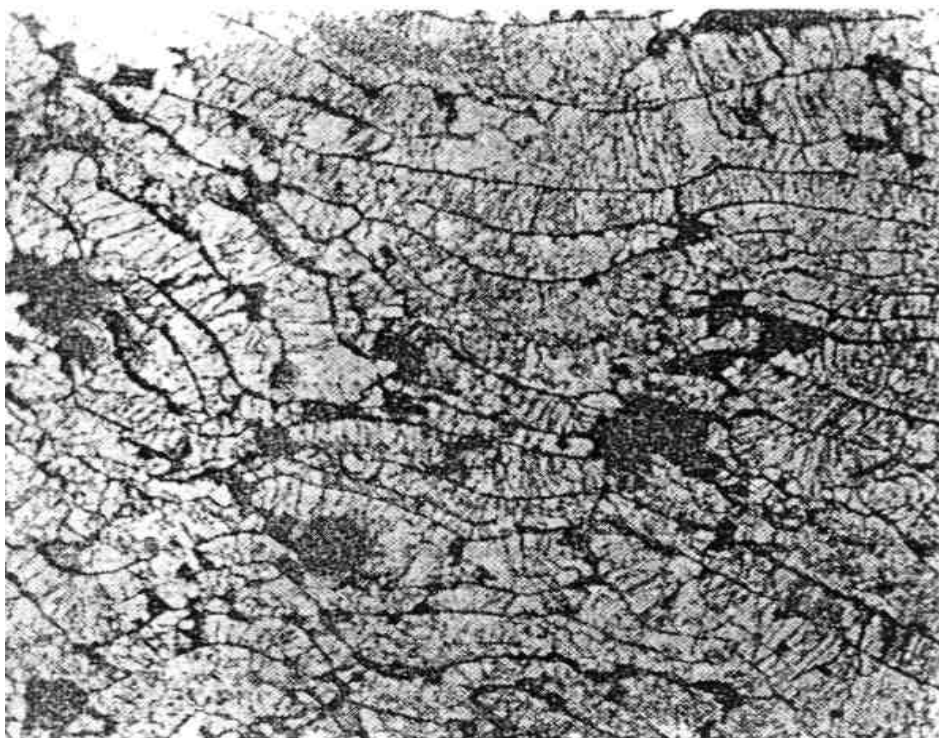
У покритті можна виділити структурні елементи, що відображають процеси його формування і розділяються межами розділу з визначеними властивостями. Межа розділу між покриттям і основою 1 (див. рис.1) визначає міцність зчеплення або міцність з'єднання між ними. Властивості самого покриття обумовлюються міцністю зчеплення часток у ньому [3]. Зчеплення покриття та основи називають адгезією, а зчеплення часток у покритті – когезією. Межа розділу між шарами (пошарова границя), що отримана за один прохід розпилювача 2, виникає внаслідок неоднакової тривалості витримки між нанесенням часток у шарі та між шарами. За термін витримки пошарового нанесення поверхня раніше нанесеного шару вкривається забрудненням, окислюється і контактні процеси між нею та напиленими частками утруднюються, що і є причиною виникнення межі.



**Рис. 1. Схема структури плазмового покриття:**

1 – межа між поверхнею та основою; 2 – межа між шарами; 3 – межа (контактна поверхня) між частинками в шарі

Це достатньо добре видно на мікрошліфу плазмового покриття (рис. 2).



**Рис. 2. Мікрошліф газоплазмового покриття.**  
(збільшення x1000. Матеріал 85%Cu+10%Mo+2%MoO<sub>3</sub>+1%C+2%Ni)

Структура шару, який формується за один прохід, – неоднорідна і визначається різними розмірами і швидкістю часток, що знаходяться в периферійній та центральній зонах двофазного потоку (складається з часток та газу). Крім того, спостерігається екрануюча дія периферійних часток відносно часток центральної зони, оскільки периферійні частки при руху напилювача першими лягають на поверхню основи. Нерівномірність енергетичного стану часток і їх розмірів може бути знижена різноманітними технологічними заходами [3].

Умови утворення межі між шарами і між частками визначається тривалістю перебування в атмосфері. Залежно від розмірів і конфігурації напиленої контакт-деталі, траєкторії переміщення розпилювача “пауза” між моментами накладання шарів може досягати декількох секунд. А це час на декілька порядків більше часу паузи між взаємодією часток у шарі, що нанесений за один прохід. У період між напилюванням шарів на поверхні покриття відбувається абсорбція газів, окислення і відкладання пилоподібних фракцій розпиленого матеріалу та його оксидів.

Утворення покриття послідовним укладанням багатьох деформованих часток призводить до появи мікропорожнин, в першу чергу в місцях дотику часток. Покриття формується в атмосфері, тому мікропорожнини заповнюються газом, що погіршує властивості меж, особливо пошарових, які мають найбільшу насиченість адсорбованими газами. Внаслідок великої шорсткості покриття і надзвичайно швидкого розтікання та кристалізації часток у зоні контакту з поверхнею раніше нанесених часток залишаються дефекти і порожнини, які утворюються також внаслідок виділення газів, що були розчинені в розплавлених частках. Взаємодія з

атмосферою, адсорбція газів і осідання пилоподібних фракцій погіршує властивості пошарових меж [4].

Структура і властивості покриття залежать від гранулометричного складу напиленого порошку. Зі зменшенням розміру часток порошку поліпшується заповнення покриття – щільність його збільшується, обсяг мікропорожнин зменшується, будова покриття стає більш однорідною. Однак занадто дрібні порошки не придатні для плазмового напилення. Мінімальний розмір часток може бути встановлений з раціональних міркувань. Великі труднощі виникають при спробах транспортування та введення в розпилювач часток розміром 10 мкм і менше. Такі порошки не можуть бути заздалегідь підготовлені і вирівняні за розміром часток звичайними методами підготовки порошоків, оскільки вони не просіюються на ситах. Дрібні порошки комкуються внаслідок вологості і сил молекулярного зчеплення та утворюють конгломерати з декількох часток при подаванні їх потоком транспортуючого газу. В плазмі вони можуть повністю випаровуватися або втратити швидкість, відхилитися від заданої траєкторії і не досягти напиленої поверхні контакт-деталі. Звичайно для напилення рекомендуються порошки з розміром часток 40–70 мкм.

Зчеплення між частками в покритті, а також зчеплення між основою і покриттям (відповідно когезії та адгезії) виникають у результаті дії таких сил: сил механічного зчеплення; слабких невалентних сил взаємодії (типу сил Ван-дер-Ваальса); хімічних сил з'єднання. Сили двох перших типів характеризуються нестабільністю, звичайно мають низький рівень і тому їх не слід брати до уваги при створенні покриттів. Однак при напилюванні на матеріали з сильно розвиненою поверхнею (пориста кераміка тощо) міцність механічного зчеплення покриття з підкладкою може досягати 10–15 МПа [1–2].

Хімічна взаємодія призводить до приварювання часток, яке виникає шляхом утворення осередків захвату в контакт. Чим більше осередків захвату, тим вище міцність зчеплення часток. Приварювання часток відбувається тільки при підігріванні основи до визначеної температури, яку називають температурою хімічної взаємодії. Ця температура відповідає заповненню контактної поверхні під часткою осередками захвату на 50–70 %. При такому заповненні хімічна взаємодія часток з основою відбувається досить глибоко і для їх видалення необхідно прикласти значне зусилля. При температурі підкладки менше температури хімічної взаємодії частки легко відділяються від основи, оскільки хімічна взаємодія не розвивається.

Температура хімічної взаємодії, при якій спостерігається міцне зчеплення, існує практично для всіх комбінацій матеріалів часток і основи: елементів, сплавів, простих і складних речовин. Тому, напилюванням можна наносити покриття з багатьох неорганічних матеріалів, які можуть бути розплавлені. Залежно від конкретної пари матеріалів «покриття – основа» температура підігрівання може бути як в області від'ємних температур (за 100 градусною шкалою), так і досягати 1000°C і більше [3,4].

## **Висновки**

Отримані локальні покриття з різноманітних контактних матеріалів, які характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю методом газоплазмового напилення. Для цього використано достатньо просте в експлуатації електрообладнання.

## **Список літератури**

1. Витязь П.А. Теория и практика газоплазменного напыления / П.А. Витязь, В.С. Иванько. – Минск: Наука и техника, 1993. – 295с.
2. Кулик А.Я. Газотермическое напыление композиционных порошков / Кулик А.Я., Борнов Ю.С., Мидхин А.С. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
3. Радько І.П. Обґрунтування технології відновлення і зміцнення контакт-деталей електричних апаратів методом газоплазмового напилення / І.П. Радько // Науковий вісник НУБіП України . – 2014. – №194, ч2. – С. 90 –93.
4. Радько І.П. Структурні особливості спечених заготовок контакт-деталей композиційних матеріалів на основі срібла / І.П. Радько // Науковий вісник ТФАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.2 – С. 103–107.

## **ОСОБЕННОСТИ ГАЗОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

***И.П. Радько***

*Рассмотрены особенности газоплазменного напыления для возобновления контактных узлов электрических аппаратов.*

***Ключевые слова: газоплазменное напыление, контактные узлы, плазма, электрическая дуга, покрытия***

## **FEATURES FLAME SPRAYING IN RESTORATION CONTACT ASSEMBLIES ELECTRICAL APPLIANCES**

***I. Radko***

*The presented results of researches of technologies of renewal and strengthening of pin details of electric vehicles. Expediency of application of technologies of proceeding in pin details is reasonable by the method of gasplasma evaporation.*

***Keywords: plasma, gas-plasma, evaporation, voltaiarc***