

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОЇ ЗОНИ МЕТАЛОПОКРИТТЯ
ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ**

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

Анотація. Подано результати дослідження перехідної зони напилених контактних матеріалів при відновленні контактних вузлів електричних апаратів.

Ключові слова: контакт, перехідна зона, напилення, покриття, мікроструктура.

Вивчення фізичних процесів, які відбуваються в перехідній зоні з металопокриття при відновленні контактних вузлів електричних апаратів, створює передумову для подальшої боротьби з електричною ерозією, яка є однією з основних причин руйнування електричних апаратів.

Мета досліджень – створення контактних вузлів при їх відновленні, які дадуть змогу продовжити тривалість роботи електричного апарату в цілому й підвищити економічну ефективність його використання.

Матеріали та методика досліджень. Проведені дослідження процесу взаємодії частки з напиленою поверхнею показали, що його можна представити фазами утворення фізичного контакту активації контактних поверхонь із утворенням хімічних міжатомних зв'язків на межі розподілу. Встановлено, що якість та формування покриття обумовлюється міцністю зчеплення покриття з основою, коефіцієнтом використання порошку та пористістю покриття.

Будову перехідної зони між покриттям та основою досліджено ще недостатньо повно, унаслідок великої складності точного вивчення структури граничних ділянок. Через те, що матеріали покриття та основи мають різні властивості, а саме: різну твердість під час шліфування, яка проводиться перед металографічними дослідженнями; на межі переходу утворюється сходинка, яка не дає змоги одночасно проводити травлення покриття та основи; роздільне травлення шліфа повітряної порожнини при вивченні мікроструктури виглядає як канавка. Друга причина полягає в тому, що, здебільшого, товщина шару, утвореного на межі розподілу в результаті взаємодії часток із матеріалом основи, дуже незначна, що не дає змоги провести ґрунтовне дослідження.

З'єднання напиленого покриття з основою здійснюється за рахунок механічного зчеплення часток, що напилюються з виступами та впадинами на поверхні основи, утвореними попередньою обробкою.

Механічне зчеплення посилюється в результаті сплавлення або хімічної взаємодії часток, що напилюються з основою. При вивченні контактної зони між покриттям і основою необхідно також звернути увагу

на ділянки, де з'єднання проходить по тонких плівках окислів, утворених на поверхнях напилених часток та основі.

На міцність зчеплення покриття з основою впливають і фізичні зв'язки, які проявляються у вигляді молекулярних зв'язків. Вони з'являються у випадку, коли матеріал, що напилюється, і матеріал основи мають решітку приблизно однакового розміру. На ділянках основи, поверхня яких має підвищену активність, характер з'єднання визначається дифузійними процесами [1]. Нині такий вид з'єднання для напилених покриттів достатньою мірою не вивчений.

Результати досліджень. На рис. 1 показано характер руйнування покриття з вуглецевої сталі завтовшки 0,5 мм, нанесеного на основу з низьковуглецевої сталі, на якій знаходиться різьба. При визначенні міцності зчеплення руйнування зразка відбулося як по межі між поверхнею основи і напиленими частками, так і по напиленому матеріалу. При напиленні на основу тонкого прошарку молібдену для такого самого покриття з вуглецевої сталі завтовшки 0,5 мм відшарування часток молібдену від основи, після випробувань зразка на міцність зчеплення, не відбувалося (рис. 2). Руйнування покриття проходить у місцях з'єднання зерен молібдену із зернами напиленої вуглецевої сталі.

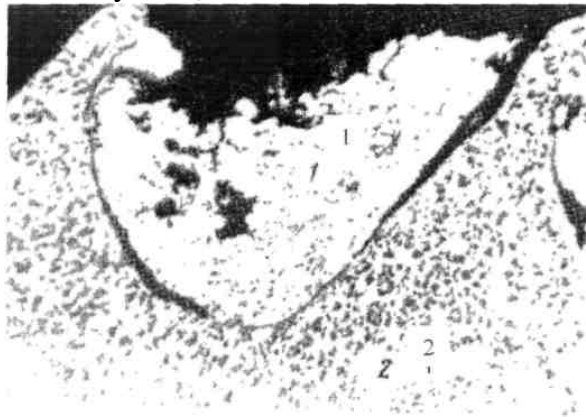


Рис. 1. Руйнування покриття, напиленого на основу з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 60 \times 3/5$)

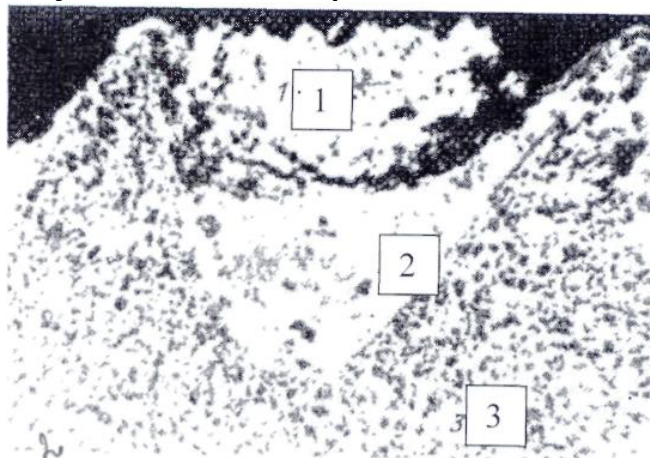


Рис. 2. Руйнування покриття зі сталі, напиленого на основу з низьковуглецевої сталі з молібденовим підшаром (збільшення $\times 60 \times 3/5$):

1 – сталеве покриття; 2 – підшар з молібдену; 3 – основа

Добре зчеплення молібдену з поверхнею сталеві основи пояснюється великим тиском парів його окислів. При русі часток молібдену від зрізу сопла горілки до поверхні основи проходить їх окислення, яке супроводжується інтенсивним випаровуванням оксидів. У результаті розплавлені частки молібдену в момент зіткнення легко розриваються, і чистий молібден, маючи високу температуру, вступає в контакт із поверхнею основи. Відбувається плавлення частинок молібдену з матеріалом основи на деяких ділянках і утворення металевих зв'язків.

На рис. 3 приведено мікроструктуру перехідної зони, в якій відбулося з'єднання напиленого молібдену з металом основи. Молібден наносили дротяним газоплазмовим напиленням (умови напилення: діаметр дроту 2 мм, пальник Mark 33, тиск ацетилен 1,1 кгс/см², тиск кисню 1,6 кгс/см², тиск стисненого повітря 3,2 кгс/см², відстань напилення 150 мм) на основу з низьковуглецевої сталі, поверхня якої була піддана хімічному поліруванню. З рисунку видно, що в зоні покриття з основою утворився проміжний шар. Товщина проміжного шару становить 1 мкм. Згідно з дослідженнями, проміжний шар складається, перш за все, з Fe₃Mo₂ та Re₇Mo₆.

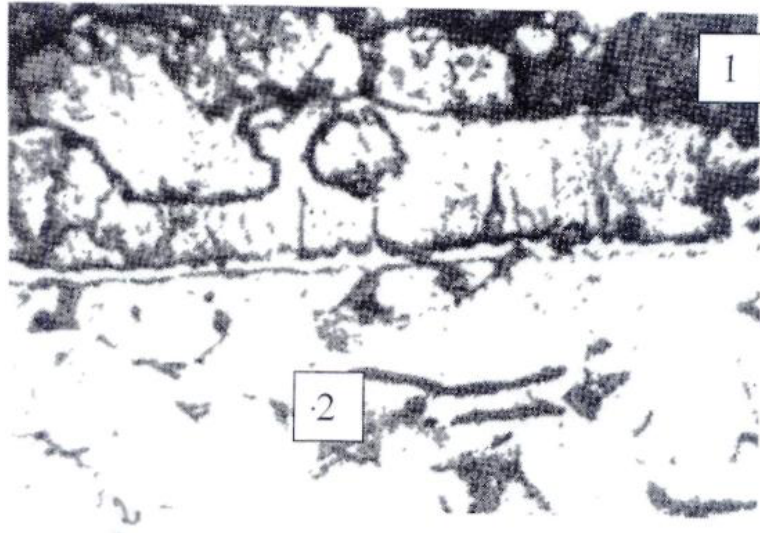


Рис. 3. Мікроструктура перехідної зони молібденового покриття, напиленого на поліровану поверхню основи з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 920 \times 35/5$):

1 – молібденове покриття; 2 – низьковуглецева сталь

На рис. 4 представлено електронну мікрофотографію молібденового покриття, нанесеного плазмовим напиленням на основу з низьковуглецевої сталі. Ділянки проплавлення показані стрілками.

Якщо проводити плазмове напилення вольфраму на попередньо нагріту до 1120–1480 °С вольфрамову пластину в середовищі особливо чистого азоту, можна отримати покриття, сплавлене з основою. За температури попереднього підігріву вище, ніж 1200 °С, між вольфрамовим покриттям та вольфрамовою основою утворюється зона твердого розчину. На рис. 5 показано структуру перехідної зони між вольфрамовою основою і покриттям.

Молібденове покриття має дуже добре з'єднання з основою, якою є алюміній. Однак з міддю та мідними сплавами міцність зчеплення його

низька. При напиленні молібдену на мідь через його високу теплопровідність відбувається швидке охолодження часток молібдену в момент зіткнення з основою і розплавлений перехідний шар не утворюється [2].

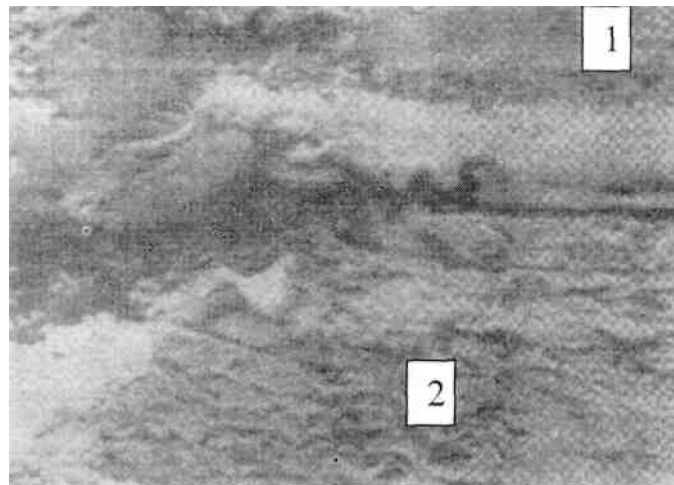


Рис. 4. Електронна мікрофотографія проміжного шару між молібденовим покриттям і основою з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 7500 \times 3/5$):
1 – молібденове покриття; 2 – низьковуглецеве покриття

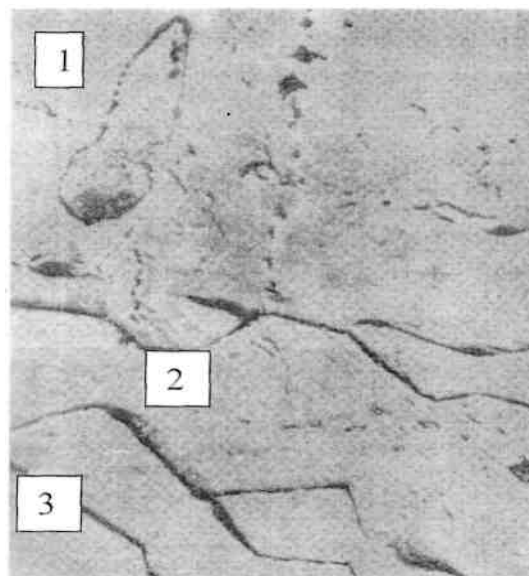


Рис. 5. Електронна мікрофотографія вольфрамового покриття, напиленого на попередньо підготовлену основу з вольфраму (збільшення $\times 10000 \times 3/5$):
1 – напилене покриття; 2 – поверхня основи; 3 – основа

Висновки

Дослідження перехідної зони між покриттям та основою дає змогу зробити висновок, що з'єднання напиленого покриття з основою здійснюється за рахунок механічного зчеплення порошку, що напилюється, з нерівностями на поверхні основи, утвореними попередньою. Воно посилюється в результаті сплавлення або хімічної взаємодії часток, що напилюються.

Список літератури

1. Витязь П. А. Теория и практика газоплазменного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко. – Минск : Наука, 1993. – 285 с.
2. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 196 с.
3. Радько І. П. Формування покриття композиційних контакт-деталей та дослідження на міцність зчеплення в процесі напылення / І. П. Радько // Праці ТДАУ. – 2013. – Вип. 13, т. 4. – С. 44–52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И. П. Радько

Аннотация. Представлены результаты исследования переходной зоны напыленных контактных материалов в результате восстановления контактных узлов электрических аппаратов.

Ключевые слова: контакт, переходная зона, напыление, покрытие, микроструктура.

STUDY OF TRANSITION ZONE METAL PLATING IN RECOVERY CONTACT ASSEMBLIES OF ELECTRICAL APPLIANCES

I. Radko

Annotation. The research results of the transition zone of sprayed contact materials in the recovery of contact nodes of electrical apparatus are presented.

Key words: contact, transition zone, spraying, recovery, microstructure.

УДК 631.362.3:631.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ НАСІННЯ У КВАЗІ-СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ПРИ ОПТИЧНІЙ СТИМУЛЯЦІЇ

*О. І. Романенко, асистент
Л. С. Червінський, доктор технічних наук
e-mail: lchervinsky@gmail.com*

Анотація. Обґрунтовано параметри повітряного каналу і режими роботи пневмозмішувача. Розроблено математичну модель процесу перемішування насіння під час його передпосівної обробки.

Ключові слова: аеродинамічні параметри, режим роботи, процес опромінювання, насіння.