

УДК 621.762

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕРОЗІЇ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ КОНТАКТ – ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ СРІБЛА І МІДІ

*А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук*

*e-mail: [nni.elektrik@gmail.com](mailto:nni.elektrik@gmail.com)*

**Анотація.** *Проведено дослідження і отримано закономірності зміни електричної ерозії на контакт – деталях реле типу РПЛ – 2204, виготовлених із композиційного матеріалу на основі срібла та міді залежно від структури матеріалу, його фізико – механічних властивостей та фазових складових у приповерхневому шарі робочої поверхні контакт-деталі.*

**Ключові слова:** *електрична ерозія, робоча поверхня, анод, катод, масоперенос, електрична дуга*

Електрична ерозія металів описана в багатьох працях відомих науковців [1–5], а саме її механізм, форми прояву, вплив властивостей матеріалів контактів на величину електричної ерозії. Неодноразово розглядається стійкість контактних деталей до ерозії. Але потреба у підвищенні електроерозійної стійкості нових композиційних матеріалів актуальна і нині.

**Мета досліджень** – визначення механізму масопереносу і закономірностей ерозійного руйнування дослідних зразків композиційних контактних матеріалів на основі срібла і міді за результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

**Матеріали та методика досліджень.** Основною проблемою комутаційних апаратів напругою до 1000 Вт є контакт-деталі на основі різних композиційних матеріалів.

Використовуючи відомі і розроблені детерміновані та імовірнісні математичні та фізичні моделі контакт-деталей комутаційних апаратів були

встановлені закономірностей зміни контрольованих параметрів електричної ерозії контакт-деталей.

Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводились на спеціальному стенді з використанням кліматичної камери.

Аналіз теплових процесів на контакт-деталях проводився методом розв'язування нелінійної задачі теплопровідності напівнескінченного тіла з урахуванням витрат енергії.

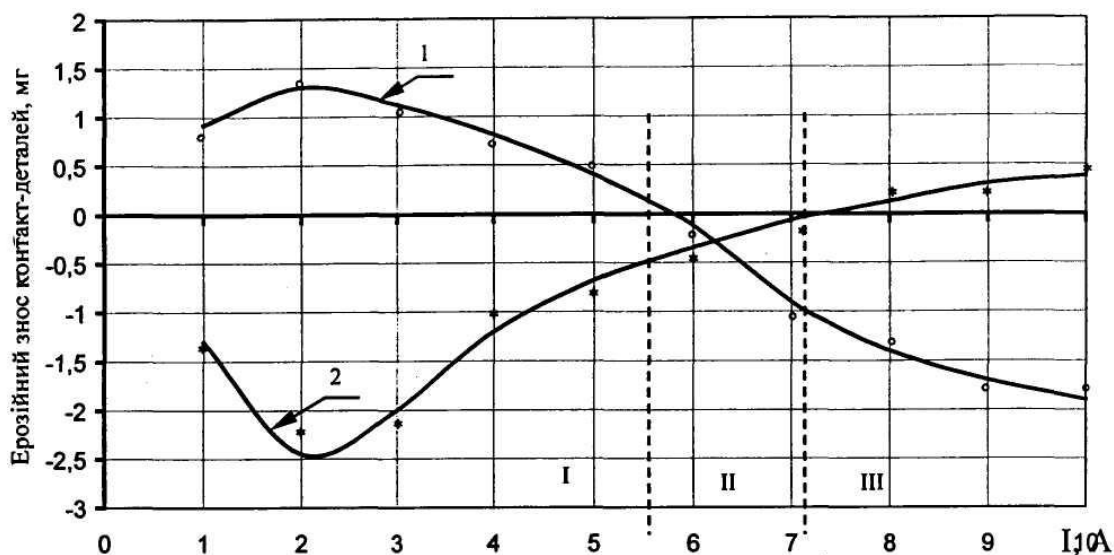
Випробування проводилось на дослідних зразках контакт-деталей реле типу РПЛ-2204 виробництва ВАТ НВО "ЕТАЛ", Україна. Дослідження проводилося в інтервалі величин 1-10 А постійного струму за активно – індуктивного навантаження.

**Результати досліджень.** *Дослідження електричної ерозії контакт-деталей на основі срібла.* Дослідні контакти-деталі виготовляються методами порошкової металургії на основі срібла при введенні оксидної добавки  $Y_2O_3$  у кількості 1 мас. % та тугоплавкого металу Zr в кількості 3 мас. %.

Результати ерозійних випробувань наведені на рис. 1. Залежність електричної ерозії катоду і аноду для різних значень струму носить нелінійний характер.

Ерозія контакт-деталей в значній мірі визначається тепловими процесами, які протікають при взаємодії контакт-деталей з дугою, тому зміна електричних параметрів, у тому числі комутуючого струму, має суттєвий вплив на процеси масопереносу.

За струму 2 А відбувається масоперенос з катоду на анод внаслідок енергії позитивних іонів газів і парів металів, яка передається робочій поверхні катоду. При цьому матеріал катоду плавиться, випаровується і конденсується на поверхні більш холодного аноду, оскільки енергія електронів набагато нижча енергії позитивних іонів.



**Рис. 1. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму за  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій (матеріал 95 % Ag+4 % Zr+1 %  $Y_2O_3$ ):**

1 – анод; 2 – катод

При збільшенні струму понад 2 А зміна маси катоду зменшується. Це пояснюється тим, що збільшується емісія електронів з катоду, останні розігрівають матеріал аноду, пари якого частково осідають на поверхні катоду і тим самим нівелюють масоперенос з катоду.

Збільшення емісії електронів досягається за рахунок введення оксиду ітрію  $Y_2O_3$  в матеріал катоду. Робота виходу електрону оксиду ітрію складає 2 еВ, що в вдвічі нижче, ніж в срібла (4 еВ). Ерозійний знос досягає свого мінімального значення при струмах 5,5-6,5 А. Подальше збільшення струму до 10 А призводить до збільшення ерозійного зносу, але при зміні напрямку масопереносу з аноду на катод.

Результати випробування за зміни струму від 2 до 10 А дозволили визначити зону інверсії, яка знаходиться в діапазоні струмового навантаження 5,5-6,5 А.

В умовах більш потужної дуги (7 А і вище) проявляються глибинні ефекти під дією швидких електронів, створюються локальні осередки

перегрівання матеріалу аноду, який плавиться і випаровується та частково осідає на поверхні катоду.

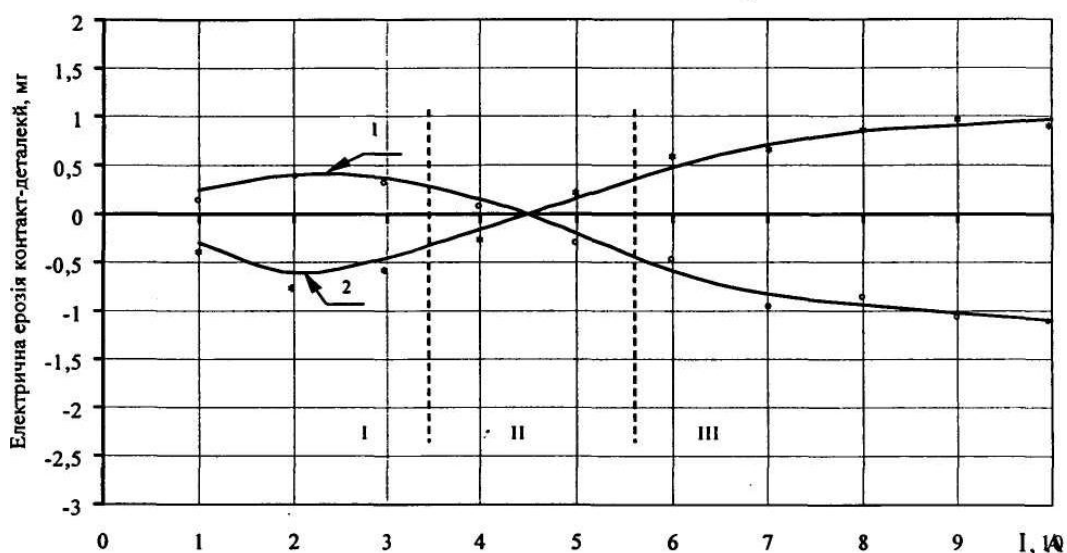
Введення цирконію в композиційний матеріал дисперсно зміцнює срібну матрицю, оскільки його твердість (НВ=150) в шість разів перевищує твердість срібла (НВ=25). Також цирконій поглинає кисень із розплавленого срібла, розчинність якого складає біля 20 об'ємів розплаву. При зниженні температури кисень, який виділяється бурхливо із розплаву, поглинається цирконієм, а це зменшує розбризування рідкого срібла, що відбувається при цьому процесі.

Дані досліджень показують, що введенням додатково в срібну матрицю важкорозчинних фаз типу оксидів та тугоплавких металів дозволяє регулювати масоперенос на контакт-деталях та підвищувати електроерозійну стійкість у цілому.

Так, введення в дослідний матеріал додатково 2 мас % С (графіту) і 1 мас % СаО (оксиду кальцію) дозволило підвищити електроерозійну стійкість контакт-деталей у цілому і створити інверсійну зону за струму 4,5 А, що нижче на 1 А від інверсійної зони попереднього матеріалу (рис 2). Введення СаО дозволило значно збільшити емісію електронів з катоду за рахунок низького коефіцієнту роботи виходу електрону (1,8 еВ) порівняно зі сріблом (4 еВ) та оксиду ітрію (2 еВ). Також оксид кальцію дисперсно зміцнює срібну матрицю за рахунок високої твердості (НВ=686), що в 24 рази перевищує твердість срібла.

Введення графіту в контактний матеріал дозволило підвищити стійкість до зварювання внаслідок невисокого механічного зчеплення частинок графіту і срібла. Це досягається великою різницею між густиною срібла ( $\gamma=10,5 \text{ г/см}^3$ ) і графіту ( $\gamma=1,8 \text{ г/см}^3$ ). Також графіт взаємодіє з оксидом ітрію при температурі 1800 °С, утворюючи карбід ітрію за хімічними взаємодіями:





**Рис. 2. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму за  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій (матеріал 92,8 % Ag+3,5 % Zr+2 % C+1 % CaO+0,7 % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):**

1 – анод; 2 – катод

Вуглекислий газ CO<sub>2</sub> та оксид вуглецю видують електричну дугу з робочої поверхні та скорочують час її горіння за рахунок забирання кисню з дуги, що підвищує електроерозійну стійкість контакт-деталі.

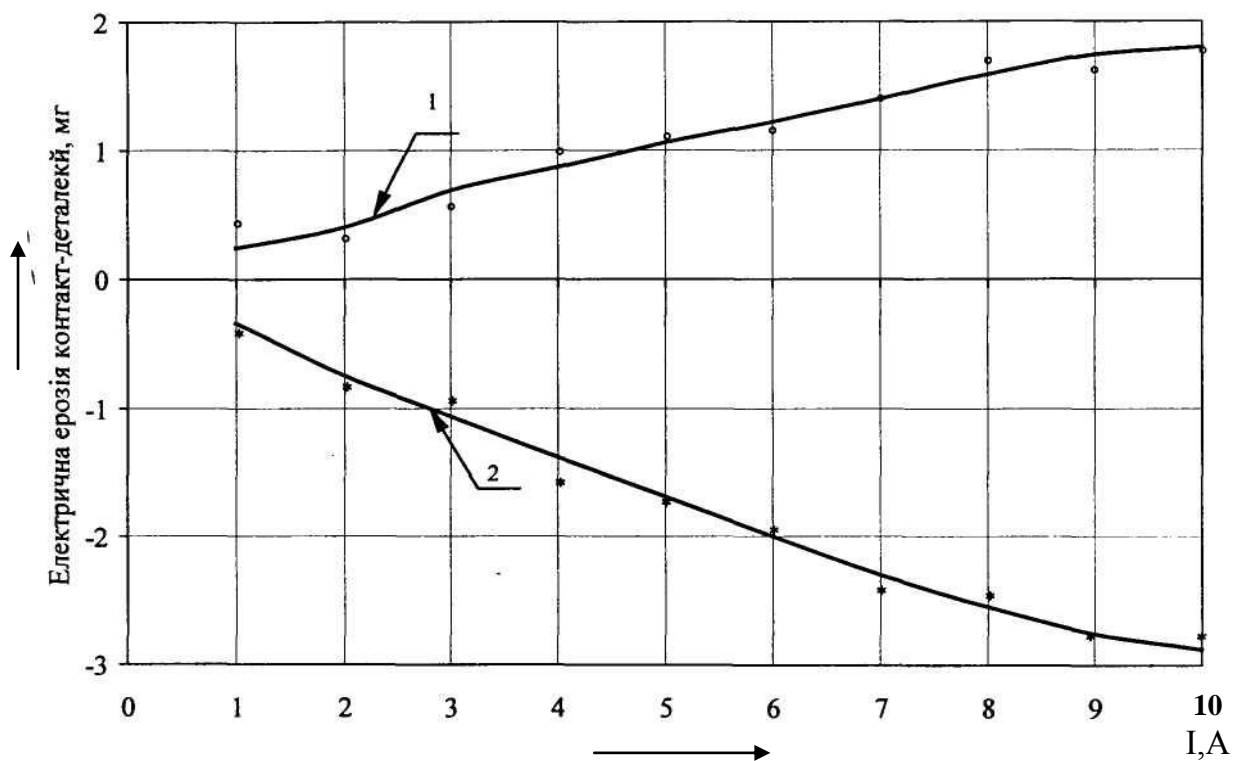
На границях Ag і CaO, Ag і Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag і C створюються автоемісійні центри, на яких закріплюється електрична дуга при комутації струму, що знижує електричну ерозію контакт-деталей.

В зоні струмів 8-10 А ерозія аноду стабілізується і мало залежить від підвищення струму.

Це досягається за рахунок міграції дуги робочою поверхнею контакт-деталей та фізико-механічних властивостей інгредієнтів композиційного контактного матеріалу.

*Дослідження електричної ерозії контакт-деталей на основі міді.* Композиційний контактний матеріал матричної будови на основі міді виготовляється методами порошкової металургії за таких значень інгредієнтів: 84 мас % Cu+12 мас % Mo+2 мас % MoO<sub>3</sub>+1 мас % C+1 мас % Ni.

Проведені випробування цього матеріалу на комутаційну зносостійкість показують, що закон електроерозійного зношування контакт-деталей лінійний, тобто такий, як у серійного матеріалу СрН-10 (рис. 3). Починаючи з сили струму 8 А, коефіцієнт інтенсивності електроерозійного зношування дослідного матеріалу дещо знижується порівняно з серійним. Це досягається за рахунок утворення молібдатів міді  $\text{Cu}_6\text{Mo}_4\text{O}_{15}$  та  $\text{Cu}_2\text{MoO}_5$  в поверхневих шарах під дією електричної дуги. Поглинання тепла на фазових переходах в системі  $\text{Cu-Mo-MoO}_3$  та створення молібдатів під опорною плямою дуги призводить до зниження енергії, що підвищує електроерозійну стійкість матеріалу.



**Рис. 3. Залежність електричної ерозії дослідних контакт-деталей від величини комутуючого струму за  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій (матеріал 84 %  $\text{Cu} + 12\% \text{Mo} + 2\% \text{MoO}_3 + 1\% \text{C} + 1\% \text{Ni}$ ):**

1 – анод; 2 – катод

За струмового навантаження 8-10 А знижується час горіння електричної дуги за рахунок утворення відновлюваних газів  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , які утворюються при

взаємодії графіту та кисню під дією енергії електричної дуги. Відновлювальні гази, які забирають кисень із стовпа електричної дуги, видувають дугу із робочої поверхні як за рахунок збільшення об'єму в дузі, так і бурхливого їх виділення із дуги. Введення в матеріал триоксиду молібдену скорочує час горіння дуги, оскільки його потенціал іонізації ( $\varphi = 27,13$  eВ) перевищує майже в 3,5 рази потенціал іонізації міді ( $\varphi = 7,7$  eВ) та молібдену ( $\varphi = 7,3$  eВ), що призводить до підвищення електроерозійної стійкості контакт-деталі. Утворення карбідів молібдену  $\text{Mo}_2\text{C}$  значно зміцнює матрицю на основі міді, оскільки твердість  $\text{Mo}_2\text{C}$  складає  $\text{HV}=1480$ , а міді -  $\text{HV}=35$ .

### **Висновки**

Оцінка електроерозійної стійкості та надійності контактування нових матеріалів здійснювалась шляхом обґрунтування вмісту інгредієнтів з необхідними фізико-механічними властивостями та дослідження тривалості горіння дуги і закономірностей зміни мікроструктури. Електроерозійна стійкість нових композиційних матеріалів на основі срібла перевищує стійкість серійних матеріалів у 2,2–2,7 рази.

Введенням додатково в срібну матрицю важкорозчинних фаз типу оксидів та тугоплавких металів дозволяє регулювати масоперенос на контакт-деталях та підвищувати електроерозійну стійкість у цілому.

Введення графіту в контактний матеріал дозволило підвищити стійкість до зварювання внаслідок невисокого механічного зчеплення частинок графіту та срібла.

### **Список літератури**

1. Бурштинський М.В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги / Бурштинський М.В., Копчак Л.С., Хай М.В. – Львів: Вища школа, 2007. – 182 с.
2. Егоров Е.Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов / Е.Г. Егоров. – Чебоксары: Колос, 2000. – 447 с.

3. Мерл В. Электрический контакт. Теория и применение на практике / В. Мерл. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1969. – 79 с.

4. Усов В.В. Металловедение электрических контактов / В.В. Усов. – М.–Л.: Энергоиздат, 1963. – 203 с.

5. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 464 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ КОНТАКТ - ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА И МЕДИ**

*А.М. Мрачковский*

**Аннотация.** *Проведено исследование и получено закономерности изменения электрической эрозии на контакт - деталях реле типа РПЛ - 2204, изготовленных из композиционного материала на основе серебра и меди в зависимости от структуры материала, его физико - механических свойств и фазовых составляющих в приповерхностном слое рабочей поверхности контакт-детали.*

**Ключевые слова:** *электрическая эрозия, рабочая поверхность, анод, катод, массоперенос, электрическая дуга*

## **INVESTIGATION OF EROSION PROTOTYPES ELECTRICAL CONTACT - DETAILS ON THE BASIS SILVER AND COPPER**

*A. Mrachkovsky*

**Annotation.** *Research and received electric erosion patterns of change on contact - detail relay type HRC - 2204, made from composite material based on silver and copper, depending on the structure of the material, its physical - mechanical properties and phase components in the surface layer of the working surface contact details.*

**Key words:** *electric erosion work surface, anode, cathode, mass transfer, arc*