

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕРОЗІЇ ПОВЕРХОНЬ  
РІЗНИХ КОНТАКТНИХ ПАР  
НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ**

***А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук  
e-mail: amrachkovskiy@mail.ru***

**Анотація.** Проаналізовано залежність величини ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутованого струму для контактних пар, виготовлених із однойменних і різнойменних матеріалів.

**Ключові слова:** *срібло, нікель, псевдосплав, ерозійний знос, робоча поверхня, катод, анод, мостиковий перенос, електронно-мікроскопічне дослідження*

Вивчення фізичних процесів, що відбуваються на робочих поверхнях електричних контактів у процесі експлуатації, створює реальні передумови для майбутньої боротьби з ерозійним зносом, зварюванням та обгоранням контактів.

Одним із найбільш розповсюджених електроконтактних матеріалів є срібло-нікелевий СН – 30 (Ag – 70%, Ni – 30%) псевдосплав, який характеризується універсальним застосуванням.

У цьому матеріалі вдало сполучені фізичні властивості контактів, практично відсутня взаємодія інгредієнтів як у твердому, так і в рідкому стані в широкому інтервалі температур і концентрацій. Невелика взаємна розчинність компонентів за температури формування виробів (800–1000 °С) зі зниженням температури зменшується і відбувається випадання часток нікелю й срібла з їхніх взаємних розчинів, що істотно подрібнює зерно та зміцнює матеріал.

Подрібнювання зерна сприяє призупиненню процесу рекристалізації як при виготовленні контактного матеріалу, так і при комутації електричного струму. Крім величини зерна, на ерозійний знос істотно впливає характер розподілу фазових складових.

**Мета досліджень** – аналіз фізичних процесів на робочих поверхнях комутаційних апаратів.

**Матеріали та методика досліджень.** Електроконтактні матеріали на основі срібла, що містять 30 % нікелю, отримували методом прокатки спечених заготовок.

Даний матеріал мав орієнтовану структуру: нікелеві частки витягувалися паралельно напрямку прокатки, забезпечуючи анізотропність фізичних характеристик.

Зразки на ерозійний знос випробовувалися за постійного струму 10 А, напруги 13 В, контактного натиску 1 Н, навантаження кола омичне,

загальна кількість циклів комутації  $50 \cdot 10^3$ . Для порівняння в таких умовах випробовували контакти з чистого срібла. Структуру поверхні контактних матеріалів вивчали за допомогою електронного мікроскопа JEM – 6 А за методом двоступінчастих пластико-вугільних реплік, попередньо відтінених хромом.

**Результати досліджень.** Залежність величини ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутуваного струму 10 А для контактних пар, виготовлених із однойменних і різнойменних матеріалів, наведено в таблиці. Випробовували контактні пари з чистого срібла, срібло-нікелевого псевдосплаву й різнорідної пари срібло ÷ срібло – нікелевий псевдосплав, у якому матеріали служили поперемінно анодом і катодом.

З отриманих результатів видно, що для всіх матеріалів відбувається перенос із катоду на анод. Зі збільшенням комутуючого струму й кількості спрацювань, ерозійний знос усіх контактних пар збільшується.

### **Залежність величини ерозійного зносу (мг) пар електродів від кількості спрацювань за сили струму 10 А**

| Кількість спрацювань $\times 10^3$ | Матеріал контактних пар |       |       |       |      |       |       |       |
|------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|                                    | Ag                      |       | CH-30 |       | Ag   |       | CH-30 |       |
|                                    | Анод                    | Катод | Анод  | Катод | Анод | Катод | Анод  | Катод |
| 10                                 | 0,5                     | -0,75 | 0,28  | -0,3  | 0,19 | -0,21 | 0,39  | -0,8  |
| 20                                 | 1,06                    | -1,3  | 0,62  | -0,64 | 0,32 | -0,4  | 1,01  | -1,81 |
| 30                                 | 1,34                    | -1,8  | 0,86  | -0,89 | 0,53 | -0,64 | 1,49  | -2,32 |
| 40                                 | 1,79                    | -2,5  | 1,18  | -1,2  | 0,76 | -0,79 | 1,98  | -3,19 |
| 50                                 | 2,35                    | -3,0  | 1,3   | -1,4  | 0,9  | -0,98 | 2,8   | -3,8  |

Стійкість срібло-нікелевих контактів приблизно вдвічі вища, ніж у контактів із чистого срібла. Контактні пари, виготовлені з різнорідних матеріалів, мають ще більшу ерозійну стійкість.

Найкращі результати отримані при випробуванні контактної пари, анодом якої є чисте срібло, а катодом срібло-нікелевий псевдосплав, тобто в цьому матеріалі здійснений основний принцип побудови контактних пар: матеріал, з якого виготовлений катод, має гетерогенну структуру, а матеріал аноду характеризується більш високими тепло- та електропровідністю, що забезпечує підвищення зносостійкості.

Для гетерогенних матеріалів встановлена закономірність закріплення дугового каналу в районі границь структурних складових, де полегшуються умови виникнення автоемісійних центрів. При переміщенні дуги поверхнею електродів відбувається дисипація енергії дуги й зменшення кількості теплової енергії, що поглинається контактами. Знання закономірностей фіксації дугового каналу дає змогу цілеспрямовано варіювати структуру контактних матеріалів для отримання більш високих ерозійних характеристик.

Електронно-мікроскопічне дослідження структурних змін, що відбуваються на робочих поверхнях контактів, дозволило безпосередньо

простежити за результатами впливу дуги на окремі структурні складові. Серед них варто відзначити: місця контактної зони і зони локальної термічної дії, ділянки термічного й механічного руйнування, зони плавлення, розбризкування та затвердіння рідкої фази, ділянки осаду кристалів срібла, ділянки інтенсивної ерозії границь зерен і поверхні матеріалу, зони появи мікротріщин, ділянки інтенсивного випаровування й викидання матеріалів, ділянки структури, яка утворилася в результаті викидання зерен.

У процесі роботи електричного контакту відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкої складової з робочої поверхні катоду, в результаті чого формується дискретна, горбиста поверхня, ступінь шорсткуватості якої залежить від величини зерна нікелевої складової псевдосплаву.

Робоча поверхня катоду, виготовленого з крупнозернистого псевдосплаву, характеризується високою хвилястістю, появою окремих великих горбів, у поглибленнях структури розміщені яскраві, світлі включення, які за даними рентгеноспектрального аналізу являють собою чисте срібло. Хімічний аналіз приповерхневого шару показав, що вміст нікелю на робочій поверхні збільшується від 30 до 40 мас %, що свідчить про першочергове випаровування срібла з композиції в процесі комутації електричного струму.

Детальне дослідження робочої поверхні контакту дало змогу встановити, що в результаті дії дуги плавиться не тільки легкоплавка складова композиції – срібло, а також і зерна нікелевого каркасу, що підтверджується появою характерних ступенів затвердіння по краях нікелевих зерен. Застиглі зерна нікелю мають форму конуса або купола, характерну для мостикового переносу. На вершинах деяких нікелевих утворюються ділянки відриву, що свідчать про руйнування матеріалу після залипання контактів. Робоча поверхня катоду, виготовленого з дрібнодисперсного псевдосплаву СН – 30 зношується в процесі комутації більш рівномірно порівняно зі сріблом. Робоча поверхня аноду в процесі комутації зношується ще більш рівномірно порівняно з катодом. Незалежно від розміру зерен нікелевого каркасу катоду, структура поверхні аноду складається з частинок дрібнодисперсного срібла, перенесеного з катоду через рідку чи газоподібну фазу.

### **Висновки**

1. Досліджено ерозійну стійкість контактів на основі срібла в однорідних і різнорідних контактних парах при комутації постійного струму 10 А та за напруги 13 В.

2. Встановлено, що зносостійкість різнорідних контактних пар (анод – Ag, катод – СН - 30) в 2,5...3 рази вища за срібні і в 1,5 рази вища, ніж срібло-нікелевого сплаву.

3. Робоча поверхня катоду, виготовленого з дрібнодисперсного псевдосплаву СН – 30 зношується в процесі комутації більш рівномірно порівняно зі сріблом.

### Список літератури

1. Бейлис И. И. Исследование эрозии металлокерамических контактов на основе серебра и никеля при коммутации малых токов. Электрические контакты / И. И. Бейлис, Г. Н. Братерская, В. Н. Раховский, О. К. Теодорович. – М., 1987. – С. 179–187.
2. Белкин Г. С. Исследование электрической эрозии металлокерамических аппаратов / Г. С. Белкин, М. Е. Данилов // Электричество. – 1972. – № 2. – С. 12–18.
3. Намитоков К. К. Электроэрозионные явления / К. К. Намитоков. – М. : Энергия, 1978. – 456 с.
4. Намитоков К. К. Расчет электрического сопротивления многоточечного контакта / К. К. Намитоков, В. Б. Красовицкий // Научно-технический реферативный сборник «Электрофизические и электрохимические методы обработки». – 1973. – Вып. 8. – С. 4–7.
5. Омельченко В. Т. Тепловая теория мостиковой эрозии контактов : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук / В. Т. Омельченко. – Х., 1966 (ХПИ).
6. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1961. – 464 с.
7. Unger G. Verharrungszeit der Fusspunkte von Gleichstromschaltlichtbogen und Abbrand bei verschiedenen Kontaktwerkstoffen. – “ETZ-A”. – 1967. – Bd 99, № 12. – S. 33–39.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНТАКТНЫХ ПАР НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

*А. Н. Мрачковский*

**Аннотация.** Проанализирована зависимость величины эрозионного износа контактных материалов от количества срабатываний и величины коммутируемого тока для контактных пар, изготовленных из одноименных и разноименных материалов.

**Ключевые слова:** серебро, никель, псевдосплав, эрозионный износ, рабочая поверхность, катод, анод, мостиков перенос, электронно-микроскопическое исследование

## STUDY OF ELECTRICAL EROSION SURFACES OF DIFFERENT CONTACT PAIRS VOLTAGE SWITCHGEAR

*A. Mrachkovsky*

**Annotation.** The dependence of the value erosion wear contact materials on the number and size of dial-up positives for current contact pairs made of the same names and dissimilar materials.

**Key words:** silver, nickel, pseudo alloy, erosive wear, work surface, cathode, anode, bridged transfer, electronic- microscopic research