

керамических контакт-деталей на основе меди с добавками металлов и других термодинамически устойчивых соединений. Проведен металлографический анализ контактных поверхностей, который способствовал выявлению закономерностей эрозионного разрушения разрывных мостиковых контактов на основе Ag и Cu. Контакт-детали из исследованных контактных материалов прошли производственные испытания в реальных условиях сельского хозяйства.

Электромагнитный пускатель, коммутационные испытания, контакт-деталь, контактный материал, металлографический анализ, морфология.

The results of research a stability of wear and erosion of a surface contacting of serial contacts - details of electromagnetic starters PML-1100O4 are given on the basis of silver CpH-90, CpM-0,2+M1 and metalceramic of contacts - details on a basis copper with the additives of metals and others of thermodynamics steady connections. Is carried spent the metalgraphic analysis of contact surfaces, which promoted revealing of laws of erosive destruction explosive bride of contacts on a basis Ag and Cu. The contacts - detail from the investigated contact materials were subjected to industrial tests in real conditions of an agriculture.

Electromagnetic starter, switching tests, contact-details, contact material, metal-graphic analysis, morphology.

УДК 621.762

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

А.М. Мрачковський, кандидат технічних наук

Проведено дослідження та 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.

Електрична ерозія, робоча поверхня, анод, катод, масоперенос, електрична дуга.

Мета досліджень – визначення механізму масопереносу і закономірностей ерозійного руйнування дослідних зразків композиційних контактних матеріалів на основі срібла і міді, використовуючи результати теоретичних та експериментальних досліджень.

Випробування проводилось на дослідних зразках контакт-деталей реле типу РПЛ-2204 виробництва ВАТ НВО "ЕТАЛ" (Україна) в інтервалі

© А.М.Мрачковський, 2012

величин 1–10 А постійного струму при активно – індуктивному навантаженні.

Матеріали та методика досліджень. Для встановлення закономірностей зміни контрольованих параметрів електричної ерозії контакт-деталей використовувались відомі і розроблені детерміновані та імовірнісні математичні й фізичні моделі контакт-деталей комутаційних апаратів.

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.

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 в кількості 1 мас. % та тугоплавкого металу Zr в кількості 3 мас. %.

Результати ерозійних випробувань наведені на рис. 1. Як видно з рисунка залежність електричної ерозії катода та анода для різних значень струму носить нелінійний характер.

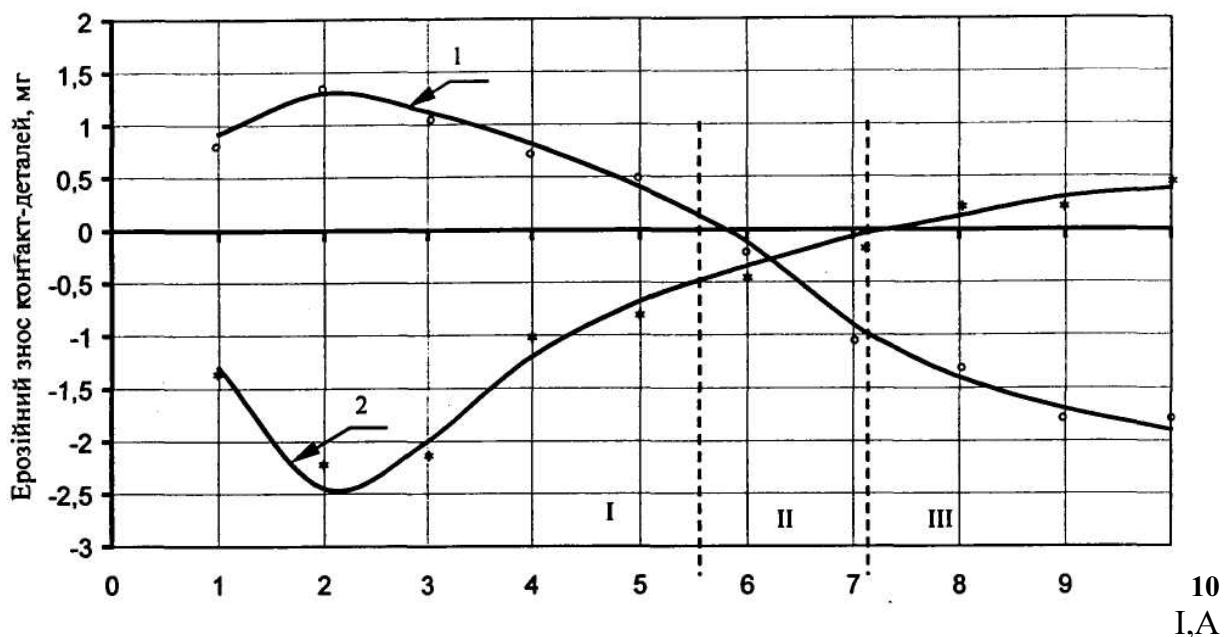


Рис.1. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму:

1 – анод; 2 – катод ($n=5 \cdot 10^4$ циклів комутацій;
матеріал 95%Ag+4%Zr+2%C+1% Y_2O_3 .)

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, сильно впливає на процеси масопереносу.

При струмі 2 А відбувається масоперенос з катода на анод внаслідок енергії позитивних іонів газів і парів металів, яка передається робочій поверхні катода. При цьому матеріал катода плавиться, випа-

ровується і конденсується на поверхні більш холодного анода, оскільки енергія електронів набагато нижча енергії позитивних іонів.

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

Збільшення емісії електронів досягається за рахунок введення оксиду ітрію Y_2O_3 у матеріал катода, оскільки робота виходу електрона оксиду ітрію становить 2 еВ, що вдвічі нижче, ніж у 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 анода на катод.

Результати випробування при зміні 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 анода, який плавиться і випаровується та частково осідає на поверхню катода.

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 становить близько 20 об'ємів розплаву. При зниженні температури кисень, який виділяється бурхливо із розплаву, поглинається цирконієм, а це зменшує розбризкування рідкого срібла, що відбувається при цьому процесі.

Дані досліджень показують, що введенням у 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 при струмі 4,5 А, що нижче на 1 А від інверсійної зони попереднього матеріалу (рис 2). Введення СаО дозволило значно збільшити емісію електронів з катода за рахунок низького коефіцієнта роботи виходу електрона (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.

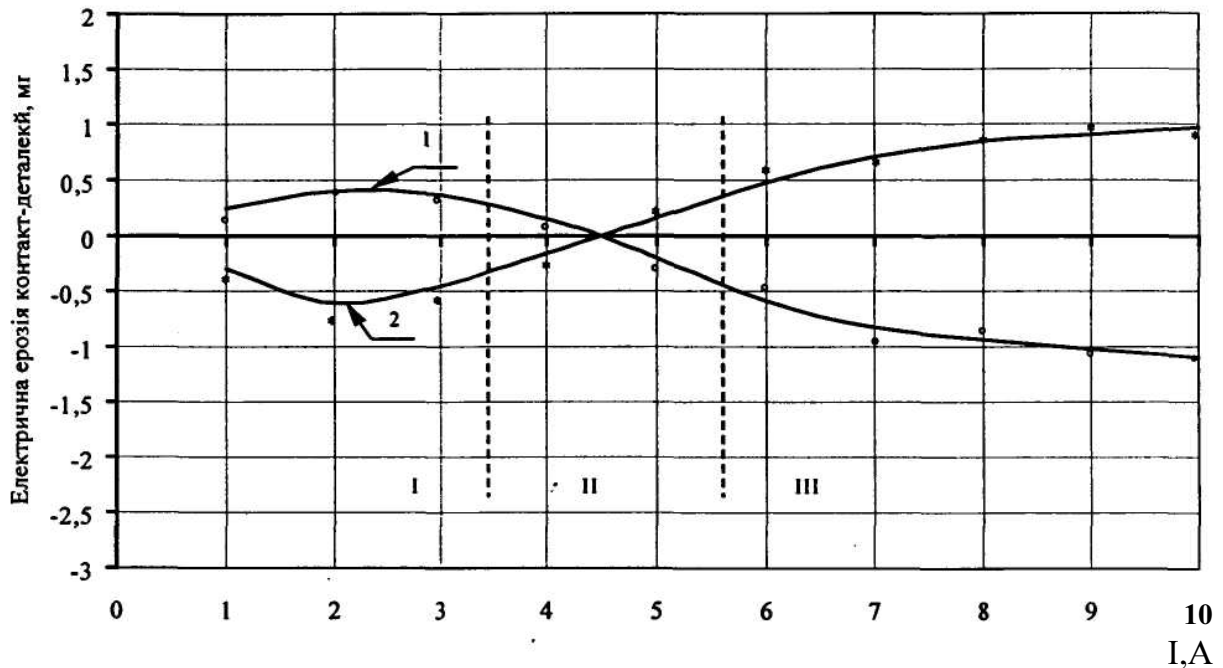


Рис. 2. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму:

1 – анод; 2 – катод ($n=5 \cdot 10^4$ циклів комутації;
матеріал 2,8%Ag+3,5%Zr+2%C+1%CaO+0,7%Y₂O₃.)

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, при згаданих хімічних взаємодіях:



Вуглекислий газ CO₂ 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 Y₂O₃, Ag і C створюються автоемісійні центри, на яких закріплюється електрична дуга при комутації струму, що знижує електричну ерозію контакт-деталей.

У зоні струмів 8–10 А ерозія анода стабілізується і мало залежить від підвищення струму.

Це досягається за рахунок міграції дуги по робочій поверхні 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 при таких значеннях інгредієнтів: 84 мас%Cu+12мас%Mo+2мас%MoO₃+1мас%С+1%Ni.

Проведені випробування цього матеріалу на комутаційну зносостійкість показують, що закон електроерозійного зношування контакт-деталей лінійний (рис. 3), тобто такий як у серійного матеріалу CrH-10 (див. рис. 3, крива 2). Починаючи з сили струму 8 А коефіцієнт інтенсивності електроерозійного зношування дослідного матеріалу дещо знижується порівняно з серійним. Це досягається за рахунок утворення молібдатів міді Cu₆Mo₄O₁₅ та Cu₂MoO₅ в поверхневих шарах під дією електричної дуги. Поглинання тепла по фазових переходах у системі Cu-Mo-MoO₃ та створення молібдатів під опорною плямою дуги призводить до зниження енергії, що підвищує електроерозійну стійкість матеріалу.

При струмовому навантаженні 8–10 А знижується час горіння електричної дуги за рахунок утворення відновлюваних газів СО, СО₂ при взаємодії графіту та кисню під дією енергії електричної дуги. Відновлювальні газу, які забирають кисень із стовпа електричної дуги, видувують 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 ($\varphi = 27,13$ еВ) перевищує майже в 3,5 раза потенціал іонізації міді ($\varphi = 7,7$ еВ) та молібдену ($\varphi = 7,3$ еВ), що призводить до підвищення електроерозійної стійкості контакт-деталі. Утворення карбідів молібдену Mo₂C значно зміцнює матрицю на основі міді, оскільки твердість Mo₂C становить НВ=1480, а міді – НВ=35.

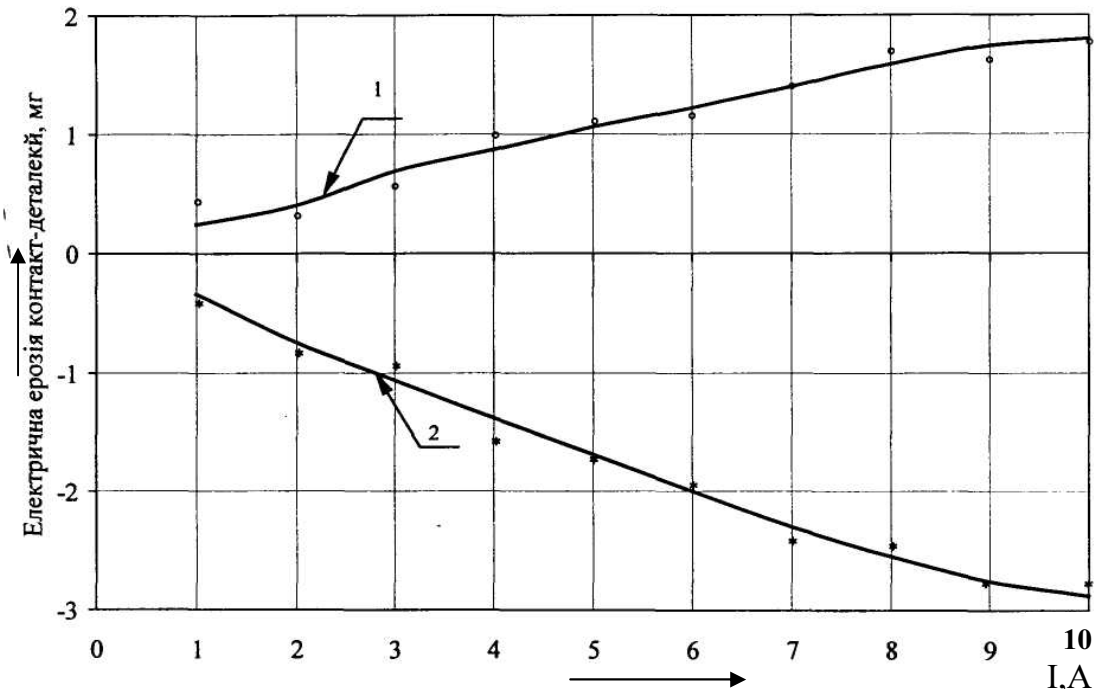


Рис. 3. Залежність електричної ерозії дослідних контакт-деталей від величини комутуючого струму:

1 – анод; 2 – катод ($n=5 \cdot 10^4$ циклів комутацій; матеріал 84%Cu+12%Mo+2%MoO₃+1%С+1%Ni)

Висновки

1. 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 раза.

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

3. Введення графіту в контактний матеріал дозволило підвищити стійкість до зварювання внаслідок невисокого механічного зчеплення частинок графіту і 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 шк., 2007. – 182 с.

2. Егоров Е.Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов / Егоров Е.Г. – Чебоксары: Колос, 2000. – 447 с.

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

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

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

Проведены исследования и получены 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.

Электрическая эрозия, рабочая поверхность, анод, катод, массоперенос, электрическая дуга

The research was conducted and there was obtained the regularity of electrical erosion change on contact details relay of HRC-2204 type, that were made of a composite material based on silver and copper, depending on a structure of the material, its physical and mechanical properties and phase components in a surface layer of the contact detail working surface.

Electrical erosion, working surface, anode, cathode, mass transfer, voltaic arc.