

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНОЮ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕЧНІСТЮ

*Наведено результати досліджень електричної ерозії контактного матеріалу, екологічна безпечність якого підвищена за рахунок вилучення із серійного контактного матеріалу токсичного оксиду кадмію. Електроерозійна стійкість розроблених контактів в 1,5 разів вища ніж у контактів типу КМК-А10м.*

*Приведены результаты исследований электрической эрозии контактного материала, экологическая безопасность которого повышена за счет исключения из серийного контактного материала токсичного оксида кадмия. Электроэрозионная стойкость разработанных контактов в 1,5 раза выше, чем у контактов типа КМК-А10м.*

### ВСТУП. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Електромеханічні апарати з контактними комутаційними елементами становлять 90% актуального ринку комутаційних апаратів завдяки вагомим перевагам над апаратами з напівпровідниковими комутаційними елементами (глибина комутації, перевантажувальна здатність, малі втрати енергії, стійкість до коротких замикань, тощо).

Одним із розповсюджених видів комутаційних апаратів і апаратів керування є контактори і пускачі, особливістю роботи яких є велика частота комутації – до 1200 комутацій на годину.

В пусках і контакторах, зокрема, в магнітних пусках типу ПМЕ, ПМА, ПМЛ, ПМ12 застосовуються металокерамічні контакти марки КМК-А10м, які мають в своєму складі містять оксид кадмію (CdO), завдяки якому суттєво збільшується електрична зносостійкість контактів. При цьому слід враховувати, що оксид кадмію, який сам по собі є токсичним інгредієнтом, під дією електричної дуги, що виникає у міжконтактному проміжку електричного апарата в процесі комутації, вже при температурі 900 °C розкладається на кадмій і кисень та при температурі 1559°C сублимує [1], отже потрапляє у навколишнє середовище.

Державні санітарні правила та норми України відносять кадмій та його сполуки до 1-го класу токсично небезпечних речовин, які небезпечні для здоров'я людини [2]. У цьому ж документі зазначається, що оксид кадмію може негативно впливати на бронхолегеневу систему, на шкіру та підшкірну клітковину, на нервову систему, обмін речовин та кровотворну систему.

Згідно з Міждержавним стандартом [3], який нормує загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони середньозмінна гранично допустима концентрація кадмію та його сполук встановлена на рівні 0,01 мг/м<sup>3</sup>, що лише у два рази перевищує гранично допустиму концентрацію таких речовин, як свинець та ртуть, токсичність яких є загальновідомою. Пунктом 4.2.5 даного стандарту встановлюється періодичність контролю шкідливих речовин 1-го класу небезпеки у повітрі робочої зони не рідше 1-го разу на 10 днів. Практика свідчить, що дані параметри далеко не завжди ретельно контролюються на підприємствах, у тому числі й на підприємствах харчової промисловості, де продукти розпаду оксиду кадмію можуть

попаляти у кінцеву продукцію, яка зрештою потрапляє й до споживачів.

Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища, яка регулює використання хімічних речовин, зобов'язує уряди країн приймати заходи щодо зменшення ризиків для здоров'я людей та довкілля. В лютому 2009 року на 25-й сесії Ради директорів цієї Програми та Глобальному форумі з навколишнього середовища на рівні міністрів [3] був прийнятий стратегічний підхід до міжнародного регулювання хімічних речовин, у тому числі таких, що включають ртуть, свинець і кадмій. В Рішенні 25/5 заключної доповіді даної сесії (п. II, стор. 26) зокрема відзначається, що експорт нових і використаних продуктів, у складі яких є свинець і кадмій, як і раніше створює проблеми для країн, що розвиваються, і країн з перехідною економікою, у яких відсутній достатній потенціал для забезпечення екологічно обгрунтованого регулювання і видалення цих речовин, що містяться в продуктах. Там же зазначається, що потрібно здійснити додаткові заходи для вирішення проблем і завдань, зумовлених дією свинцю та кадмію. Таким чином, проблема заміни оксиду кадмію на матеріали, які не є токсичними, безумовно є актуальною для нашої країни.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Численні дослідження (див. бібліографію в [5]), проведені науковцями у різних країнах, показали можливість застосування в електричних контактах замість оксиду кадмію оксидів інших металів, серед яких особливу увагу дослідників привертає оксид олова.

Композиції срібла з кількістю оксиду олова (SnO<sub>2</sub>) 8, 10, 12% маси в останні роки знаходять все більш широке застосування як контактні матеріали для низьковольтних комутаційних апаратів.

Оксид олова – не токсичний, підвищує твердість композиційного матеріалу порівняно з контактами типу КМК-А10м, за рахунок розташування дрібних частинок SnO<sub>2</sub> всередині зерен срібла. Термодинамічні властивості оксиду олова набагато кращі ніж у оксиду кадмію. Так температура плавлення SnO<sub>2</sub> близько 1900 °C, при якій SnO<sub>2</sub> не розкладається на олово і кисень. Зона плавлення робочої поверхні дугою мала, оскільки температура кипіння SnO<sub>2</sub> становить 2273°C.

Металопереробний завод INMET Інституту кольорових металів у Глівіце (Польща) виготовляє контактний матеріал срібло-оксид олова, де токсичний оксид кадмію замінено екологічно безпечним оксидом олова [6]. Проте, робоча поверхня контактів такого матеріалу зазнає значного окислення при довготривалому проходженні струму. Окислення поверхні призводить до перегріву матеріалу та значного підвищення перехідного опору, що знижує надійність та термін служби апаратів.

#### МЕТА РОБОТИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної роботи було виявлення закономірностей, що сприяють розробленню матеріалів з більшою екологічною безпечністю та підвищеною зносостійкістю. Зокрема, були проведенні дослідження впливу різних компонентів на якість контактних матеріалів (у першу чергу, стосовно перехідного опору, стійкості до зварювання та зносостійкості), створених на основі срібла та оксиду олова. В результаті цих досліджень було розроблено склад металокерамічного матеріалу для електричних контакт-деталей [7].

В даній роботі приводяться результати досліджень електроерозійної стійкості та контактного опору матеріалу контактів з вилученим токсичним інгредієнтом - оксидом кадмію.

Основним критерієм при виборі інгредієнтів композиційного контактного матеріалу є їх висока термодинамічна стабільність, відсутність хімічної взаємодії з матричним металом (яким у наших дослідженнях є срібло) мала схильність до коалесценції за розчинно-осаджувальним механізмом при високих температурах.

Цим вимогам у значній мірі відповідають термодинамічно стійкі тугоплавкі з'єднання, такі як оксиди, які можуть бути отримані у вигляді порошків різних ступенів дисперсності.

Введення дисперсних частинок оксидів в срібну матрицю підвищує міцність, межу текучості, твердість і температуру рекристалізації, оксиди підвищують дугогасний ефект, перешкоджають зварюванню контактів при комутації струму в нормальних і аварійних режимах.

У металокерамічних композиціях з оксидами електродуговий розряд на поверхні контактів вибірково взаємодіє з частинками інгредієнтів найменш тепло- і електропровідними, викликаючи їх ерозію. Тому електрична дуга переміщується з одного окремо розташованого тугоплавкого включення на інше, внаслідок чого відбувається дисипація енергії дуги і зменшується кількість теплової енергії, яка поглинається матеріалом контактів. При цьому зменшується термоелектронна емісія, що сприяє швидкому згасанню дуги.

Розроблений матеріал включає наступні інгредієнти: 82% мас. Ag + 11,5% мас. SnO<sub>2</sub> + 4% мас. In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2% мас. Zr + 0,5% мас. WO<sub>3</sub>. [5]

При комутації струму та довготривалому його проходженню через замкнені контакти магнітних пускачів на робочій поверхні контакту утворюється термостабільний шар SnO<sub>2</sub> з високим питомим опором ( $\rho = 4 \cdot 10^4$  Ом·м), що призводить до перегрівання контактів та зниження їх електроерозійної стійкості.

Запобігання утворенню термостабільного шару забезпечує введення оксиду вольфраму (WO<sub>3</sub>) в кількості 0,5% мас.

Розплавлені частинки WO<sub>3</sub> (T<sub>плав</sub> = 1470 °C) обволікають тверді частинки SnO<sub>2</sub> і утворюють волокнистість розплавленого срібла, де волокнами є частинки SnO<sub>2</sub> покриті WO<sub>3</sub>.

Частинки SnO<sub>2</sub>, які не покриті оксидом вольфраму виштовхуються наверх розплавленим сріблом, де на робочій поверхні створюється термостабільний шар оксиду олова з високим опором протікання струму.

Введення оксиду індію (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) дозволяє рівномірно розподіляти дрібнозернисті оксиди олова в срібній матриці і прискорювати дифузію олова в срібну матрицю при виготовленні контактного матеріалу.

Введення цирконію (Zr) підвищує електроерозійну стійкість контактного матеріалу, за рахунок поглинання кисню із розплавленого срібла при дії електричної дуги, що призводить до зменшення часу горіння дуги та розбризкування рідкого срібла.

Технологія виготовлення дослідних зразків проводилась методами внутрішнього окислення та порошкової металургії. Вихідними матеріалами для дослідження були наступні порошки: Ag (ТУ 48-1-702-77), SnO<sub>2</sub> (ГОСТ 22516-77), In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ТУ 16.09.04.127-74), які змішувались в заданій пропорції в суху. По закінченні змішування добавлявся 3% розчин полівінілового спирту у воді із розрахунку 8 – 10 мл розчину на 100 г маси суміші.

Суміш срібла з оксидами піддавалась відновленню в атмосфері водню. Температура відновлення коливалась в інтервалі 600 – 700 °C, час витримки становив 1 – 2,5 год. Охолоджена суміш протиралась через сито №01. Отримані порошки сплавлялись срібло-олово-індій піддавались внутрішньому окисленню, порошок розподілявся тонким шаром 1 – 1,5 мм. Лодочка із нержавіючої сталі завантажувалась в трубчасту піч, через яку пропускався кисень. Температура окислення складала 700 – 750 °C. Із окислених порошків пресувались контакти, тиск пресування 2 – 2,5 МПа.

Контакти спікались в повітряній атмосфері при 900 °C протягом 1 години, допресовувались при тиску 6 МПа. Потім повторно спікались при 800 °C протягом 1 години, калібрувались при тиску 9 МПа і відпалювались при 500 °C протягом 1 години.

Мікроструктурний аналіз дослідного матеріалу на основі срібла з оксидними добавками дозволив виявити загальну картину розподілу оксидних добавок в срібній матриці (рис. 1).

Мікроструктура дослідних зразків складається з областей чітко виділених зерен та білих полів. Мікроструктура зразків окислених при 750 °C, являє собою чітко виділені зерна.

Як показали виміри мікротвердості, білі поля мають більш високі значення Нв = 146 – 248 кгс/мм<sup>2</sup>, а для зерен Нв = 110 – 153 кгс/мм<sup>2</sup>. Білі поля – це дуже дрібні частинки оксиду олова, що розташовані всередині зерен срібла і визивають значне дисперсне твердіння срібної матриці.

В ділянках з виділеними границями оксид олова розташовується в основному на границі зерен, тому твердість цих ділянок нижча.

Структура поверхні руйнування енергією електричної дуги тісно пов'язана з фізико-механічними властивостями оксидів і цирконію, розмірів частинок оксидів, їх об'ємної кількості і міцності поверхні розділу.



Рис. 1. Мікроструктура дослідного екологічно безпечного контактного матеріалу (збільшено в 150 разів)

Залежність електричної ерозії контакт-деталей від кількості комутацій при силі струму 100 А приведена на рис. 2, з якого видно, що електроерозійна стійкість дослідних контактів в 1,6 рази вища, ніж у серійних контактів типу КМК-А10м.

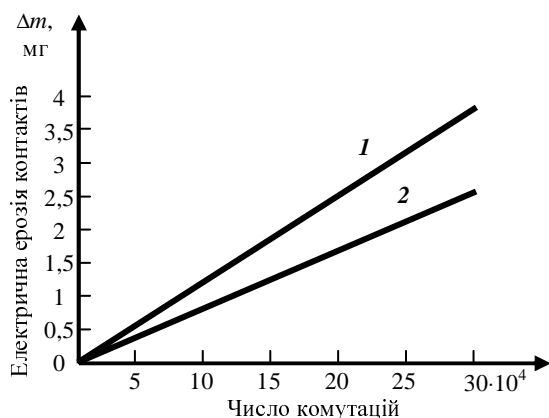


Рис. 2. Електрична ерозія контакт-деталей магнітного пускача ПМЛ 5100 в залежності від циклів комутацій: 1 – контакт КМК-А10м; 2 – дослідні контакти (82% мас. Ag + 11,5% мас. SnO<sub>2</sub> + 4% мас. In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2% мас. Zr + 0,5% мас. WO<sub>3</sub>)

Контактний опір у контактів типу КМК-А10м та дослідного матеріалу однаковий і складає  $R_k = 0,7$  Ом. Сила приварювання контакт-деталей при струмі 100А становила 0,02 Н, а у серійних контактах типу КМК-А10м ця сила становила 0,05 Н.

## ВИСНОВКИ

Використання в матеріалі контакт-деталей на основі срібла, малотоксичної добавки оксиду олова замість токсичного оксиду кадмію, що відноситься до першої групи токсичності, значно підвищить рівень екологічної чистоти матеріалу, а сумісне введення у композитний матеріал таких малотоксичних інгредієнтів як оксиди олова та індію, вольфраму та металу цирконію значно підвищує електроерозійну стійкість, надійність контактування та суттєво зменшує силу приварювання контактів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мастеров В.А., Саксонов Ю.В. Серебро, сплавы и биметаллы на его основе. Справочник. – М.: 1979, 295с.
2. Державні санітарні правила та норми України. № 2.2.7. 029-99. – Додаток 2, п.22.
3. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Доклад Совета управляющих/Глобального форума по окружающей среде на уровне министров о работе его двадцать пятой сессии (Найроби, 16 – 20 февраля 2009 года).
5. Афонин М.П., Овчинникова М.Н. Классификация материалов для электрических контактов низковольтной коммутационной аппаратуры и области их применения в электротехнике. – Электрические контакты и электроды // Труды Института материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. – Киев, 2006, с. 153 – 160.
6. <http://www.inmet.gliwice.pl>.
7. Патент України на корисну модель №18931 від 15.11.2006 р. Спечений матеріал для електричних контакт-деталей.

Надійшла 11.04.2009

Кохановський Василь Олександрович, ст. викладач  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут",  
Україна, 03056, Київ, вул. Янгеля 1/37,  
кафедра "Поліграфічні машини", тел. (097) 18 76 771,  
e-mail: kohv@vpf.ntu-kpi.kiev.ua