

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІНГРЕДІЄНТІВ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Радько І. П.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Розглянуто наукові принципи створення екологічно безпечних композиційних контактних матеріалів. Проведено обґрунтування вибору інгредієнтів композиційних матеріалів та відпрацьована технологія виготовлення дослідних зразків контактів.*

**Постановка проблеми.** Практично неможливо створити універсальний контактний матеріал, який би відповідав всім існуючим вимогам, а тому залежно від функціонального призначення контактного вузла доводиться приймати компромісне рішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для надійної роботи комутаційних апаратів з екологічно безпечними контактами вони повинні протидіяти впливу електричної дуги, хімічно і біологічно агресивній атмосфері тваринницьких і птахівничих приміщень, і механічним навантаженням.

Загалом матеріали контактів повинні задовольнити слідуєчим вимогам [1,2,3]:

- стабільність перехідного опору;
- висока питома електропровідність;
- висока ерозійна стійкість;
- висока корозійна стійкість;
- високі дугостійкість і протидія зварюванню;
- поєднання механічної міцності і високої пластичності;
- екологічна безпечність навколишнього середовища.

Контакти автоматичних вимикачів, які працюють в діапазоні значних струмів (вмикання – вимикання струмів короткого замикання) повинні забезпечувати стабільність перехідного опору при впливі агресивних реагентів атмосфери приміщень в поєднанні з високими дугостійкістю та стійкістю до зварювання.

Контакти електромагнітних пускачів, повинні мати високу електроерозійну стійкість і дугостійкість та забезпечувати стабільність перехідного опору при впливах агресивних газів повітряного середовища тваринницьких і птахівничих приміщень.

Матеріали для контакт-деталей комутаційних апаратів вибираються на основі сформульованих вище вимог та аналізу характеристик компонентів композиційних контактних матеріалів на основі срібла.

Контактний матеріал на основі срібло-оксид олова ( $Ag-SnO_2$ ) згідно літературним даним [1,2] є одним із перспективних матеріалів для заміни контактів з наявністю в них оксиду кадмію ( $CdO$ ) токсичність якого визиває необхідність пошуку замінювача.

Срібло-оксид олова володіє високою ерозійною стійкістю та високим опором зварювання

Основний недолік цього матеріалу – утворення на робочій поверхні контакту шару термостабільного оксиду олова з високим питомим електроопором, що приводить до перегріву контактів при тривалому протіканні через робочі поверхні.

Цей недолік можна усунути введенням невеликих добавок оксиду вольфраму ( $WO_3$ ) чи карбиду вольфраму ( $WC$ ) в кількості 0,5 мас %.

**Мета статті.** Дослідження є підвищення екологічної безпеки комутаційних апаратів в електроустановках, що застосовуються в тваринництві, птахівництві та підприємствах переробки сільськогосподарської продукції є повне вилучення із матеріалу силових контактів комутаційних апаратів токсичного оксиду кадмію.

**Основні матеріали дослідження.** Як показали випробування після  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій в режимі АС-4 перегрів контактів із матеріалу  $Ag-12 SnO_2$  становив  $300^\circ C$ , а контактів КМК А10м –  $180^\circ C$ .

Температура перегріву контактів із нового матеріалу  $Ag-12\%SnO_2-4\%In_2O_3-2\%Zr-0,5\%WO_3$  складала  $180^\circ C$ .

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

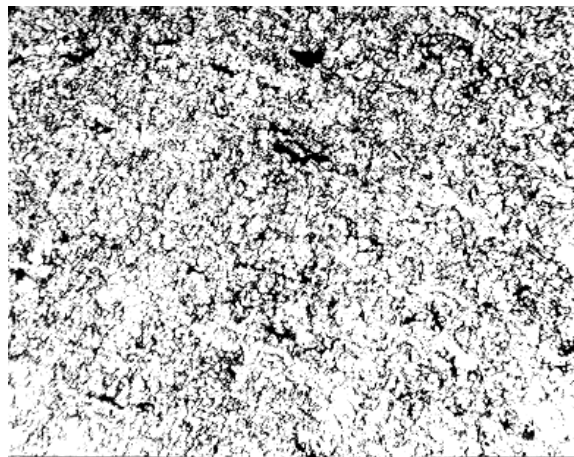


Рисунок 1 – Мікроструктура дослідного екологічно безпечного контактного матеріалу X 150

Срібна матриця на зразку має білий колір, оксиди олова в вигляді невеликих темних скупчень, а оксиди вольфраму і індію темні точки рівномірно розподілені по всьому полю шліфа.

Структура поверхні руйнування енергією електричної дуги тісно пов'язана з фізико-механічними властивостями оксидів і цирконію композиційного матеріалу.

Крім цього поведінка композиційного матеріалу при електричній ерозії залежить від розмірів частинок оксидів, їх об'ємної кількості і міцності поверхні розділу.

Даний матеріал формує шари напрацювання при дії електричної дуги, і встановлення основних структурних особливостей напрацювання, які впливають на ерозійну стійкість електричних контактів.



Рисунок 2 – Шар напрацювання робочої поверхні контакт-деталі X 400

Шар напрацювання з тонкодисперсною структурою обмежено зв'язаний з основним матеріалом контакту. Він відрізняється від основного матеріалу фазовими і хімічними складами, структурою і властивостями, що в значній мірі визначають характер ерозії і ерозійну стійкість контактів.

Шари напрацювання виникають як результат реакції матеріалу контакту на вплив електродугового розряду і вібрації при комутації. Як показали дослідження, окремі типи шарів напрацювання здатні виконувати захисні функції, підвищувати ерозійну стійкість контактів.

Основні технологічні прийоми, що використовуються при виготовленні контактів можна умовно розділити на дві групи:

- просте змішування порошків срібла і оксидів олова, вольфраму та індію з послідовним пресуванням, спіканням, екструзією і т.п.;

- внутрішнім окисненням (ВО) сплавів із срібла, олова, індію, вольфраму чи порошків цих сплавів.

Технологія внутрішнього окиснення дає можливість отримати рівномірне і дрібнодисперсне розподілення окислу в срібній матриці, що благоприємно дається взнаки на ерозійній стійкості контактів, що застосовується в комутаційних апаратах малої та середньої потужності.

Внутрішнє окиснення контактних матеріалів має ряд обмежень. Якщо воно проводиться після надання контакту закінченої форми, та оксиди мають тенденцію огрублятися і контакти мають різний склад і розмір оксидів по висоті. Ці труднощі усуваються, якщо

склад попередньо подрібнити, а потім піддати внутрішньому окисненню з послідовним пресуванням методами порошкової металургії.

Ціллю дослідження є відпрацювання технології отримання порошків сплавів *Ag-Sn-In-W* та їх внутрішнього окиснення, вивчити вплив кількості *Zn*, *W* на структуру і властивості контактів на основі *Ag-SnO<sub>2</sub>*.

Вихідними матеріалами для дослідження контактного матеріалу служили порошки *Ag*, *SnO<sub>2</sub>*, *In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *WO<sub>3</sub>*, *Zr*, які змішувалися в задній пропорції в суху.

По закінченні змішування добавляли 3 % розчин полівінілового спирту в воді із розрахунку: 8-10 мл на 100 г суміші.

Суміш срібла з оксидами піддавалась відновленню в атмосфері водню. Температура відновлення коливалась в інтервалі 600-700 °С, час витримки 1-2,5 години.

Суміш, що охолонула протиралась через сито №01.

Отримані порошки сплавів *Ag-Sn-In-W* піддавались внутрішньому окисненню. Порошок з різними складовими розподілявся тонким шаром 1-1,5мм в лодочці із нержавіючої сталі і завантажувався в трубку часту піч, через яку пропускали кисень. Температура окиснення складала 700-750 °С, час витримки 1-2 години. До окислених порошків добавлявся порошок цирконію і контакти пресувались під тиском 2-2,5 МПа.

Після пресування контакти спікалися в повітряній атмосфері при 900 °С протягом 1 години, допресовувались при 6 МПа, повторно спікалися при 800 °С протягом 1 год, калібрувались при тиску 9 МПа і відпалювались при 500 °С протягом 1 години.

**Результати досліджень.** Технологія відпрацювання режиму відновлення оксидів *SnO<sub>2</sub>*, *In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *WO<sub>3</sub>* визначалась часом, протягом якого відбувався твердий розчин олова в сріблі. Період решітки цього твердого розчину дорівнює  $4,1118 \text{ \AA}$ .

Відновлення повністю оксиду олова в суміші з сріблом відбувається при температурі 650 °С, час витримки 1,5 години.

При струмі 150 А, дослідний матеріал показав більш високу ерозійну стійкість в 1,5-2 рази порівняно з КМК А10.

Більш різко реагує на умови експерименту твердість: при внутрішньому окисненні 750 °С твердість знижується на 15-20 %, що пов'язано з особливостями мікроструктури.

Мікроструктура складається з білих полів і областей з чітко окресленими зернами.

Твердість білих полів складає  $H_v=146-248$ .

Твердість ділянок чітко окресленими зернами  $H_v=110-153$ .

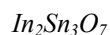
Білі поля – це ділянки, де частинки дуже дрібні, яких не видно в оптичний мікроскоп, розташовані всередині зерен срібла, які визвали значне дисперсне твердіння срібної матриці.

На ділянках з окресленими зернами оксид олова розташовується по границях зерен, тому мікротвердість цих ділянок значно нижча.

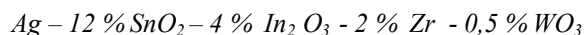
Для вивчення впливу *In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* на структуру і властивості композиційного контактного матеріалу було

приготовлено декілька складів, що містили від 1 до 10 мас %  $In_2O_3$ . Оксид індію в кількості 4-5 % сприяє подрібненню зерна і виділенню оксидів всередині зерна срібла.

Як показав рентгенографічний аналіз дослідних зразків матеріалу, в системах відновлення і послідовного внутрішнього окиснення відбувається утворення цього з'єднання



На основі проведених досліджень був встановлений оптимальний склад композиційного контактного матеріалу



Він має дрібнозернисту структуру з рівномірним розподілом оксидів всередині зерна, перевищує композицію матеріалу контактів КМК-А10 за величиною зносостійкості при комутації струму 100-150 А.

**Висновки.** Комутаційні апарати напругою до 1000 В, які серійно випускаються і використовуються в сільському господарстві, матеріал контактів, який має токсичний інгредієнт – оксид кадмію.

1. Матеріали контактів типу КМК А10м (ГОСТ 3884-77), що застосовується в комутаційних апаратах напругою до 100 В, екологічно-небезпечні, мають в своєму складі токсичний інгредієнт – оксид кадмію ( $CdO$ ).

2. Розроблений новий композиційний контактний матеріал:  $Ag - 12\% SnO_2 - 4\% In_2O_3 - 2\% Zr - 0,5\% WO_3$  з підвищеною екологічною безпекою, за рахунок вилучення із матеріалу контакту токсичного оксиду кадмію ( $CdO$ ).

3. Розроблений новий композиційний матеріал володіє більш високою електроерозійною стійкістю, в порівнянні серійним типу КМК А10м.

4. Висока електроерозійна стійкість нового матеріалу дає змогу зменшити об'єм контактів на 25 % порівняно з об'ємом матеріалу типу КМК А10м, що дозволить зберегти і з економити дефіцитний дорогий матеріал – срібло.

5. Встановлені особливості впливу природи і кількості оксидних добавок  $SnO_2$ ,  $In_2O_3$ ,  $WO_3$ , та тугоплавкого металу цирконію на характер структуроутворення і основні фізико-механічні властивості композиційного контактного матеріалу.

6. Встановлено, що результатом формування електроконтактного матеріалу створена структура матричного типу з дрібнодисперсними включеннями нерозчинених фаз, які значно підвищують твердість і міцність матеріалу.

7. На основі структурно-морфологічних досліджень робочих поверхонь контактів комутаційних апаратів встановлена закономірність масопереносу на основі срібла з комплексом добавок  $SnO_2$ ,  $In_2O_3$ ,  $WO_3$  та  $Zr$ , що закладається переважно в поетапному переносі легкоплавких і тугоплавких компонентів з робочих поверхонь контактів і інтенсифікується при зростанні струмового навантаження.

8. На основі виявленої доцільності контактного введення оксидів і цирконію в срібну матрицю для

покращення екологічної безпеки і електроерозійної стійкості контактів розроблені нові композиційні матеріали і захищені патентами.

## Список використаних джерел

1. Усов В. В. *Металловедение электрических контактов* / Усов В. В. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 208 с.

2. Афонин М. П. Слои наработки при эксплуатации контактов из композиции серебро-оксид кадмия / М. П. Афонин // *Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины: Электрические контакты и электроды.* – К.: ИПМ, 2004. – С.119-125.

3. Афонин М.П. Классификация материалов для электрических контактов низковольтной коммутационной аппаратуры и области их применения в электротехнике / М. П. Афонин, М. Н. Овчинникова // *Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины: Электрические контакты и электроды.* – К.: ИПМ, 2004. – С.153-160.

4. Егоров Е. Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов: учеб. [для вузов] / Е. Г. Егоров – Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 2000. – 448 с.

5. Буткевич Г. В. *Электрическая эрозия сильноточных контактов и электродов* / Г. В. Буткевич – М.: Энергия, 1978. – 239 с.

## Аннотация

### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИНГРЕДИЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Радько И. П.

*Рассмотрены научные принципы создания экологически безопасных композиционных контактных материалов. Проведено обоснование выбора ингредиентов композиционных материалов и отработана технология изготовления опытных образцов контактов.*

## Abstract

### RATIONALE SELECTION OF INGREDIENTS COMPOSITE MATERIALS FOR ENVIRONMENTALLY SOUND CONTACT DETAILS OF ELECTRIC APPARATUS, AND THEIR PRODUCTION TECHNOLOGIES

I. Radko

*We consider the scientific principles of creating environmentally friendly composite contact materials. The choice of ingredients of composite materials and to develop technology manufacturing prototypes of contacts.*