

$$\tau_k = \frac{(R - R_0)^2}{\mu_k^2 \cdot \nu}$$

Зрозуміло, що максимальний час визначається мінімальним значенням кореня  $\mu_k$ , яке для рівняння  $J_1(x) = 0$  відповідає значенню  $\mu_1 = 3.9$  [1]. Таким чином:

$$\tau_1 = \tau_{\max} = \frac{(R - R_0)^2}{3,9^2 \cdot \nu}, \quad (13)$$

Якщо, до прикладу, взяти: радіус камери автобалансира  $R = 0,20$  м,  $R_0 = 0,19$  м, кінематичну в'язкість робочої рідини покласти рівною  $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (прісна вода), то одержимо  $\tau_{\max} \approx 6,5$  с.

Таким чином, «залучення» рідини в процес руху для вертикальної роторної системи відбувається досить швидко. Вираз (13) дає можливість теоретично визначити часові умови проведення експериментів.

### Література

1. Кошляков С.И. Уравнения в частных производных математической физики / С. И. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов. М. : Высш. шк., 1971. 736 с.

## КОНДЕНСОВАНІ З ПАРОВОЇ ФАЗИ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Cu-Cr-Zr-Y-Nb)-Mo-CuO-MoO<sub>3</sub>

Гречанюк В. Г.<sup>1</sup>, Гречанюк М. І.<sup>2</sup>, Гречанюк І. М.<sup>2</sup>, Гоц В. І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 3, E-mail: eltechnic777@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут проблем матеріалознавства НАН України,  
м. Київ, Кржижанівського, 3

Дослідження структури, властивостей і експлуатаційних характеристик композитів (Cu-Zr-Y-Nb)-Mo (МДК-3), які широко використовуються для виготовлення електричних контактів і електродів наведені в роботах [1, 2]. Матеріали МДК-3 мають ряд переваг: отримують за один технологічний цикл, тому вони в 1,5–1,7 рази дешевше аналогів, одержуваних методами порошкової металургії і суттєво (5–6 разів) дешевше срібловмісних контактів; за експлуатаційної надійності не поступаються матеріалам на основі срібловмісних композицій; ком-

позиційні матеріали МДК-3 добре обробляються різанням, штампуванням, шліфуванням, різанням тощо.

В цій роботі наведені випробування, які дають можливість оцінки і заміни контактних матеріалів на основі срібла в електромагнітних реле типу ПЕ-38 і реле часу типу ВС-43, на контактні матеріали МДК-3. Враховуючи, що матеріали  $(\text{Cu-Zr-Y-Nb})\text{-Mo}$  не містять в своєму складі благородних металів і підлягають корозійній дії, комутуючі струми не повинні бути дуже малими й руйнувати в процесі експлуатації оксидні плівки на поверхні матеріалу. Тому випробування проводили при струмах від 1 А до 1200 А і напрузі від 1 В до 27500 В. Для оцінки комутаційної здатності використовували стендові і натурні випробування контактів. Стендові випробування зазвичай відбуваються в умовах, близьких до натурних. Випробування матеріалів МДК-3 проводили на спеціально сконструйованому для цієї мети стенді, схема якого наведена на рис. 1. Умови випробувань: струм – 19 А, напруга – 208 В, тривалість циклу випробувань 3 секунди – включено, 3 с – вимкнено. Кількість циклів 130000. Випробування проводилися при кімнатній температурі й вологості, що не перевищує 65 %. При цьому визначали зміну контактного опору залежно від кількості циклів і зміну температури контактів залежно від контактного опору.

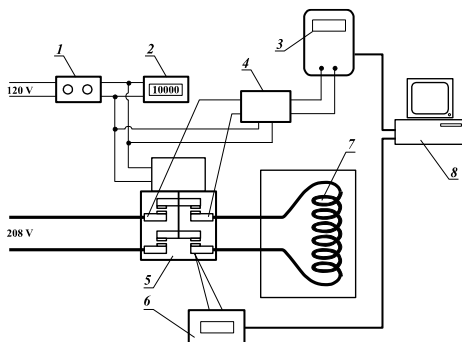
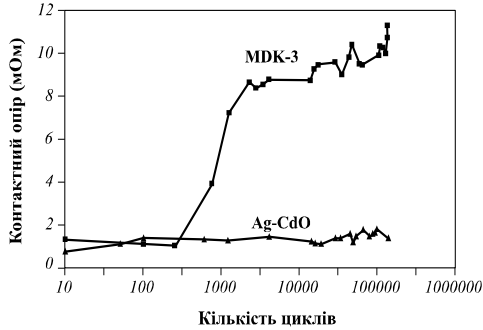


Рис. 1. Схема стенду для випробування контактів:

- 1 – реле вмикання-вимикання циклів; 2 – лічильник кількості циклів;
- 3 – показчик напруги; 4 – ізоляційне реле; 5 – контактор;
- 6 – пристрій відліку; 7 – навантаження при тестуванні; 8 – пристрій ресерування

На рис. 2 наведена залежність зміни контактного опору контактів, виготовлених із матеріалу МДК, порівняно з стандартними контактами  $\text{Ag-CdO}$ , виготовленими методами порошкової металургії. Як видно з рис. 2 початковий контактний опір контактів, виготовлених з матеріалу МДК-3 та із композиції  $\text{Ag-CdO}$  близький.



**Рис. 2. Залежність контактної опору контактів, виготовлених з матеріалів МДК-3 та Ag-CdO від кількості комутаційних циклів**

Порівнянні значення контактної опору контактів спостерігаються тільки до 400 циклів випробувань. Потім має місце різке збільшення контактної опору з  $1,4 \cdot 10^{-3}$  Ом при 400 циклах випробувань до  $8 \cdot 10^{-3}$  Ом при 3000 циклів випробувань контактів, виготовлених з матеріалу МДК-3. Подальше збільшення кількості циклів випробувань до 200000 приводить до незначного підвищення контактної опору до  $10 \dots 11 \cdot 10^{-3}$  Ом. В той же час контактний опір композицій Ag-CdO протягом усього періоду випробувань залишається практично незмінним і знаходиться на рівні  $1,6 \dots 1,8 \cdot 10^{-3}$  Ом.

Залежність зміни температури контактів від контактної опору носить лінійний характер, чим вищий контактний опір, тим інтенсивніше зростає температура контактів. Тому при підготовці технічних рекомендацій по застосуванню матеріалів МДК необхідно враховувати максимально допустиму температуру контактів у комутаційних апаратах. Кількісно подібна залежність контактної опору й контактної температури отримана при випробуванні електромагнітних реле ПЕ-38УЗ (технічні умови ЕВУИ. 647612. 002 ТУ).

Проведені дослідження композиційних матеріалів МДК-3 [2, 3] показали, що вони відрізняються відносно низькою корозійною й ерозійною стійкістю, що є однією з головних причин обмеженого їх застосування як електроконтактних матеріалів.

Корозійна й ерозійна стійкість пов'язана з утворенням і руйнуванням плівок на робочій поверхні контакту і з переносом матеріалу. Утворенню плівок сприяють дугові розряди при комутації контактів, але плівки можуть виникати і на розімкнутих контактах. Плівки, що виникають на робочій поверхні контактів, можуть бути органічного і неорганічного походження. Основні причини виникнення плівок є органічні і неорганічні пари і гази, що містяться в навколишній ат-

мосфері, і хімічно активні компоненти матеріалу контактів, які сприяють перебігу хімічних реакцій з утворенням оксидів та інших сполук.

Для підвищення корозійної стійкості матеріалу МДК-3 матрицю (сплав Cu–Zr–Y–Nb) додатково легували хромом при наступному вмісті компонентів у сплаві, % мас.: ітрій – 0,01–1,0; цирконій 0,01–1,0; ніобій – 0,01–0,5; хром – 0,2–0,41 [4]. Зливки композиційних матеріалів (Cu–Cr–Zr–Y–Nb) – Mo–CuO–MoO<sub>3</sub> одержували методом електронно-променевого випаровування-конденсації з двох тиглів: з одного випаровували сплав Cu–(0,2–0,41)% мас. Cr через ванну рідку ванну з (Zr–Y–Nb) і з другого – молібден. Леговані хромом матеріали мають підвищену корозійну стійкість порівняно з композитами (Cu–Zr–Y–Nb)–Mo (МДК-3), які широко використовуються в промисловості. Розривні контакти з матеріалу (Cu–Cr–Zr–Y–Nb)–Mo–CuO–MoO<sub>3</sub> з підвищеною корозійною стійкістю використовуються в комутаційних апаратах, які працюють в атмосфері з високим вмістом CO<sub>2</sub> і SO<sub>2</sub> і при вологості близько 80 %.

### Литература

1. Гречанюк І. М. Структура, властивості й електронно-променева технологія одержання композиційних матеріалів Cu–Mo–Zr–Y для електричних контактів : дис. ... канд. техн. наук / І. М. Гречанюк. – Київ, 2007. – 171 с.
2. Bukhanovski V. V. Effect of composition and heat treatment on the structure and properties of condensed composites of the Cu–W system / V. V. Bukhanovski, R. V. Minakova, I. N. Grechanyuk, I. Mamuziæ, N. P. Rudnitskii // Metal Science and Heat Treatment. – 2011. – 53 (1–2). – 14–23.
3. Grechanjuk I. N. Corrosion resistance in neutral saline fog of the composites Cu–Mo obtained by PVD method / I. N. Grechanjuk, V. G. Grechanjuk, L. Orac // Metallurgy and Materials science. – 2009. – № 5. – P. 297–304.
4. Гречанюк М. І. Патент України на винахід № 104673. Композиційний матеріал для електричних контактів та спосіб його отримання / Гречанюк М. І., Гречанюк В. Г. Мінакова Р. В., Гречанюк І. М., Бухановський В. В., бюл. № 4 від 2014.

### АНАЛІЗ ВТРАТ ТИСКУ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Назарова О. С.<sup>1</sup>, Мелешко І. А.<sup>2</sup>

Національний університет «Запорізька політехніка»  
E-mail: <sup>1</sup>nazarova16@gmail.com, <sup>2</sup>iameleshko@gmail.com

Розвиток технологій транспортування сипких матеріалів спрямовано на зниження питомої вартості транспортування однієї тонни