

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ковбасюка Тараса Михайловича „Розробка склокерамічного матеріалу ізоляційних покриттів товстоплівкових нагрівних елементів високої ефективності”, що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство

Актуальність теми та її зв'язок з державними науковими програмами.

Актуальність теми визначається декількома факторами. Переоснащення рухомого складу залізничного транспорту та міського електротранспорту України є дуже актуальною проблемою. Внаслідок цього підвищення ефективності та роботоздатності обігрівачів електротранспорту – актуальна науково-технічна задача, яка вирішується у дисертації.

Плоскі нагрівні елементи (ПНЕ) можуть ефективно замінити існуючу елементну базу електро-нагрівних приладів. Пошарове розташування функціональних шарів забезпечує рівномірний розподіл температури та постійний тепловий потік на контактній поверхні теплообміну. Але існують фактори, які зменшують ресурс ПНЕ, зокрема короблення підкладки, різниця теплового розширення та теплопровідності складових ПНЕ, нерівномірність товщини покриття тощо.

В дисертації розроблено технологію синтезування покриттів на основі склокерамічних матеріалів та встановлено закономірності структуроутворення склокристалічних матеріалів на основі системи $PbO-B_2O_3-ZnO$.

Дисертація виконана на кафедрі прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів Національного університету “Львівська політехніка” у відповідності до наукового напрямку кафедри “Розробка та оптимізація способів покращання функціональних властивостей матеріалів”.

Загальна характеристика змісту роботи.

Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків та 2 додатків, викладена на 6,5 авторських аркушах, текст основної частини – 4,5 авторські аркуші, містить таблиць – 19, рисунків – 45, список використаних джерел з 101 найменувань.

У вступі представлено загальну характеристику роботи: обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, задачі, об’єкт, предмет і методи досліджень, наведено інформацію щодо наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, публікацій, апробації одержаних результатів дисертації та структури дисертації.

У першому розділі наведено огляд літературних джерел та проаналізовано методи синтезування функціональних покриттів на ПНЕ. Проведено аналіз матеріалів на основі склокристалічних систем для синтезу покриттів. Показано доцільність використання матеріалів на основі системи $PbO-B_2O_3-ZnO$ з високими ізоляційними характеристиками. На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі дисертації.

У другому розділі наведені методики синтезування та термообробки покриттів, описані експериментальне обладнання та методи досліджень. Для отримання покриттів з високими ізоляційними характеристиками, термо- та хімічною стабільністю, низькою собівартістю синтезовано чотири склади порошкових сумішей склокерамічного матеріалу на основі системи $PbO-B_2O_3-ZnO$. Покриття наносили за шлікерною технологією.

Досліджували мікроструктуру, елементний та фазовий склади покриттів. Для дослідження адгезійної міцності покриттів використовували методи відриву покриття внаслідок дії нормальних та дотичних напружень в зоні адгезійного контакту покриття та підкладки. Розраховували значення вільної поверхневої енергії попередньо підготованих підкладок. Досліджували теплопровідність, температуропровідність, теплоємність, електричну міцність, питомий опір, тангенс діелектричних втрат та діелектричну проникність синтезованих покриттів.

У третьому розділі приведені результати досліджень мікроструктури, фазового та елементного складу синтезованих діелектричних покриттів на основі склокристалічних матеріалів марок СЦ 90–1, СЦ 100–1, СЦ 88 та СЦ 90. Як підкладку використовували сталь 40Х13 з різними показниками шорсткості.

У четвертому розділі представлені результати досліджень адгезійних властивостей покриттів на основі склокристалічних матеріалів марок СЦ 90–1, СЦ 100–1, СЦ 88 та СЦ 90. Було також вивчено вплив вільної поверхневої енергії поверхні підкладок на адгезійні характеристики синтезованих покриттів. Встановлено, що термообробка покриттів за температур вищих від 460°C призводить до зниження їх адгезійних характеристик внаслідок створення неоднорідної дендритної структури покриття.

Для дослідження адгезійної міцності покриттів визначали вільну поверхневу енергію підкладок після електролітичного травлення, механічного та ручного шліфування. Адгезійні характеристики покриттів підвищуються при їх нанесенні на неоднорідну за шорсткістю поверхню підкладки, одержаної після механічного шліфування.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень теплових та електрофізичних властивостей функціональних покриттів на основі склокристалічних матеріалів марок СЦ 90–1, СЦ 100–1, СЦ 88 та СЦ 90. Проведено стендові випробування нагрівача системи «сталь 40Х13 – покриття СЦ 90-1 – резистивний шар Х20Н80» у продувному калорифері.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів.

Найбільш цінним науковим здобутком роботи є синтез діелектричних шарів ПНЕ із склокерамічного матеріалу на основі системи $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$, легованої оксидами Al_2O_3 , SiO_2 та BaO . Це дозволило отримати мінімальний розкид значень теплових властивостей (теплопровідність 18–24 Вт/м·К) між підкладкою зі сталі 40Х13 та синтезованими покриттями у поєднанні із високими значеннями їх електричної міцності ($15\text{--}22 \cdot 10^6$ В/м). До важливого наукового результату можна також віднести зменшення з 19,7 до 4,1% об'ємної частки пор склокерамічного матеріалу (на основі системи $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$) після легування його оксидом BaO . Це сприяє сублімації органічних розчинників з об'єму покриття.

Практичне значення і впровадження отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено розробкою технічних рекомендацій щодо формування діелектричних покриттів на основі склокераміки системи $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$. Розроблені рекомендації враховані для удосконалення технології виробництва ПНЕ калориферів рухомого складу залізниці та електротранспорту. Крім того, практичне значення безсумнівно має розробка установки для синтезування легкоплавких склокристалічних покриттів, в якій нагрівання здійснюється

контактним способом від нагрівача до підкладки через плоский нагрівний елемент в запрограмованому режимі терморегулятора.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи Ковбасюка Т.М. забезпечується використанням сучасних методів дослідження структури, елементного та фазового складу матеріалів, ретельним проведенням досліджень фізико-механічних властивостей покриттів, а також використанням обчислювальної техніки.

Публікація і апробація результатів роботи.

Аналіз списку опублікованих праць свідчить, що матеріали дисертаційної роботи досить повно відображені в опублікованих у 17 друкованих наукових працях, зокрема 5 статтях у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Web of Science), 1 статті у фаховому виданні України, та пройшли відповідну апробацію на наукових вітчизняних та міжнародних конференціях – 9 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій. Отримано 2 патенти України на корисну модель.

Оцінка мови, стилю та відповідності спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Дисертаційна робота і матеріали досліджень викладені кваліфіковано, систематизовано, грамотно та логічно. Розділи роботи взаємопов'язані і повністю розкривають заявлену в роботі тему. Автореферат дисертації

повністю відповідає основним положенням дисертації. За змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Зауваження по змісту і оформленню дисертації і автореферату.

1. Для досліджень автор використовував чотири порошки для синтезу покриттів. Але для порівняльного аналізу необхідно було також використовувати порошок системи $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ без домішок, для того щоб оцінити вплив SiO_2 , Al_2O_3 та BaO на властивості покриттів.

2. Випробування покриттів на підкладках із алюмомагнієвого сплаву АМг2 (розділ 5) необхідно було проводити на початку дослідження, а не після визначення властивостей чотирьох типів склокристалічних покриттів на підкладках із нержавіючої сталі 40Х13 (розділ 3,4).

3. Коефіцієнт відношення нормальної сили адгезії до тангенціальної сили F (формула (4.1), с.104) можна використовувати тільки у випадку якщо на циліндричних та прямолінійних зразках площі поверхні адгезиву співпадають. Але ці площі в дослідженнях автора різні (див. табл.4.1). Необхідно було порівнювати критичні напруження відшарування покриттів під час випробувань зразків на розтяг та зсув.

4. Метод склерометрії використовується для тонких плівок. Для товстих плівок (товщиною більше 100 мкм) доречно використовувати інші більш точні методи. Необхідно було б в першому розділі провести критичний огляд методів дослідження адгезійної міцності для покриттів, товщина яких перевищує 100 мкм.

5. У висновках до розділу 2 вказано, що «оптимізовано режими». Але в роботі не використовувався апарат математичної статистики для вирішення задачі оптимізації.

6. Немає узгодженості між описом на с.105, де вказано, що для покриттів отриманих за режимом «ТО 2» переважає адгезійний відрив, та

зроблено посилання на рис.4.2. Насправді на цій фотографії можна побачити лише мікроструктуру покриття.

7. Не уникнув автор технічного браку в тексті та нечітких формулювань. Мають місце друкарські помилки: сталє (с.65), оптимальної будову (с.65), $50 \times 2 \times 50 \text{ см}^2$ (с.67), 10^5 мм.рт.ст. (с.87), обробко поврхні (с.111), залкжать (с.132), темепературні (с.132). В назві дисертації на англійській мові використовується два рази слово «with». В англійській анотації потрібно було написати марку сталі 40Kh13, а не 40X13, а також – Kh20N80, а не H20N80.

Але приведені зауваження не принижують цінність основних наукових результатів роботи і не являються принциповими по відношенню до її головних висновків. Зауваження скоріше підкреслюють потенційну силу роботи, а також нові можливості та напрямки її подальшого розвитку.

Загальні висновки. Дисертація **Ковбасюка Тараса Михайловича** є завершеною комплексною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати по розробці склокерамічного матеріалу на основі системи PbO–B₂O₃–ZnO для ізоляційних покриттів товстоплівкових нагрівних елементів високої ефективності. Концептуальний підхід роботи слід застосовувати в розробках нових матеріалів та технологій. Наукова новизна роботи, її зміст та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство.

Актуальність тематики, зміст і обсяг проведених досліджень, їх науковий рівень, ступінь розв'язання наукових і практичних задач відповідають сучасному рівню розвитку світової науки і техніки.

Вважаю, що дисертаційна робота Ковбасюка Т.М. „Розробка склокерамічного матеріалу ізоляційних покриттів товстоплівкових нагрівних елементів високої ефективності”, відповідають всім вимогам

МОН України щодо кандидатських дисертацій, наведених у пунктах 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступеней і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а її автор – Ковбасюк Тарас Михайлович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
лабораторії зміцнення поверхні елементів конструкцій
ІПМіц імені Г.С.Писаренка НАНУ,
доктор техн. наук, с.н.с.

М.А.Долгов

Підпис співробітника ІПМіц імені Г.С.Писаренка НАН України
М.А.Долгова засвідчую:

Учений секретар Інституту
канд. техн. наук



В.І.Скрипченко