Відгук
офіційного опонента Геворкяна Едвіна Спартаковича
на дисертаційну роботу Дайнеко Катерини Борисівни
«Низькотемпературний електротехнічний фарфор», подану на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Актуальність теми дисертації.

Електротехнічний фарфор вже протягом десятиріч використовується для виготовлення широкого асортименту ізоляційних виробів завдяки високому рівню механічних та діелектричних характеристик. Втім і досі технологія виготовлення фарфорових ізоляторів залишається однією з найенергоємних і такою, що залежить від поставок польовошпатових матеріалів. В сучасних економічних умовах стратегічно важливим є питання імпортозаміщення у вітчизняному виробництві. Від його вирішення залежить рівень розвитку підприємств та виключення їх залежності від поставок сировини. Сьогодні для України як ніколи актуальною є необхідність скорочення виробничих енерговитрат та переорієнтація підприємств на використання власних сировинних ресурсів. Розробка імпортозаміщуючої енергоощадної технології фарфорових виробів електротехнічного призначення сприятиме сталому розвитку і стабільному функціонуванню вітчизняних підприємств та дозволить їм покращити свої позиції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Враховуючи вищевикладене, дисертаційна робота Дайнеко К.Б., спрямована на розробку технології низькотемпературного фарфору електротехнічного призначення на основі вітчизняних сировинних матеріалів, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідної діяльності кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» в рамках завдань фундаментальної держбюджетної НДР МОН України «Розробка та дослідження процесів одержання низькотемпературного фарфору різного призначення з використанням кварц-польовошпатової сировини України» (ДР № 0113U000442), держбюджетної НДР МОН України «Створення малоенергоємних екологічно орієнтованих високоресурсних керамічних матеріалів» (ДР № 0115U000537) та державного замовлення «Розроблення ресурсозаощаджуючої технології створення керамічних матеріалів з використанням нових видів вітчизняної мінеральної сировини» (ДЗ/492–2009), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Теоретичні положення дисертації розроблені з використанням класичних для галузі ТНСМ методів, зокрема аналізу рівноважних фазових діаграм стану та термодинамічної оцінки вірогідності реакцій фазоутворення згідно з базовими принципами фізичної хімії силікатів. З використанням достовірних довідкових даних щодо властивостей фазових складових електрофарфору отримано результати імітаційного мікрорівневого моделювання поведінки елементарного об'єму фарфорового ізолятора при дії термомеханічних навантажень. Дані отримані із залученням методу кінцевих елементів, що широко використовується для вирішення задач в області механіки та теплообміну систем із нерегулярною структурою.

Результати експериментальних досліджень отримані за допомогою стандартизованих методик визначення властивостей електрофарфору, сучасних методів дослідження фазового складу та структури, методів планування експерименту та оцінки адекватності отриманих математичних залежностей «склад-властивості» експериментальним даним. Взаємоузгодженість результатів, отриманих різними методами та їх відповідність закономірностям теорії і технології тугоплавких неметалічних матеріалів також свідчить про їх достовірність. Підхід, застосований автором дисертації, передбачає комплексні і системні дослідження. Позитивні результати багаторазових випробувань розробленого електрофарфору в сертифікованих лабораторіях та спеціалізованих установах України та Німеччини, дозволяють вважати наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, достовірними і обґрунтованими.

Наукова новизна отриманих результатів є переконливою та полягає в тому, що автор на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтувала можливість низькотемпературного синтезу електрофарфору з високим рівнем електрофізичних і фізико-механічних властивостей за рахунок модифікації композицій системи $Na_2O–K_2O–Al_2O_3–SiO_2$ при використанні комплексних інтенсифікаторів спікання та мулітоутворення.

Автором на основі поглибленого дослідження складу та властивостей пірофілітів, в т.ч. вітчизняних Кур'янівського родовища, встановлена їх ефективність для інтенсифікації мулітоутворення при випалі фарфорових мас за умов зниженої температури (1200-1250 °С). В результаті порівняльного аналізу флюсуючої здатності вітчизняних та імпортних польовошпатових матеріалів обґрунтована доцільність використання продуктів збагачення лозуватських пегматитів – польовошпатового матеріалу (пшм). Доведено, що

зниження температури утворення рідкої фази та оптимізація її властивостей має відбуватись шляхом модифікування розплаву; встановлено склад комплексного плавня (2 мас. % понад 100 % доломіту та 30 мас. % пшм), який забезпечує отримання фарфору з нульовим водопоглинанням при 1200 °С. Визначено вплив малих добавок (CuO, Li_2O, TiO_2, SnO_2, B_2O_3) на процеси формування фарфору в температурному інтервалі 1150÷1250 °С. Доведена ефективність використання комплексного мінералізатора (0,3 мас. % понад 100 % TiO_2 і 12 мас. % пірофіліту) для інтенсифікації мулітоутворення та активного розчинення зерен кварцу при збережені максимального рівня спікання матеріалу. Визначено співвідношення компонентів мас, які забезпечують отримання електротехнічного фарфору при температурі 1200 °С з комплексом високих фізико-механічних та електрофізичних властивостей (електричний опір $\rho_V = 4{,}1\cdot10^{14}$ Ом·см, електрична міцність $E_{пр} = 29\div30$ кВ/мм, діелектричні втрати $tg\,\delta\cdot10^3 = 12{,}1$, механічна міцність $\sigma_{розр} = 31$ МПа). Встановлено закономірності формування структури та фазового складу розробленого фарфору, які полягають у інтенсивному спіканні матеріалу та утворенні підвищеної кількості муліту у вигляді рівномірно розподілених мікроволокон. Новоутворення муліту армують фарфор та забезпечують його структурну однорідність, як головний чинник механічної та електричної міцності.

В сукупності аналіз новизни наукових результатів свідчить про їх важливість для розвитку напряму створення енергоощадних імпортозамінюючих технологій кераміки електротехнічного призначення.

Практичне значення отриманих результатів роботи для виробництв кераміки електротехнічного призначення полягає в розробці складів сировинних сумішей і визначенні технологічних параметрів виготовлення низькотемпературного електротехнічного фарфору з високим рівнем діелектричних і механічних характеристик.

Використання розробок у виробництві фарфорових ізоляторів дозволить зменшити собівартість виробів при зниженні питомих витрат палива (до 30 %) за рахунок скорочення тривалості та зниження температури випалу на 80÷150 °С, та використанні виключно вітчизняних сировинних ресурсів.

Розроблений низькотемпературний електрофарфор пройшов комплексні випробування в ДП «НДІ Високих напруг» (м. Слов'янськ), ПВП «Харківелектроналадка» (м. Харків), та електротехнічній лабораторії Вищої школи Вісмару (м. Вісмар, Німеччина). Результати випробувань свідчать про можливість використання розробленого низькотемпературного фарфору для виготовлення виробів з підвищеними електричними

властивостями, в тому числі високовольтних підвісних ізоляторів.

Доведена ефективність використання методу кінцевих елементів для імітаційного мікрорівневого моделювання напружено-деформованого стану на ділянках і контактах структурно-фазових складових кераміки, що дозволяє аналізувати поведінку виробів при експлуатації та посилити наукове обґрунтування при проектуванні матеріалів із заданими властивостями.

Результати досліджень впроваджені у навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» при викладанні спеціальних дисциплін за програмою підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 05130104 «Хімічні технології тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів».

Повнота викладення результатів роботи у наукових працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 22 наукових працях, серед них 6 – у фахових наукових виданнях України (в т.ч. 1 у тому, що входить до наукометричних баз), 2 – у іноземних періодичних фахових виданнях, 1 патент України, 13 – у матеріалах науково-технічних конференцій. Обсяг та кількість друкованих робіт відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Аналіз основного змісту дисертаційної роботи. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел інформації із 164 найменувань, 7 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки; з них – 55 рисунків, 27 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, дані щодо їх апробації і публікації.

В **першому розділі** проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку ринку ізоляторної продукції в Україні. Досить детально представлена характеристика технічних видів кераміки, зокрема електрофарфору, а також їх переваги, недоліки та деякі технологічні особливості виготовлення. На основі аналізу патентної інформації з питань створення низькотемпературного електрофарфору, Дайнеко К.Б. робить досить ґрунтовний висновок про недостатню розробленість питань енергоощадної технології фарфору та визначає основні напрямки вдосконалення технології фарфорових виробів.

У **другому розділі** надана характеристика сировинних матеріалів, використаних в роботі, описані розрахункові методики, методи та обладнання для експериментальних вимірювань, що застосовувалось для реалізації програми досліджень.

В **третьому розділі** на основі комплексу теоретичних досліджень обґрунтовано вибір флюсуючої складової мас та спроектовано оксидні композиції, придатні для отримання низькотемпературного електротехнічного фарфору.

На основі результатів імітаційного моделювання поведінки структурно-фазових елементів фарфору визначено теоретичний фазовий склад, що найбільш адаптований до заданих навантажень та має забезпечити високі експлуатаційні властивості ізоляторів. Розробка низькотемпературного електрофарфору здійснена на основі оксидних композицій системи $Na_2O–K_2O–Al_2O_3–SiO_2$, що забезпечують інтенсивне спікання та формування заданого фазового складу фарфору при температурі 1200 °С. Результати порівняльного аналізу флюсуючої здатності імпортних та вітчизняних польовошпатових матеріалів дозволили зробити висновок щодо доцільності заміни російських і норвезьких польових шпатів продуктами збагачення лозуватських пегматитів за умови зниження температури утворення та оптимізації властивостей рідкої фази шляхом модифікування розплаву.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень складу та технологічних властивостей альтернативної алюмосилікатної сировини, використання якої в технології електротехнічного фарфору є перспективним. Показана доцільність введення до складу мас пірофілітової сировини, зокрема кур'янівських пірофілітвмісних порід, для інтенсифікації мулітоутворення при зниженій температурі випалу завдяки активному формуванню мулітової фази, що відбувається без утворення проміжної сполуки (Al-Si-шпінелі).

П'ятий розділ присвячений розробці технології низькотемпературного електротехнічного фарфору. Із залученням методів планування експерименту визначені оптимальні співвідношення компонентів мас, які забезпечують максимальний рівень спікання та мулітоутворення фарфору при температурі 1200 °С. Розглянута можливість поліпшення властивостей фарфору за рахунок інтенсифікації процесів фазоутворення при використанні мінералізуючих добавок. В результаті комплексу заходів розроблені маси, які забезпечують отримання при температурі 1200 °С електротехнічного фарфору, що задовольняє вимоги ГОСТ 20419-83 до фарфорових виробів електротехнічного призначення (підгрупи 110). Всебічними дослідженнями визначені особливості структури та фазового складу низькотемпературного фарфору та встановлені закономірності його формування.

У шостому розділі представлені результати всебічних досліджень та контрольних випробувань зразків розробленого низькотемпературного

електрофарфору та надана порівняльна характеристика аналогів, що свідчить про переваги розробленого матеріалу.

Загальні висновки дисертації конкретно і стисло висвітлюють основні наукові результати.

У **додатках** надано акти випробувань низькотемпературного фарфору, довідка щодо впровадження розробок у навчальний процес, розрахунок економічного ефекту від впровадження розробок дисертації, а також текст авторської програми для прогнозної оцінки властивостей польовошпатових розплавів для заданих умов випалу.

В цілому робота написана грамотною українською мовою згідно сучасних загальноприйнятих технічних термінів, викладена в логічній формі та достатньо проілюстрована. Автореферат є стислим викладом наукових положень дисертаційної роботи та в повній мірі відображає її зміст.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Літературний огляд надмірно докладний, становить 25 % основного тексту. У 2-му розділі докладно описуються відомі стандартні методики, наприклад наводяться формули визначення відкритої поруватості, водопоглинання тощо. Після розділів 3, 4, 5 немає окремих висновків.

2. У дисертації не всюди приводитися фракційний склад вихідних сумішей, а від цього багато в чому залежить температура спікання. Відомо, що заміна кварцового піску на дрібнодисперсний кремнезем в масі фарфору знижує температуру спікання з 1250 °С до 1200 °С за рахунок активної взаємодії високодисперсного кремнезему в твердій фазі в області температур 1000-1050 °С і призводить до утворення необхідної кількості розплаву в інтервалі температур 1150-1200 °С за рахунок утворення низько-температурної евтектики.

3. Розділ 4, стор. 111, стверджується, що при нагріванні чистогорівського пірофіліту утворення муліту відбувається без проміжних фаз. Незрозуміло, що цьому сприяє.

4. Розділ 5, не зрозуміло, чим обумовлюється введення CaO і MgO з вмістом саме в кількості 0,02 і 0,04 мол. %.

5. Розділ 5, стор. 130-133, за рахунок якого механізму введення добавок оксидів бору, літію, титану, станума та купруму прискорює отримання мулітової фази?

6. Розділ 5, стор. 144, не зрозуміло, чим пояснюється значний екзоефект при температурі 500 °С на рис. 5.14?

7. Розділ 5, стор. 145, не зрозуміло, чим пояснюється від'ємна усадка на дилатометричній кривій, наведеній на рис. 5.15?

8. В авторефераті автор випадково або зумисне не вказує які матеріали містяться в додатках, хоча при викладенні структури роботи зазначається наявність 7 додатків.

Втім вказані недоліки та зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

Враховуючи вищевикладене, необхідно відзначити, що дисертаційна робота Дайнеко К.Б. «Низькотемпературний електротехнічний фарфор» є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки теоретичних основ і технологічних принципів отримання низькотемпературного електротехнічного фарфору з комплексом високих механічних та діелектричних характеристик та створення на цій основі енергоощадної імпортозамінюючої технології фарфорових ізоляторів.

Дисертація є завершеною науковою працею, яка відповідає формулі і паспорту спеціальності 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів.

За актуальністю, ступенем обґрунтованості наукових положень та висновків, науковою новизною та практичною цінністю, рівнем отриманих результатів та висновків, повнотою їх викладення в опублікованих працях, дисертаційна робота відповідає п. п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Дайнеко Катерина Борисівна заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів.

Офіційний опонент, д.т.н., професор,
професор кафедри «Якість, стандартизація, сертифікація та технології виготовлення матеріалів»
Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків Е. С. Геворкян

Геворкян Е.С.

Особистий підпис засвідчую ________ 20 __ р.
Завідуючий канцелярією УкрДУЗТ

Міністерство освіти і науки України * Український державний університет залізничного транспорту * №01116472

Міністерство освіти і науки України * Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" * код 02071180

23 11 2015
Д64.050.03 Шабанова Г.М.