

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

МАКАРЕНКО ВІКТОРІЯ ВАСИЛІВНА

УДК 666.766 : 546

**ТЕПЛОЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ТА ВИРОБИ
З НЬОГО З ПІДВИЩЕНОЮ СТІЙКІСТЮ В ПОТОКАХ ІОНІЗОВАНОГО
ГАЗУ**

Спеціальність 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Семченко Галина Дмитрівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри технології кераміки,
вогнетривів, скла та емалей

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Пащенко Євгеній Олександрович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, м. Київ,
завідувач відділу фізико-хімії та технології композиційних абразивних матеріалів, розробки та застосування інструментів з них

Кандидат технічних наук, доцент
Чишкала Володимир Олексійович,
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, доцент кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій

Захист відбудеться «15» червня 2017 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 64.050.03 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий « 12 » травня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Шабанова Г.М

Актуальність теми. Інтенсифікація промислового виробництва та розвиток різних галузей науки та техніки обумовлює необхідність розробки конструкційних і композиційних матеріалів, що характеризуються спеціальними заданими властивостями, іноді унікальними. Саме розвиток ряду галузей промисловості та нової техніки за останні 20 – 25 років обумовлює необхідність розробки таких матеріалів. У сучасних умовах технічного прогресу та направленості наукових досліджень на вирішення питань, що пов'язані з високими технологіями, стоїть проблема створення нових матеріалів, в яких раціонально будуть поєднуватися суперечні властивості. Найбільш перспективними є композиційні матеріали на основі керамічних матриць, армованих керамічним волокном. Об'єднання в один технологічний процес виготовлення керамічного матеріалу із заданими властивостями та виробів з нього, що відповідають експлуатаційним вимогам, є важливою задачею. Таким чином, розробка технології теплоелектроізоляційного матеріалу та виробів із нього для нової техніки з підвищеною стійкістю в потоках іонізованого газу є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрями дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» в рамках міжвузівської цільової комплексної науково-технічної програми «Створення нових високоефективних керамічних та композиційних матеріалів і виробів з них та технологій їх одержання», а також завдань фундаментальних держбюджетних НДР МОН України «Розробка теоретичних основ одержання конструкційних матеріалів та технічної кераміки системи $MgO-Al_2O_3-SiO_2-ZrO_2$ заданої структури і властивостей при об'єднанні принципів нетрадиційних методів синтезу, в тому числі золь-гель методу, з механохімією» (ДР № 0100U001078) та «Розробка основ синтезу наночастин в керамічних матрицях для дисипативного зміцнення КМ» (ДР № 0109U002413), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Об'єктом досліджень є фізико-хімічні процеси формування армованої структури теплоелектроізоляційного матеріалу за участю зв'язуючих, волокна, дисперсних оксидних порошоків при отриманні лабораторних зразків теплоелектроізоляційних матеріалів, дослідно-експериментальних та промислових виробів.

Предметом дослідження є процеси модифікування при подрібненні наповнювача та волокон, а також термодеструкція комбінованих зв'язуючих.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи є розробка композиційного матеріалу із заданими властивостями для виготовлення з нього виробів складної конфігурації, стійких в потоках іонізованого газу.

Відповідно до поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- дослідження впливу добавки V_2O_5 у складі комплексного зв'язуючого на основі етилсилікатного золю;
- дослідження механохімічного синтезу муліту в процесі подрібнення електрокорунду з добавкою алкоксиду кремнію;

- встановлення температури утворення розплаву в корундовій матриці та мулітоутворення при спіканні сумішей електрокорунду із золь-гель зв'язуючим з добавкою B_2O_3 ;

- дослідження фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу з мулітокремнеземним та полікристалічним корундовим волокном;

- дослідження формування кристалічної структури корундового матеріалу, армованого мулітокремнеземним волокном під час випалу.

Методи досліджень. Фазовий склад і структуру матеріалу визначали за допомогою петрографічного, електронно-мікроскопічного і рентгенофазових методів аналізу (ДРОН–3). Термічні дослідження проводили на дериватографі ОД–103 системи Паулік, Паулік та Ердей. Для встановлення фазового складу матеріалів в процесі нагрівання застосовано рентгенофазовий метод аналізу «in situ» за допомогою дифрактометра ДРОН–2. Структуроутворення мас визначали на приборі Толстого по методиці Нечипоренка. Визначення відкритої пористості, уявної щільності, межі міцності при стиску та при згині, термостійкості здійснювали за стандартними методами відповідно до діючих ДСТУ та ISO. Для оптимізації складів зв'язуючого і режимів його термообробки використовували статистичні методи планування та обробки експерименту. Експериментальні дослідження по визначенню складу та властивостей синтезованих матеріалів проводили в лабораторії конструкційної кераміки та вогнетривів кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП», а також з залученням спеціалістів ХНУ, УкрНДІВ ім. А.С. Бережного, УНД вуглехімічного інституту тощо. Дослідження корозійної стійкості в потоках іонізованих газів проводили на підприємстві «Факел».

Наукова новизна одержаних результатів виконаної роботи полягає в тому, що здобувачем вперше :

- на підставі результатів досліджень впливу добавок алкоксиду кремнію та парафіну на поверхню мулітокремнеземного та полікристалічного корундового волокна, яке модифіковане, встановлено, що волокно рівномірно покривається плівкою елементно-органічної речовини, аморфний SiO_2 якої при нагріванні утворює розчин на поверхні волокна, що запобігає його кристалізації при випалі матеріалу;

- теоретично обґрунтовано і експериментально доведено, що застосування алкоксиду кремнію, який є постачальником аморфного SiO_2 , не тільки знижує температуру спікання маси, але інтенсифікує утворення муліту при спіканні, самоармуючи корундову матрицю і підвищуючи термостійкість та тріщиностійкість матеріалу;

- ґрунтуючись на дослідженні процесів фазо- та структуроутворення, встановлено механізм впливу комбінованого зв'язуючого у складі композиційного матеріалу на його властивості, який полягає в тому, що при використанні парафіну і етилсилікатного золю досягається значне ущільнення, знищується пружна післядія при пресуванні, а в процесі випалювання виникають компоненти, при взаємодії яких синтезуються SiC та оксинітрид кремнію, що ущільнює поверхневий шар виробів і сприяє підвищенню їх абразивної стійкості;

- як результат досліджень впливу алкоксиду кремнію та етилсилікатних зв'язуючих на процес модифікування поверхні волокна та створення заданої структури матеріалу, теоретично і експериментально обґрунтовано доцільність введення вказаних речовин у маси на основі корунду і полікристалічного корундового та мулітового волокна відповідно у кількості не більше, ніж 2 мас.% – ЕТС та до 25 мас.% – модифікованого волокна.

Практична цінність. На підставі одержаних результатів вперше розроблено технологію виготовлення виробів (діаметр 120 мм, висота – 80 мм) складної конфігурації з рівномірною і однорідною структурою методом напівсухого пресування зі застосуванням механічної обробки для нанесення рівчаків для датчиків. Розроблено і затверджено технологічну інструкцію на виробництво виробів складної конфігурації із заданими властивостями. Корпуси для підшипників діаметром 70 та 120 мм з теплоелектроізоляційного матеріалу пройшли апробацію на «Виробничо-комерційній фірмі Фабрика швидкого різну» (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Всі положення дисертаційної роботи, що винесено на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: огляд науково-технічної літератури та аналіз наведених даних, дослідження, обробка результатів досліджень, аналіз отриманих наукових результатів, теоретичні розрахунки, дослідження з розробки технології виготовлення композиційного матеріалу та сформульовані висновки і наукові положення. Здобувач безпосередньо брав участь у впровадженні результатів роботи.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП» при підготовці бакалаврів і спеціалістів за спеціальністю 05130104 «Хімічні технології тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів».

Науково-технічну новизну розробок підтверджено 2 патентами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения материалов» (м. Одеса, 2001, 2002, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2013, 2014), 1,4 та 5 наукових читаннях «Фізико-хімічні проблеми керамічного матеріалознавства» із міжнародною участю (м. Харків, 2004, 2010, 2016), ХХ і ХХVІ науково-технічній конференції «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов. Жаропрочные материалы» (м. Обнинськ, Росія, 2007, 2013); науково-технічній конференції «Высокотемпературные материалы и технологии в XXI веке. Современные проблемы технической керамики» (м. Москва, Росія, 2008); I Українській конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Современные технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» (м. Харків, 2009);; Міжнародній науково-технічній конференції «Фізико-хімічні проблеми та технології тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів» (м. Харків, 2010, 2013 – 2016), I та II Міжнародних конференціях до 150-річчя від дня народження В.І. Вернадського «Прикладна фізико-неорганічна хімія» (м. Севастополь, 2011, 2013), ХVІІІ Українській конференції з неорганічної хімії (м. Харків, 2011), Всеросійській

науково-технічній конференції із міжнародною участю «Байкальський матеріалознавчий форум» (м. Улан-Уде, Росія, 2012), Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физико-химического материаловедения» (Макеєвка, 2013 г.), VII Всеросійській науковій конференції «Керамика и композиционные материалы» (м. Сиктивкар, Росія, 2015, 2016), Международной конференции огнупорщиков и металлургов (м. Москва, Росія, 2016).

Публікації. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 18 наукових працях, з них: 1 монографія (у співавторстві), 5 статей у іноземних фахових виданнях (1 - Scopus), 6 статей у фахових виданнях України, 2 патенти України, 4 тез доповідей.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, 5 додатків. Повний обсяг дисертації складає 178 сторінок, 52 рисунки за текстом, 5 рисунків на 4 сторінках, 26 таблиць за текстом, 2 таблиці на 3 сторінці, 5 додатків на 8 сторінках; 133 найменувань використаних літературних джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну і практичне значення роботи.

Перший розділ присвячено аналізу науково-технічної літератури з питань отримання композиційних матеріалів з використанням керамічного волокна, в тому числі на основі корунду та золь-гель композицій, які дають змогу виготовляти вироби складної конфігурації. З'ясовано, що для покращення реологічних властивостей мас для пресування виробів доцільним є створення комбінованих зв'язуючих з використанням термопластичних зв'язок (парафіну). На підставі проведеного аналізу обґрунтовано перспективність розробки такого комплексного зв'язуючого, компоненти якого зможуть регулювати фазовий склад керамічної матриці та її структуру, ущільнюючи матеріал, армований додатково введеним керамічним волокном, а також утворювати на поверхні виробів плівку, армовану синтезованими фазами, підвищуючи її стійкість до зносу в потоках газу.

Визначено напрямки та сформульовано завдання досліджень, націлених на створення технології теплоелектроізоляційного матеріалу і виробів із нього з підвищеною стійкістю в потоках іонізованого газу.

У **другому розділі** наведено характеристику вихідної сировини, обґрунтовано вибір стандартних та спеціальних методів експериментальних досліджень властивостей мас та матеріалу. В роботі використано рентгенофазовий аналіз на дифрактометрах ДРОН-3 та ДРОН-2, в тому числі дослідження «in situ», спектроскопічні методи ІЧ, КРС, а також диференціальний термічний аналіз (ДТА) в різних середовищах до 1000 °С, на приборі 1500 фірми МОМ при швидкості підйому температури 10 °С/хв при температурі від 20 до 1500 °С. Дослідження фазоутворення та структури матеріалів проводили на мікроскопах різних типів (МІН-8, РЕММА-101 А, Tesla-350 та інших).

Як наповнювач матеріалу використовували електрокорунд білий, модифікований алкоксидом кремнію при подрібненні в кульовому млині до розміру менш 1 мкм. Для приготування золь-гель композицій використовували етилсилікат ЕТС-32 (ТУ 6-02-695-86 зм.1) густиною 955 – 990 кг/м³, масова доля SiO₂ – 31 – 34 %. Гідроліз ЕТС-32 проводили в кислому середовищі за допомогою пропелерної мішалки типу АОЛ 012-4 (ГОСТ 8212-56) при використанні дистильованої води (ГОСТ 6709-66) і каталізатора гідролізу HCl. Маса виготовляли шляхом змішування попередньо модифікованого корундового наповнювача розміром менш 1 мкм, модифікованого керамічного волокна розміром менш 60 мкм із комбінованим парафін-золь зв'язуючим шляхом старанного перемішування суміші. Вироби випалювали за розробленими режимами в печі СУОЛ-0,4.2,5/15-И1 до 1450 °С в повітряному середовищі та азоті при 1580 °С (УкрНДІВ). Тріщиностійкість визначали на приборі «Керамтест». При визначенні властивостей використано статистичну обробку даних за допомогою програми EXEL.

У третьому розділі надано результати теоретичних та експериментальних досліджень фізико-хімічних процесів при модифікуванні полікристалічного волокна алкоксидом кремнію та мулітоутворення в системі Al₂O₃-SiO₂ при використанні модифікованого алкоксидом кремнію наповнювача – електрокорунду

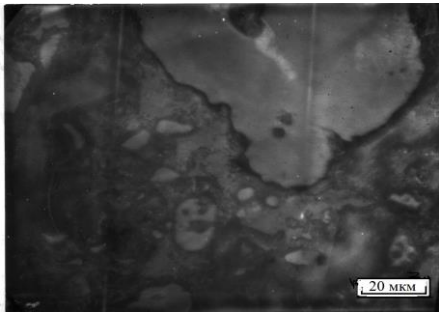


Рисунок 1 – Поява розплаву на поверхні корундового наповнювача до 1000°С

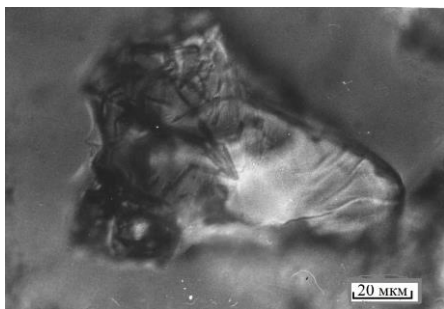


Рисунок 2 – Мулітизація кристалів корунду

та сумішей його із золь-гель зв'язуючим. Експериментально встановлено, що при модифікуванні наповнювача алкоксидом кремнію в процесі подрібнення має місце активація поверхні зерен, структурні порушення решітки кристалів α-Al₂O₃, механохімічний синтез муліту та механохімічне перетворення добавки тетроетилоросисилану, в результаті чого створюється відновне середовище, що інтенсифікує мулітоутворення з дефектних зерен корунду та аморфного кремнезему золь-гель композиції. Інтенсифікації мулітоутворення сприяє також введення незначної кількості добавки V₂O₃ до золь-гель зв'язуючого.

При використанні золь-гель зв'язуючого інтенсифікується спікання мас за рахунок утворення метастабільного розплаву при температурі 1000 °С (рис. 1). У зв'язку з утворенням розплаву муліт кристалізується у вигляді нитковидних кристалів розміром 2 – 7 мкм як на поверхні корундових зерен, так і в середині (рис. 2).

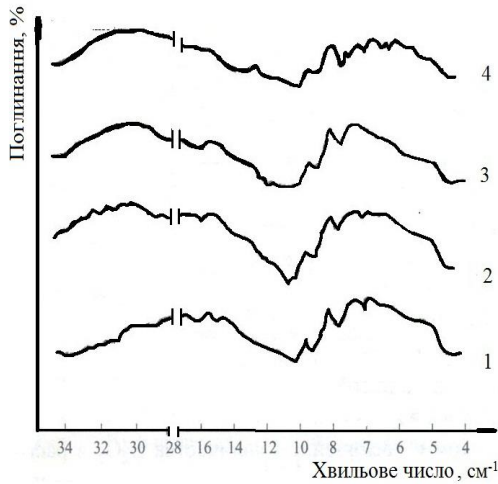


Рисунок 3 – ІЧ-спектри гелей з етилсилікату з каталізатором гідролізу НСІ (1) і добавкою H_3BO_3 (2-4)

У всіх складах вміст НСІ – 0,8 %; H_3BO_3 : 2 – 0,2 %, 3 – 2,0 %, 4 – 4,0 %

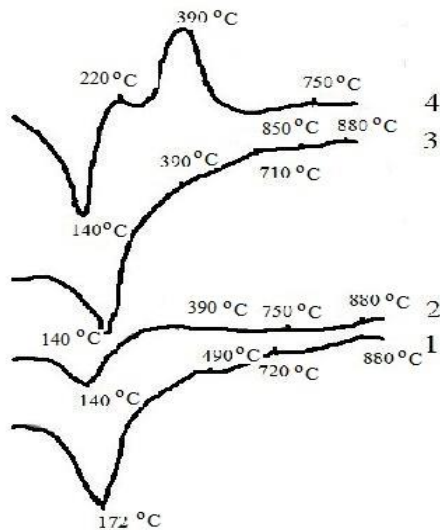


Рисунок 4 – Криві ДТА гелевих композицій на основі етилсилікату

1, 2, 3 – з добавкою H_3BO_3 %; вміст відповідно 0,2, 2,0 та 4,0, 4 – без H_3BO_3

Втрати маси, %

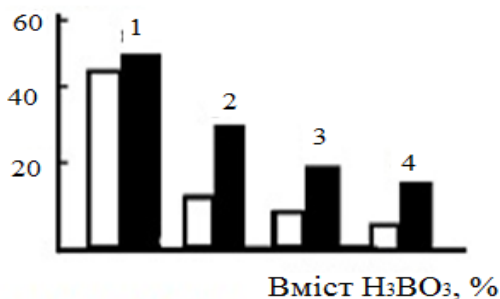


Рисунок 5 – Втрати маси гелів із етилсилікату 1 – без H_3BO_3 ; 2, 3 і 4 з добавкою H_3BO_3 відповідно 0,2, 2,0 і 4,0 %;

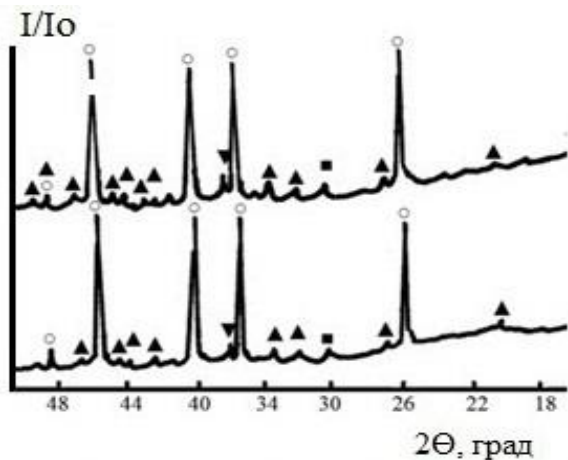
Процес гелеутворення композицій ЕТС–32– H_3BO_3 відрізняється від процесу гелеутворення в гідролізатах, в яких як каталізатор гідролізу використовували тільки НСІ (рис. 3). При використанні як каталізатора гідролізу H_3BO_3 (до 4%) виявлено підвищену аморфізацію кремнезему в продуктах поліконденсації комбінованого гідролізату.

За даними ДТА, введення навіть незначної кількості H_3BO_3 в гідролізат ЕТС-32 з каталізатором гідролізу НСІ змінює хід термоокиснючої деструкції гелю (рис. 4), при цьому зникають або згладжуються екзотермічні піки, характерні для чистого етилсилікатного гелю, до температур 390 °С.

Число екзофектів на кривих ДТА гелю з різною кількістю H_3BO_3 не змінюється, але змінюється форма піків та їх висота, що свідчить про інтенсивність виходу продуктів термоокиснючої деструкції гелевої композиції ЕТС– H_3BO_3 (до 390 °С) та синтезу новоутворень (710 – 850 °С).

Втрати маси при термообробці гелів з різною кількістю добавки H_3BO_3 не однакові (рис. 5). При мінімальній кількості H_3BO_3 (0,2 %) в етилсилікатній зв'язці процес окиснення продуктів термодеструкції поліорганосилоксанів гелю відбувається при температурі 490 °С, що у порівнянні з чистою етилсилікатною зв'язкою вище на 100 градусів, при цьому інтенсивність процесу окиснення знижується. При температурі до 490 °С втрати маси гелів з борною кислотою в 8 – 10 разів менше (рис. 5), ніж втрати при нагрі-

ванні чистого гелю. На підставі петрографічних досліджень встановлено, що зі збільшенням вмісту добавки H_3BO_3 підвищується кількість включень вуглецю в склі, що утворюється при спіканні гелю с добавкою H_3BO_3 . Об'ємна доля вуглецю зростає з 10 – 15 % (0,2 % H_3BO_3) до 20 – 25 % (2,0 % H_3BO_3) і навіть до 40 – 50 % (4,0 % H_3BO_3). Таким чином, введення борної кислоти в етилсилікатні гелі затримує термодеструкцію вуглецевмісних компонентів зв'язуючого при нагріванні гелю навіть у повітряному середовищі при температурі вище, ніж 900 °С. Композиції ЕТС – H_3BO_3 можуть бути рекомендовані для інтенсифікації синтезу β -SiC і V_4C в керамічних матрицях різних матеріалів. В нашому випадку золь з добавкою борної кислоти використовували для підвищення виходу синтезованого β -SiC та оксинітриду кремнію в плівках на поверхні створеного композиційного матеріалу для підвищення абразивної стійкості виробів в потоках іонізованого газу.



○ – α - Al_2O_3 , ▲ – β - Al_2O_3 , ▼ – SiC, ■ – кварц

Рисунок 6 – РФА електрокорунду, модифікованого 1 % ТЕОС (1), та його суміші з золь-гель зв'язуючим (2) після термообробки (на повітрі) при температурі 1000 °С

При дослідженні впливу нагрівання композиції електрокорунд + ЕТС – H_3BO_3 (від 0,2 до 4,0 %) встановлено (рис. 6), що використання такого зв'язуючого сприяє не тільки інтенсифікації спікання матеріалу, але й армуванню керамічних матриць нитковидними утвореннями β -SiC. Проведено розрахунки температури появи розплаву при нагріванні суміші електрокорунду з модифікованим зв'язуючим в системі Al_2O_3 – Fe_2O_3 – SiO_2 – B_2O_3 , виявлено, що розплав з'являється при температурі нижче 1000 °С, що підтвер-

джено петрографічними дослідженнями.

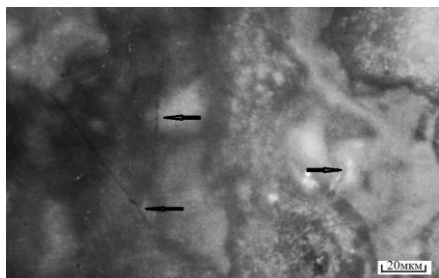


Рисунок 7 – Мулітизація корундової матриці

Поява розплаву при низьких температурах при випалі зразків із модифікованого електрокорунду на золь-гель зв'язуючому з добавкою борної кислоти сприяє інтенсифікації спікання маси та одержанню матеріалу з низькою пористістю, особливо при високих температурах випалу. Підвищення щільності матеріалу та армування матриці нитковидними кристалами муліту призводить до підвищення показників фізико-механічних характеристик матеріалу та його термостійкості й тріщиностійкості. Нитковидні кристали муліту синтезуються в корундовій матриці (рис. 7) в кількості до 60 – 70 %.

Рисунок 7 – Мулітизація корундової матриці

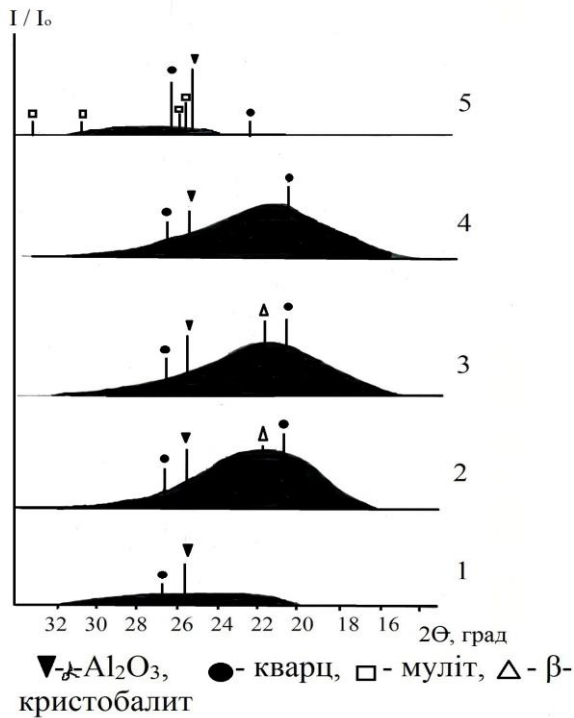


Рисунок 8 – Штрих-діаграми модифікованого електрокорунду після механохімічної активації при тривалості механохімічної активації: год. 1 – 0, 2 – 1, 3 – 2, 4 – 6, 5 – 60

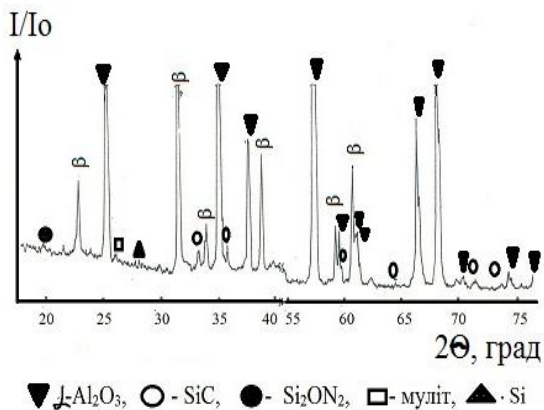


Рисунок 9 – Дифрактограма модифікованого електрокорунду 1 % алкоксиду кремнію протягом 2 годин

удару тіл, які подрібнюють. Механохімічно синтезований муліт зберігається невизначено довго при нормальній температурі, а при нагріванні зникає.

Механохімічний синтез структурно доскональної метастабільної фази муліту при модифікації електрокорунду алкоксидом кремнію підтверджено методами РФА (рис. 9) та КРС (рис. 10).

Розмір кристалів муліту не перевищує 0,1 мкм. Фазовий склад механохімічно модифікованого електрокорунду представлено на рис. 9.

В 4 розділі представлено технологічні розробки створення композиційного матеріалу заданої структури та фазового складу із суміші електрокорунду, модифікованого алкоксидом кремнію, на золь-гель зв'язуючому. На дифрактограмах модифікованого електрокорунду спостерігається утворення рентгеноаморфного гало та піки механохімічно синтезованого муліту (рис. 8).

Глибина механохімічних процесів при подрібненні електрокорунду з алкоксидом кремнію призводить к підвищенню дефектності кристалічної решітки α - Al_2O_3 , аморфізації поверхневого шару зерен α - Al_2O_3 , що підтверджується утворенням β -глинозему на поверхні ядра зерен. Цей поверхневий шар контактує з аморфним кремнеземом аморфізатору, який покриває поверхню зерен корунду молекулярним шаром. В цілому процес завершується самоорганізацією ближнього порядку в ділянках неупорядкованої структури α - Al_2O_3 , що знаходиться в тісному контакті з аморфним SiO_2 алкоксиду кремнію в бік створення сиботаксичних груп AlO_4 , AlO_6 и SiO_4 в співвідношенні, що необхідно для синтезу муліту.

В процесі подрібнення в результаті механохімічної активації в точках співудару тіл, які подрібнюють, в сумішах модифікованого електрокорунду синтезується муліт одночасно з синтезом наночастин карбїду кремнію. Такий ефект є результатом високого локального тиску та високої температури в точці спів-

Після випалу в повітряному середовищі фазовий склад матеріалу складається з корунду та муліту (рис. 10),

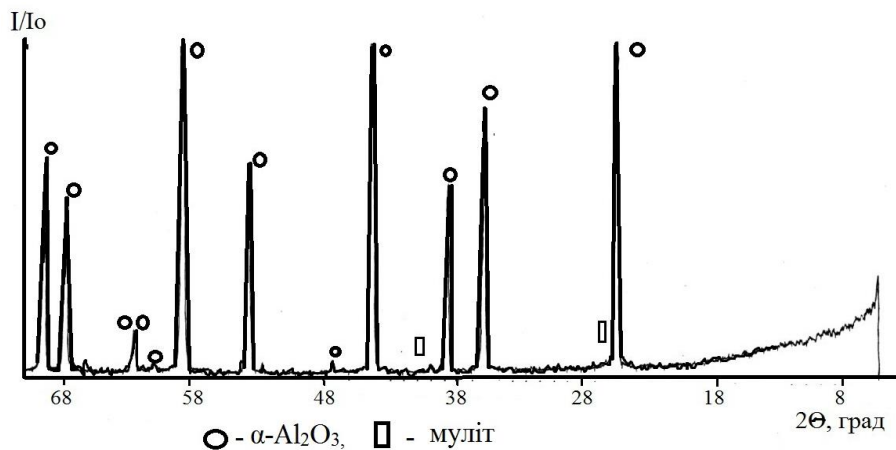


Рисунок 10 – Фазовий склад матеріалу на основі дрібномеленого корунду і етилсилікатної зв'язки

після випалу в азотному середовищі крім цих фаз є присутніми ще карбід кремнію та оксинітрид кремнію (рис. 11). Встановлено, що випал виробів в азотному середовищі сприяє утворенню фаз, що підвищує не тільки

властивості матеріалу, але й зносостійкість виробів в заданих умовах експлуатації.

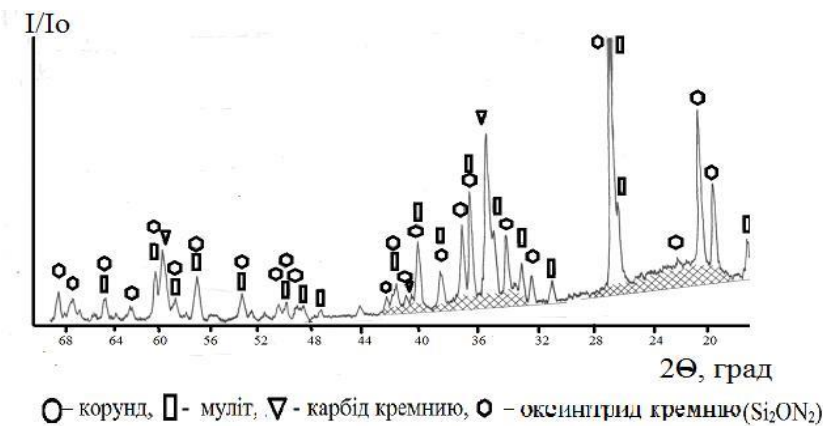


Рисунок 11 – Дифрактограма матеріалу випаленого при 1580 °С

П'ятий розділ присвячено розробці технології композиційних матеріалів та виробів із них для роботи в потоках іонізованого газу. На першому етапі для одержання однорідної маси та інтенсифікації спікання, здійснювали подрібнення електрокорунду з мулітокремнеземним волокном або полікристалічним корундовим волокном, які використовували для армування керамічних матриць. Волокна попередньо обробляли алкоксидом кремнію.

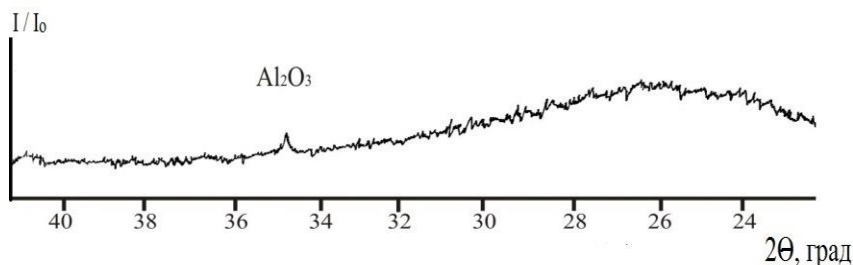


Рисунок 12 – Дифрактограма модифікованого полікристалічного корундового волокна після термообробки при 1000 °С

Встановлено, що полікристалічне корундове волокно після модифікування алкоксидом кремнію та термо-

обробки при 1000 °С є практично аморфним (рис. 12), на дифрактограмі на фоні гало видно єдиний незначний пік $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Другим етапом в технології виготовлення матеріалу є спосіб змішування модифікованого полікристалічного корундового волокна з дисперсним наповнювачем та зв'язуючим. Подрібнення електрокорунду здійснювали мокрим тонким помелом протягом 60 годин. Модифіковане волокно розпушували і вводили разом з етилсилікатним зв'язуючим в суспензію корунду для рівномірного розподілу у масі. Сумісний помел компонентів здійснювали протягом 12 – 16 годин. Одержану суспензію випарювали і парафінували. Таким чином одержували зерно, яке використовували для пресування мас.

В результаті експериментів визначена оптимальна кількість парафіну в шихтах в залежності від вмісту волокна та його виду і величини критичного тиску пресування. Зразки, що відпресували при тиску 150 МПа, випалювали у відновному середовищі та азоті. Зі збільшенням температури випалу з 1000 до 1600 °С збільшується не лише уявна щільність зразків, особливо при використанні більшої кількості модифікатора, але і міцність матеріалу.

Встановлено технологічні параметри виготовлення заготовок виробів з використанням мулітокремнеземного та полікристалічного корундового волокна. Пресування дрібнодисперсної шихти з волокнистим компонентом (20 – 40 %) потребує значної кількості термопластичної зв'язки. Розроблено спеціальні режими термообробки виготовлених заготовок виробів, щоб запобігти утворенню тріщин, та визначено усадку виробів з різним видом волокна при випалі в різних середовищах. Встановлено, що при випалі у відновному середовищі усадка є в 2,5 – 3 рази меншою, ніж при випалі в повітряному середовищі, при тому вона зменшується при використанні модифікованого волокна. Технологічна схема виготовлення композиційного матеріалу з веденням полікристалічного корундового волокна надана на рис. 13.

Досліджено фізико-хімічні процеси при нагріванні модифікованих компонентів шихт, комбінованого термопластичного зв'язуючого парафін-етилсилікат-ний золь та їх сумішей з корундовим наповнювачем.

У результаті термографічних досліджень комбінованого зв'язуючого на основі парафіну та етилсилікатного золю встановлено взаємний вплив компонентів зв'язуючого на їх окиснення при термообробці (рис. 14). Зафіксовано лінійний характер полімеризації етилсилікатного зв'язуючого в присутності парафіну, що забезпечує одержання гнучкого прошарку, що підвищує фізико-механічні властивості корундового матеріалу. Досліджено структурно-механічні властивості композиційного матеріалу в залежності від кількості пластифікатора та алкоксиду кремнію. Для мас без пластифікатора на етилсилікатному зв'язуючому характерно крихке руйнування структури і велика ймовірність появи дефектів формування. При введенні тільки пластифікатора спостерігався значний розвиток пластичних деформацій, маси легко деформуються і виявляють схильність до пластичного руйнування. Для усунення цих дефектів запропоновано комбінуюче зв'язуюче із застосуванням алкоксиду кремнію та парафіну. Додаткове введення кремнійорганічної речовини в пластифікатор дозволяє зменшити значення пластичної в'язкості і період істинної релаксації,



Рисунок 13. – Технологічна схема виробництва КМ з використанням полікристалічного корундового волокна

що свідчить про уніфікованість та ефективність комбінованого зв'язуючого, що є визначальним при формуванні великорозмірних виробів. Проведене дослідження структурно-механічних властивостей мас КМ дозволило зробити опти-

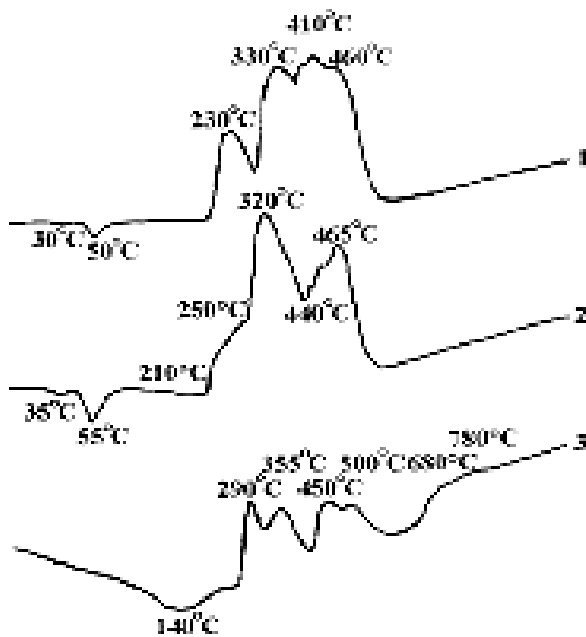


Рисунок 14. – ДТА кривих сумішей: 1 – корунду з комбінованим зв'язуючим; 2 – корунду з парафіном; 3 – етилсилікатного зв'язуючого з парафіном

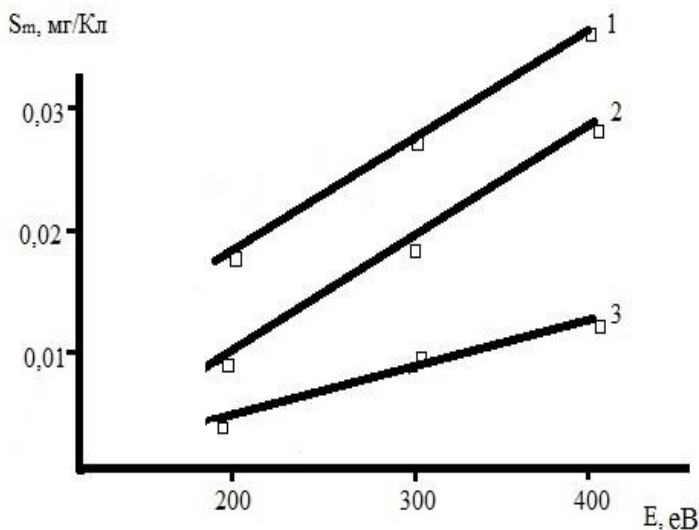


Рисунок 15. – Результати випробувань матеріалів у потоці іонізованих газів: 1 – Al_2O_3 ; 2 – композиційний керамічний матеріал; 3 – алюмоборонітрид

мальний вибір комбінованого зв'язуючого і дозування компонентів мас з поліпшеними формувальними властивостями.

Проведення випробувань зразків розробленого матеріалу мулітокорундового складу в потоках іонізованих газів, встановило, що втрати маси після 2 годин випробувань зразків у вигляді конусів, насаджених на стрижень із спеціального сплаву, при швидкості потоку газу 85 – 90 м/сек склали менше 0,2 %. Втрати маси корундового матеріалу з добавкою оксиду магнію склали в цих же умовах 0,57 %, що більш ніж в 2 рази є вищим, ніж у розробленого матеріалу рис. 15.

Винесення розробленого матеріалу в потоках іонізованого газу є меншим, ніж у корундового аналога, і вищим, ніж у гарячепресованих матеріалів, що використовуються в новій техніці. Однак, враховуючи високу вартість гарячого пресованих матеріалів, перевагу віддано розробленому матеріалу.

Властивості матеріалу з 1 % і 20 % полікристалічного корундового волокна і однорідного корундового матеріалу представлено в таблиці 1.

Склади і порівняльні характеристики фізико-механічних властивостей розроблених теплоелектроізоляційних композиційних матеріалів з АБН (ТУ 88 УРСР 147.003.75) і БГП (ТУ АДИ108–77), які

використовували раніш наведено в табл. 2

Таблиця 1 – Показники властивостей КМ матеріалу та корунду

Показники властивостей	Al ₂ O ₃	Розроблений КМ	
		1% волокна	20% волокна
Відкрита пористість, %	1	3	5
Межа міцності при стиску, МПа	370	905	745
Електропір, Ом·м	10 ⁹	Понад 1·10 ¹¹	Понад 1·10 ¹¹
Показник однорідності матеріалу m _n	211	187	191
Трещиностійкість, МПа·м ^{0,5}	4	13	12
Термостійкість, цикли 1000 °С – вода	11	Понад 50	Понад 50
Коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/м·С ⁰	16	12,5	8

Таблиця 2 – Фізико-механічні характеристики розробленого КМ матеріалу та його аналогів

Компоненти шихти	Вміст компонентів шихти, мас. %					
	1	2	5	6	АБН	БГП
Корунд фр. менш, ніж 60 мкм	80	80	60	60	–	–
Мулітокремнеземне волокно	20	20	40	40	–	–
Парафін (сверх 100 %)	16	16	30	30	–	–
Просочення золь-гель зв'язуючим з добавкою борної кислоти	–	+	–	+	–	–
Відкрита пористість, %	21	14	50	48	27	11
Уявна щільність, г/см ³	2,55	2,68	1,35	1,42	1,97	2,20
Межа міцності при вигині, МПа	65	62	62	61	30	85
Термостійкість до руйнування, цикли (1300 °С – вода)	понад 50	понад 50	понад 50	понад 50	22	50

Встановлено, що відновлювальний первинний випадок композиційного матеріалу, що містить елементарний кремній, призводить до утворення β-SiC, в результаті чого значно підвищується термостійкість матеріалів понад 50 циклів 1300 °С – вода та не призводить до великої лінійної усадки, що сприяє високій міцності обпаленої кераміки.

Виходячи з результатів іспитів, теплоелектроізоляційний матеріал було рекомендовано для роботи в потоках іонізованого газу замість відомого однорідного корундового матеріалу із евтектичною добавкою, яка спікає, і більш дорогих матеріалів АБН та БГП, що виготовляються методом гарячого пресування, втрати маси яких після 2 годин іспитів складали відповідно 0,2 % проти 0,18 % для розробленого матеріалу та 0,4 % для корундового матеріалу з евтектичною добавкою, яка спікає.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішено науково-практичну задачу розробки технології КМ та виро-

бів на їх основі для експлуатації в потоках іонізованих газів. Основні висновки дисертації полягають у наступному:

1. На підставі дослідження запропоновано склад комплексного зв'язуючого на основі золю з добавкою B_2O_3 та парафіну, який забезпечує стабільний процес формування та механічної обробки заготовок виробів складної конфігурації та створення однорідної структури КМ, корундова матриця якого армована введеним полікристалічним корундовим волокном та синтезованими нитковидними кристалами муліту, з високою стійкістю до зносу в потоках іонізованого газу.

2. Встановлено, що глибина механохімічних процесів при подрібненні електрокорунду з алкоксидом кремнію призводить до підвищення дефектності кристалічної решітки $\alpha-Al_2O_3$, аморфізації поверхневого шару зерен $\alpha-Al_2O_3$, що підтверджується утворенням β -глинозему на поверхні зерен.

3. Встановлено температури утворення розплаву в корундовій матриці, закономірності мулітоутворення та спікання сумішей електрокорунду із золь-гель зв'язуючим з добавкою B_2O_3 . Визначено, що керування кількістю синтезованого муліту може здійснюватися за рахунок зміни кількості утвореного розплаву шляхом варіювання концентрацій B_2O_3 в золі та густини золь-гель зв'язуючого.

4. Досліджено фізико-механічні властивості матеріалу обох серій (з мулітокремнеземним та полікристалічним корундовим волокном), які змінюються в межах: відкрита пористість, % – 3 – 21, уявна щільність, $г/см^3$ – 1,5 – 2,5, лінійна усадка, % – 2 – 4, межа міцності при стиску, МПа – 370 – 910. Визначено, що завдяки присутності наночастинок муліту та однорідності структур із введеним волокном забезпечується підвищення міцності та тріщиностійкості матеріалу.

5. Визначено, що під час випалу суміші електрокорунду з 10 – 40 % мулітокремнеземного волокна формується кристалічна структура корундового матеріалу, армованого мулітокремнеземним волокном, при випалі електрокорунду модифікованого алкоксидом кремнію з 1 % полікристалічного волокна. Створюється однорідна дрібнокристалічна структура із матриці $\alpha-Al_2O_3$, армованої частинами та нитковидними кристалами муліту та корундовим полікристалічним волокном, що рівномірно розташовані між собою. При випалі в азотному середовищі на поверхні матеріалу утворюється оксинітридна плівка, яка ущільнює поверхню виробу та викликає покращення стійкості його до зносу в іонізованих газах. Проведені натурні випробування виробів в потоках іонізованого газу підтвердили високі експлуатаційні властивості розробленого матеріалу на рівні кращих існуючих (ГП корундових, АБН, БГП).

Позитивні результати дослідно-промислових випробувань ресурсу розробленого матеріалу на Виробничо-комерційній фірмі «Фабрика швидкого різу» (м. Харків) довели технічну й економічну доцільність розробленої технології.

Результати досліджень, наведених у дисертаційній роботі, впроваджено в навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП» при підготовці бакалаврів, спеціалістів та магістрів за спеціальністю 091606 «Хімічна технологія тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Здобувачем представлено результати теоретичних та практичних досліджень при розробці нового КМ.

1. Макаренко В.В. Корундовые КМ и изделия сложной конфигурации из них для работы в потоках ионизированного газа / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко. – Харьков: ЧП «Граф-Икс», 2016. – 136 с.

Здобувачем досліджено фізико-хімічні процеси при нагріванні комбінованого зв'язуючого.

2. Макаренко В.В. Термографическое исследование комбинированных связующих композиционных материалов / В.В. Макаренко, О.Б. Скородумова // Огнеупоры и техническая керамика. – М.: Меттекс. – 2004. – № 1. – С. 24-27.

Здобувачем представлено аналіз властивостей розробленого корундового КМ і запропоновано його використання в потоках іонізованого газу.

3. Макаренко В.В. Структура и фазовый состав волокнистой абразивоустойчивой корундовой керамики для службы в потоках ионизированного газа / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко // Огнеупоры и техническая керамика. – М.: Меттекс. – 2010. – № 1-2. – С. 30-32.

Здобувачем здійснено аналіз фазоутворення та структури корундових матеріалів для забезпечення стійкості в потоках іонізованого газу.

4. Макаренко В.В. Особенности создания структуры высокопрочного композиционного материала / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко, С.М. Логвинков, И.Ю. Шутеева, А.С. Катюха // Новые огнеупоры. – М.: Интермет Инжиниринг. – 2015. – № 4. – С. 29-34.

Здобувачем висвітлено технологічні та фізико-хімічні особливості створення однорідної і міцної структури корундового КМ при використанні волокна, яке армує, та комплексного зв'язуючого.

5. Makarenko V.V. Features of high-strength composite material structure creation / G.D. Semchenko, V.V. Makarenko, S.M. Logvinkov, I.Yu. Shuteeva, A.S. Katyukha // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015. – V. 56, Issue 2. – P. 180-183.

Здобувачем проаналізовано причини підвищення фізико-хімічних властивостей створеного КМ матеріалу.

6. Макаренко В.В. Композиционные материалы на основе поликристаллических волокон Al_2O_3 / В.В. Макаренко, Г.Д. Семченко, В.В. Березуцкий // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2001. – № 19. – С. 112-117.

Здобувачем досліджено властивості КМ з використанням полікристалічного волокна.

Здобувачем здійснено термодинамічний аналіз реакцій фазоутворення в різних умовах спікання в системі $Al_2O_3-SiO_2$.

7. Макаренко В.В. Термодинамические аспекты фазообразования в системе $Al_2O_3-SiO_2$ / С.М. Логвинков, В.В. Макаренко, Н.С. Чопенко, Д.А. Бражник, Г.Д. Семченко, В.Н. Сидоров // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – № 14. – С. 52-55.

Здобувачем здійснено моделювання межі мулітових твердих розчинів в системі $Al_2O_3-SiO_2$.

8. Макаренко В.В. Моделирование границы муллитовых твердых растворов в высокоглиноземистой области системы $Al_2O_3-SiO_2$ / С.М. Логвинков, Д.А. Бражник, Н.К. Вернигора, В.В. Макаренко, В.П. Шаповалов, Н.С. Цапко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 52. – С. 143-147.

Здобувачем досліджено структурно-механічні властивості композиційного матеріалу з комбінованим зв'язуючим.

9. Макаренко В.В. Структурно-механические свойства композиционного материала на основе корунда с различными пластифицированными связующими / В.В. Макаренко, Г.Д. Семченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 27. – С. 166-173.

Здобувачем досліджено високотемпературне зміцнення матеріалів в багатоконпонентних оксидних системах.

10. Макаренко В.В. Принципы наноструктурирования и высокотемпературного упрочнения материалов в многокомпонентных оксидных системах / С.М. Логвинков, Г.Д. Семченко, Г.Н. Шабанова, Н.К. Вернигора, Д.А. Бражник Д.А., В.В. Макаренко, Н.С. Цапко // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано - Франковськ: ПНУ ім. В. Стефаника. – 2010. – Т. 11, № 3. – С. 723-732.

Здобувачем представлено аналіз властивостей розробленого корундового КМ і запропоновано його використання як зносостійкого матеріалу в нових умовах служби.

11. Макаренко В.В. Износоустойчивые материалы на основе корундовых и карборундовых наполнителей для футеровки установок для транспортировки сухих угольных смесей / Г.Д. Семченко, І.Ю. Шутєєва, І.М. Рожко, В.В. Макаренко, О.І. Егурнов, А.В. Вовк, І.П. Толстокорая // Зб. наук. праць ПАТ «УкрНДІ Вогнетривів ім А.С.Бережного». – Харків: ПАТ «УкрНДІВ», 2014. – № 114. – С. 91-100.

Здобувачем розроблено спосіб виготовлення КМ та визначено властивості матеріалу.

12. Пат. 36363 Україна, МПК С04В 35/10. Шихта для виготовлення вогнетривкого матеріалу / Семченко Г.Д., Макаренко В.В., Руденко Л.В.; заявник та патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № у 2008 05788; заявл. 05.05.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.

Здобувачем розроблено склад зв'язуючої композиції та визначено властивості КМ.

13. Пат. 41979 Україна, МПК С04В 38/00. Зв'язуюча композиція / Семченко Г.Д., Макаренко В.В., Руденко Л.В., Тищенко С.В.; заявник та патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № у 200811617; заявл. 29.09.2008; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

Здобувачем наведені технологічні та фізико-хімічні особливості створення однорідної структури корундового КМ при використанні волокна, яке модифіковано алкоксидом кремнію.

14. Makarenko V.V. Structural and mechanical properties of masses using ordinary and plasticized zol-gel binding agents / G.D. Semchenko, V.V. Makarenko, I.N. Rozhko, I.U. Shuteieva, E.E. Starolat // Актуальные проблемы физико-

химического материаловедения: тез. докл. междунар. научно-практ. конф. (Макеевка, 30 сентября – 4 октября 2013 г.). – Макеевка: ДонГАСА, 2013. – С. 24.

Здобувачом запропонована технологія виготовлення великорозмірних керамічних виробів з підвищеною зносостійкістю в агресивних середовищах.

15. Макаренко В.В. Большемерные керамические корпуса подшипников с повышенной износостойкостью / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко // Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов: тез. докл. XX Междунар. научно-техн. конф., (Обнинск, 1-3 окт. 2013 г.). – Обнинск: ОАО ОНПО «Технология», 2013. – С. 352-353.

Здобувачем досліджено структуру та механічні властивості руйнування керамічного композиційного матеріалу.

16. Макаренко В.В. Изучение однородности структуры и характеристик разрушения корундовых материалов с поликристаллическим волокном / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко, Ю.В. Пермяков // Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности : тез. докладов Международной научно-техн. конф. (Харьков, 28-29 апреля 2015 г.). – Харьков: Оригинал, 2015. – С. 15.

Здобувачем досліджено вплив добавок алкоксиду кремнію на мулітокремнеземного та полікристалічного корундового волокна з метою підвищення міцності композиційного матеріалу.

17. Макаренко В.В. Корундовый высокопрочный КМ с использованием модифицированного поликристаллического волокна / В.В. Макаренко // II Байкальский материаловедческий форум: материалы Всероссийской научн. конф. (Улан-Удэ, 29 июня – 5 июля 2015 г.). – Россия, Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2015. – С. 205-206.

Здобувачем представлено результати дослідження однорідності структури та визначення електроопору КМ.

18. Макаренко В.В. Исследование электросопротивления КМ на термопластическом связующем без и с пропиткой золом / Г.Д. Семченко, В.В. Макаренко, И.Ю. Шутеева, Ю.В. Пермяков // Керамика и композиционные материалы : сб. матер. – Сыктывкар: Институт химии УрО РАН, 2016. – С. 403-406.

АНОТАЦІЇ

Макаренко В.В. Теплоелектроізоляційний матеріал та вироби з нього з підвищеною стійкістю в потоках іонізованого газу. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів. – Національний технічний університет «харківський політехнічний інститут», Харків, 2016 р.

Дисертацію присвячено розробці технології корундових композиційних матеріалів і виробів із них складної конфігурації для експлуатації в потоках іонізованого газу замість дорогих ГП аналогів, що використовуються в новій техніці. При проектуванні складів КМ на основі системи $Al_2O_3-SiO_2$ використано можливості механохімічної активації процесів синтезу тугоплавких сполук при

модифікації корундового наповнювача алкоксидом кремнію та при використанні золь-гель зв'язуючих, в тому числі з добавкою борної кислоти, для інтенсифікації мулітоутворення, покриття поверхні полікристалічного волокна алкоксидом кремнію для запобігання його кристалізації при нагріванні та ущільнення при пресуванні мас на основі електрокорунду та керамічного волокна за рахунок використання комплексного зв'язуючого парафін-золь із етилсилікату. Встановлено фізико-хімічні процеси при нагріванні модифікованих компонентів, їх сумішей із різними зв'язуючими, встановлено режими термообробки мас при використанні різних середовищ. Розроблено склади та технологічні параметри виготовлення КМ з використанням мулітокремнеземного та полікристалічного волокна для виготовлення виробів різного призначення з комплексом високих механічних властивостей. Розроблений композиційний матеріал однорідної структури для служби в потоках іонізованого газу характеризується межею міцності при стиску вище, ніж 900 МПа, тріщиностійкістю $12,0 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$, електроопором $3 \cdot 10^{11} \text{ Ом}$, термостійкістю – більш, ніж 50 термозмін $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ –вода.

Ключові слова: композиційний матеріал, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$, електрокорунд, волокно мулітокремнеземісте, волокно полікристалічне корундове, алкоксид кремнію, механохімічна активація, золь-гель процес, високі функціональні властивості, стійкість в потоках іонізованого газу.

Макаренко В.В. Теплоэлектроизоляционный материал и изделия из него с повышенной стойкостью в потоках ионизованного газа. *На правах рукописи.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – технология тугоплавких неметаллических материалов.– Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена разработке технологии корундовых композиционных материалов и изделий из них сложной конфигурации для эксплуатации в потоках ионизированного газа, вместо дорогих ГП аналогов, которые используются в новой технике. При проектировании составов КМ на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ использован золь-гель процесс, спекающие добавки и модифицирование наполнителя и волокон алкоксидом кремния. Установлены температура появления расплава в корундовой матрице, закономерности мулитообразования и спекания смесей электрокорунда с золь-гель связующим с добавкой V_2O_5 . Показано, что управление количеством синтезированного муллита может осуществляться за счет изменения количества образованного расплава путем варьирования концентраций V_2O_5 в золе и плотности золь-гель связующего. Установлен механохимический синтез муллита в процессе измельчения электрокорунда с добавкой алкоксида кремния.

Исследованы физико-химические и эксплуатационные свойства материала с мулітокремнеземистым и полікристаллічним корундовим волокном.

Установлено, что благодаря присутствию наночастиц муллита и высокой однородности структуры с введенным поликристаллическим волокном обеспе-

чивается повышение твердости и трещиностойкости материала СМД, что обеспечивает более высокую стойкость в потоках ионизованного газа, чем ГП материалов новой техники.

Показано, что управление количеством синтезированного муллита может осуществляться за счет изменения количества образованного расплава. При обжиге электрокорунда модифицированного алкоксидом кремния с 1 % поликристаллического волокна, образуется однородная мелкокристаллическая структура из матрицы α - Al_2O_3 , армированной частицами и нитевидными кристаллами муллита и поликристаллическим волокном, которые равномерно распределяются между собой. При обжиге в азотной среде на поверхности материала образуется оксинитридная пленка, которая уплотняет поверхность изделия и улучшает стойкость его к износу в потоках ионизированных газов.

Установлено, что разработанная технология с использованием модифицированного алкоксидом кремния поликристаллического волокна, обеспечивает замедление начала кристаллизации структуры волокна, а комплексное связующее ускоряет муллитизацию корундовой матрицы и интенсифицирует ее спекание, создается фрагментальная структура материала, обеспечивающая повышение его физико-механических свойств и трещиностойкости. Трещиностойкость составляет 12,0-12,7 МПа·м^{0,5}, диаграммы деформирования материала СМД подобны слоистым металлокерамическим материалам.

Разработанный КМ СМД имеет однородную структуру, характеризуется пределом прочности при сжатии выше 900 МПа, электросопротивлением $3 \cdot 10^{11}$ Ом, термостойкостью – выше 50 термосмен 1000 °С – вода. Ключевые слова: композиционный материал, Al_2O_3 - SiO_2 , электрокорунд, волокно муллитокремнеземистое, волокно поликристаллическое корундовое, механоактивация, алкоксид кремния, золь-гель, синтез новообразований, муллит, SiC, оксинитрид кремния, функциональные свойства, стойкость в потоках ионизованного газа

Makarenko V. V. Teploelectrotsentrali material and articles thereof with increased resistance to the flow of ionized gas.– Printed as manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences in specialty 05.17.11 – technology of refractory nonmetallic materials.– National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, 2016.

The thesis is devoted to the development of technology for alumina composite materials and products of complex configuration for use in streams of ionized gas instead of expensive GP analogues used in the new technique.

When designing the warehouses of CM based on the system Al_2O_3 - SiO_2 is used the possibilities of mechanochemical activation processes of synthesis of refractory compounds in the modification of corundum filler alkoxide silicon and when using the Sol-gel binder, in particular with the addition of boric acid to intensify multitorrent, coating a surface of a polycrystalline fiber alkoxide silicon to prevent its crystallization during heating and compaction during the pressing masses on the basis of electrocorundum and ceramic fibers through the use of complex binder paraffin–Sol with ethylsilicate. The physical and chemical processes during heating of modified components, their mixtures with different swatowski, the conditions of heat

treatment of the masses using various media. The developed compositions and technological parameters of manufacturing a KM with multitransistor and polycrystalline fibre products for the manufacture of various purposes with a complex of high mechanical properties. Developed KM of SMD homogeneous structure for the flow of ionized gas is characterized by the limit of compressive strength of above 900 MPa, fracture toughness 12,0-12,8 MPa·m^{0,5}, the resistivity of $3 \cdot 10^{11}$ Ohm, resistance – above 50 thermo-changes 1000 °C – water.

Key words: composite material, Al₂O₃–SiO₂, fused fiber multitemplate, fiber packistani corundum, silicon alkoxide, mechanochemical activation, the Sol-gel process, high functional properties, stability in the streams of ionized gas.