

ВІДГУК

офіційного опонента

Жданюк Наталії Василівни

на дисертаційну роботу Тимофєєва Вадима Дмитровича

**«УДАРОСТІЙКІ МУЛІТОКОРДІЄРИТОВІ СКЛОКРИСТАЛІЧНІ
МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАХИСТУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»,**
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 161 - Хімічні технології та інженерія

Детальний аналіз дисертації Тимофєєва Вадима Дмитровича «Ударостійкі мулітокордієритові склокристалічні матеріали для захисту спеціальної техніки» дозволив сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, наукової новизни, практичного значення, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, загальної оцінки роботи, висновків та рекомендацій.

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Ударостійкі мулітокордієритові склокристалічні матеріали – це нові матеріали для композиційних високоміцних елементів бронезахисту для розробки високоміцних бронеелементів та, за необхідністю, елементів тепло-, електро- та радіотехніки спеціального призначення. Впровадження та виготовлення мулітокордієритових склокристалічних матеріалів має певні особливості, оскільки технологія їх отримання доволі наукоємна й потребує спеціальних рішень для забезпечення цінних властивостей матеріалів. В Україні розробки даних технологій не проводяться у достатньому обсязі. Тому дисертаційна робота Тимофєєва Вадима Дмитровича, яка спрямована на вирішення науково-практичної задачі розробки та впровадження технології виготовлення склокристалічних мулітокордієритових ударостійких матеріалів, елементів тепло-, електро- та радіотехніки спеціального призначення, є актуальною. Це обумовлює виключну важливість одержання елементів сучасної композиційної броні на основі високоміцних полегшених та менш

вартісних склокристалічних матеріалів для розвитку оборонного комплексу України.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується і тим, що вона виконувалася на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та кафедри хімії та інтегрованих технологій у рамках прикладних ДБ НДР МО України. Здобувач брав участь у науково-дослідних роботах:

1. «Наноструктуровані прозорі матеріали для захисту оптичних систем озброєння та військової техніки» (№ ДР 0118U003983, 2018 р.);
2. «Удосконалення технічних рішень підвищення ефективності роботи механізму заряджання танка Т-64Б та його модифікацій за рахунок впровадження системи самодіагностування» (№ ДР 0121U111756, 2021 р.).

А також, здобувач був відповідальним виконавцем держбюджетного наукового дослідження МО України за спеціальною темою, що присвячене розробці технічних рішень для забезпечення ефективного захисту основних зразків озброєння та військової техніки (розпорядження начальника Генерального штабу ЗС України від 25.09.2024 № 130246/С, 2024 р.).

Балістичні випробування дослідних зразків проводились на базі науково-дослідної лабораторії озброєння та військової техніки Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Результати експериментів, теоретичне обґрунтування та висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі Тимофєєва В.Д., є переконливими, обґрунтованими, логічними та основаними на аналізі наукової й патентної літератури за даною проблемою, обґрунтована мета і задачі дослідження, зіставлені на критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з іншими дослідниками відтворюваністю результатів, їх взаємною узгодженістю і не суперечать положенням, висунутими іншими дослідниками.

Безперечною перевагою дисертації є використання широкого кола сучасних джерел інформації. Сформульовані в дисертаційній роботі висновки відповідають задачам досліджень та відображають головні наукові положення та закономірності, отримані здобувачем. Результати теоретичних розрахунків, виконані із використанням математичного апарату (факторного експерименту) при аналізі та інтерпретації отриманих експериментальних даних, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Дисертаційна робота Тимофєєва В.Д. виконана на високому науковому рівні, із проведенням широкого кола експериментальних досліджень та використанням теоретичного фізико-хімічного аналізу, при чому теоретичні положення гармонійно поєднуються з експериментальними даними.

Здобувачем використано сучасні прийоми при проектуванні складів мас для ударостійких мулітокордієритових склокристалічних матеріалів, які наочно показують необхідність та шляхи корегування складів мас, а сучасні методи планування і обробки даних дозволили оптимізувати дослідження. Широко використані сучасні методи аналізу отриманих матеріалів, що дозволило дослідити особливості структуроутворення.

Відтворюваність одержаних експериментальних даних та узгодженість із результатами теоретичних досліджень дозволяє зробити висновок про їх достовірність та обґрунтованість наукових положень, що викладені у роботі.

Достовірність висновків дисертаційної роботи також підтверджується апробацією результатів досліджень на міжнародних науково-технічних конференціях (у містах – Київ, Харків, Дніпро, Луцьк, Вінниця, Берлін).

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Дисертантом отримані наступні основні наукові результати:

Узагальнено накопичений досвід технологій отримання ударостійких склокристалічних матеріалів з регульованою світлопроникністю на основі на

основі муліту, α -кордієриту та шпінелі, що дозволило розробити принципи проектування складу має зв'язок фазового складу та властивостей. Доведена ефективність використання визначених комбінацій складів на основі вивчення кількісних і якісних характеристик отриманих матеріалів.

Показана доцільність використання мулітокордієритових композицій на основі муліту, α -кордієриту та шпінелі та обрано оптимальні технологічні параметри одержання для формування самоорганізованої об'ємно закристалізованої структури скломатеріалів на нано- та мікрорівні за механізмом фазового розділення за спінодальним механізмом в умовах низькотемпературної термічної обробки, що відрізняються високими експлуатаційними властивостями.

В результаті досліджень за темою дисертаційної роботи одержані такі наукові результати:

1. Встановлено особливості формування твердих розчинів при термічній обробці магнійалюмосилікатних стекол, які полягають у зміні індексу упорядкування їх структури (Δ) як показника перерозподілення атомів Si та Al в кордієрито-ідіалітових кільцях $[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]$ та визначаються співвідношенням фазоутворюючих оксидів: для СКМ зі співвідношенням $\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 \approx 1:2,5:5$ при $T = 850\div 900$ °C спостерігається $\Delta \approx 0,29\div 0,30$, як показник упорядкування структури псевдогексагонального α -кордієриту; при $T = 1050\div 1100$ °C зменшення Δ приводить до формування евтектичної системи із твердими розчинами α -кордієриту, муліту та шпінелі; для СКМ зі співвідношенням $\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 \approx 1:3,3:5,6$ для яких після варки характерною є наявність муліту, спостерігається інтенсифікація зародкоутворення при 900 °C та кристалізація алюмомагнезіальної шпінелі при 1050 °C та формування твердих розчинів на основі α -кордієриту за рахунок хімічної взаємодії α -кристобаліту та шпінелі при $T = 1100$ °C;

2. Визначено, що зниження температури зародкоутворення є важливим фактором формування зміцненої структури за рахунок ефекту ендоксикації, який визначатися перебудовою типу кристалічних структур при фазовому розпаді їх лабільних складів за спінодальним механізмом полягають у протіканні процесу

зародкоутворення ($T = 780 \div 850 \text{ }^\circ\text{C}$) при підвищеній в'язкості до 108,5 та 109 Па·с за умов попереднього протікання метастабільної ліквідації як фазового переходу нижче температури ліквідуса.

3. Виявлено фактори, які обумовлюють формування наноструктурованої тонкодисперсної структури в умовах низькотемпературної двостадійної термічної обробки та забезпечують знижену вагу, стійкість до дії динамічних впливів та відкритого полум'я, здатність руйнувати ударник та поглинати енергію удару: – для знепрозорених СКМ за керамічною технологією: варка – $T = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 6$ год; випал за тристадійним режимом (I стадія – $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 2$ год; II стадія – $T = 980 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 2$ год; III стадія – $T = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 1$ год); вміст фазоутворюючих оксидів $\Sigma(\text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2) = 87,0$ мас. %; тип та вміст каталізаторів кристалізації $\Sigma(\text{TiO}_2, \text{ZrO}_2, \text{CeO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{Sb}_2\text{O}_5, \text{ZnO}) = 8,0$ мас. % та модифікуючих добавок $\Sigma(\text{SrO}, \text{CaO}, \text{B}_2\text{O}_3) = 5,0$ мас. % з вмістом 5 мас. % ZrO_2 стабілізованого Y_2O_3 (3 мас. % на 100 мас. % ZrO_2) та 10 мас. % $\alpha\text{-SiC}$ при досягненні експлуатаційних властивостей: $\rho = 2800 \text{ кг/м}^3$; $\text{HV} = 10,6 \div 11,5$ ГПа; $K_{1C} = 7,0 \div 7,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; $E = 350$ ГПа; $\text{KCU} = 7,0 \div 7,5 \text{ кДж/м}^2$; $\sigma_{\text{згин}} = 350$ МПа; $M = 1,4 \text{ ГПа}^2 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ та $v = 13,2 \text{ км/с}$; – для прозорих СКМ за скляною технологією: варка – $T = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 6$ год; випал за двостадійним режимом (I стадія – $T = 780 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 5$ год; II стадія – $T = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 0,5$ год); вміст фазоутворюючих оксидів $\Sigma(\text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2) = 90,0$ мас. %, каталізаторів кристалізації $\Sigma(\text{TiO}_2, \text{ZrO}_2, \text{CeO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{Sb}_2\text{O}_5, \text{ZnO}) = 8,0$ мас. % та модифікуючих добавок $\Sigma(\text{SrO}, \text{CaO}, \text{B}_2\text{O}_3) = 5,0$ мас. % при досягненні експлуатаційних властивостей: $\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$; $T = 70$ %; $\text{HV} = 9,6$ ГПа; $K_{1C} = 3,55 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; $E = 550$ ГПа; $\sigma_{\text{згин}} = 300$ МПа; $M = 0,9 \text{ ГПа}^2 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ та $v = 9,4 \text{ км/с}$;

4. Одержано ударостійкі СКпМ для захисту та скління оглядових вікон легкоброньованої техніки з вмістом 5 мас. % ZrO_2 стабілізованого Y_2O_3 з бронестійкістю вогнестійкістю RE 360 (h) та ТКЛР $\alpha \approx 57 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$, здатністю до радіопрозорості ($\text{tg}\delta = 0,005$ та $\epsilon = 3,35$ при $f \approx 1010$ Гц) та радіопоглинаючі СКпМ для забезпечення зниження впливу електромагнітного випромінення та забезпечення захисту інформації шляхом формування градієнтної тришарової структури знепрозороного СКпМ (СКМ; СКМ та 10 мас. % $\alpha\text{-SiC}$; графіт) зі

змінною ε (3,35, 3,95, 12) та магнетронним напиленням плівки ZnO на поверхню прозорого СКМ ($T = 65$; $\text{tg}\delta = 0,005$ та $\varepsilon = 7,5$ при $f \approx 1010$ Гц), які відповідають ВСТ 01.055.001 – 2021 (01) і можуть бути практично застосовано під час удосконалення пасивного захисту легкоброньованих військових автомобілів.

Значимість отриманих результатів для практичного використання і науки.

Практична значимість виконаної дисертаційної роботи полягає:

- у зменшенні імпортозалежності України у напрямку матеріалів військового призначення;

- підвищення рівня захисту військовослужбовців (екіпажу та пасажирів автомобільної легкоброньованої техніки) та скорочення втрат особового складу;

- забезпечення можливості проведення польових ремонтних робіт автомобільної легкоброньованої техніки;

- розробка СКМ придатного до створення високоміцних радіопрозорих/радіопоглинаючих СКпМ, що дозволяє виробникам швидко реагувати на потреби оборонного комплексу;

- підвищенні маневреності легкого автомобільного транспорту, за рахунок зменшення ваги бронеконструкції.

- теоретичні та практичні результати, отримані під час проведення дисертаційних досліджень, впроваджені у навчальний процес в рамках дисциплін «Розробка матеріалів технічного, медичного та ювелірного призначення», «Інноваційні розробки в галузі ТНСМ» та «Дослідження процесів формування ТНСМ».

Результати дисертаційної роботи мають велике значення для розвитку сучасної хімії та технологій тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів, а також ударостійкої склокераміки.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати досліджень за темою дисертації відображено у 22 наукових працях, у тому числі 6 статей опубліковано в

журналах, що включені до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science; 4 статті в журналах, що входять до фахових видань України та 2 статті в інших журналах; 10 тез доповідей опубліковано у збірниках матеріалів конференцій (з них 2 опубліковані у виданнях, що включені до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science).

Результати роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях за фахом.

Обсяг друкованих праць та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктор філософії.

Структура дисертаційної роботи є логічно побудованою. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами (українською та англійською), вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 234 сторінки, з них – 19 рисунків по тексту, 36 рисунків на 23 окремих сторінках, 10 таблиць по тексту, 23 таблиці на 15 окремих сторінках, списку використаних літературних джерел 186 найменування на 20 сторінках, додатків на 14 сторінках.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Тимофєєва Вадима Дмитровича «Ударостійкі мулітокордієритові склокристалічні матеріали для захисту спеціальної техніки» складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, охарактеризовано особистий внесок здобувача та апробацію роботи. Дослідження здійснювали з використанням обладнання кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП», кафедри хімії та інтегрованих технологій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, кафедри прикладної електродинаміки ХНУ ім. В.Н. Каразіна, науково-технологічного комплексу

«Інститут монокристалів» НАН України, Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (м. Харків). Балістичні випробування 3 дослідних зразків проводились на базі науково-дослідної лабораторії озброєння та військової техніки Військового інституту танкових військ НТУ «ХП».

Перший розділ присвячено аналізу питань, які визначають розв'язання проблеми створення полегшених високоміцних матеріалів для локального захисту від високошвидкісного динамічного навантаження та теплотехнічного призначення. Обґрунтована необхідність застосування СКМ для розробки високоміцних бронеелементів та, за необхідністю, елементів тепло-, електро- та радіотехніки спеціального призначення.

У другому розділі обґрунтовано вибір напрямків і методики досліджень процесів формування та властивостей розроблених СКМ, а також подано опис розрахункових та експериментальних методів, застосованих у роботі. Наведена характеристика сировинних матеріалів, висвітлені результати попередніх досліджень та сформульована робоча гіпотеза.

Третій розділ присвячений розробці модельних магнійалюмосилікатних стекел для розробки високоміцних сподуменвмісних СКМ із заданими фізико-хімічними, технологічними та експлуатаційними характеристиками, зокрема, з високою світлопроникністю, для застосування в теплотехніці.

Четвертий розділ містить експериментальні результати оптимізації складу скла для одержання СКМ, технологічних параметрів термічної обробки та зміцнення, формування градієнтної структури сподуменвмісних СКМ для створення полегшених бронеелементів для локального захисту, елементів електротехніки та радіотехніки зі здатністю до радіопоглинання та радіопрозорості.

У п'ятому розділі наведено технологію одержання високоміцних СКМ та СКпМ військового та технічного призначення і результати випробувань електрофізичних властивостей розроблених СКпМ, бронестійкості та вогнестійкості матеріалу. Визначена конкурентоздатність розроблених

сподуменвмісних СКпМ з урахуванням їх технологічності, вартості та ваги виробів.

Висновки до розділів за результатами роботи сформовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 187 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Поряд з позитивним враженням при дисертаційну роботу варто відмітити такі побажання та зауваження:

1. Як корелюється показник бронестійкості з показником тріщиностійкості та модуля пружності для розроблених склокристалічних матеріалів?

2. На мою думку, матеріал, представлений у Розділі 3 (пп. 3.1-3.3), доречно було б перенести до Розділу 1, так як він містить аналітичний огляд літератури та результати отримані попередньо авторами, на яких базуються дослідження здобувача.

3. Яким чином наноструктурування склокераміки впливає на зміну діелектричної проникності при зміні частоти?

4. Бажано наукові дослідження спрямувати на чітко визначену тематику роботи: розробку ударостійких склокристалічних матеріалів. В матеріалах дисертаційної роботи значна кількість досліджень присвячена радіопрозорим матеріалам.

5. Розділ 5 доцільно було б доповнити оцінкою можливостей масштабування виробництва та конкурентною здатністю розроблених бронематеріалів.

6. В тексті роботи трапляються окремі недоліки в оформленні, неточності, зокрема, в Анотації (С. 3) «літійалюмосилікатні склокристалічні матеріали» замість «магнійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів». Посилання на С. 182. у Висновках до Розділу 4. містять неточності.

Втім вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Тимофєєва В.Д.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях.

У наукових статтях відображені результати самостійної роботи здобувача на різних етапах дослідження, які адекватно відтворюють ключові положення та висновки дисертації. Участь автора в підготовці наукових публікацій підтверджена та узгоджена з усіма співавторами.

Матеріали дисертації були надані для широкого ознайомлення фахівцям та спеціалістам, а її результати і основні положення повністю висвітлені в публікаціях та пройшли відповідну апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях.

Про оригінальність дисертаційної роботи свідчить аналіз перевірки дисертації на плагіат: коефіцієнт подібності тексту складає 36,73 %, однак переважна більшість співпадінь стосується публікацій здобувача. Використання результатів, отриманих іншими науковцями супроводжується посиланнями на відповідні джерела.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Тимофєєва В.Д. «Ударостійкі мулітокордієритові склокристалічні матеріали для захисту спеціальної техніки», відповідає паспорту спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія, є структурованою, логічною, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, яка базується на обґрунтованих наукових положеннях та достовірних результатах експериментальних досліджень, а отримані в ній результати вирішують задачу розробки сировинних композицій та технологічних параметрів для виготовлення ударостійких мулітокордієритових склокристалічних матеріалів для захисту спеціальної техніки.

