

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професорці
Клим Галині Іванівні

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента

Корендія Віталія Михайловича

на дисертацію **Ваврух Валентини Іванівни**

«Вплив легування на стабілізацію фазового стану та властивостей оксидної
кераміки на основі ZrO_2 »,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 132 – Матеріалознавство,

галузь знань 13 – Механічна інженерія

1. Актуальність теми

Розвиток сучасних технологій потребує матеріалів із високими експлуатаційними характеристиками, особливо для застосування в екстремальних умовах. Керамічні матеріали на основі діоксиду цирконію, стабілізованого оксидами, зокрема оксидом ітрію, є перспективними завдяки їхнім унікальним фізико-механічним властивостям. Широке використання цирконієвої кераміки в біомедицині, машинобудуванні, авіаційній, нафтовій і газовій промисловості зумовлює необхідність глибокого вивчення її структурних і механічних характеристик.

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених впливу легувальних елементів та технологічних параметрів на фазовий склад і мікроструктуру цирконієвої кераміки, досі залишається відкритим питання про комплексну оцінку її механічних характеристик. Відсутність чітких кореляцій між хімічним складом, фазовим станом, мікроструктурою та механічними властивостями ускладнює прогнозування поведінки матеріалу в реальних умовах експлуатації.

Крім того, традиційні експериментальні методи визначення механічних характеристик цирконієвої кераміки є тривалими та ресурсозатратними. Тому актуальним є розроблення підходів, що дозволять оптимізувати процес отримання матеріалу із заданими властивостями шляхом керованого легування та вибору температури спікання. Це сприятиме підвищенню довговічності та надійності керамічних виробів, що працюють у жорстких умовах експлуатації, а також зниженню витрат на їх розробку та впровадження.

Таким чином, дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язків між технологічними параметрами отримання цирконієвої кераміки та її механічними

властивостями, є важливими для розвитку сучасного матеріалознавства та практичного застосування цих матеріалів у високотехнологічних галузях.

Усі згадані чинники визначають актуальність дослідження впливу легування на фазовий стан та властивості оксидної кераміки на основі ZrO_2 , проведеного у дисертації В.І. Ваврух.

2. Аналіз структури та змісту дисертації

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків.

У вступі окреслено актуальність теми дисертації, мету, завдання дослідження, продемонстровано зв'язок роботи з науковими темами, відзначено наукову новизну результатів, їх практичне значення, особистий внесок дисертантки, описано об'єкт, предмет та методи дослідження.

У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз наукових літературних джерел, які підтверджують широке застосування цирконієвої кераміки в різних галузях. Показано, що завдяки унікальним властивостям цирконієва кераміка знайшла застосування у виготовленні медичних імплантатів, компонентів підшипників, інструментів для формування труб і волочіння дроту, ножів для текстильної промисловості та компонентів для нафто-газової промисловості. Також розглянуто можливості застосування методів машинного навчання для прогнозування характеристик матеріалів. Відзначено завдання, які необхідно вирішити.

У другому розділі представлено особливості одержання досліджуваних керамік, експериментальних методик їх дослідження, створення бази даних та прогнозування властивостей керамік методами машинного навчання.

У третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень цирконієвої кераміки, легованої різною кількістю оксиду ітрію та спеченої за різних температур. Проаналізовано вплив легування оксидом ітрію (3-8 мол.% Y_2O_3) та температури спікання (1450-1600 °С) на особливості мікроструктури, пористість, мікротвердість, міцність, в'язкість руйнування та мікрофрактографічні особливості цирконієвої кераміки.

У четвертому розділі представлено результати досліджень впливу легування оксидом магнію та комплексного легування різними оксидами на фазовий склад, мікроструктуру й механічні властивості цирконієвої кераміки, спеченої за різних температур. Для прогнозування механічних характеристик запропоновано ансамблеві методи машинного навчання, а для підвищення точності розв'язання задачі прогнозування мікротвердості цирконієвої кераміки наведено шляхи їх удосконалення.

Висновки містять інформацію щодо основних наукових результатів роботи.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення та висновки дисертації є достатньо обґрунтованими, оскільки базуються на ґрунтовному аналізі літературних джерел, чітко сформульованих завданнях дослідження, застосуванні сучасних методів дослідження, коректному використанні методів машинного навчання та перевірених експериментальних методах. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації Ваврух В.І. є комплексними та виходять із її вмісту, відображаючи одержані дослідницею результати.

Достовірність та обґрунтованість представлених методів і засобів підтверджується результатами досліджень та коректним застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи. Достовірність одержаних результатів також забезпечується виконаними автором дослідженнями, публікаціями у періодичних закордонних виданнях та фахових виданнях України, апробацією одержаних наукових результатів та їх впровадженням.

4. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

– Продемонстровано, що процентний вміст стабілізуючої добавки Y_2O_3 та температура спікання дозволяють отримати мікроструктуру з необхідним балансом тетрагональної, кубічної та моноклінної фаз, яка забезпечить високу міцність та в'язкість руйнування кераміки.

– Запропоновано диференційований підхід для оцінювання в'язкості руйнування кераміки ZrO_2 –(3...8) мол.% Y_2O_3 методом індентування пірамідою Вікерса. Він передбачає вибір адекватних існуючих емпіричних залежностей для визначення в'язкості руйнування методом ідентування пірамідою Вікерса та регламентує емпіричні залежності для виняткових випадків.

– На підставі експериментальних досліджень тріщиностійкості та фрактографічного аналізу розширено уявлення щодо встановлення високоенергетичного мікромеханізму руйнування, що полягає у поширенні тріщин вздовж меж дрібних зерен та їх агломератів.

– Запропоновано ансамблевий метод машинного навчання для прогнозування мікротвердості цирконієвої кераміки за рахунок агрегування результатів роботи чотирьох методів машинного навчання (екстремального градієнтного бустингу, категорійного бустингу, випадкового лісу, багаточарового перцептрона) алгоритмом адаптивного бустингу. Це забезпечило суттєве підвищення точності (до 89%) розв'язання задачі з прогнозування мікротвердості порівняно з кожним окремим методом ансамблю.

5. Практичне значення одержаних результатів

У результатах дослідження наведено інформацію про можливість стабілізації тетрагональної фази та підвищення механічних характеристик досліджуваних керамік за рахунок легування Al_2O_3 , CoO , CeO_2 , Fe_2O_3 при збереженні залишкової кількості Y_2O_3 до 1 мол.%. Це забезпечить в'язкість руйнування, що відповідає кераміці, легованій високим вмістом Y_2O_3 . Також запропоновано використання ансамблевих методів машинного навчання для прогнозування механічних властивостей цирконієвої кераміки з достатньо високою точністю (70% точності прогнозування в'язкості руйнування, 77% при прогнозуванні міцності на згин, 79% при прогнозуванні мікротвердості). Розв'язання задачі прогнозування забезпечило зменшення матеріальних, часових та фінансових ресурсів. Знання, отримані на основі проведених досліджень, можуть бути використані в ВНП "СПЕЦАРМ" при розробленні комплексного підходу до створення багатофункціональних керамічних матеріалів, а також у науково-дослідній роботі кафедр Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. Одержані результати досліджень дисертації також використано у навчальному процесі.

6. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях

Результати дослідження опубліковано достатньо повно. Основні положення дисертації опубліковані автором у 15 наукових працях, із них 6 статей у наукових періодичних виданнях, що індексовані в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science (квартили Q2-Q3), 2 статті у наукових фахових виданнях України, 4 матеріали конференцій, що індексовані в міжнародній наукометричній базі Scopus, та 3 тези доповідей міжнародних конференцій. Основні положення та результати дослідження, представлені у дисертації, оприлюднені та обговорені на міжнародних науково-практичних конференціях, а саме: 6th International Scientific Conference on Oxide materials for electronic engineering – fabrication, properties and application (OMEE-2021) (Lviv, Ukraine, 2021); 9th International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" (NANO-2021), (Lviv, Ukraine, 2021); 10th International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" (NANO-2022), (Lviv, Ukraine, 2022); 2nd International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM), (Niğde, Turkey, 2022); I International Scientific and Practical Conference "Development and design of modern materials and products", (Dnipro, Ukraine, 2022); International Conference "Materials Innovations in Surface Engineering" (MISE2023), (Brisbane, Australia, 2023); а також на наукових

семінарах кафедри матеріалознавства та інженерії матеріалів Національного університету “Львівська політехніка” (2022-2024 рр.).

Таким чином, наукові результати, які описані у дисертації, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача. Кількість публікацій, їх повнота у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7. Оформлення, мова та стиль дисертації

Дисертацію написано українською мовою на хорошому стилістичному рівні. Застосована у роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Стиль викладу матеріалів досліджень і наукових положень забезпечує їх належне сприйняття. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Тема, зміст та одержані наукові результати відповідають спеціальності 132 – Матеріалознавство, галузі знань 13 – Механічна інженерія.

8. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації та публікацій аспірантки Ваврух Валентини Іванівни порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації тексту у роботі відсутні.

9. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Варто було б обґрунтувати, чому вибрано кількісний діапазон легування оксидом ітрію від 3 до 8%.
2. При викладенні матеріалів досліджень варто було порівняти отримані експериментальні дані з такими даними інших дослідників.
3. В дисертації при прогнозуванні механічних властивостей подано дані щодо вмісту трьох фаз діоксиду цирконію в бінарному представленні. Краще було б подати їх процентний вміст. Це б підвищило точність такого прогнозування.
4. Для наскрізного використання в дисертації терміна «цирконієва кераміка» слід було б на початку пояснити, що під цим терміном розуміють «кераміку на основі діоксиду цирконію».
5. В дисертації надписи на розмірних лінійках зображень мікроструктур та фрактографій наведено англійською мовою, а мали б бути українською.

Варто зазначити, що наведені зауваження не знижують загального враження та позитивної оцінки представленого дисертаційного дослідження.

Висновки щодо дисертації

Дисертація Ваврух Валентини Іванівни «Вплив легування на стабілізацію фазового стану та властивостей оксидної кераміки на основі ZrO_2 », представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство, галузь знань 13 – Механічна інженерія, є завершеним та цілісним самостійним науковим дослідженням, містить достатню наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Зміст дисертації «Вплив легування на стабілізацію фазового стану та властивостей оксидної кераміки на основі ZrO_2 » відповідає обраній темі, забезпечує досягнення поставленої мети і вирішення завдання дослідження. Вказані зауваження щодо представленого дослідження не знижують вагомість одержаних у роботі наукових та практичних результатів і не змінюють позитивної оцінки.

З огляду на актуальність проблеми, вкладу автора у вирішення поставленого завдання, відсутності порушень академічної доброчесності вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач Ваврух Валентина Іванівна заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство із галузі знань 13 – Механічна інженерія.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри технічної
механіки та інженерної графіки
Національного університету
«Львівська політехніка»



Віталій КОРЕНДІЙ

Підпис к.т.н., доцента Віталія КОРЕНДІЯ
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»

«04» 03 2023 р.




Роман БРИЛИНСЬКИЙ