

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію О.Б.Згалат - Лозинського «Структурутворення та формування властивостей зносостійких композиційних наноматеріалів на основі нітридних фаз із застосуванням технологій електроспікання», представлені на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – Порошкова металургія та композиційні матеріали.

Дисертаційна робота О.Б.Згалат - Лозинського присвячена вирішенню найбільш важливої науково-технічної проблеми в сучасному матеріалознавстві - отриманню зносостійкої нанокристалічної кераміки на основі нітриду титану та нітриду кремнію для роботи в агресивних середовищах (кислоти, луги) при підвищених температурах. Актуальним і перспективним напрямком роботи з наноструктурними матеріалами є також використання принципів структурної інженерії, коли структура матеріалу, з якого планують отримати виріб, задається ще на початковій стадії синтезу прекурсорів, а застосування сучасних методів консолідації дозволяє гарантовано отримати щільну однорідну наноструктурну кераміку.

Дисертація носить багатодисциплінарний характер - поєднує синтез композиційних наночастинок на основі неорганічних сполук, їх термохімічну обробку з застосуванням сучасних мікрохвильових технологій, фізику спікання та виготовлення високотехнологічної наноструктурованої кераміки, сучасних методів консолідації, що відповідає вимогам сьогодення. Дослідження в роботі організовані системно: від синтезу якісних композиційних нанопорошків конкретної сполуки до вивчення формування структури і властивостей заданого матеріалу під час спікання. Все це свідчить про домінування в роботі ознак і принципів дослідження композиційних матеріалів і її можна кваліфікувати за спеціальністю 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали.

Дисертація містить вступ, 6 розділів, висновки, перелік використаних літературних джерел з 234 найменувань, з яких лише 10% старші за 10 років.

Об'єм роботи 303 стор., вона містить 129 рисунків, 21 таблицю і 6 додатків. Автореферат повною мірою відображає зміст дисертації. Робота має достатній обсяг апробації і публікацій

В першому розділі приведено аналітичний огляд літературних даних про сучасні підходи до створення зносостійкої кераміки на основі нітридних фаз і про технічні вимоги як до сировини, так і процесів спікання. Спираючись на відомі роботи В.В. Скорохода, Р.А. Андрієвського, П.С. Кислого, А.М. Глезера, Х. Глейтера і інших відомих лідерів цього наукового напрямку, автор сконцентрував увагу на матеріалознавчих проблемах, які ще не вивчені, або не розглядались в достатній мірі повно. Відмічається, що в останні роки більш перспективними для отримання зносостійкої кераміки є композиційні наноматеріали на основі нітриду кремнію та нітриду титану. Сформульовано вимоги до нанопорошків, які придатні для отримання зносостійкої кераміки. Досконало проведено аналіз методів отримання зносостійких наноконпозиційних матеріалів на основі нітриду кремнію. Автором відмічено, що є певні проблеми консолідації нанопорошків і досягнення безпористого стану кераміки внаслідок властивостей, які притаманні саме нанорозмірним порошкам. Проаналізовані способи консолідації зносостійкої високощільної кераміки на основі нітридних фаз. В результаті огляду автор чітко сформулював ціль і задачі дисертаційного дослідження, в яких головний акцент зроблено на взаємозв'язку синтезу нанопорошків з технологією спікання зносостійкої кераміки та її функціональними властивостями.

В другому розділі описані власні методики формування композиційних нанопорошків та видовжених наноструктур в системі нітрид кремнію - нітрид титану, а також введення вторинних фаз (Y_2O_3 , Al_2O_3) в композиційні нанопорошки на основі нітридних фаз. Приведено методологію проведення експериментів по консолідації наноконпозиційних порошків з застосуванням мікрохвильового спікання, іскро-плазмового спікання та спікання з контрольованою швидкістю ущільнення. Автор також звернув увагу на особливості проведення експериментів по деформуванню наноконполітів в іскро-

плазмовому обладнанні. Автором використані методи рентгеноструктурного і рентгенофазового аналізу, високотемпературної дилатометрії, лазерної гранулометрії, скануючої та просвічуючої мікроскопії високого розрізнення. Використання сучасного інструментарію для виконання досліджень зносостійкої наоцераміки обумовлює достовірність результатів.

В третьому розділі досліджено особливості термохімічної обробки та консолідації нанокристалічних порошків тугоплавких сполук в НВЧ полі.

Встановлено, що застосування мікрохвильової термохімічної обробки нанопорошків нітридів титану і кремнію є досить ефективним способом зменшення кількості кисню в оброблюваному матеріалі. Проведений аналіз кінетики ущільнення матеріалу в мікрохвильовому полі для нанопорошку нітриду титану виявив, що на початковій стадії мікрохвильового спікання нітриду титану основним механізмом ущільнення є зернограничне проковзування.

Проведений порівняльний аналіз по консолідації нанопорошку нітриду титану традиційним методом спікання без тиску та в мікрохвилях, в сукупності з дослідженнями особливостей консолідації зразків різних розмірів в НВЧ полі дозволив розкрити перспективи застосування методу мікрохвильового спікання для отримання щільної наноструктурної кераміки на основі нітридних фаз.

Одним з найбільш яскравих результатів роботи – є формулювання технологічних принципів мікроструктурного проектування композиційних наноматеріалів для мікрохвильового спікання. За рахунок формування комбінованої мікроструктури композиційних наночастинок на основі нітридів титану та кремнію, що суттєво відрізняються глибиною проникнення мікрохвиль в об'єм та їх розподілення в об'ємі композиту за принципом «шахівниці», було отримано високощільні композиційних зносостійкі наноматеріали. А зміцнення нановолокнами композитів на основі нітриду кремнію відкриває нові перспективи по проектуванню нанокомпозиційних матеріалів різного функціонального призначення.

В четвертому розділі розглянуто особливості консолідації наноструктурних матеріалів методом іскро-плазмового спікання та їх деформування.

Підходи до контролю структуроутворення через досягнення та утримання максимальної швидкості ущільнення під час спікання наноструктурних матеріалів, були успішно реалізовані автором в нелінійних режимах іскро-плазмового спікання наноконпозиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук.

Доказово виглядають експериментальні дані, що представлені на рис. 4.2 - 4.9 для іскро-плазмового спікання нанокристалічного порошку карбонітриду титану в різних режимах. Дивлячись на поведінку наноматеріалів на основі тугоплавких сполук впевнено можна сказати, що шляхом варіювання швидкістю нагрівання та тиском можна отримати щільну нанокераміку з «якісними» границями зерен. Також чітко продемонстровано необхідність формування композиційного нанопорошку під конкретний метод консолідації та наслідування розподілу компонентів в початковій суміші та після консолідації.

Автором досягнуто важливий технічний результат: іскро-плазмовим спіканням отримано зносостійку кераміку на основі тугоплавких сполук з розміром зерен менш ніж 100 нм. Наноконпозити на основі нітриду кремнію демонструють високі механічні (нанотвердість – 23–32 ГПа, тріщиностійкість – $\sim 5,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) та трибологічні (коефіцієнт сухого тертя у парі з твердим сплавом – 0,42, швидкість зносу – $5,8 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) властивості, що дозволяє розглядати їх як перспективну зносостійку кераміку. Також новим напрямком є отримання зміцнених керамічними нановолокнами композитів з анізотропною структурою шляхом деформації в іскро - плазмовому обладнанні.

В п'ятому розділі вивчені особливості отримання зносостійкої нанокераміки на основі нітридів кремнію та титану з застосуванням технологій іскро-плазмового спікання та спікання з контрольованою швидкістю ущільнення.

Автором було застосовано розроблені в попередніх розділах технологічні прийоми синтезу композиційних нанопорошків, їх термообробки та нелінійні режими іскро-плазмового спікання і спікання з контрольованою швидкістю

ущільнення для виготовлення зносостійкої кераміки на основі нітриду кремнію. Проведено систематичне дослідження триботехнічних властивостей отриманої зносостійкої кераміки.

В шостому розділі проведено узагальнення результатів дослідження зносостійких композиційних наноматеріалів.

Запропоновано критерій оцінки придатності матеріалу для використання його як зносостійкого, що враховує розмір зерна та проведено розрахунок для нітриду титану.

Проведений узагальнюючий аналіз отриманих в роботі експериментальних даних по отриманню зносостійких нанокомпозитів, зміні механічних і триботехнічних властивостей наноструктурних матеріалів виявив перспективність запропонованого автором комплексного підходу до синтезу композиційних наночастинок з огляду на подальший метод консолідації. Доказано ефективність концепції нелінійного підходу до консолідації наноструктурних порошків, а також структурної інженерії композитів, отриманих мікрохвильовим спіканням, для отримання щільної зносостійкої кераміки. Проведено аналіз ринку зносостійкої кераміки в Україні та визначено перспективність впровадження результатів роботи.

В роботі ретельно вивчено особливості структуроутворення нанокристалічної кераміки на основі тугоплавких нітридів титану та кремнію шляхом застосування принципів мікроструктурного проектування до процесів синтезу та консолідації. Автору вдалось підібрати дисперсність компонентів і їх компоновку. Наслідком вирішення цієї задачі стало успішне спікання кераміки з відносною густиною вище за 0.98. Розроблено нелінійні режими спікання тугоплавких нанокомпозитів з застосуванням технології іскро-плазмового спікання, що забезпечило оптимальне проходження процесу ущільнення кераміки, а також формування потрібних механічних та триботехнічних характеристик. Всі перелічені науково-технологічні здобутки дозволили автору отримати керамічний матеріал з високими найбільш збалансованими

механічними та триботехнічними характеристиками. Результати роботи по отриманню ефективної зносостійкої кераміки були оформлені в патент України.

Робота є завершеною, містить акти про результати випробувань отриманих автором зносостійких нанокompозитів від ТОВ «Матеріалз Лаб» та про використання результатів дисертаційної роботи в області синтезу композиційних нанопорошків від ТОВ «НАНОТЕХЦЕНТР».

Зауваження до дисертаційної роботи О.Б. Згалат - Лозинського.

1. Оскільки за два останніх десятиліття в світі проведені масштабні дослідження в області синтезу, консолідації та дослідженні наноструктурних керамічних матеріалів бажано більш чіткіше показати місце та роль власних досліджень автора в переліку сучасних результатів.
2. Автору потрібно було б більш чітко вказати на перспективність впровадження розроблених технологій.
3. Представлена дисертаційна робота має декілька незначних змістовних помилок:
 - стр.45 «ччастинок»;
 - стр.133 – помилка в посиланні;
 - стр.135 – некоректне скорення «МХС кераміки».

Наведені зауваження не знижують загального високого рівня результатів досліджень і не змінюють позитивної оцінки роботи.

Роботу виконано на високому науковому рівні з використанням сучасних методів дослідження: вона містить великий і надійний об'єм експериментальних результатів. Висловлені вище зауваження не впливають на високу оцінку дисертаційної роботи в цілому.

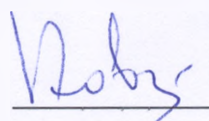
Результати опубліковані в 52 наукових роботах, з них 1 стаття в колективній монографії, 23 наукові статті, 26 статей за матеріалами міжнародних конференцій, технічний пріоритет зафіксований в 2 патентах України.

Вирішення актуальної науково-технічної проблеми – створення основ технологій виготовлення зносостійких композиційних наноматеріалів, новизна і оригінальність результатів, що отримані, розробка нових і використання сучасних методів дослідження об'єктів, перспективність практичної реалізації у

зносостійких виробках, дозволяє визнати дисертацію О.Б. Згалат-Лозинського вагомим вкладом в матеріалознавство функціональних композиційних матеріалів, зокрема зносостійкої кераміки.

Робота Остапа Броніславовича Згалат - Лозинського повністю відповідає вимогам МОН України та вимогам пп. 9, 10, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, що пред'являються до докторських дисертацій за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали». За значимістю та рівнем отриманих результатів О.Б. Згалат-Лозинський заслуговує присудження йому ступеня доктора технічних наук.


Доктор технічних наук, професор
член-кореспондент НАН України,
завідувач відділу фазових перетворень
Інституту металофізики
ім. Г. В. Курдюмова НАН України


Ю. М. Коваль

Підпис Ю.М.Ковалю засвідчую:

Вчений секретар ІМФ
ім. Г. В. Курдюмова НАН України
кандидат фізико - математичних наук




Є.В. Кочелаб