

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Згалат-Лозинського Остапа Броніславовича «СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІТРИДНИХ ФАЗ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.06 «Порошкова металургія і композиційні матеріали»

Вивчення дисертації, що являє собою наукову роботу, яка виконана у вигляді рукопису та складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, яка містить 303 сторінки, 129 рисунків, 21 таблицю, список з 234 використаних літературних джерел, 6 додатків, з розгляду автореферату й ознайомлення з опублікованими роботами здобувача за темою дисертації дозволили відзначити наступне.

1. Актуальність теми дисертації.

Сучасний стан вітчизняного машинобудування потребує матеріалознавчих розробок та впровадження новітніх композиційних компонентів, які характеризуються високими механічними та експлуатаційними характеристиками. Використання наноматеріалів на основі тугоплавких сполук дозволяє у принципі досягти необхідних цілей при створенні екологічно та економічно прийнятних технологій нових матеріалів з високими механічними властивостями і, зокрема, високою зносостійкістю.

Вирішенню важливої науково-технічної проблеми створення зносо- та термостійких композиційних наноматеріалів, використовуючи структуроване легування вихідних нанопорошків тугоплавких сполук, присвячена дисертаційна робота Згалат-Лозинського Остапа Броніславовича. Розроблені у роботі технології покращення трибо-механічних властивостей композиційних наноматеріалів ґрунтуються на визначенні закономірностей їх мікрохвильового та електроіскрового спікання, а також закономірностей впливу особливостей хімічного синтезу нанокристалічних порошків тугоплавких сполук на структурні перетворення при їх високотемпературному ущільненні. В основу нових технологій покладений ефект зниження швидкості росту легованих нанорозмірних зерен завдяки узгодженню факторів електричного поля, температури та тиску при спіканні нанокомпозитів, що дозволяє зберегти нанорозмірний масштаб субструктури та отримати покращення їх фізико-механічних властивостей. Однак, композиційні наноматеріали з точки зору використання переваг легування такими нанодисперсними покриттями, як нітриди, практично не досліджувалися. Тому, вивчення можливості застосування тугоплавких нітридів поряд з використанням нових методів консолідації порошкових матеріалів для одержання наноструктурних керамічних композитів з максимальними експлуатаційними характеристиками (твердість, модуль пружності, термо- та корозійна стійкість, стійкість до

абразивного зносу) є актуальною науково-технічною проблемою сучасного матеріалознавства і складає предмет досліджень даної дисертаційної роботи.

Важливість напрямку теоретичних та експериментальних досліджень Згалат-Лозинського Остапа Броніславовича підтверджується також тим, що вони проводилися в рамках пріоритетних наукових робіт держбюджетних тем Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, якими дисертант керував або брав пряму участь: 0107U007170 «Дослідження умов формування наноструктурної кераміки на основі тугоплавких сполук під дією зовнішніх полів та активація нанопорошків мікрохвильовою термообробкою»; 0107U002935 «Синтез композиційних порошків системи Ti-N-B-C-Si і вивчення закономірностей процесів електророзрядного спікання в поєднанні зі спіканням ковкою, формування границь зерен, міжфазних границь та створення кераміки з високими механічними властивостями»; 0103U006241 «Консолідовані наноструктурні матеріали на основі тугоплавких карбідів, нітридів і боридів»; 0110U005582 «Розроблення дослідно-промислових технологій виготовлення наноструктурних інструментальних та зносостійких керамічних матеріалів на основі нітридних фаз»; 0116U005020 «Інженерія наноструктурних матеріалів: енергоефективні технології для отримання новітньої кераміки». Також автор брав участь у міжнародних проектах: НАТО «Наука заради миру» SfP 973529 «Тугоплавкі нанокристалічні композити: матеріали нового тисячоліття»; УНТЦ № 1836 «Гradientні нанозеренні композити, отримані гарячим пресуванням, лазерним та контрольованим спіканням»; CRDF UE2-2434-KV-02 «Ключові процеси консолідації для отримання щільної нанозеренної кераміки та інженерії поверхні розділу»; УНТЦ № 4259 «Керамічні нанокompозити в системі Ti-Si-N-B, зміцнені видовженими наноструктурами»; Україно-Польський проект з міжакадемічного співробітництва «Керамічні нанокompозити на основі тугоплавких сполук, одержані мікрохвильовим спіканням та електроспіканням».

Із урахуванням викладеного можна зробити висновок щодо актуальності як сформульованих автором теми і мети роботи, так і задач, що вирішувались для її досягнення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність одержаних у дисертації результатів та зроблених висновків і рекомендацій забезпечені використанням сучасних методик консолідації порошкових систем, новітніх методів дослідження структури та властивостей, інтерпретацією результатів, яка узгоджується з існуючими уявленнями матеріалознавства тугоплавких сполук про структуроутворення в легованій системі наночастинок. В роботі у повному обсязі використано стандартизовані та спеціальні методики визначення параметрів усадки, структури, механічних і теплофізичних властивостей зразків і вивчення впливу на структуру розроблених наноматеріалів трибологічних факторів та агресивних середовищ. Достовірність наукових положень дисертації підтверджена також порівнянням отриманих результатів з результатами досліджень інших авторів.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше встановлено, що мікрохвильова обробка вихідних нанопорошків тугоплавких сполук дозволяє зменшити вміст домішок та провести доазотування нітридних порошків.

Для технології мікрохвильового спікання сформульовано принципи мікроструктурного проектування двофазних композиційних наноматеріалів, які складаються з тугоплавких сполук з різними діелектричними властивостями в мікрохвильовій області.

Для іскроплазмового спікання розроблено наукові принципи нелінійних режимів консолідації наноструктурної кераміки на основі нітридів, армованої нановолокнами.

На основі видовжених наноструктур нітриду кремнію вперше встановлена можливість одержання методом спікання з контрольованою швидкістю щільних нанокompозитів з високими механічними та трибологічними властивостями, а також запропоновано температурний діапазон їх експлуатації в агресивних середовищах.

Одержані у дисертаційній роботі експериментальні результати є суттєвим внеском у розвиток наноструктурного матеріалознавства тугоплавких сполук, легуваних нанодисперсними наповнювачами.

4. Практичне значення результатів дисертації.

Показано, що з точки зору підвищення механічних та трибологічних показників керамічних нанокompозитів застосування розробленої технології синтезу вихідних нанокompозитів та видовжених структур системи нітрид титану/кремнію є продуктивним при формуванні композитів мікрохвильовим спіканням, іскроплазмовим спіканням, а також спіканням при контролі швидкості усадки. Запропонована технологія може бути передана до промислового виробництва, що підтверджено актом про використання результатів дисертаційної роботи ТОВ «НАНОТЕХЦЕНТР», Київ, Україна.

Встановлено, що розроблені нелінійні режими ущільнення методом іскроплазмового спікання, спікання з контрольованою швидкістю усадки, а також мікрохвильового спікання забезпечує одержання нанокераміки з високими показниками механічних властивостей, зносостійкості та стійкості в агресивних хімічних середовищах. З одержаних нанокompозитів можуть бути виготовлені підшипники, вентилі, сопла та ін., що підтверджено актом випробувань від ТОВ «Матіріалз Лаб», Київ, Україна.

Отримані дисертантом наукові результати включені до університетських курсів лекцій НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського.

5. Рекомендації щодо використання результатів.

Розроблені в дисертації нанокompозити і технології їх формування (покриття вихідних частинок нітридом титану, мікрохвильова попередня обробка вихідних порошків, нелінійні режими консолідації) дозволили підвищити показники механічних властивостей, показники антикорозійних властивостей, показники стійкості у кислотах та лугах, мінімізувати час прироблення пар тертя кераміка–кераміка та кераміка–твердий сплав. Ці технології можуть бути використані у машинобудуванні для одержання

матеріалів та виготовлення з них зносостійких деталей, розрахованих на агресивні умови експлуатації.

6. Повнота викладу результатів в опублікованих працях.

За результатами досліджень за темою дисертації опубліковано 52 наукові праці, серед них 1 колективна монографія, 23 статті у фахових наукових виданнях України та інших держав, що входять до міжнародних наукометричних баз (SCOPUS, EBSCO, Ulrich's International Periodicals Directory, Thomson Reuters, Google Scholar etc.), 26 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференціях, 2 патенти.

Конкретний внесок здобувача в роботах, що написані в співавторстві, відбитий як у дисертації, так і в авторефераті. Зміст автореферату та основних положень дисертації ідентичний.

7. Оцінка змісту дисертації.

У **вступі** дисертації обґрунтовано актуальність вибраної теми досліджень, приведено мету роботи, викладено наукову новизну, практичну цінність і апробацію отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз основних закономірностей впливу фазово-структурного стану наноструктурних матеріалів на основі нітриду кремнію та титану на комплекс їх функціональних та експлуатаційних характеристик. Показано можливості застосування сучасних структурно-орієнтованих технологій консолідації матеріалів разом із застосуванням принципів структурної інженерії на всіх технологічних етапах. На основі проведеного огляду сформульовано мету і основні завдання роботи.

У **другому розділі** описано вихідні матеріали, методи синтезу, легування, спікання та дослідження нанопорошків та спечених нанокомпозитів: дилатометрію, вимірювання нанотвердості, модуля пружності, методи вивчення структури і міжфазової взаємодії (рентгенофазовий і рентгеноструктурний аналіз, електронна і оптична мікроскопія), дослідження корозійної тривкості в агресивному середовищі, визначення трибологічних характеристик, цифровий аналіз шорсткості поверхні.

У **третьому розділі** наведено результати досліджень мікрохвильової термохімічної обробки нанопорошків нітридів титану та кремнію, а також мікрохвильового спікання нітриду титану. Встановлено, що повнота проходження термохімічної обробки і розподіл частинок за розмірами залежить від кількості фази, яка має сильне поглинання мікрохвильової енергії. Спостерігали низький рівень енергії активації спікання, який було пояснено з точки зору формування рідкої фази на контактах частинок, що активізує процес ущільнення за рахунок зернограничного проковзування, тим самим зберігаючи наномасштаб розміру зерен нітриду титану при мікрохвильовому спіканні.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження консолідації наноструктурних матеріалів на основі карбонітриду титану, нітриду керамнію/титану, нітрид титану – диборид титану методом іскроплазмового спікання при нелінійному характері нагрівання та прикладання тиску. Аналіз результатів дозволив запропонувати технологію контролю структуроутворення через досягнення максимально швидкої усадки під час консолідації методом

іскроплазмового спікання, використовуючи одночасно методологію спікання з контрольованою швидкістю усадки. Встановлено, що при високотемпературній деформації одержаних нанокompозитів на основі нітриду кремнію утворюється текстура з орієнтованих нановолокон нітриду кремнію.

У **п'ятому розділі** наведено результати комплексного дослідження нанокompозитів на основі нітридів кремнію/титану, отриманих методом спікання з контрольованою швидкістю усадки. Визначено природу високих трибологічних характеристик розроблених наноматеріалів в парі з підшипниковою сталлю, твердим сплавом, а також нанокompозитом, при тестуванні в режимі сухого тертя для застосування у підшипниках. Проведено випробування стійкості розроблених нанокompозитів до азотної та сірчаної кислот, а також до їдкого натру.

У **шостому розділі** узагальнено результати трибологічних досліджень розроблених зносостійких композиційних наноматеріалів, показано їх переваги в порівнянні з тими, що використовуються в промисловості зараз. Сформульовано рекомендації по практичному впровадженню отриманих у роботі результатів, проаналізовано стан ринку наноматеріалів і зроблено прогнозування місця розроблених матеріалів на цьому ринку.

Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

8. Зауваження по дисертації та автореферату.

1. З метою полегшення передачі у промислове виробництво розроблених матеріалів у роботі варто було б навести величину питомої потужності використаного обладнання для розмелу та змішування, наприклад на стор. 66, 93, 168 Дисертації.
2. З метою порівняння з іншими надтвердими та зносостійкими матеріалами є доцільним обрахувати параметр пластичності розроблених матеріалів з даних по наноіндентуванню на стор. 122 та 165 Дисертації.
3. Доречним є ретельне вичитування англійського тексту анотації дисертаційної роботи та автореферату.

9. Заключна оцінка дисертаційної роботи.

В цілому зазначені зауваження не зменшують наукового рівня роботи та її практичного значення.

Дисертаційна робота Згалат-Лозинського Остапа Броніславовича із урахуванням актуальності вирішених у роботі задач, наукової новизни отриманих результатів і можливості їх широкого практичного використання являє собою закінчене наукове дослідження, що характеризується внутрішньою цілісністю та містить наукові положення та практичні результати, реалізація яких дозволяє виготовляти вироби на рівні світових зразків. Робота виконана на високому науковому рівні.

Наведені в роботі наукові положення, технологічні рішення й узагальнюючі висновки повністю висвітлені у фахових наукових виданнях, пройшли апробацію та були схвалені на численних конференціях і семінарах.

За актуальністю, новизною, практичною цінністю, змістом, якістю оформлення, обсягом, структурою, об'ємом публікацій дисертаційна робота

«Структурування та формування властивостей зносостійких композиційних матеріалів на основі нітридних фаз із застосуванням технологій електроспікання» відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій. Результати дисертації достатньо апробовані, що відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 17.10.2012 №112 (зі змінами) «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук». Автореферат дисертації вірно відображає її основні положення. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 «Порошкова металургія і композиційні матеріали» та вимогам п. 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор, Згалат-Лозинський Остап Броніславович, заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.06 «Порошкова металургія і композиційні матеріали».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук (за спеціальністю 05.02.01 «Матеріалознавство»),
 пров.н.с. відділу технологій високих тисків,
 функціональних керамічних композитів і
 дисперсних надтвердих матеріалів
 ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України,
 старший науковий співробітник

I. П. Фесенко

Підпис д.т.н., с.н.с. Фесенка І. П. засвідчую:
 Вчений секретар ІНМ ім. В. М. Бакуля
 НАН України, к.т.н.



В. В. Смоквина