

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Стратійчука Дениса Анатолійовича** «Наукові засади створення термостійких надтвердих композитів інструментального призначення із зв'язками на основі тугоплавких сполук перехідних металів», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «матеріалознавство»

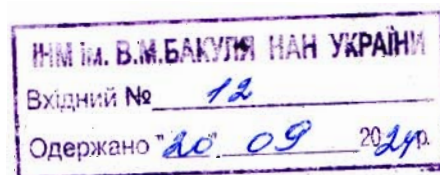
Метою дисертаційної роботи було створення наукових засад керування мікроструктурою, фізико-технічними, термічними та експлуатаційними характеристиками термостійких надтвердих композитів інструментального призначення на базі кубічного нітриду бора та алмазу, спечених в умовах їх термодинамічної стабільності із використанням тугоплавких сполук перехідних 3d-5d металів в якості зв'язки.

**Актуальність теми** визначається глобальними тенденціями в оброблювальній галузі, а саме економічно обґрунтованим пошуком шляхів підвищення продуктивності обробки сучасних загартованих нержавіючих сталей, жароміцних і високолегованих сплавів, щільних гранітів. Автор пропонує досягти поставленої мети шляхом проведення комплексного дослідження матеріалів на основі кубічного нітриду бору і алмазу, а саме вивчення фізико-хімічних закономірностей і встановленням взаємозв'язку між складом вихідних матеріалів, термобаричними умовами спікання, фізико-технічними і експлуатаційними властивостями одержаних матеріалів. Передбачається створення нових матеріалів високої працездатності і їх промислове впровадження.

Дослідження, наведені у дисертаційній роботі, були виконані в рамках 2 науково-дослідних тем Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України і міжнародного проекту «Next generation of superhard non-CRM materials and solutions in tooling – Flintstone2020» Програми Horizon 2020.

За результатами дисертаційної роботи автором опубліковано 39 наукових праць, в тому числі 28 статей і 2 патенти на винахід.

**Новизна** роботи викладена у 8 пунктах. Автором вперше показано можливість створювати інструментальну кераміку із мікропорошків кубічного бору с цілим рядом карбідів і силіцидів перехідних металів, вивчено вплив параметрів спікання в умовах високих тисків і температур на утворення твердих розчинів різного складу та показана їх роль в досягненні високих експлуатаційних характеристик. Автором також було досліджено процеси, що відбуваються при створенні аналогічних матеріалів на основі алмазу, зокрема транспорт карбону, що дозволило одержати нові матеріали на основі алмазу і досягти високих значень термостійкості і працездатності.



**Практичне значення** роботи є значним і включає розробку технології одержання керамо-матричних композитів на основі кубічного нітриду бору, а також створення нових високоефективних матеріалів на основі кубічного нітриду бору і алмазу, що пройшли численні випробування.

Представлена робота складається із анотації (українською та англійською мовами), вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (213 джерел) і додатків. Повний обсяг дисертації становить 449 сторінок, в тому числі основний текст – 368 сторінок. Дисертаційна робота містить 277 рисунків та 67 таблиць.

Вступ містить актуальність роботи, мету, задачі дослідження, наукову новизну, практичну цінність, дані щодо зв'язку роботи із науковими темами Інституту, особистий внесок здобувача, апробації, публікації автора.

Розділ 1 присвячено огляду літературних джерел щодо кубічного нітриду бора, який є основою одержаних cBN-матеріалів, викладено технологічну еволюцію створення надтвердих матеріалів від монофазної кераміки до матеріалів VN- і VL-групи.

Розділ 2 присвячено методам одержання cBN-композитів і алмазвмісних надтвердих матеріалів із використанням техніки високого тиску. Наведено основні параметри пресового обладнання, апарату високого тиску типу «тороїд-30», його функціональні вузли та технологічні можливості. Представлено схеми комірок високого тиску із детальним описом складових елементів. Окремо розглянуто питання калібрування за тиском і температурою. Також розділ містить інформацію щодо вихідних речовин, методів і методик дослідження одержаних матеріалів.

В розділі 3 розглянуто весь технологічний ланцюг створення керамо-матричних композиційних матеріалів групи VL в системах cBN – карбіди та силіциди 3d-5d металів – Al. Це найбільший за об'ємом розділ роботи, що містить 143 сторінки і складається із 17 підрозділів, більшість із яких присвячена дослідженням певної трикомпонентної системи. Автором досліджено системи cBN-TiC-(Al) та cBN-TiCN-(Al), cBN-Ti<sub>4</sub>WC<sub>5</sub>-(Al), cBN-TiC-WC-(Al), cBN-WC-SiB<sub>4</sub>-(Al), cBN-VC-(Al), cBN-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Al, cBN-ZrC-(Al), cBN-NbC-Al, cBN-Mo<sub>2</sub>C-(Al), cBN-HfC-Al, cBN-TaC-(Al), а також cBN-MeSi<sub>2</sub>-(Al), де Me – це Mo, V, Cr, W. Окремо розглядаються дослідження термічних, експлуатаційних, міцнісних характеристик одержаних матеріалів. Ще один підрозділ присвячено дослідженням системи Al-B в умовах високих тисків і температур.

Розділ 4 присвячено формуванню та експлуатаційним характеристикам високоефективних ріжучих cBN-пластин VL-групи. На першому етапі розглянуті 2 системи: cBN-TiC-VN-Al і cBN-TiC-ZrN-Al, що були детально досліджені, зокрема процеси формування твердих розчинів і утворення

$\text{Al}_2\text{O}_3$ . На другому етапі роботи, спираючись на попередній досвід, автором було здійснено спробу сформувати саме оксонітридні композиції у системах  $\text{cBN-NbN-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ ,  $\text{cBN-VN-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ ,  $\text{cBN-HfN-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ . В результаті були одержані матеріали з високими експлуатаційними характеристиками, що можуть замінити відомі світові аналоги для високошвидкісної металообробки високолегованих сталей та суперсплавів.

В розділі 5 розглянуто вплив спікання в умовах високих тисків і температур на кристалічну структуру мононітридів  $\text{MeN}$  та монокарбідів  $\text{MeC}$  перехідних d-металів IV-V груп, які разом із  $\text{Al}$  формують зв'язки  $\text{cBN}$ -композитів. Проведено розрахунки кристалічної структури нітридів і карбідів  $\text{Ti}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Hf}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ta}$  в композитах на основі полікристалічного кубічного нітриду бору, а також карбонітриду  $\text{TiCN}$ . На основі аналізу результатів рентгеноструктурних досліджень показано, що в умовах термобаричного спікання твердофазна взаємодія компонентів суміші  $\text{cBN-MeN-Al}$  веде до формування пересичених азотом нітридів  $\text{MeN}_x$ , а взаємодія компонентів суміші  $\text{cBN-MeC-Al}$  – до формування твердих розчинів  $(\text{Me,Al})(\text{C,N})$ , утворення яких певною мірою обумовлюють механічні властивості досліджених композитів.

В розділі 6 розглянуто вплив зв'язок, а саме високоплавких карбідів перехідних металів, на реакційне спікання алмазовмісних надтвердих матеріалів. Досліджено твердофазне спікання в системах Алмаз- $\text{Ti}_4\text{WC}_5$ , Алмаз-Карбід (подвійні карбіди d-металів), Алмаз- $\text{SiB}_4\text{-WC}$ . Проведено дослідження добавок  $\text{Ti}$  та  $\text{Si}$  на формування термостійкого алмазоносного шару АТП. В результаті роботи створено нові матеріали і проведено порівняльні випробування зразків АТП з активуючими добавками. Найкращі показники при обробці граніту було отримано для матеріалу із додаванням 2 мас.%  $\text{Si}$ . Високі значення зносостійкості також були виявлені для кераміки із 3 мас.%  $\text{Ti}$ . Одержані матеріали характеризуються високими значеннями термостійкості.

В додатках наведено результати стендових випробувань дослідно-промислової партії  $\text{cBN}$ -композитів у ДП «Івченко прогрес», порівняльні випробування працездатності  $\text{cBN}$ -композитів на кафедрі інженерної механіки Лундського університету (Швеція), а також результати порівняльних випробувань алмазовмісних матеріалів у ПП «Інструмент Сервіс» (м. Вінниця, Україна), що показали високу ефективність одержаних матеріалів.

Робота містить 9 загальних висновків, що є обґрунтованими і повною мірою відображають досягнення автора.

При ознайомленні із роботою у мене, як опонента, виникли певні зауваження.

1. Текст має недоліки з точки зору оформлення, а саме проблеми із пунктуацією, форматуванням і скороченнями. Автор зловживає використанням хімічних символів замість назв речовин, допускає відхилення від наукового стилю мовлення, використовує аббревіатури, що відсутні у списку скорочень, наприклад ТКЛР, АПТ, ТД, а також умовні позначення фізичних величин, наприклад в Табл.6.13-6.17.

2. В першому розділі, що присвячений літературному огляду, не вистачає послідовності. Зокрема не зрозуміло, чому огляд присвячений лише матеріалам на основі кубічного нітриду бору, а загальні відомості про алмазвмісні матеріали винесено до розділу 6.1. Теж саме стосується загальних відомостей про нержавіючі сталі і полікристалічний кубічний нітриду бору, що винесено у розділі 4.1 і 5.1, відповідно. Тільки після цього варто було б перейти до порівняння різних матеріалів, тобто до розділу 1.6. Не вистачає даних щодо силіцидів перехідних металів, а також щодо можливої взаємодії ізопропілового спирту, що використовується як розчинник, із відповідними сполуками перехідних металів.

3. З тексту дисертації не зрозуміло, як саме визначалась твердість за допомогою піраміди Віккерса. На стр. 104 автор вказує навантаження для визначення тріщиностійкості 10 кГ, але уточнює, що був також задіяний твердомір із навантаженням до 1 кГ. В списку умовних позначень згадується навантаження 50 Н, а в таблиці 6.8 – 10 Н. В решті тексту уточнень немає.

4. На рис 4.26 (стр. 285) наведена технологічна схема основних етапів створення матеріалів, проте не зрозуміло, чи є це результатом роботи автора, чи частиною літературного огляду.

5. На рис. 5.20 (стр. 324) не зрозуміла причина екстремуму у залежності кількості надлишкового нітрогену від температури.

6. Із таблиці 5.8 (стр. 327) не зрозуміло, чи вважає автор енергію зв'язку Ti-C в карбіді і карбонітриді титану однаковими.

7. Не зрозуміло, чому при розрахунках енергії активації атомів нітрогену у спечених композитах (Таб.5.9, стр. 329) для різних систем взяті різні температурні інтервали, і чим керувався автор, обираючи їх.

Недоліки та приведені зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, її результати є вагомим внеском в розвиток прикладного матеріалознавства керамічних надтвердих матеріалів інструментального призначення.

Вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота є повністю закінченим науковим дослідженням, що виконано на високому практичному рівні і має суттєву науково-практичну цінність. За актуальністю теми, науковою новизною, повнотою виконання і достовірністю результатів робота відповідає вимогам пунктів 9, 10 та 12 постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015 та № 567 від 27.07.2016, № 943 від 20.11.2019, № 607 від 15.07.2020). Враховуючи все вищесказане, вважаю, що автор дисертації, Денис СТРАТІЙЧУК, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – "матеріалознавство".

Опонент:

професор кафедри хімії Київського  
національного університету  
будівництва і архітектури,  
д.т.н., доцент



Артем КОЗИРЄВ

*Підпис д.т.н. Козирєва Артема В'ячеславовича засвідчую.*

Вчений секретар  
Київського національного університету  
будівництва і архітектури,  
к.т.н., доцент



Микола КЛИМЕНКО