

## ОФІЦІЙНИЙ ВІДГУК

опонента на дисертацію **ГРЕБЕНОК Тетяни Петрівни** “**Формування структури та властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками інших карбідів**”, подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – порошкова металургія та композиційні матеріали

### **Актуальність теми дисертації**

Актуальність роботи обумовлено необхідністю створення нового покоління твердих сплавів на основі карбіду титану на заміну традиційних твердих сплавів на основі дефіцитного карбіду вольфраму з не менш дефіцитним кобальтовим зв'язуючим. Тверді сплави виготовляються з порошкових сумішей і є яскравим прикладом консолідованих матеріалів, що суттєво відрізняються від традиційних конденсованих матеріалів, які виготовляють методами плавлення і литва з наступною деформаційною обробкою. Оскільки формування структури консолідованих матеріалів відбувається за умов випадкового пакування частинок порошків, то в результаті утворюється складна ієрархічна структура з флуктаціями густини на різних рівнях вказаної ієрархії, в якій важливим є рівень мікроструктури, визначальними елементами якої є карбідні зерна та цементуюче їх металеве зв'язуюче. Їх розподіл у мікроструктурі визначаються умовами підготовки однорідних порошкових сумішей, морфологічними властивостями частинок порошку, їх ущільненням при холодному пресуванні та консолідації при спіканні. Тому вибраний напрям досліджень і тема дисертації є актуальними.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна**

Обґрунтованість отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечена використанням для їхнього отримання вже відомих, а також обґрунтованих та апробованих автором технологічних методів отримання твердих сплавів, вивчення їх структури, а також основних фундаментальних положень матеріалознавства та апробованих методів кількісного аналізу результатів експерименту з позицій реології та деформування пористих матеріалів.

Достовірність отриманих у дисертації положень, висновків і рекомендацій в першу чергу не викликає сумніву тому, що вони не суперечать фундаментальним законам фізики і хімії. Окрім того, достовірність результатів роботи підтверджується загальним збігом їх з експериментальними даними, а також апробацією у лабораторних і промислових умовах.

Ретельні експериментальні дослідження морфологічних властивостей частинок порошків твердих сплавів, ущільнення твердосплавних сумішей в процесі пресування за умови контрольованої постійної швидкості навантаження та консолідації твердих сплавів у процесах спікання та гарячого пресування, структури та фізико-механічних властивостей спечених твердих сплавів з використанням сучасних методів аналізу та визначення властивостей матеріалів дали важливі результати, що мають незаперечну наукову новизну і прикладну цінність для практики виготовлення твердих сплавів нового покоління на основі карбіду титану з нікель-хромовою зв'язкою та добавками інших карбідів металів V та VI груп періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва.

В упорядкованих розділах дисертації поряд з описом застосованих сучасних методів дослідження подано результати з визначення впливу властивостей вихідних порошків, зокрема форми їх частинок, на процеси ущільнення при холодному пресуванні та утворення консолідованої структури твердого сплаву при наступному спіканні. Проведено вагомий обсяг роботи з комп'ютерного визначення факторів форми частинок порошків методом гармонічного аналізу форми частинок з використанням дискретних рядів Фур'є. Цей метод має незаперечну перевагу над іншими (у більшості емпіричними) методами оцінки впливу форми частинок на пакування порошків від засипання порошку в прес-форму до ущільнення в процесах холодного пресування та спікання, що визначають формування структури матеріалу. Не менш важливими є результати комп'ютерного кількісного аналізу вказаних технологічних процесів виготовлення твердого сплаву на засадах континуальної теорії пластичності пористих матеріалів та реології й кінетики об'ємної в'язкої течії пористого тіла при спіканні та гарячому пресуванні. В роботі показано, що ущільнення порошку крихкого карбіду молібдену з неправильною формою частинок характеризується високим значенням середньоквадратичного напруження на початку холодного пресування і різким його зниженням в кінці пресування, що вказує на крихке руйнування частинок порошку. З цього аналізу виникає важливий висновок про те, що неправильна форма частинок гальмує ущільнення порошку і це може призводити до зонального уособлення щільних кластерів частинок і формування пористості між ними в процесі спікання. В той же час пресування порошків карбідів титану та ванадію, а також твердосплавної суміші характеризується поступовим висхідним збільшенням середньоквадратичного напруження від його нульового початкового значення і його зменшенням при значному підвищенні відносної густини зразка. Визначальним фактором ущільнення порошків при холодному пресуванні є деформаційне зміцнення матриці, що утворює пористе тіло, яке є ансамблем частинок порошку. Застосований у роботі підхід до аналізу ущільнення при пресуванні відрізняється зрозумілим фізичним змістом, що вигідно відрізняє його від інших формальних феноменологічних підходів, константи в яких не мають фізичного тлумачення.

Вагомим внеском в науку про спікання є кількісний аналіз ходу ущільнення твердого сплаву на основі карбіду титану з добавкою карбідів ванадію, молібдену та ніобію при неізотермічному спіканні під тиском у вакуумі з визначенням середньоквадратичного напруження в матриці, що утворює пористе тіло, та її середньоквадратичної швидкості деформації, а також оцінка значення енергії активації в'язкої течії об'ємної в'язкої течії пористого твердого сплаву за умови рідкофазного спікання, що вказує на дифузійний механізм течії поверхневих шарів карбідних зерен в той час, коли їх серцевини залишаються твердими і можуть деформуватись лише дислокаційним механізмом.

В роботі вирішено завдання підвищення рівня механічних властивостей розробленого твердого сплаву на основі карбіду титану і доведена можливість його практичного застосування як якісного інструментального матеріалу.

### **Опублікування основних результатів дисертації в науковій пресі**

Основні положення дисертаційної роботи Гребенок Т.П. опубліковано у 18 наукових працях. Серед них 8 статей у вітчизняних та закордонних виданнях в галузі технічних наук, з них 2 стаття у виданнях, що входять до наукометричних баз даних SCOPUS, Web of Science, Thomson Reuters та ін. Окрім того, на розробки здобувача видано 1 патент на корисну модель та опубліковано 9 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

Таким чином, підтверджую достатню повноту опублікованих основних наукових положень, висновків і рекомендацій, що повністю відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій.

### **Оцінка та зауваження дисертації**

Як видно із змісту дисертації робота виконана з використанням сучасних методів підготовки вихідних матеріалів та засобів виготовлення дослідних зразків, вивчення й кількісного аналізу процесів їх виготовлення, формування мікроструктури та випробування механічних властивостей. В заслугу авторці дисертації маю поставити її кропітку роботу з визначення факторів форми частинок порошків карбідів методом дискретного Фур'є аналізу та кількісний аналіз процесів ущільнення твердих сплавів при пресуванні, спіканні та гарячому пресуванні з використанням пакету комп'ютерних програм, створених спільно з науковим керівником дисертаційної роботи. Результати проведених досліджень дозволили створити твердий сплав з належними механічними властивостями і високою зносостійкістю, що визначають його практичну цінність як інструментального матеріалу на заміну твердосплавних виробів, виготовлених з використанням дефіцитних вольфраму та кобальту.

Текст дисертації свідчить про виконання досить великого обсягу експериментальних та обчислювальних робіт, їх аналізу та узагальнення, що знайшло відображення у зроблених загальних висновках.

**Проте, до дисертації є ряд зауважень.**

- 1) В тексті дисертації та авторефераті зустрічається не коректний термін: «зв'язки» – це калька з російської мови, та перекладається, як «связи», замість нього необхідно використовувати термін «зв'язуюче».
- 2) В тексті дисертації присутній не коректний вираз – «розчин вихідних карбідів». Автор об'єднує всі складові під одними дужками, вказуючи на те що розчин на всіх етапах є сформованим. В вихідному стані може бути лише механічна суміш карбідів, а тому необхідно писати кожен ідентифіковану карбідну фазу окремо. Вираз «розчин вихідних карбідів» може бути застосований після підтвердження, що відповідна фаза була синтезована в процесі підготовки зразків та після спікання, але таких доказів недостатньо. Автору необхідно бути більш уважною з термінологією.
- 3) Приведені в роботі спектри рентгенограм мають різну інтенсивність. Автору необхідно було привести всі отримані рентгенограми до одного масштабу та поєднати їх для більш точного та ретельного порівняння окремих ліній між собою. Це дало б змогу більш детально проаналізувати зміни, які відбуваються.
- 4) В дисертаційній не достатньо приділена увага композитним карбідним частинкам з кільцевою структурою: товщині кільцевої оболонки та розподілу елементів по перетину оболонки частинки та в її околиці; особливо розподілу вуглецю по перетину, який здійснює значний вплив на ріст зерен карбиду титану та здійснює карбідоутворення, від вмісту якого залежить параметр ґратки карбиду титану та відповідно його властивості.

Зроблені зауваження вказують на неуважність в процесі оформлення тексту дисертації, але не знижують її наукової та практичної цінності.

В подальшому автору роботи рекомендую продовжити дослідження в даному напрямку: дослідити особливості зміни кільцевої мікроструктури сплаву в околиці ріжучої кромки інструменту при значно більших швидкостях різання.

### **Висновки про наукову працю в цілому**

На підставі викладеного вище вважаю, що представлена дисертаційна робота в цілому відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали та вимогам п.п. 9, 11, 12 Постанови Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. “Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів” зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016, № 943

від 20.11.2019, № 607 від 15.07.2020, щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор – **Гребенок** Тетяна Петрівна – заслуговує присудження їй наукового ступеня **кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали.

Офіційний опонент,  
кандидат технічних наук,  
науковий співробітник  
Відділу спікання твердих сплавів  
та вольфрамівмісних композитів  
Інституту надтвердих матеріалів  
ім. В. М. Бакуля НАН України

Матвійчук Олександр Олександрович

Підпис кандидата технічних наук, наукового співробітника Відділу спікання твердих сплавів та вольфрамівмісних композитів ІНМ НАН України, Матвійчука О. О. засвідчую

Учений секретар Інституту надтвердих матеріалів  
ім. В. М.Бакуля НАН України, канд. техн. наук **В. В. Смоквина**

