

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Гребенок Тетяни Петрівни** на тему:
**«Формування структури та властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з
добавками інших карбідів»**, поданої на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали»
Технічні науки (13 Механічна інженерія)

Актуальність обраної теми дисертації

Дисертаційна робота Гребенок Т. П., що подана до захисту, спрямована на вирішення важливого науково-технічного завдання в галузі порошкової металургії, яке полягає у розробленні технології отримання і її впливу на формування структури, фазового складу і властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з іншими карбідами.

Дисертаційна робота Гребенок Т. П. пов'язана з виконанням наступних науково-дослідних робіт: III-31-07 (Ц) «Технологічні процеси термічної та термомеханічної обробки порошкових керамічних та кераміко-металевих матеріалів з метою підвищення та забезпечення відтворюваності їх механічних та функціональних властивостей», 2007–2011 р.р.; III-29-12(Ц) «Розробка методів інтенсифікації ущільнення і консолідації кераміко-металевих та керамічних матеріалів з застосуванням імпульсного та неізотермічного гарячого пресування», 2012–2016 р.р.; III-26-17(Ц) «Вплив параметрів термомеханічної обробки на консолідацію, формування структури і властивостей порошкових кераміко-металевих та керамічних матеріалів на основі тугоплавких карбідів», 2017–2021 р.р.

Науково-технічні роботи, що виконувались у межах перелічених наукових тем, є свідченням затребуваності науково-дослідних робіт з даного напрямку, і, відповідно, вказують на актуальність дисертаційного дослідження Гребенок Т. П.

Як відомо, тенденцією розвитку сучасного матеріалознавства є створення наукових основ отримання ефективних функціональних матеріалів, у тому числі інструментального призначення, за умови економії дефіцитних рідких металів, зокрема вольфраму та кобальту, як основи сучасних високосносотійких твердих сплавів, які посідають чільне місце в технологіях машинобудування, отриманні надтвердих матеріалів на кшталт алмазу та боразону, а також як ефективного різального інструменту.

Дисертантка Гребенок Т. П. показала, що на сучасному етапі розвитку технологій ідуть інтенсивні пошукові роботи зі створення твердих сплавів на основі недефіцитних і водночас ефективних компонентів, таких як карбід титану і карбід хрому як альтернативи карбідам дефіцитних металів.

Наведені обставини стали підґрунтям для формулювання дисертанткою Гребенок Т. П. актуального науково-технічного завдання, спрямованого на встановлення закономірностей впливу нової технології виготовлення на формування структури і комплексу властивостей ефективних твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками карбідів ванадію, ніобію, молібдену і нікель-хромової зв'язки.

Вирішення означеного дисертанткою Гребенок Т. П. науково-технічного завдання відкриває шляхи одержання високоякісних виробів конструкційного призначення з недефіцитної сировини, зокрема композитного різального інструменту, та встановлення фізичних зв'язків між складовими, будовою, властивостями матеріалів і виробів з них, та їх експлуатаційними характеристиками.

Наведені факти характеризують тему рецензованої дисертації як актуальну, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

**Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх
достовірність і новизна**

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Гребенок Т. П., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлені використанням для їх одержання великої кількості різнопланових методів досліджень та найсучасного експериментального обладнання. Серед них використовувався системний підхід до обґрунтованих напрямів досліджень на основі аналізу й узагальнення виконаних розробок з використання матеріалів і технологічних процесів одержання готових виробів. У роботі були використані наступні сучасні методи експериментальних досліджень: металографічний, мікрорентгеноспектральний, рентгеноструктурний, фрактографічний аналізи; растрова та просвічуюча електронна мікроскопія; випробування на твердість, мікротвердість, міцність на вигин та стиснення, тріщино-, зносо- та термостійкість твердих сплавів; реологічний аналіз ущільнення порошкових сумішей при холодному пресуванні, а також визначення кінетики ущільнення пористого твердого сплаву при спіканні під тиском.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено співпадінням результатів, отриманих різними методами, застосуванням сучасного високоточного експериментального обладнання, а також апробацією результатів досліджень в умовах промислового виробництва, про що свідчить затверджена технічна документація, яку наведено у «Додатках» до дисертації.

Результати різнопланових досліджень, що отримані авторкою з використанням перелічених методів, надали надійну і взаємоузгоджену інформацію про особливості структуроутворення та комплекс властивостей вискоєфективних композитних твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками карбідів ванадію, ніобію, молібдену і нікель-хромової зв'язки, одержаних за розробленою технологією, відпрацьованою в процесі виконання дисертації.

Обґрунтовані положення і висновки рецензованої роботи не вступають у протиріччя з фундаментальними основами порошкової металургії, матеріалознавства, металознавства та термічної обробки металів.

Вирішення поставленого науково-технічного завдання дозволило Гребенок Т. П. одержати низку нових результатів, що являть собою наукову новизну дисертації. Вважаю за необхідне наголосити на найважливіших положеннях:

1. За результатами досліджень зміни мікроструктури та фазового складу сумішей порошків карбідів титану, ванадію, ніобію та молібдену при вакуумному спіканні і спіканні під тиском з варіюванням температури і часу витримки встановлено складний характер формування їхньої структури, що включає розчинення поверхневих шарів карбідних зерен у рідкій зв'язці і поелементне перенесення карбідів і хрому (із зв'язки) на поверхню крупніших зерен з утворенням поверхневого шару, який у поперечному перерізі має вигляд ободу (чи кільця) зі знизеним вмістом вуглецю і нижчою твердістю в порівнянні з серцевиною карбідного зерна. Оцінена енергія активації у 542 кДж/моль характеризує найповільніший дифузійний механізм у низці процесів формування структури, що відповідає дифузії атомів металевієї підрешітки карбіду титану в поверхневому шарі його зерна на межі з рідкою зв'язкою, а деформування карбідного зерна можливе лише дислокаційним механізмом.

2. Вперше досліджено закономірності формування й отримання твердих розчинів (V, Nb, Mo)C, (Ti, V, Nb, Mo)C, (V, Nb, Mo)C-TiC методами вакуумного спікання і спікання під тиском (гарячого пресування) при різних температурах і часі витримки. Утворення твердих розчинів на основі карбіду титану відбувається зі зменшенням параметру (періоду) кристалічної ґратки від 0,4321 нм до 0,4311 нм при спіканні в діапазоні температур 1550 – 1800°C.

3. Вперше визначено особливості структуроутворення та фазового складу досліджених сплавів. Встановлено, що основними фазами сплавів (Ti, Nb, V, Mo)C-Ni-Cr є складний карбід (Ti, Nb, V, Mo)C та твердий розчин заміщення на основі нікелю. Легування карбіду титану карбідами ніобію, ванадію, молібдену зменшує розчинність тугоплавкої основи у металевій зв'язці сплаву, що гальмує ріст карбідних зерен під час перекристалізації через рідку фазу. Обмежена розчинність хрому у тугоплавкій фазі (Ti, Nb, V, Mo)C сприяє зменшенню взаємодії металевієї зв'язки з тугоплавкою фазою.

4. Вперше встановлено, що підвищення міцності та твердості сплавів на основі складного карбіду (Ti, Nb, V, Mo)C досягається за рахунок зменшення пористості та зменшення розмірів карбідних зерен. Дослідження фізико-механічних властивостей сплавів показало, що підвищені

їх значення: $\sigma_{\text{вип}}=1570$ МПа, $\sigma_{\text{ст}}=2706$ МПа, HRA=94,6, має сплав на основі (Ti, Nb, V, Mo)C із вихідним складом % (мас.): TiC – 65, NbC – 5, VC – 5, Mo₂C – 5, Ni – 16, Cr – 4, який відзначається найбільш дрібнозернистою структурою.

З моєї точки зору, вищенаведене позитивно характеризує наукові напрацювання дисертантки Гребенок Т. П. і свідчить про вагомість отриманих результатів та узагальнень, що дозволило одержати можливість прогнозувати структуру та експлуатаційні характеристики нових твердих сплавів і виробів з них на етапі створення нових та вдосконаленні існуючих технологій отримання твердих сплавів з використанням недефіцитних складників.

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики

Наукова та практична значимість дисертації Гребенок Т. П. полягає в тому, що авторка на основі проведених досліджень встановила закономірності формування структури твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками карбідів ванадію, ніобію, молібдену і нікель-хромової зв'язки; виявила та проілюструвала механізм формування досліджених твердих сплавів з прогнозованою структурою і фазовим складом з керованими експлуатаційними властивостями за рахунок оптимізації складу твердого сплаву на основі карбіду титану і технології його виготовлення.

Інноваційний підхід дисертантки дозволив встановити умови формування структури та властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками інших карбідів методами вакуумного спікання та гарячого пресування для підвищення їх зносостійкості як інструментальних та конструкційних матеріалів.

В результаті чого було доведено, що у процесі ущільнення сумішей порошків карбіду титану з нікель-хромовою зв'язкою та добавкою карбідів ванадію, ніобію та молібдену, а також сумішей попередньо легованого карбіду вказаними карбідом з тією ж зв'язкою відбувається складний процес формування структури твердих сплавів, основним з яких є часткове розчинення нерівноважних поверхонь карбідних зерен у розплавленій зв'язці з наступним осадженням з утворенням рівноважних поверхонь, на яких також осаджується хром, який є компонентом зв'язки.

Авторка переконливо показала, що підвищення міцності та твердості сплавів на основі складного карбіду (Ti, Nb, V, Mo)C досягається за рахунок зменшення пористості та зменшення розмірів карбідних зерен.

На мою думку, вагомим науково-практичним доробком є одержані авторкою результати виробничих випробувань твердих сплавів на основі карбіду титану, розроблених за альтернативною технологією виготовлення.

Так, інтенсивність зношування різальних пластин із матеріалу, отриманого за стандартною технологією, приблизно у 3 рази вища, ніж у твердого сплаву, отриманого за альтернативною технологією з попереднім утворенням твердого розчину, і при величині зношування пластин по задній поверхні 0,2 мм, тривалість роботи різальних пластин склала відповідно 16 хв. та 38 хв.

Результати науково-практичних напрацювань дозволили авторці дисертації рекомендувати розроблену нову технологію виготовлення різальних пластин з твердого сплаву на основі карбіду титану, оскільки зносостійкість таких пластин близька до значень стандартного сплаву T15K6.

Вважаю за необхідне зазначити, що важливим практичним напрацюванням є дослідно-виробнича перевірка результатів дисертаційного дослідження дисертантки Гребенок Т. П., а саме, різальні пластини з твердого сплаву на основі карбіду титану пройшли натурні випробування на ДП НДІ «Квант» (м. Київ), в ході яких були показані істотні переваги пластин, одержаних за розробленою технологією.

Вищевказане переконливо свідчить про високу наукову та практичну значимість виконаного Гребенок Т. П. дисертаційного дослідження.

На мою думку різнобічні дослідження, наукові та практичні результати яких представлено у дисертації, відрізняються системністю, коректністю та обґрунтованістю накопиченого фактажу, який отримано із застосуванням сучасних методів досліджень та обладнання, і підтверджених практичною апробацією в умовах промислового виробництва.

Повнота викладу основних результатів дисертації

Основні результати рецензованої дисертаційної роботи Гребенок Т. П. опубліковані у 18 наукових працях, з них 9 статей у фахових вітчизняних та закордонних періодичних виданнях в галузі технічних наук, що входять до наукометричних баз даних, таких, як Scopus, Web of Science of Thomson Reuters та ін., 1 патент України на корисну модель та 8 тез доповідей у збірниках науково-технічних вітчизняних і міжнародних конференцій. Всі надруковані праці за темою дисертації виконані авторкою особисто та у співавторстві.

Загалом вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Гребенок Т. П. виконано у повному обсязі.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація Гребенок Т. П. складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Повний обсяг дисертації складає 6,3 авторських аркушів, 27 рисунків, 21 таблиця, список використаних джерел нараховує 140 найменувань.

Вступ дисертації достатньо повно розкриває сутність та сучасний стан науково-технічного питання, аргументи, що зумовили постановку завдання; авторкою обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, наведено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, подано мету роботи, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень, сформульовано наукову новизну, визначено практичну значимість одержаних результатів, наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, публікації за темою дисертації та структуру роботи.

У **першому розділі** дисертантка Гребенок Т. П. докладно висвітлила сучасний стан питання та узагальнення щодо відомих розробок і тенденцій розвитку технологій твєрдосплавного виробництва, розглянула особливості формування структури твєрдих сплавів на основі карбїду титану під час спікання під тиском, представила результати досліджень комплексу їх властивостей.

Як було проаналїзовано авторкою дисертації, твєрдї сплави на основї карбїду титану з добавками карбїдів молїбдену, ванадію та ніобїю, з нїкель-хромовою зв'язкою відрїзняються високим рівнем фізико-механїчних та експлуатаційних властивостей, і відносяться до перспективних матеріалів для виготовлення рїзального інструменту та деталей з підвищеною зносостїкїстю, що працюють в умовах підвищених температур.

Дисертантка показала, що карбїд титану з економічної і технологїчної точок зору та за рівнем фізико-механїчних властивостей є перспективною основою для створення стїйких до зношування та жаростїйких безвольфрамових твєрдих сплавів. Окрїм цього введення карбїду ніобїю, молїбдену, ванадію до сплавів на основї карбїду титану покращує змочуванїсть карбїду титану нїкелем, сприяє підвищенню механїчних властивостей, жаростїйкостї та рїзальних характеристик сплавів. А введення хрому до твєрдих сплавів на основї карбїду титану з нїкелевою зв'язкою призводить до зменшення температури утворення рїдкої фази та сприяє підвищенню стїйкостї до зношування, термо- та жаростїйкостї.

Як завершення розділу 1, проаналїзувавши та узагальнюючи сучасні тенденції створення твєрдих сплавів, шляхом критичного аналізу дисертанткою було зроблено висновок, що на сьогодні виникла необхідність у комплексному дослідженні та розробці альтернативних технологїй одержання ефективних твєрдих сплавів із застосуванням бездефіцитних компонентів.

На мою думку, глибокий аналіз вітчизняних і закордонних інформаційних джерел та наступні узагальнення існуючих відомостей, що виконанї шляхом критичного аналізу, дозволили дисертантці Гребенок Т. П. обґрунтувати доцїльнїсть виконання досліджень з означеної теми, визначити мету і завдання роботи та окреслити шляхи їх реалїзації.

У **другому розділі** дисертації здобувачка Гребенок Т. П. висвітлює узагальнену методологію виконання дисертаційної роботи. Авторкою сформовано методологічний підхід до виконання досліджень, який дозволив визначити послїдовнїсть проведення аналітичних розрахунків та експериментів, спрямованих на досягнення сформульованої мети роботи.

У даному розділі подається опис використаних в роботї матеріалів та методик досліджень.

Так, для отримання твердих сплавів були використані порошки карбідів титану, молібдену, ванадію та ніобію марки "Ч" виробництва Донецького заводу хімічних реактивів, хрому ПХ-2М та нікелю ПНЭ-1.

Далі авторка роботи зосереджується на особливостях технології одержання твердих сплавів. Для виробництва сплавів виконувалось відсіювали фракції порошоків із розміром частинок, що не перевищують 60 мкм. Суміш готувались з огляду на отримання сплавів заданого складу. Порошки карбідів, металів та добавок у кількостях, що відповідають визначеному складу сплаву, розмелювали в середовищі ацетону до отримання гомогенної суміші. Дисперсність частинок розмеленої суміші контролювалась методами трансмісійної електронної мікроскопії. Пресування заготовок проводилось на гідравлічному пресі моделі П6326 зусиллям 0,6 МН при питомому тиску пресування 120-200 МПа. Густина пресовок становила 65% теоретичної густини. Спінання виконувалось у високотемпературній печі СНВ 1.3.1/20И1 при тиску $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па.

Надалі у розділі 2 авторка подає описи методик і відповідного обладнання для виконання досліджень. А саме, дослідження мікроструктури проводилось з використанням методів оптичної, растрової та просвічуючої електронної мікроскопії з використанням оптичних мікроскопів МИМ-10 та "Неофот-2" при збільшеннях від 100 до 2000 разів та скануючих електронних мікроскопів "Camscan 4DV" та "Tesla" при збільшеннях до 4000 разів. Фрактографічні дослідження виконувались на зразках розміром $5 \times 5 \times 35$ мм, зруйнованих під час визначення границі міцності на згин за трьохточковою схемою. Визначення хімічного складу поверхонь зразків, а також різних фаз проводилось з використанням методу рентгеноспектрального мікроаналізу. Рентгенофазове дослідження виконувалось із застосуванням дифрактометра ДРОН-3 у монохроматичному CuK_α випромінюванні, анодному струмі 20 мА і напрузі на трубці 30 кВ.

Дослідження різальних властивостей кермету проводились при обробці різанням сталі 40Х.

Слід зазначити, що дисертантка Гребенок Т. П. детально висвітлює особливості методики і апаратного забезпечення для всіх технологічних етапів виготовлення дослідженого керметного матеріалу.

Окремо необхідно відзначити важливе методологічне забезпечення для оцінки структурно-морфологічних характеристик матеріалів, що розглядаються авторкою дисертаційної роботи.

Підсумовуючи відомості, що представлені у розділі 2, слід зазначити, що авторкою дисертації обґрунтовано та скомпоновано комплексну методику розгалужених досліджень, що має у своєму складі низку найсучасніших тонких, стандартних та оригінальних методів досліджень з використанням різноманітного експериментального устаткування.

З моєї точки зору, представлений розділ дисертації Гребенок Т. П. є надзвичайно значущим розділом, який розкриває обґрунтований напрям досліджень та методи вирішення задач, поставлених у роботі.

Вказане демонструє послідовний та системний підхід авторки до вирішення важливого науково-технічного завдання, поставленого у дисертації.

Застосований в дисертаційній роботі комплексний підхід до проведення теоретичних і експериментальних досліджень з використанням сучасних апробованих методик і обладнання для проведення експериментів, технологічного контролю процесів виготовлення твердих сплавів на основі карбіду титану, точної обробки експериментальних даних підвищив достовірність отриманих результатів досліджень.

На мою думку, сформована дисертанткою Гребенок Т. П. методика проведення всебічних досліджень, що викладена у розділі 2, забезпечила одержання достовірних та коректних результатів.

Вважаю, що загалом зазначений розділ дисертації Гребенок Т. П. свідчить про логічні та чіткі напрямки реалізації поставленої мети роботи, та підтверджує здатність авторки ставити і послідовно розв'язувати складні наукові завдання, застосовувати найсучасніші методики та обладнання, співставляти і аналізувати одержані результати, робити на їх основі коректні висновки, що демонструє системний підхід до вирішення складних задач.

У третьому розділі дисертації здобувачка Гребенок Т. П. зосереджується на особливостях ущільнення порошоків крихких матеріалів при пресуванні.

Виконані авторкою дисертації дослідження показали, що пакування частинок порошку при засипці в прес-форму і подальше ущільнення порошкового тіла залежить від форми його частинок і гранулометричного складу.

Слід зазначити, що дисертанткою в роботі був використаний комп'ютерний Фур'є-аналіз форми частинок, та показано, що чим більше шорсткість поверхні і більш неправильна форма частинок, тим нижче щільність упаковки. Саме пакування частинок порошку визначає поведінку їх ансамблю при подальшому ущільненні в процесах пресування і наступного спікання.

Як показала авторка, ущільнення при пресуванні порошоків карбідів титану, ванадію і молібдену; сумішей порошоків карбідів титану, ванадію, ніобію і молібдену з металевими порошками нікелю і хрому здійснювалося в умовах безперервного підвищення тиску з постійною швидкістю стиску порошку в прес-формі при кімнатній температурі. При цьому за залежностями відносної густини пресовок від тиску пресування дисертанткою визначено залежності середньої квадратичної напруги в матриці, що утворює пористе тіло, від її середньої квадратичної деформації.

Вказане дозволило здобувачці Гребенок Т. П. виявити особливості ущільнення, деформаційного зміцнення та руйнування частинок крихких порошоків, що визначаються розмірами і формою частинок порошоків, в процесі пресування.

У розділі 3 авторкою також показано, що для матриці пористого карбиду молібдену, який містить частинки порошку з вираженою неправильною формою, початкова пружна деформація стрибкоподібно переходить у стадію пластичної деформації, що супроводжується практично лінійним деформаційним зміцненням з подальшим руйнуванням частинок на пізній стадії ущільнення.

Не менш важливим є отриманий дисертанткою фактаж, що для порошоків карбідів титану і ванадію, форма частинок яких близька до округлої, і пружна деформація на кривих залежності середньої квадратичної напруги від середньої квадратичної деформації матриці не проявляється. Характерним виявилось, що на ранній стадії процесу пресування відбувається підвищення густини упаковки частинок порошку і зростання їх зміцнення. А з підвищенням густини пористого тіла спостерігається практично лінійне деформаційне зміцнення матриці, що змінюється його згасанням в міру зниження зсувної напруги при наближенні порошкового тіла до безпористого стану.

Далі у розділі 3 здобувачка концентрує увагу на процесах деформаційного зміцнення, що було підтверджено результатами рентгенівського дослідження, яке показало зменшення розміру областей когерентного розсіяння рентгенівських променів до 62 нм і підвищення густини дислокацій в частинках карбиду титану до $8,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ в результаті пресування. Авторкою встановлено, що зі збільшенням вмісту пластичних металевих частинок в матриці з частинками крихких матеріалів пластичній деформації і деформаційному зміцненню піддаються переважно металеві частинки, які визначають різке підвищення загального деформаційного зміцнення, що знижує ущільнення пористого тіла при пресуванні.

Необхідно зазначити, що застосовуючи системний підхід до вирішення поставлених завдань, дисертантка Гребенок Т. П. одержала взаємоузгоджені результати комплексних аналітичних і експериментальних досліджень, що підкреслює достовірність отриманих даних.

На мій погляд, одержані результати являють собою надзвичайно важливий фактичний матеріал з погляду отримання високоякісних твердих сплавів і виробів з них.

Мені видається, що наведені у даному розділі результати та зроблені висновки показують цінність отриманого фактажу і ґрунтовних висновків не тільки у науковому, але і у прикладному плані, коли стає можливим цілеспрямовано формувати структуру твердих сплавів на основі карбиду титану та прогнозувати їх функціональні характеристики.

Четвертий розділ дисертації Гребенок Т. П. розкриває результати досліджень особливостей технології отримання твердих сплавів методом спікання під тиском (гарячого пресування) і її вплив на структуру і властивості керметів на основі карбиду титану з добавками інших карбідів.

Слід підкреслити, що у даному розділі дисертації авторка досліджує 2 різних способи виготовлення керметів (варіант 1 і варіант 2), що принципово відрізняються технологічними режимами, їх параметрами і послідовністю виконання, та показує їх вплив на характеристики одержаних композитів.

Так, технологічний варіант одержання 1 – це спечені під тиском зразки кермету, що отримані з суміші компонентів TiC, VC, Mo₂C, NbC, Ni, Cr. Технологічний варіант одержання 2 – це спечені під тиском зразки кермету, що отримані із суміші порошків твердого розчину карбідів (Ti, V, Mo, Nb)C з добавкою нікелю і хрому.

Таким чином здобувачка дослідила відмінності у структуроутворенні і широкий комплекс властивостей керметів системи TiC-Mo₂C-NbC-VCNi-Cr, отриманих двома технологічними варіантами: спіканням під тиском суміші порошків вихідних компонентів TiC, VC, Mo₂C, NbC, Ni, Cr (варіант 1) і спіканням під тиском суміші порошків попередньо отриманого твердого розчину (Ti, V, Mo, Nb) C з добавками Ni і Cr (варіант 2).

З результатів проведення багатопланових досліджень дисертантка Гребенок Т. П. довела, що кермет, отриманий за технологічним варіантом 2, має більш однорідну і дрібнозернисту структуру та підвищені фізико-механічні властивості порівняно з властивостями композиту, отриманого за технологією варіанту 1. Так, величини границі міцності на вигин, на стиск, твердість, тріщиностійкість перевищують ці величини для кермету, отриманого за технологією варіанту 1.

Не менш значущим результатом досліджень авторки дисертації Гребенок Т. П., представленим у розділі 4, є виконані порівняльні триботехнічні випробування керметів, одержаних за технологіями 1 і 2. Триботехнічні випробування показали переваги за величинами інтенсивності зношування і коефіцієнта тертя кермету, одержаного технологією 2.

Здобувачка проілюструвала, що досліджені кермети на основі TiC можуть знайти застосування як інструментальний матеріал для чистової обробки різанням і пластичного деформування широкого класу сталей і сплавів, а також як зносостійкі матеріали деталей машин і механізмів.

Представлений дисертанткою аналіз результатів показує, що цей розділ дисертації Гребенок Т. П. займає одну з ключових позицій з погляду не тільки наукової цінності доробку здобувачки, але і з точки зору рекомендацій виробникам та розробникам нових ефективних технологій одержання високоякісних твердих сплавів з недефіцитних компонентів.

П'ятий розділ дисертації Гребенок Т. П. присвячений висвітленню результатів комплексних досліджень процесу зношування різальних пластин з твердих сплавів в залежності від режимів різання.

В розділі 5 дисертаційної роботи авторкою досліджено різальні властивості кермету TiC-5VC-5VC-5Mo₂C-5NbC-20NiCr при співвідношенні Ni:Cr як 4:1. Для виявлення впливу технології одержання сплаву на його експлуатаційні характеристики зразки для досліджень готувались за двома технологіями – варіант 1 і 2, що застосовуються у виробництві твердих сплавів. А саме, за технологією варіанту 1 зразки були виготовлені за стандартною технологією, що включає гомогенізацію компонентів TiC, VC, Mo₂C, NbC, Ni, Cr, холодне пресування та спікання у вакуумі. За технологією варіанту 2 – попередньо готувався твердий розчин карбідів титану та ванадію шляхом синтезу порошків TiC і VC при температурах, близьких до 1550 °C протягом 2 год. В результаті синтезу було отримано суміш, що включає твердий розчин карбідів і невелику кількість вихідних карбідних фаз (близько 5%). В подальшому зразки розтирались у порошок і усереднювались; далі готувалась шихта сплаву - до твердого розчину карбідів додавали металеву зв'язку, і далі процес здійснювався за стандартною технологією.

Експериментальні дослідження різальних властивостей кермету проводились при обробці різанням сталі 40X.

Як показали результати випробувань, інтенсивність зношування пластин з матеріалу, отриманого за технологією 1, приблизно у 3 рази вища, ніж з матеріалу, отриманого за технологією 2, і при величині зношування пластин по задній поверхні 0,2 мм тривалість роботи пластин складала відповідно 14–16хв. та 36–38хв.

В результаті виконаних досліджень авторка зробила важливий підсумок, що для виготовлення різальних пластин доцільно використовувати тверді сплави на основі карбіду титану, що отримані за технологією варіанту 2, що включає попереднє отримання твердого розчину.

Встановлений авторкою дисертації фактаж переконує у важливості отриманих результатів і висновків як у науковому, так і у прикладному плані, що дозволяє позитивно охарактеризувати

дисертантку Гребенок Т. П. як ретельного науковця, який чітко окреслює та успішно вирішує найскладніші наукові завдання і реалізує їх на практиці.

Мені видається, що наведені у даному розділі дисертації результати ілюструють такий важливий і невід'ємний бік дисертаційної роботи, як практичне значення наукових напрацювань здобувачки Гребенок Т. П., що було підтверджено виробничими випробуваннями на підприємстві ДП НДІ «Квант» (м. Київ).

У додатках до дисертації, що рецензується, представлено додаткові матеріали, що доповнюють результати виконаних досліджень, матеріали прикладного характеру, а саме, патент на корисну модель і затверджену технічну документацію - акт випробувань твердих сплавів на основі карбіду титану на ДП НДІ «Квант» (м. Київ).

Зауваження по дисертаційній роботі

Поряд з викладеними вище позитивними якостями рецензованої дисертації Гребенок Т. П. слід зробити наступні зауваження по роботі:

1. У Вступі дисертаційної роботи в рубриці «Актуальність теми дисертації» авторка справедливо вказує на дефіцит вольфраму і кобальту з погляду їх використання для виготовлення твердих сплавів, і водночас вказує на більшу доступність титану для створення твердих сплавів з карбіду титану.

Втім, на жаль, у цій рубриці дисертантка не приділила достатньої уваги саме критичному аналізу існуючих відомостей, досліджень і напрацювань інших авторів щодо використання карбіду титану для розробки твердих сплавів. Оскільки саме шляхом критичного аналізу встановлюються не визначені (або не достатньо визначені) аспекти наукового напрямку, що увиразнюють актуальність наукового дослідження.

2. У рубриці «Методи досліджень» дисертантка подає перелік застосованих у роботі методів досліджень, та наголошує, що «експериментальна частина досліджень реалізована на обладнанні науково-дослідних лабораторій Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України (м. Київ), що дозволило отримати надійні, відтворювані і достовірні експериментальні результати».

Проте, на жаль, авторка не наводить відомостей щодо методів оцінки достовірності отриманих експериментальних даних. А саме, як виконувались обчислення, розрахунки, чи використовувались методи математичної статистики і теорії ймовірності для оцінки отриманих експериментальних результатів?

3. На жаль, у п. 1 рубрики «Наукова новизна одержаних результатів», не вказано ступінь новизни отриманих результатів. Це - надзвичайно важливий доробок дисертантки з визначення характеру формування структури сумішей порошків карбідів титану, ванадію, ніобію та молібдену при вакуумному спіканні і спіканні під тиском з встановленням феноменологічної поведінки структурних складових. Однак відсутність ступеню новизни (чи то вперше, чи то дістало подальшого розвитку...тощо) не дозволяє оцінити пріоритетність одержаних дисертанткою важливих результатів.

4. У рубриці «Практична значимість отриманих результатів» авторка чомусь не вказує на такий важливий аспект роботи, як проведення промислових випробувань, про що є відповідна затверджена технічна документація. І лише обмежується тим, що з розроблених «композиційних матеріалів виготовлено багатогранні різальні пластини шестигранної форми з отворами та зі стружечними канавками».

5. Розділ 1 дисертації є дещо перевантаженим і займає 53 сторінки, що складає $\approx 34\%$ від загального обсягу роботи, який складає 155 сторінок.

Натомість згідно вимог оглядовий розділ не має перевищувати 20% від загального обсягу дисертації.

До того ж у розділі 1 (С. 71 дисертації) здобувачка чомусь повторно наводить мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, у той час як ці обов'язкові рубрики вже представлені у Вступі до дисертації.

6. У розділі 2 серед описаних методів досліджень чомусь відсутні відомості щодо методики визначення триботехнічних характеристик, на кшталт інтенсивності зношування і коефіцієнту тертя, значення яких представлені у розділі 4 дисертації (С. 115, табл. 4.2).

Авторка лише вказує, що вимірювання величини зношування проводили за допомогою лінзи при 24-кратному збільшенні, втім у табл. 4.2 інтенсивність зношування вказана у мкм/км.

До того ж чомусь відсутні висновки до розділу 2.

7. В розділі 5 роботи представлено результати досліджень зношування різальних пластин з твердих сплавів залежно від режимів різання.

Проте авторка не надала обґрунтування вибору саме сталі 40X і тільки цієї однієї марки для виконання процесу її різання.

8. У розділі 5 (п. 5.4, С. 119 дисертації) авторка пише: «Результати розрахунку по визначенню раціональних параметрів режиму обробки наведені в таблиці 5.2».

Однак, по-перше, у табл. 5.2. не розшифровано назви режимів обробки – v , S , t , і h , та, по-друге, дисертанткою, на жаль, не представлено методику цих розрахунків і послідовність їх виконання.

Тому залишилось не зрозумілим обґрунтування параметрів режимів різання, що застосовувались при обробці сталі 40X.

9. На С. 121 дисертації (С. 20 автореферату) здобувачка констатує, що тривалість роботи пластин склала відповідно 14–16 хв. (за 1-ю технологією) та 36–38 хв. (за 2-ю технологією).

Далі авторка підсумовує, що для виготовлення різальних пластин доцільно використовувати тверді сплави на основі карбіду титану, отримані за 2-ю технологією.

Втім, на жаль, дисертантка не дає науково-обґрунтованого пояснення одержаному позитивному результату, який є наслідком певних фізичних явищ, обумовлених застосуванням 2-ї технології.

До того ж, на мій погляд, було б доцільним надати пояснення чому при однаковому зносі ріжучій кромки керметів, що виготовлені за двома технологіями, а саме 0,2 мкм, тривалість роботи відрізняється більш, ніж у 2,5 рази.

Окрім цього, на мою думку, підсилює би наведений матеріал представлення порівняльних профілограм зношених ріжучих кромок пластин, одержаних за двома різними технологіями.

Загальні висновки по дисертації

Дисертація Гребенок Т. П. є завершеною науковою працею, при виконанні якої були одержані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання в галузі порошкової металургії – це розробка технології отримання і її вплив на формування структури, фазового складу і властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з іншими карбідами.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у наукових фахових і міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, і апробовані на вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференціях.

Зміст автореферату дисертаційної роботи Гребенок Т. П. є ідентичним до основних положень дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота «Формування структури та властивостей твердих сплавів на основі карбіду титану з добавками інших карбідів» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали» та вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 зі змінами, щодо кандидатських дисертацій, а її авторка – **Гребенок Тетяна Петрівна** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент,
професор, доктор технічних наук,
професор кафедри технології поліграфічного виробництва
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

 Т. А. Поїк

Підпис професора, д.т.н. Т. А. Поїк засвідчує,
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського





В. В. Холявко