

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шеремета Віталія Ігоровича

на тему **«Закономірності формування структури та фізико-механічних властивостей твердих сплавів WC-Co в умовах ізостатичного тиску»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота присвячена важливому на сьогоднішній день науково-технічному питанню – дослідженню закономірностей впливу холодного ізостатичного пресування (ХІП) неспечених компактів вольфрамокобальтових твердих сплавів на формування структури, кінетику фазоутворення, комплекс фізико-механічних властивостей та експлуатаційні характеристики спечених виробів з цих матеріалів. Велику увагу автор приділив пошуку технологічних прийомів підвищення експлуатаційних властивостей спечених виробів шляхом застосування обробки високим гідростатичним тиском.

Тверді сплави широко використовуються в технологіях сучасного машинобудування. Процеси різання, фрезерування, штамповки, вигладжування, волочіння неможливо уявити без застосування твердих сплавів різних модифікацій. Забезпечення високих фізико-механічних та експлуатаційних властивостей можливо завдяки цілеспрямованому поєднанню твердого тугоплавкого наповнювача та пластичної металевої зв'язки в одній металокерамічній композиції. Серед основних шляхів покращення властивостей твердих сплавів широко використовуються методи, засновані на модифікації їх елементного складу, термічної обробки та консолідації.

Тому проведення комплексного дослідження із визначення впливу холодного ізостатичного пресування неспечених заготовок з твердих сплавів та впливу обробки високим гідростатичним тиском спечених твердих сплавів на їх фазовий склад, напружено-деформований стан, структуру, фізико-механічні характеристики та експлуатаційні властивості інструменту з цих матеріалів є актуальною науковою задачею, що має практичний інтерес.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

В дисертаційній роботі Шеремета В. І. в рамках серії фізичних експериментів одержано низку нових науково-технічних результатів, зокрема,

вперше встановлено, що ХП неспечених твердих сплавів WC-8Co та WC-15Co задає кінетичні умови, що забезпечують формування структури спечених сплавів з переважаючою ГЦП поліморфною модифікацією кобальту на противагу переважаючій ГЦК модифікації зв'язуючої складової в сплавах, одержаних одночасним пресуванням, шляхом ініціації мартенситного ГЦК→ГЦП фазового перетворення Co при охолодженні від температури спікання. Експериментально доведено можливість підвищення міцності, твердості та тріщиностійкості твердих сплавів WC-8Co, WC-8Co-0,3VC, WC-15Co, одержаних із застосуванням ХП, за рахунок зміни фазового складу та зменшення розміру структурних складових.

Шереметом В. І. проведено аналіз бібліографічних джерел останніх років, в яких висвітлюються останні тенденції по розробленню твердих сплавів WC-Co, на основі чого було сформовано мету та завдання роботи. Дисертант самостійно провів експериментальні дослідження та опрацювання отриманих результатів, які представлені у рукописі дисертаційної роботи та опублікованих наукових працях. Під час постановки експериментів та аналізу отриманих даних використано широкий набір методів. До основних можна віднести методи порошкової металургії, аналітичну скануючу електронну мікроскопію, рентгеноструктурний аналіз, вимірювання механічних властивостей. Оволодіння цими методиками дозволило дисертанту в повній мірі виконати поставлені завдання і здобути необхідний досвід. Враховуючи це, вважаю, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні з дотриманням усіх методичних вимог, а Шеремет В. І. у повній мірі опанував усі необхідні знання та навички, які потребуються для здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Шеремета В. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Матеріалознавство.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям матеріалознавство.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Шеремета Віталія Ігоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату

та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладений у дисертації Шеремета В. І. матеріал відзначається послідовністю, логічністю та структурованістю, що сприяє цілісному сприйняттю досліджуваної проблематики. Виклад здійснено у доступному науковому стилі, із чітким дотриманням мовних норм та загальноприйнятої наукової термінології. Текстові блоки вдало доповнено ілюстративними матеріалами — таблицями, графіками та рисунками, які підсилюють аргументацію та наочність викладених положень. Такий підхід забезпечує наукову переконливість і сприяє кращому розумінню результатів дослідження.

Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 184 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковою тематикою кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», сформульовано мету та задачі досліджень, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення, а також відомості щодо особистого внеску здобувача, апробації отриманих результатів та публікацій.

У першому розділі проведено аналіз наукових робіт, пов'язаних з тематикою дисертації, зокрема, сучасний стан розвитку технологій одержання та обробки твердих сплавів. Проаналізовано виробничі підходи, спрямовані на підвищення функціональних властивостей виробів з вольфрамокобальтових твердих сплавів. Показано, що найбільш поширені методи одержання цих матеріалів мають низку переваг порівняно з традиційною технологією виробництва цих матеріалів (компактування в закритих прес-формах та подальше спікання у вакуумі), однак, в той же час, не позбавлені недоліків. Доведено, що актуальною задачею є створення наукових та практичних засад щодо розвитку технології одержання та обробки твердих сплавів, яка б забезпечувала підвищення рівня комплексу фізико-механічних властивостей та експлуатаційних характеристик і була б позбавлена недоліків, притаманних традиційним методам.

Другий розділ містить інформацію про методику одержання та обробки зразків з твердих сплавів, проведення експериментів та перелік використаного обладнання. Надано опис використаних в роботі методів дослідження

мікроструктури, хімічного та фазового складу, фізико-механічних і експлуатаційних властивостей отриманих зразків.

У третьому розділі встановлено основні механізми ущільнення під час компактування методом ХІП твердих сплавів WC-3Co, WC-8Co, WC-15Co тисками від 100 МПа до 400 МПа. Обґрунтовано вибір оптимального тиску ХІП, який забезпечує найвищу щільність компакту, формування структури пресовок твердих сплавів з більш дрібними частинками WC та підвищення рівня залишкових напружень у WC.

Досліджено взаємозв'язок між зміною напружено-деформованого стану компактів твердих сплавів WC-8Co і WC-15Co, одержаних ХІП, та кінетикою процесів фазоутворення під час їх спікання. Показано, що на відміну від спечених пресовок твердих сплавів WC-8Co і WC-15Co, одержаних одновісним пресуванням, в яких кобальт переважно знаходився в ГЦК поліморфній модифікації, кобальт в сплавах ідентичного хімічного складу, які піддавали ХІП перед спіканням, переважно знаходився в ГЦП поліморфній модифікації.

Четвертий розділ містить результати дослідження механічних властивостей твердих сплавів WC-8Co, WC-8Co-0,3VC і WC-15Co. Розглянуто особливості структури спечених сплавів, сформованих із застосуванням ХІП, що якісно відрізняє дані композити від ідентичних за хімічним складом, одержаних одновісним пресуванням. Показано принципову відмінність локальної взаємодії зерен WC та кобальтової матриці, їх деформації та руйнування під час механічних випробувань сплавів, одержаних ХІП, порівняно зі сплавами, одержаними одновісним пресуванням.

Встановлено, що зміна поліморфної модифікації з ГЦК на ГЦП значного об'єму кобальту та зменшення середнього розміру зерен WC у твердому сплаві WC-8Co, одержаного із застосуванням ХІП, приводить до підвищення твердості та границі міцності композиту порівняно зі сплавом, одержаним одновісним пресуванням.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи проведено оцінку зносостійкості інструментів з твердих сплавів WC-6Co, WC-8Co та WC-15Co, одержаних ХІП, під час їх випробування в найбільш типових умовах експлуатації для кожної з досліджуваних марок. Встановлено, що в порівнянні з інструментом з твердих сплавів WC-6Co, WC-8Co та WC-15Co, одержаним одновісним пресуванням, інструмент з твердих сплавів, одержаний ХІП, показав кращу стійкість до зношування під час його експлуатаційного випробування. Показано, що у сплавах, одержаних ХІП, завдяки зміні фазового складу, напружено-деформованого стану та структури, переважаючим був принципово відмінний механізм зношування порівняно зі сплавами, одержаними одновісним пресуванням. Пластична деформація поверхневих шарів бурового, ріжучого та деформуєчого інструменту з подальшим відшаруванням деформованого

об'єму матеріалу під час адгезійного типу зношування була притаманна сплавам, одержаним одночасним пресуванням, поступове абразивне зношування поверхневих шарів інструменту з подальшим викришуванням окремих зерен WC – для сплавів, одержаних ХІІІ.

У шостому розділі автором запропоновано спосіб обробки твердих сплавів високим гідростатичним тиском (ВГТ). Показано, що обробка ВГТ твердого сплаву WC-15Co ініціює мартенситне фазове перетворення в зв'язуючій складовій, що супроводжується збільшення кількості ГЦП поліморфної модифікації кобальту у композиті. Виявлено, що обробка ВГТ формує градієнтний розподіл властивостей по об'єму композиту.

У загальних висновках належним чином відображено одержані автором результати, що розкривають наукові та практичні досягнення, отримані в процесі дисертаційного дослідження, які сприяли розв'язанню важливого науково-прикладного завдання.

Наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових працях: 5 наукових статтях у фахових виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science (2 з них у виданнях віднесених до третього квартиля (Q3), 2 до четвертого квартиля (Q4) відповідно до класифікації Scimago Journal & Country Rank та 1 наукова стаття у фаховому виданні України категорії А; 8 публікацій у збірниках наукових праць за матеріалами доповідей на конференціях).

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 4 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача вирізняються високим рівнем наукової обґрунтованості, актуальністю тематики та новизною отриманих результатів. У працях послідовно і системно представлено основні положення дисертаційного дослідження, що свідчить про цілісність і логічність обраного наукового підходу. Здобувач дотримується принципів академічної доброчесності: коректно оформлено посилання на джерела, дотримано норм цитування,

авторської етики та академічного стилю, відсутні ознаки плагіату. Опубліковані матеріали повністю відповідають тематиці дисертації, містять достовірні результати, які пройшли апробацію в наукових і професійних колах, що засвідчує їхню теоретичну значущість і практичну цінність.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Разом із загальною позитивною оцінкою роботи, дисертація не позбавлена наступних недоліків.

1. Стор. 28 – Наведено помилкові дані щодо об'ємів елементарної комірки ГЦК та ГЦП фаз кобальту, взяті з монографії Igor Konyashin, Bernd Ries. *Cemented Carbides*: Elsevier, 2022. – 340 с. Насправді мартенситне ГЦК-ГЦП перетворення в кобальті відбувається з від'ємною зміною об'єму низькотемпературної ГЦП фази на $\sim 1.5\%$.

2. Стор. 29 – Зазначається, що ГЦК поліморфна модифікація чистого кобальту стабільна за кімнатної температури. Вірогідно, що йдеться про домінування метастабільної ГЦК-фази у конвенційних твердих сплавах WC-Co після спікання. При цьому можна зазначити, що незважаючи на те, що ГЦК-фаза кобальту не є стабільною при температурах нижче 427°C , вона практично завжди присутня в зразках за кімнатної температури.

3. Стор. 84 – Наведені орієнтаційні співвідношення Шоджі-Нішіяма між ґратками кобальту - $\{111\}_{\text{ГЦК}}//\{002\}_{\text{ГЦП}}$. З кристалографічної точки зору правильно оперувати (001) площиною ГЦП ґратки.

4. Стор. 95 – При аналізі залишкових напружень в зразках (Рис. 4.8), було б бажано навести в роботі первинні експериментальні дані щодо їх виміру $\sin^2\psi$ методом.

5. Стор. 144 – Реєструвалося поступове зниження твердості від об'єму зразків із твердого сплаву WC-15Co, які піддавали обробці ВГТ, до їхньої поверхні. Якщо внаслідок обробки у сплаві зросла частка ГЦП поліморфної модифікації кобальту, твердість якої перевищує твердість ГЦК модифікації, постає питання: чому твердість, виміряна з поверхні композиту, знизилася, а не зросла? Чим можна пояснити формування градієнту твердості?

6. В деяких випадках при аналізі дифракційних даних використовується не зовсім коректна термінологія. Наприклад, «Зменшення інтенсивності дифракції площин $\{100\}_{\text{WC}}$ », Рис. 3.10, стор. 81; «зміщуються дифракційні піки, згенеровані рентгенівською дифракцією», стор. 94.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шеремета Віталія Ігоровича на тему «Закономірності формування структури та фізико-механічних властивостей твердих сплавів WC-Co в умовах ізостатичного тиску» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач **Шеремет Віталій Ігорович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

завідувач відділу фізики дисперсних систем

Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

доктор фізико-математичних наук, професор



Олександр РУДЬ

Підпис О.Д. Рудя засвідчую.

Учений секретар ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАН України

кандидат фізико-математичних наук



Марина САВЧУК

26 травня 2025 р.