

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Могилка Владислава Віталійовича

на тему **«Механічні та корозійні властивості композиційних
покриттів, синтезованих ультразвуковою ударною
обробкою сплавів на основі Ti, Cu, Al»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань **«13 Механічна інженерія»**
за спеціальністю **«132 Матеріалознавство»**

Актуальність теми дисертації.

Сплави на основі кольорових металів Ti і Al набули широкого використання в авіаційній промисловості та суднобудуванні завдяки притаманному їм комплексу високих фізико-механічних властивостей. Варто виділити високу питому міцність, що дозволяє знизити собівартість виробництва металевих конструкцій та, відповідно, сприяє підвищенню коефіцієнту корисної дії. Стосовно авіабудування, слід зазначити величезний вітчизняний досвід розробки та виробництва літальних апаратів, що створив передумови для розвитку інноваційних технологій виготовлення, оброблення та пошуку оптимальних комбінацій методик високоенергетичного впливу для покращення комплексу властивостей кольорових сплавів.

Однак на сьогодні залишається низка суттєвих недоліків, що притаманні цим сплавам, зокрема недостатня зносо- та високотемпературна корозійна стійкість, що може грати вирішальну роль у довгостроковій надійності та термічній стабільності критичних елементів конструкцій. Дану проблему може бути вирішено за рахунок модифікації структури та фазового складу сплавів, зокрема внаслідок створення нанокомпозитів або синтезу багатокомпонентних покриттів з метою інгібування дифузії кисню до глибинних шарів матеріалу під час його експлуатації.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню цієї важливою науково-прикладної задачі шляхом застосування у якості основного методичного інструменту ультразвукової ударної обробки і тому є **актуальною і своєчасною**. Актуальність роботи підкріплена і тим фактом, що вона виконувалась в рамках національних науково-дослідницьких проєктів за підтримки МОН України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- Встановлено, що комбінацією ультразвукової ударної обробки (УЗУО) з керамічними порошками можна синтезувати композиційне покриття з градієнтною структурою, яке складається із ущільненого шару подрібненого порошку на поверхні, зміцненого частинками порошку матричного сплаву, та області деформаційного зміцнення з модифікованим фазовим складом.
 - Виявлено, що використання дрібнодисперсного порошку Al_2O_3 під час УЗУО поверхні титанового сплаву ВТ6 та наступної термічної обробки дозволяє значно покращити інструментальну твердість, антифрикційні та зносостійкі властивості синтезованого покриття. Разом із цим зростає протидія окисненню за підвищених температур та корозійному руйнуванню у середовищі 3,5% NaCl, а довжина дифузійного шляху атомів кисню зменшується на порядок величини порівняно із вихідним сплавом.
 - З'ясовано, що УЗУО-модифікація поверхневих шарів латуні ЛС59-1 з порошками Al_2O_3 та SiC дозволяє досягти максимального ефекту зміцнення у ~5 разів, що обумовлюється комбінованим впливом процесів армування високоміцними карбідними та оксидними частинками, диспергуванням зеренної структури матричних складових та перебігом фазового перетворення $\beta \rightarrow \alpha$.
 - Встановлено, що комбінація електроіскрового легування титаном алюмінієвого сплаву АМг6 та ультразвукової ударної обробки забезпечує зростання до ~4 разів мікротвердості та захисної ефективності від корозії у сольовому розчині 3,5% NaCl його приповерхневих шарів, порівняно із вихідним станом. Виявлені ефекти обумовлюються твердорозчинним (Ti-Al) та дисперсійним (інтерметалідні та оксидні фази Ti і Al) зміцненням, а також формуванням бімодальної структури з ультрадисперсними зернами.
- Отримані результати та положення наукової новизни також є обґрунтованими та достовірними, свідченням чого є: (а) оприлюднення 6 наукових статей у виданнях другого-третього квартилів (Q2–Q3), що індексуються наукометричною базою даних Scopus; (б) обговорення на 7 міжнародних наукових конференціях; (в) виконання національних науково-дослідних робіт за тематикою роботи: «Наукові основи механохімічного УЗУО-синтезу зносостійких покриттів конструкційних сплавів авіаційної техніки для підвищення військової спроможності» (номер державної реєстрації 0118U000220, 2018 – 2020 рр.) та «Структурно-фазові механізми керування комплексом поверхневих властивостей конструкційних і функціональних

сплавів комбінованими тепловими, йонними та деформаційними впливами (номер державної реєстрації 0121U109752, 2021 – 2023 рр.).

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання – визначення структурно-фазових станів, які забезпечують покращення механічних та корозійних властивостей поверхні сплавів на основі Ti, Cu, Al шляхом ультразвукового ударного синтезу композиційних покриттів, – повністю виконане, оскільки здобувач досконало опанував методологію наукової діяльності і вдало використав комплекс сучасних експериментальних методик.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Могилка Владислава Віталійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «132 Матеріалознавство» галузі знань «13 Механічна інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Матеріалознавство».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про вагомий особистий внесок здобувача до наукового напрямку «Інженерія поверхні кольорових сплавів».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Могилка Владислава Віталійовича є результатом його самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають відповідні посилання на літературні джерела. Отже, дотримання принципів академічної доброчесності не викликає сумніву.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно та логічно із використанням загальноприйнятої науково-технічної термінології.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатку (список опублікованих праць за темою дисертації – 13 праць). Загальний обсяг дисертації 172 сторінки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, також формулюється мета, задачі, об'єкт та предмет дослідження. Вказано комплекс використаних сучасних експериментальних методів дослідження та зв'язок роботи з науковими темами (2 національні науково-дослідні роботи). Сформульовано основні положення наукової новизни роботи (4 пункти) та доведено їх практичну цінність. Надано лаконічну інформацію стосовно апробації результатів досліджень та особистого внеску здобувача. Аналіз даної

інформації дозволяє зробити висновок, що здобувач брав повноцінну участь у всіх етапах дослідження: формулюванні мети та задач роботи, розробці та застосуванні комбінованих методик, виготовленні об'єктів дослідження, плануванні і проведенні експериментальних досліджень, узагальненні, аналізі та формуванні висновків щодо отриманих результатів, підготовці публікацій та участі у міжнародних конференціях.

У **першому розділі** наведено детальний аналіз наукових джерел щодо сучасного стану та проблем застосування методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД) з метою покращення механічних властивостей металевих сплавів. Проаналізовано вплив різноманітних факторів на формування структурно-фазового складу та властивостей поверхні сплавів на основі Ti, Cu та Al у процесі інтенсивної пластичної деформації їхньої поверхні. Розглянуто перспективність синтезу композиційних/захисних покриттів із застосуванням ультразвукових технологій для потреб авіабудування, суднобудування тощо. Охарактеризовано низку матеріалознавчих питань та акцентовано увагу на недостатній кількості робіт, присвячених синтезу покриттів методами ІПД кольорових сплавів, вирішенню яких саме і присвячена дисертаційна робота здобувача.

У **другому розділі** наведено інформацію стосовно особливостей проведеного експерименту та відпрацьованих методик синтезу захисних покриттів, також надано характеристику об'єктам та методам дослідження комплексу властивостей. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження та режимів обробки методами ультразвукового ударного і термічного оброблення та електроіскрового легування. Зазначено використані фізико-технологічні параметри термічної, ультразвукової ударної та електроіскрової обробки досліджуваних об'єктів. Наведено основні характеристики кожного з використаних сучасних експериментальних методів дослідження, зокрема, рентгеноструктурного фазового аналізу, електронної мікроскопії, дюрометрії, мікро- та макротрибологічних досліджень та корозійних випробувань. Особливу увагу приділено наноіндентуванню.

У **третьому розділі** викладено результати дослідження впливу ультразвукової ударної обробки з дрібнодисперсними порошками та додаткової термічної обробки на структуру, фазовий склад та властивості поверхні титанового сплаву ВТ6. Досліджено особливості формування структурного складу та фазових станів, перебігу окисних і дифузійних процесів внаслідок такого комбінованого впливу (п. 3.1–3.5). Розглянуто вплив комплексної ультразвукової та термічної обробки з порошками α -Si₃N₄, β -Si₃N₄ та Al₂O₃ на мікротрибологічні та корозійні властивості сплаву ВТ6 (п. 3.6–3.8). Серед ключових результатів, які представляють значний як науковий, так і практичний інтерес, слід відмітити покращення корозійної стійкості та опору

зношуванню, а також зменшення коефіцієнту тертя поверхні зразків із синтезованим покриттям Al_2O_3 після термічної обробки в кисневому середовищі. Важливим практичним результатом є також суттєве покращення гравіметричних характеристик досліджуваних зразків після застосування комбінованого ультразвукового та термічного впливу порівняно як з вихідним станом, так і з іншими окремими видами обробки.

У **четвертому розділі** викладено результати дослідження фазових і структурних змін внаслідок ультразвукової ударної обробки поверхні латуні ЛС59-1 з порошками SiC і Al_2O_3 та термічної обробки. Описано модернізовані методики ультразвукового ударного синтезу композиційних покриттів з суттєво покращеними механічними властивостями (п. 4.1). Наведено експериментально виявлені особливості формування структурного складу та фазових перетворень, перебігу дифузійних процесів внаслідок модифікації поверхневих шарів латуні (п. 4.2–4.4). Серед ключових результатів, які представляють значний як науковий, так і практичний інтерес, слід відмітити, що загальна товщина деформованого шару складає ~ 500 мкм, а ефект зростання мікротвердості поверхні латуні ЛС59-1 досягає ~ 5 разів (до 6,7 ГПа) після ультразвукової ударної обробки з порошком SiC , порівняно із вихідним станом.

У **п'ятому розділі** викладено результати дослідження структурно-фазового стану та властивостей поверхні сплаву АМг6 після електроіскрового легування титаном та ультразвукової ударної обробки. Досліджено особливості формування мікроструктурних станів та їх вплив на механічні властивості поверхневих шарів сплаву після синтезу захисного покриття (п. 5.1–5.2). Встановлено закономірності дифузійних та фазових перетворень у приповерхневих шарах сплаву внаслідок обраних режимів легування та ультразвукової обробки (п. 5.3–5.4). Особливий інтерес представляє виявлений ефект покращення корозійної стійкості (п. 5.5) внаслідок формування бімодальної структури з ультрадисперсними зернами під час комбінованої обробки поверхні сплаву АМг6.

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 0 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 6 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 6 статей у виданнях, віднесених до другого – третього квартилів (Q2–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 0 патентів на винахід, що пройшли

кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосуються наукових результатів дисертації; 0 патентів України на корисну модель; 0 одноосібних монографій, що рекомендовані до друку Вченою радою НТУ КПП ім. Ігоря Сікорського та пройшли рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях.

Високий науковий рівень представлених здобувачем публікацій не викликає сумніву. Підтвердженням цього є належність всіх 6 наукових публікацій здобувача до періодичних наукових видань другого-третього квартилів, що проіндексовані у базах даних Scopus, а це, у свою чергу, свідчить про залучення провідних спеціалістів з матеріалознавства до їх ґрунтовного рецензування. Всі заявлені здобувачем публікації безпосередньо стосуються теми дисертаційної роботи та в повній мірі висвітлюють її основні результати.

Аналіз звіту подібності дисертації Могилка В.В. виявив її мінімальну схожість (5,21%) із відкритими джерелами, усі текстові співпадіння стосуються виключно його власних праць або загальноприйнятої фахової науково-технічної термінології. Використані цитати та посилання оформлені належним чином.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Позитивно в цілому характеризуючи представлену дисертаційну роботу, слід відмітити і деякі окремі моменти, які потребують додаткового пояснення та конкретизації:

1. У формулюванні першого пункту наукової новизни вказується тільки сплав ВТ6, тоді як формування градієнтної структури синтезованого покриття спостерігається для усіх досліджених сплавів. Це формулювання повинне було б бути більш широким.
2. В розділі 3.5. «Кінетика окиснення приповерхневих шарів внаслідок УЗУО» (с. 95) детально розглядаються процеси оксидування та дифузії кисню у приповерхневих шарах сплаву ВТ6. Однак в літературному огляді цьому питанню взагалі не приділяється уваги. На мій погляд, це було б доцільно зробити в розділі 1.2.2 «Вплив ПДП на структуру та властивості титанового сплаву ВТ6» (с. 35).
3. Не вистачає конкретизації деяких режимів оброблення щодо принципу обрання амплітуди та часу ультразвукового впливу в кожному конкретному випадку? Як відомо, в процесі УЗУО можуть спостерігатися процеси

динамічного повернення та рекристалізації, яким чином вдалося запобігти їхньому перебігу?

4. На рис. 3.14–3.16 (с. 92, 96, 98) представлено зміни маси зразків упродовж гравіметричних досліджень та розподіл елементів за глибиною після застосування УЗУО та термічної обробки сплаву ВТ6, але не вистачає значення похибки. Слід було б навести це значення для коректної інтерпретації даних, які використовуються для формулювання висновків щодо покращення опору до високотемпературного окиснення матеріалу. Тим паче, у 2-му пункті наукової новизни зазначається ефект покращення до 6,5 разів опору окисненню за підвищених температур.

5. В пункті 3.6 «Корозійна стійкість деформаційних композитів, синтезованих комбінованим деформаційним та тепловим впливом» (с. 99) представлено результати корозійних випробувань серії досліджуваних зразків сплаву ВТ6 у електролітичному середовищі водного розчину 3,5 мас.% NaCl, проте обґрунтування вибору саме такого середовища не наводиться.

У роботі допущено також декілька неточностей. Наприклад, на рисунку 3.29 (с. 119) наведені позначення англійською мовою, на рисунку 5.1 (с. 140) не наведені довірчі інтервали для значень мікротвердості сплаву АМгб після різних режимів обробки тощо.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують вагомість наукової новизни/практичної значимості одержаних результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

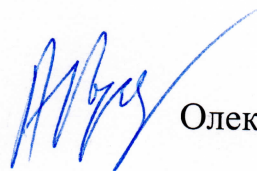
Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Могилка Владислава Віталійовича на тему «Механічні та корозійні властивості композиційних покриттів, синтезованих ультразвуковою ударною обробкою сплавів на основі Ti, Cu, Al» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності і є завершеним науковим дослідженням, яке за сукупністю теоретичних і практичних результатів сприяє розв'язанню вельми важливого для галузі знань «13 Механічна інженерія» наукового завдання.

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 № 44 від 12 січня 2022 р.

Здобувач Могилко Владислав Віталійович 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
Національної академії наук України,
доктор фізико-математичних наук, професор



Олександр РУДЬ

Підпис Рудя О. Д. засвідчую

Учений секретар Інституту металофізики
ім. Г. В. Курдюмова НАН України
кандидат фізико-математичних наук



Марина САВЧУК

« 22 » січня 2024 р.