

РЕЦЕНЗІЯ

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.

Використання сплавів на основі кольорових металів Ti, Cu, Al у суднобудівельній, авіаційній, машинобудівній, транспортній чи залізничній галузях дозволяє отримувати критичні елементи конструкцій зі зменшеною вагою і вартість їхнього виробництва та експлуатації відповідно знижується.

Проте проблемами під час використання даних сплавів з метою заміни компонентів із більш важких сплавів (наприклад, сталей чи нікелевих сплавів) можуть бути довгострокова надійність та термічна стабільність, які пов'язані із високотемпературною корозійною та зносостійкістю. В результаті виникає необхідність у розробці нових методів захисту поверхневих шарів матеріалу для ефективного гальмування дифузії кисню із зовнішнього середовища.

Одним із найбільш перспективних способів вирішення проблеми покращення стійкості матеріалів, що працюють за умов високих температур та механічних навантажень в агресивних середовищах, є застосування поверхневого зміцнення шляхом інтенсивної пластичної деформації, що суттєво покращує робочі параметри конструкцій та деталей машин. Для кольорових сплавів процес поверхневого зміцнення набуває особливого значення. При цьому застосування ультразвукового ударного оброблення (УЗУО) дозволяє вирішити проблему забезпечення високих механічних та корозійних властивостей деталей. Використання порошкових матеріалів під час УЗУО дозволяє варіювати хімічний склад у досить широких межах і забезпечувати задані механічні властивості синтезованих покриттів, а також значно розширює галузі їхнього використання.

Вважається, що технологія ультразвукової ударної обробки може стати доволі ефективною та простою альтернативою методу фрикційного перемішування, який хоча і набув розповсюдження для армування приповерхневих шарів різних матеріалів керамічними порошками, але досі не позбавлений значних технологічних складнощів.

Тому дослідження структурно-фазових станів, які забезпечують покращення механічних та корозійних властивостей поверхні сплавів на основі

Ti, Cu, Al шляхом ультразвукового ударного синтезу композиційних покриттів, є актуальним завданням з наукової та практичної точок зору.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Використання ультразвукової ударної обробки для модифікації сплаву ВТ6 із керамічними порошками, а також застосування наступної термічної обробки на повітрі, привели до створення композиційного покриття із градієнтною структурою. Ця структура включає в себе: 1) щільний шар порошку на поверхні матеріалу, 2) матричний сплав, укріплений частинками порошку, 3) область деформаційного укріплення із модифікованим фазовим складом.

2. Комбінований вплив ультразвукової ударної обробки поверхні сплаву ВТ6 з порошком оксиду алюмінію Al_2O_3 та відпалу при температурі 650 °С привів до утворення захисного композиційного покриття з підвищеними характеристиками порівняно з початковим станом: інструментальна твердість зросла приблизно в 4 рази (до 12,8 ГПа); коефіцієнт тертя зменшився приблизно в 2,5 рази, а втрати за випробувань зношування зменшилися в приблизно 20 разів; опір окисненню за високих температур підвищився у 1,5 рази, а опір у середовищі 3,5% NaCl – у 6,5 разів.

3. Підвищення мікротвердості поверхні латуні ЛС59-1 в ~5 разів (до 6,7 ГПа) після ультразвукової ударної обробки з порошком SiC зумовлене комплексним впливом кількох процесів. Серед них армування високоміцними карбідними частинками, диспергування зернової структури матричних компонентів (до ~70 нм та ~50 нм для α - та β -фаз, відповідно) та фазове перетворення $\beta \rightarrow \alpha$ (зі зменшенням втричі кількості β -фази). Загальна товщина деформованого шару становить приблизно ~500 мкм.

4. Електроіскрове легування титаном сплаву АМг6, застосоване разом із наступною ультразвуковою ударною обробкою, призвело до збільшення мікротвердості поверхневих шарів приблизно в 3 рази порівняно із початковим станом. Також спостерігалось підвищення захисної ефективності від корозії у сольовому розчині 3,5% NaCl на 26%. Ці поліпшення були досягнуті завдяки твердорозчинному (Ti-Al) і дисперсійному (інтерметалідні та оксидні фази Ti і Al) зміцненню, а також формуванню бімодальної структури з ультрадисперсними зернами.

Автором роботи застосовано сучасні методи, інструменти й обладнання, що у поєднанні з високою кореляцією отриманих даних обумовлює достовірність та відтворюваність наукових результатів.

Дисертаційна робота виконувалась у рамках держбюджетних тем №2102п «Наукові основи механохімічного УЗУО-синтезу зносостійких покриттів конструкційних сплавів авіаційної техніки для підвищення військової спроможності» (номер державної реєстрації 0118U000220, 2018 – 2020 рр.) та №2405ф «Структурно-фазові механізми керування комплексом поверхневих властивостей конструкційних і функціональних сплавів комбінованими тепловими, йонними та деформаційними впливами (номер державної реєстрації 0121U109752, 2021 – 2023 рр.) за фінансової підтримки МОН України.

Положення та висновки дисертації базуються на експериментальних даних, представлених у роботі та обґрунтованих належним чином.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Могилка В.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство та освітньо-науковій програмі «Матеріалознавство».

Дисертація є завершеною науковою роботою за напрямом «Захисні покриття та поверхневі композити» із достатньо суттєвим особистим внеском здобувача.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Могилка Владислава Віталійовича 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.

Всі цитати оформлені належним чином, усі першоджерела, з яких взяті цитування, наявні у списку використаних джерел.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою.

Достовірність результатів роботи забезпечена коректністю постановки задач і застосуванням сучасних методів проведення досліджень, відсутністю протиріч отриманих результатів з відомими аналітичними, математичними й експериментальними даними, узгодженістю їхньої інтерпретації з існуючими теоретичними відомостями в галузі матеріалознавства.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаної літератури (156 джерел). Загальний обсяг дисертації сягає – 172 сторінок, з яких основний текст – 139 сторінок. Дисертація містить 53 рисунки та 23 таблиці.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковою тематикою кафедри, 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, публікацій.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану та методів інтенсивної пластичної деформації, їхній вплив на структуру і властивості кольорових металів; розглянуто найбільш поширені методи створення захисних покриттів на основі тугоплавких сполук та їхні властивості; показано особливості впливу ультразвукової ударної обробки на властивості поверхні різноманітних сплавів. Наведено критичний аналіз літературних даних та висновки до розділу.

У другому розділі розглядаються матеріали, обладнання та методи модифікації поверхні шляхом застосування деформаційного, теплового та комбінованого впливу з додаванням дисперсійних частинок у процесі деформування, що використані у роботі. Методики досліджень включають мікро- та нанодюрометрію, хімічний та фазовий аналіз, електронну та трансмісійну мікроскопію, гравіметричний аналіз, випробування на зносостійкість та корозійні дослідження.

Третій розділ присвячений результатам дослідження комплексу фізико-механічних властивостей сформованих покриттів, структури, фазового складу та хімічного розподілу компонентів у приповерхневих шарах сплаву ВТ6 після його ультразвукової ударної обробки, під час якої до зони інтенсивної пластичної деформації безперервно подавались дрібнодисперсні порошки тугоплавких сполук, таких як α -Si₃N₄, β -Si₃N₄ та Al₂O₃, а після цього проводилась термічна обробка ($T = 650^\circ\text{C}$) у повітряному середовищі.

Визначено товщину отриманих зносостійких шарів та вплив термічного оброблення на шорсткість поверхні. Розглянуто кінетику окиснення отриманих шарів після ультразвукового ударного оброблення. У лаконічній формі представлено висновки до розділу.

Четвертий розділ присвячено аналізу впливу ультразвукової ударної обробки з армувальними оксидними та карбідними частинками (Al₂O₃ та SiC) на властивості поверхневих шарів латуні ЛС59-1 та особливостям синтезу композиційних покриттів. Зроблено висновки стосовно впливу такого методу обробки на мікроструктуру, фазовий і хімічний склад, а також механічні властивості, зокрема мікротвердість, синтезованих покриттів. У розділі детально розглянуто та проаналізовано вплив морфології модифікованої поверхні на комплекс властивостей латунних зразків. Проведено також дослідження стосовно визначення впливу подальшого відпалу на повітрі за температури

550°C на фазовий склад поверхневих шарів. Розділ завершується інформативними висновками.

У п'ятому розділі проведено аналіз мікроструктури, фазового складу, хімічного складу та мікротвердості поверхневих шарів алюмінієвого сплаву АМг6 після комбінованого впливу електроіскрового легування титаном та ультразвукової ударної обробки. Представлені результати досліджень корозійних властивостей та детально проаналізовані електрохімічні характеристики. Вплив УЗУО на властивості сплаву АМг6 розглядається окремо, тобто без додаткового застосування електроіскрового легування і переконливо доведено переваги запропонованої комбінованої методики.

Загальні висновки повною мірою висвітлюють основні результати дисертаційного дослідження.

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

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, з використанням загальноживаної термінології наукового напрямку. Стиль викладення результатів експериментальних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує достатній рівень доступності їх сприйняття та використання.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статей у наукових виданнях проіндексованих у базах даних Web of Science або Scopus віднесених до першого – третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових міжнародних конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, особистий внесок автора до яких не викликає жодних сумнівів. Мова та стиль публікацій відповідають вимогам до науково-технічних текстів. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача і відображають основний зміст дисертації, об'єм і характер проведених експериментальних досліджень.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Літературний огляд містить порівняння методів покращання механічних властивостей сплавів на основі заліза, механізми зміцнення яких

суттєво відрізняються від кольорових сплавів. Автором не наведено, яким чином проведено кореляцію методів.

2. Автором не представлено обґрунтування вибору певних марок досліджуваних сплавів. Відсутній порівняльний аналіз сплавів аналогів.

3. У табл. 2.4 міститься опис матеріалу порошків для досліджень, але не обґрунтовується з яких міркувань або за якими властивостями здійснено їхній вибір.

4. Розмір частинок порошку Al_2O_3 складає 20–120 мкм, порошків $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ та $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ відповідно 0,3–4 мкм і 0,5–20 мкм. Параметри УЗУО при цьому не змінювалися. Яким чином відбувалася кореляція отриманих результатів?

5. У табл. 3.1 не зрозумілим є хімічний склад сплаву ВТ6 до та після термічного оброблення за температури 650 °С. Відсутні пояснення щодо обрання певної температури. Не коментується перерозподіл хімічних елементів і особливо поява заліза.

6. Наявні деякі порушення оформлення графічних залежностей.

7. У табл. 3.6 наводиться вміст хімічних елементів Na та Cl, які не відносяться до складу отриманого шару, а є залишками водного розчину NaCl.

8. На рис. 3.18 та рис. 3.19 відсутні чіткі пояснення яким чином за фіксованою густиною струму отримано 2 різних потенціали корозії. Не наводяться технологічні рекомендації для отримання надійного захисного шару.

9. Аналіз рис. 3.29 не підтверджує, що «...спостерігається незначне додаткове зростання мікротвердості HV, що проявляється лише для самих верхніх шарів до глибини 30 мкм». На мій погляд результати знаходяться в межах похибки вимірювання.

10. У табл. 5.2 автор не наводить порівняння власних результатів з відомими літературними даними. Табличні значення та текстові мають певну невідповідність.

Відмічені недоліки роботи не мають вирішального значення щодо формулювання наукової новизни та оцінки дисертації в цілому.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що 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 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 Могилко Владислав Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «13 Механічна інженерія» за спеціальністю «132 Матеріалознавство».

Рецензент:

Завідувач кафедри ливарного виробництва
Навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання
імені Є.О. Патона
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор



Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

Підпис гр. _____	
ЗАСВІДЧУЮ	
Відділ кадрів та дипломатства	
Підпис _____	(Ширко) пр-ще _____