

## **Відгук**

### **офіційного опонента**

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри  
технології машинобудування, верстатів та інструментів

Сумського державного університету

**Іванова Віталія Олександровича**

на дисертаційну роботу **Чжан Чженчуань**

«Технологічне забезпечення входження вузлів тертя в період нормальної експлуатації формуванням припрацювальних покриттів»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 – Механічна інженерія

за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування

#### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Підшипник ковзання є одним із ключових компонентів газотурбінної установки, який призначений для забезпечення швидкісної і стабільної роботи ротора в умовах високих температур та корозійного робочого середовища. Основними вимогами до матеріалів підшипників ковзання є взаємна сумісність матеріалів, низький коефіцієнт тертя, стійкість до високого тиску, сильна стійкість до втоми, висока термічна стабільність, корозійна стійкість, зносостійкість, ударостійкість, низька вартість, структурна стабільність і можливість відновлення після вимушеного контакту. Поверхневий шар поверхонь деталей машин піддається навантаженням і зовнішньому впливу навколишнього середовища, тому характеристики поверхні безпосередньо визначають термін служби не лише окремих деталей, а й виробу в цілому. Надійність підшипників ковзання значною мірою залежить від якості їх виготовлення, нанесення покриття, монтажних і ремонтних робіт. Застосування технології електроіскрового легування сприяє відновленню та зміцненню поверхні металевих матеріалів та широко використовується при виготовленні прес-форм, сільськогосподарської техніки, в аерокосмічній та атомній промисловості, кораблях, турбінах, електроприводах та інших галузях промисловості.



Метою дослідження є забезпечення надійності та довговічності вузлів тертя механізмів обертання шляхом підвищення якості трибоповерхонь на етапі введення в експлуатацію шляхом формування спеціального обкаткового покриття.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.**

Дисертаційну роботу виконано в рамках наукової програми науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Наукова методика забезпечення збереження властивостей робочих поверхонь деталей енергоефективними екологічно чистими методами» (№ 0116U002756).

## **3. Наукова новизна одержаних результатів.**

Наукова новизна одержаних результатів, отриманих у роботі, полягає у тому, що в дисертаційній роботі вперше запропоновано використовувати олов'яну бронзу QSn10-1 як матеріал підкладки, а срібло, мідь, Б83, ОГ – як матеріали покриття. При цьому, враховуючи, що субстрат і покриття мають хороше металургійне зв'язування, утворюється нова фаза  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ , розмір зерен уточнюється, поверхнева твердість знижується, а коефіцієнт тертя значно знижується. Автором вперше були досліджені та визначені оптимальні параметри процесу електроіскрового легування обраних матеріалів підкладки та матеріалів покриттів. Вперше була створена система оцінювання індексу електроіскрового легування покриттів на основі ваги, визначеної ентропійним методом, та моделі TOPSIS для комплексного оцінювання різних покриттів.

## **4. Наукове та практичне значення.**

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні та впровадженні технічних рекомендацій щодо застосування втулок олов'яної бронзи для підшипників ковзання під час виготовлення роторних машин із очікуваним економічним ефектом 216 тис. грн.



Результати роботи захищені 2 документами про охорону прав інтелектуальної власності, що підтверджено відповідними охоронними документами. Результати роботи впроваджені на промисловому підприємстві Xinxiang Senrui Machinery Co., Ltd., що підтверджено відповідним сертифікатом.

#### **5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.**

Результати досліджень опубліковані у 19 наукових працях, серед яких: 4 – статті у фахових виданнях України; 9 – тези доповідей у матеріалах наукових конференцій; 2 – патенти; 4 – статті в зарубіжних виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus та(або) WOS, 1 – методична рекомендація.

Дисертаційна робота є результатом самостійно виконаного дослідження автора. Усі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які розроблені автором.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають загальноприйнятим вимогам.

#### **6. Ступінь обґрунтованості наукових положень.**

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні фундаментальних положень технології машинобудування, а також комплексних експериментальних дослідженнях спрямованих на визначення параметрів якості сформованих шарів. У роботі застосовано металографічні, твердометричні, рентгеноструктурні дослідження, визначення рельєфу поверхневого шару, дослідження залишкових напружень і втомної міцності, дослідження зносостійкості.



Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

## **7. Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, викладена на 181 сторінках машинописного тексту. Основний зміст роботи викладено на 123 сторінках, включаючи 52 рисунків та 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 197 найменувань на 23 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, представлено наукову новизну і практичну цінність, сформульовано мету і задачі дослідження, які необхідно розв'язати для її досягнення, описано зв'язок дисертації із науковими планами та темами, приведено апробацію дисертаційної роботи і публікації.

У першому розділі представлено принцип, обладнання, метод виявлення, процес оброблення та механізм розряду технології електроіскрового легування. Зосереджено увагу, що вплив різних параметрів процесу на масообмін, шорсткість поверхні, елементний склад, мікроструктуру та механічні властивості покриття потребують всебічного вивчення. Здійснено систематичний аналіз впливу цього методу оброблення на фазовий склад, твердість матеріалу та властивості покриття на тертя та зношування. На основі узагальненої інформації, представленої у даному розділі, сформульовано мету та завдання дисертації.

У другому розділі детально представлено основний принцип технології електроіскрового легування, встановлено методи випробування шорсткості поверхні, морфології поверхні, елементного складу, фазового складу, твердості та трибологічних властивостей, а також побудовано систему індексу ефективності покриттів. У цьому розділі представлено опис



експериментальних досліджень, зокрема, обладнання, матеріали, та процес підготовки покриттів.

У третьому розділі описано механізм низького коефіцієнта тертя та процес утворення покриттів. Досліджено масообмін, шорсткість поверхні, мікроструктуру та елементний склад покриттів. Досліджено вплив технологічних параметрів на товщину, фазовий склад, твердість і трибологічні властивості покриттів.

У четвертому розділі представлено традиційну технологію виготовлення втулок підшипників ковзання, узагальнено та проаналізовано результати випробувань різних покриттів для обкатки. Для визначення ваги індексу обкатки покриттів застосовувався ентропійний метод. Для комплексного оцінювання та сортування покриттів для обкатки та визначення найкращої схеми промислового застосування використано модель TOPSIS. Проаналізовано основний матеріал, матеріал покриття, технологію оброблення та технологію нанесення покриття втулки підшипника, які впливають на якість продукції. Запропоновано нову технологію створення обкатувальних покриттів втулки підшипника з олов'яної бронзи, детально описано технічний проект, процеси виготовлення, оброблення, монтаж і досліду експлуатацію. Запропоновано деякі технічні пропозиції щодо застосування процесу обкатки підшипників з олов'яної бронзи.

У п'ятому розділі узагальнено результати наукових досліджень, сформульовано загальні висновки та надано пропозиції щодо подальших досліджень.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 197 найменувань досить повний і включає публікації за тематикою дисертаційного дослідження.

У додатках наведено копії охоронних документів та акт впровадження результатів дослідження у виробництво.



Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації.**

За представленими матеріалами дисертаційного дослідження можна зробити такі зауваження.

1. У літературному огляді при аналізі апаратури для електроіскрового легування (підрозділ 1.2) представлено еволюцію обладнання вітчизняних та іноземних виробників. Разом із тим, у тексті дисертації зазначено, що відмінністю проаналізованих одиниць обладнання є величина товщини шару покриття, що наноситься на поверхню деталі, а також шорсткість поверхні. При цьому у табл. 1.1 наведено лише базові технічні характеристики, які не дозволяють у повній мірі оцінити технологічні можливості даного обладнання, зокрема відсутні кількісні характеристики покриттів, що можуть бути нанесені.

2. При аналізі процесу електроіскрового легування (підрозділ 1.3) оцінювання параметрів, що впливають на процес, виконано лише за якісними показниками. Крім того, у тексті дисертації відсутні висновки автора щодо ранжування параметрів, що розглядаються, і який із них чинить найбільший вплив та який комплекс заходів слід прийняти для їх усунення або мінімізації. Бажаним було б застосування діаграми Ішікави для дослідження та визначення найбільш суттєвих причиново-наслідкових взаємозв'язків між параметрами та наслідками під час процесу електроіскрового легування.

3. У роботі запропоновано та розроблено систему показників факторів, що впливають на процес нанесення покриттів електроіскровим легуванням. Обґрунтовано доцільність шести показників. Разом із тим, не пояснюється властивість кожного показника, що позначаються «негативний» або «позитивний» (табл. 2.1). Крім того, доцільним було б зазначити граничні значення (обмеження) для кожного показника, які будуть використовуватися під час комплексного оцінювання характеристик покриттів.



4. Із тексту дисертаційної роботи не зрозуміло, чому під час аналізу параметрів електроіскрового легування покриттів Ag використовується різна термінологія для опису одних і тих же параметрів, зокрема «Робочий цикл» (табл. 3.1, с. 72) та «Шпаруватість» (с. 73), «Ефективність» (табл. 3.1, с. 72) та «ККД» (с. 73). Аналогічно це стосується і композитних покриттів Ag+B83 (с. 82-83).

5. У розділі 4 бажаним було б навести структуру запропонованого технологічного процесу нанесення покриттів, порівнявши з існуючим за технологічними показниками з кількісною оцінкою, щоб довести ефективність запропонованого рішення.

6. У роботі бажаним було б представити економічне обґрунтування щодо впровадження результатів наукових досліджень у виробництво, оскільки зазначений економічний ефект (с. 6) виглядає декларативним.

7. Автором запропоновано нові способи нанесення покриттів, захищені патентами Китаю (поз. 18 і поз. 19 у списку публікацій за темою дисертації), що бажано було б акцентувати у тексті дисертаційної роботи.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

## **9. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Чжан Чженчуань «Технологічне забезпечення входження вузлів тертя в період нормальної експлуатації формуванням припрацювальних покриттів», яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування за своїми актуальністю, науково-теоретичним рівнем, основними результатами обґрунтованості, основними положеннями і результатами опублікованими у фахових виданнях, новизна постановки та практичним значенням відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження



вимог до оформлення дисертації» та Постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри технологій,  
машинобудування, верстатів та  
інструментів Сумського державного  
університету



Віталій ІВАНОВ

