

## **РЕЦЕНЗІЯ**

офіційного рецензента на дисертаційну роботу  
Скворцова Олександра Олексійовича «Підвищення зносостійкості елементів  
трибоспряження в абразивному середовищі нанесенням композиційних  
покриттів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань  
13 – Механічна інженерія, спеціальності 131 – Прикладна механіка

### **Актуальність дослідження**

Забезпечення надійності і довговічності конструкційних елементів повітряних суден (ПС) і авіаційної наземної техніки на сьогодні є першочерговим завданням, при вирішенні якого необхідно враховувати їх зв'язок з працездатністю вузлів тертя.

Одним із напрямків забезпечення експлуатаційної надійності технічних систем є використання і розроблення нових сучасних технологічних методів поверхневого зміцнення металів та сплавів.

Потужним методом модифікування поверхневих шарів деталей вузлів тертя, їх хімічного складу і структури є електроіскрове легування (ЕІЛ), що базується на використанні дії електричного імпульсного розряду, який протікає між електродами.

Розвиток нових матеріалів та високоефективних технологій робить електроіскрове легування ще більш актуальним для покращення зносостійкості деталей та отримання нових можливостей для їхнього вдосконалення.

Вивчення загальних закономірностей і мікромеханічних властивостей сформованого шару при ЕІЛ та їх вплив на механізм і кінетику зношування дозволяє визначити шляхи для управління експлуатаційними властивостями модифікованих поверхонь і удосконалювати технологію формування електроіскрових зносостійких покриттів.

### **Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень**

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у роботі, обґрунтовані достатньо переконливо та повно. Достовірність і обґрунтованість одержаних у дисертації наукових положень підтверджуються коректною постановкою наукового завдання, використанням апробованого математичного апарату, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами проведених експериментальних досліджень.

В роботі застосовано комплексний підхід до наукових досліджень, який забезпечив всебічне і глибоке вивчення та аналіз триботехнічних характеристик поверхонь з композиційними покриттями в залежності від режимів процесу електроіскрового легування. При цьому використані сучасні експериментальні методи досліджень.

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

### **Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження**

У відповідності з метою досліджень здобувачем розроблені наступні наукові положення: встановлена кореляція між структурним станом конструкційних сталей (розміром зерна та морфологією перліту) та їхньою здатністю протистояти абразивному впливу часток різної дисперсності: сталь 30ХГСА з дрібнозернистою структурою (~15–20 мкм) та сорбітоподібним перлітом виявляє вищу стабільність до великодисперсного абразиву порівняно зі сталлю 45, де крупне зерно (~40 мкм) сприяє інтенсифікації механізму «викришування»; визначено фізичну природу низької абразивної стійкості композиційного боридного ЕП Fe-Cr-B. Встановлено, що механізм їх руйнування ініціюється розколюванням крихких еліпсоїдальних боридів з наступним швидким руйнуванням м'якої феритної матриці, що призводить до катастрофічного відшарування модифікованого шару; удосконалено оцінку синергетичного механізму абразивної стійкості композиційних електроіскрових покриттів на основі сплавів ВК8, ВК15 та Т15К6, яка полягає у поєднанні бар'єрного ефекту для руху дислокацій, що створюють тверді армуючі фази (WC та TiC), із демпфуючою здатністю в'язкої кобальтової матриці, що запобігає передчасному крихкому сколюванню зміцнюючих часток; також удосконалено математичну модель взаємодії в системі «абразивна частка – деталь», де поверхневі шари розглядаються як анізотропні пластини на пружній основі. Це дозволило вперше аналітично визначити умови втрати стійкості мікрооб'ємів металу (за Ейлером), що пояснює явище «нагортання» матеріалу попереду абразиву через динамічні процеси (параметричний резонанс) у зоні контакту.

### **Практична цінність отриманих результатів**

Запропоновано технологію електроіскрового легування та технологічні інструкції по підвищенню зносостійкості, по відновленню фізико-механічних та міцнісних характеристик інтенсивно навантажених деталей авіаційної техніки за рахунок управління структурними ефектами та фазовим складом поверхневих модифікованих шарів конструкційних сталей нанесенням електроіскрових покриттів з необхідним рівнем триботехнічних властивостей (акт про реалізацію результатів наукових досліджень від 09.12.2025 року, АТ «АНТОНОВ»: на основі лабораторних випробувань абразивної стійкості електроіскрових покриттів при відновленні елементів стійок шасі для підвищення їх строку служби рекомендовано розглянути можливість подальших стендових випробувань).

Результати роботи впроваджено у навчальний процес Державного університету «Київський авіаційний інститут»: в тематичний план лекцій, практичних та лабораторних занять з дисциплін «Основи надійності машин та механізмів» та «Технології конструкційних матеріалів» для здобувачів вищої

освіти освітнього ступеня «Бакалавр» включено теоретичні питання, пов'язані з застосуванням сучасних електродів на основі зносостійких композиційних матеріалів та практичне застосування методу електроіскрового легування для зміцнення контактних поверхонь; при підготовці кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Магістр» зі спеціальності 131 Прикладна механіка використовуються методики ЕІЛ та зносостійкі електроди. (акт про впровадження в навчальний процес від 24.09.2025 року).

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

Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи Державного університету «Київський авіаційний інститут». Дослідження проводились в рамках науково-дослідної роботи «Підвищення довговічності та забезпечення міцності елементів конструкцій авіаційної техніки» № 16-2022/07.01.01. (0125U001009). Автором проведено оцінку зносостійкості електроіскрових покриттів в абразивному середовищі від зміцнюючих фаз та визначено максимальний опір пластичної деформації по допустимим напруження на розтягання для конструкційних сталей 30, 45 та 30ХГСА.

### **Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях**

Основні результати дисертаційних досліджень Скворцова О.О. опубліковані в 8,5 наукових працях, з них – 4,5 статей у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України за спеціальністю дисертації, 4 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій. Кількість та якість наукових публікацій Скворцова О.О. відповідає п.3.6 «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук», затвердженого Постановою КМУ № 261 (із змінами в редакції постанови КМУ від 19.05.2023 № 502) від 23.03.2016 р., та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р.

### **Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення та дотримання принципів академічної доброчесності**

Дисертаційна робота структурована відповідно до вимог, складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел.

Вступ містить актуальність теми дослідження, зв'язок із науковими програмами, визначено мету роботи, завдання, предмет та об'єкт дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

В першому розділі проведено аналіз експлуатаційної надійності вузлів тертя авіаційної та наземної техніки, а також проведена систематизація методів

підвищення їхньої зносостійкості. Розкрито фізичні механізми абразивного зношування. Систематизовано ключові фактори, що спричинюють інтенсифікацію зносу. Обґрунтовано доцільність застосування технологій інженерії поверхні, зокрема методу електроіскрового легування (ЕІЛ).

У другому розділі обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів, описано експериментальну установку для нанесення покриттів та систематизовано методики дослідження їхніх фізико-механічних і триботехнічних властивостей.

В третьому розділі наведено експериментальне дослідження та теоретичну обґрунтування методів підвищення зносостійкості конструкційних сталей марок 30, 45 та 30ХГСА шляхом формування на їхній поверхні ЕІЛ різного складу. Досліджено вплив різних електродних матеріалів (сталі У10, Р18; сплави ВК8, Т15К6; кераміка ЦЛАБ-1) на відносну зносостійкість покриттів.

В четвертому розділі наведено експериментальні результати дослідження впливу фракційного складу абразиву на зносостійкість конструкційних сталей марок 45, 40Х та 30ХГСА у нормалізованому стані, а також після ЕІЛ електродами ВК8 та Р18.

В цілому виклад матеріалу послідовний і логічний. Результати дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі отриманих теоретичних та експериментальних результатів досліджень, які наведені в кінці кожного розділу та в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації. Робота є завершеною самостійною науковою працею.

Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Використані у роботі ідеї та результати інших авторів цитовані відповідно до вимог. Звіт про подібність свідчить про оригінальність дисертації, що рецензується.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. У роботі зазначено, що підвищення зносостійкості електроіскрових покриттів досягається за рахунок формування градієнтного розподілу мікротвердості та нової фазової структури в системі «покриття–основа». Разом з тим, у дисертації недостатньо детально розкрито механізм впливу градієнта мікротвердості на перерозподіл контактних напружень та ініціацію мікротріщин при абразивному зношуванні. Просимо пояснити, яким чином змінюється напружено-деформований стан системи покриття-основа залежно від характеру градієнта властивостей.

2. У другому розділі обґрунтовано вибір конструкційних сталей 30, 45, 30ХГСА та 40Х як матеріалів основи для досліджень. Водночас у роботі не наведено достатньо аргументів щодо їх відповідності реальним умовам експлуатації конкретних вузлів тертя авіаційної або наземної техніки. Доцільно було б детальніше обґрунтувати вибір цих матеріалів з позицій їх триботехнічного призначення та навантажувальних умов.

3. У четвертому розділі показано суттєве підвищення зносостійкості покриттів, зокрема для системи ВК8-сталь 40Х, де зменшення зносу досягає понад 10 разів. Разом з тим у роботі недостатньо висвітлено питання технологічної стабільності формування таких покриттів та відтворюваності їх властивостей у промислових умовах. Просимо уточнити, які технологічні параметри є критичними для забезпечення стабільної якості покриття та чи проводилась оцінка їх варіації.

Висловлені зауваження носять дискусійний характер і не зменшують загальної наукової новизни та практичної значимості отриманих результатів. Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Скворцова Олександра Олексійовича на тему «Підвищення зносостійкості елементів трибоспряження в абразивному середовищі нанесенням композиційних покриттів» у цілому виконана на високому науковому рівні, її результати є актуальними, обґрунтованими та достовірними. Робота відповідає вимогам щодо академічної доброчесності.

За рівнем наукової новизни, якістю досліджень, достовірністю та обґрунтованістю висновків дисертація Скворцова Олександра Олексійовича на тему «Підвищення зносостійкості елементів трибоспряження в абразивному середовищі нанесенням композиційних покриттів» відповідає галузі 13 – Механічна інженерія, спеціальності 131 – Прикладна механіка і чинним вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р., а її автор, Скворцов Олександр Олексійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 — Прикладна механіка.

### **Рецензент:**

Заступник декана АКФ  
Національного університету  
«Київський авіаційний інститут»,  
кандидат технічних наук, доцент



4  
Олександр СИДОРЕНКО  
Скворцов О. засвідчено  
секретар РАТ  
Іван Сидор