

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента
завідувача відділу міжнародних зв'язків та трансферу технологій
Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
Національної академії наук України
Стороженко Марини Сергіївни
на дисертаційну роботу **Шамрая Віталія Борисовича**
на тему **«Поліпшення триботехнічних властивостей деталей
сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних
покриттів»**, представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

Актуальність теми дисертації

Підвищення надійності та довговічності сільськогосподарської техніки є ключовим фактором забезпечення ефективності агропромислового комплексу. Термін служби більшості машин та агрегатів значною мірою визначається зносостійкістю їх деталей і робочих органів. Зношування, переважно абразивного та корозійно-механічного характеру, призводить не тільки до втрати працездатності техніки, але й до порушення агротехнічних процесів, що безпосередньо впливає на рентабельність виробництва.

Одним з найбільш раціональних та економічно доцільних шляхів зміцнення та відновлення деталей сільськогосподарської техніки є застосування захисних покриттів. Композиційні металокерамічні покриття дозволяють суттєво підвищити твердість, міцність та зносостійкість робочих поверхонь. Серед різноманітних методів нанесення покриттів особливої уваги заслуговує метод електроіскрового легування (ЕІЛ), який дозволяє формувати зносостійкі шари з високою адгезією до основи та стабільними триботехнічними характеристиками.

Незважаючи на значні переваги методу ЕІЛ, питання формування композиційних покриттів на його основі для деталей сільськогосподарських машин залишається однією з невирішених науково-технічних задач. Зокрема, існує потреба у виборі оптимальних складів композиційних матеріалів та розробці технологічних режимів їх нанесення, які б забезпечували максимальну зносостійкість робочих поверхонь деталей агротехніки в умовах абразивного середовища.

Тому дисертаційна робота Шамрая Віталія Борисовича, присвячена вирішенню науково-технічного завдання розробки та дослідження технології підвищення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування, є актуальною. Вирішення даного завдання дозволить суттєво продовжити строк експлуатації відновлених та зміцнених деталей до рівня нових, знизити витрати на запасні частини, зберегти значну кількість металу для виготовлення нових деталей та підвищити економічну ефективність як сільськогосподарського, так і ремонтного виробництва.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Шамрая Віталія Борисовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти за напрямом досліджень «13 – Механічна інженерія» за спеціальністю «131 – Прикладна механіка». Зміст дисертаційної роботи відповідає назві теми, висновки містять аргументовані положення щодо наукової новизни та повністю узгоджуються із поставленими автором завданнями дослідження. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям підвищення зносостійкості деталей в умовах абразивного зношування.

Дисертаційна робота здобувача Шамрая Віталія Борисовича складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 23 таблиці, 52 рисунки, та 4 додатки. Загальний обсяг дисертації складає 173 сторінки. Список використаних джерел нараховує 224 найменувань.

У вступі висвітлено актуальність, мету та завдання дисертаційної роботи, її наукову новизну та практичне значення. У вступі чітко окреслено об'єкт і предмет досліджень, а представлено комплекс використаних методів та обладнання. Окрім цього, наведено особистий внесок здобувача, а також інформацію щодо публікацій за темою дисертації та апробацію результатів досліджень на міжнародних наукових конференціях.

Перший розділ містить огляд літературних джерел, присвячених тематиці дисертації. Зокрема, дисертантом було проаналізовано умови експлуатації сільськогосподарських машин та встановлено, що їх довговічність безпосередньо залежить від здатності робочих елементів протистояти абразивному та корозійно-механічному зносу. Виявлено, що захисні композиційні покриття є перспективним шляхом підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки. Властивості композиційних покриттів, а отже і міцність відновлених поверхонь, значною мірою залежать від їх складу та способу формування. Вибір методу формування покриття визначається умовами експлуатації, конструкцією деталі, матеріалом, складом покриття та економічною доцільністю. Огляд існуючих методів зміцнення та відновлення композиційними покриттями дозволив визначити основні вимоги до їх нанесення, яким повністю відповідає метод електроіскрового легування. На основі проведеного аналізу літератури було сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі детально описано методики теоретичних та експериментальних досліджень, що застосовувалися для вивчення напружено-деформованого стану, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей композиційних покриттів ВК8 (WC-8%Co), КХН-25 (Cr_3C_2 -25%Ni) і сплав Х20Н80 (Ni-20%Cr), нанесених на підкладки зі сталей методом електроіскрового легування на установці "Елітрон-22".

Мікроструктуру отриманих ЕІЛ-покриттів досліджували за допомогою оптичної металографії, рентгеноструктурного та мікрорентгеноспектрального аналізу. Моделювання напружено-деформованого стану поверхонь виконувалося методом скінченних елементів. Триботехнічні характеристики

оцінювалися на установках 2070 СМТ-1 та спеціальній установці для тестування абразивного зношування в середовищі абразивних частинок.

Точність експериментальних результатів оцінювалася із застосуванням методів теорії ймовірностей та математичної статистики для врахування систематичних та випадкових помилок.

У третьому розділі проведено аналіз напружено-деформованого стану поверхонь з композиційними ЕІЛ-покриттями. Було виявлено, що створення несучільного покриття зі ступенем заповнення поверхні 60–80% є значно ефективнішим для зниження внутрішніх напружень, аніж формування повністю суцільного шару. Доведено, що варіювання товщини та суцільності покриття дозволяє цілеспрямовано керувати його напруженим станом і зводити його до мінімальних значень.

Дискретний характер поверхні ЕІЛ-покриттів є ключовим рішенням для подолання природної крихкості твердих сплавів. Такий підхід зменшує когезійне розтріскування та адгезійне відшарування покриттів, що сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей покриттів.

На основі проведених досліджень дисертантом запропоновано технологічні режими процесу та склад матеріалів для нанесення електроіскрових покриттів.

У четвертому розділі встановлено залежності між параметрами процесу ЕІЛ (такими як сила струму, тривалість обробки, матеріал електродів) та властивостями покриттів: мікротвердістю, товщиною, суцільністю та зносостійкістю.

Продемонстровано, що шляхом керування режимами ЕІЛ, зокрема робочим струмом та частотою імпульсів, можна цілеспрямовано регулювати товщину та суцільність сформованого шару покриттів. Підбір оптимального балансу між товщиною та суцільністю забезпечує покращення зносостійкості ЕІЛ-покриттів у 2-3 рази.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне втілення в технології зміцнення деталей агропромислової техніки, зокрема, для збільшення терміну служби ножів подрібнювального барабана комбайна та валу зчеплення трактора.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційної роботи.

Дисертаційну роботу написано українською мовою. Текст дисертації викладено в науковому стилі в логічній послідовності. Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові результати дисертації є достовірними та обґрунтованими завдяки широкому застосуванню різноманітних дослідницьких методів та сучасного експериментального обладнання.

У роботі було використано метод електроіскрового нанесення покриттів з матеріалів ВК8 ($WC-8\%Co$), КХН-25 ($Cr_3C_2-25\%Ni$) і сплав Х20Н80 ($Ni-20\%Cr$) на установці "Елітрон-22". Для вивчення мікроструктури ЕІЛ-

покриттів застосовували методи оптичної металографії, рентгеноструктурного та мікрорентгеноспектрального аналізу. Моделювання напружено-деформованого стану поверхонь деталей з композиційними покриттями здійснювали за допомогою методу скінчених елементів. Триботехнічні властивості досліджували на установці 2070 СМТ-1, а також на спеціалізованій установці для визначення абразивного зношування у відповідному середовищі.

Поєднання теоретичних та експериментальних методик, а також статистична обробка отриманих експериментальних даних забезпечує достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна роботи полягає у вперше встановлених закономірностях підвищення зносостійкості несучільних електроіскрових композиційних покриттів. Доведено, що збільшення частки металевої складової в структурі композиційних покриттів покращує розподіл навантаження та демпфуючі властивості. Визначено, що зменшення зносу ЕІЛ-покриттів в абразивному середовищі досягається за рахунок високої мікротвердості та зниження дотичного опору зсуву. Аналітично обґрунтовано, що оптимальна суцільність композиційних ЕІЛ-покриттів в межах 60-80% забезпечує максимальне зниження напружень, локалізуючи їх у самому покритті та захищаючи основу деталі.

Також було удосконалено методику оцінки напружено-деформованого стану деталей з покриттями за допомогою скінченно-елементного моделювання, що дозволяє визначати їхні оптимальні параметри.

Подальший розвиток отримали дослідження триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин, зокрема через нанесення електроіскрових композитних покриттів з оптимально підібраними товщиною та суцільністю.

Практичне значення цієї дисертаційної роботи полягає в проведенні дослідно-експериментальних та експлуатаційних випробувань, які продемонстрували значне покращення характеристик різних сільськогосподарських компонентів. Зокрема, ножі з покриттям, нанесеним методом ЕІП, показали підвищену зносостійкість, що призвело до збільшення ефективності подрібнення зернових культур. Крім того, відновлені композиційними покриттями деталі (вали муфти зчеплення та розподільний вал трактора) пройшли успішні експлуатаційні випробування. Ці випробування засвідчили підвищення триботехнічних властивостей та збільшення терміну експлуатації в 2-2,5 рази. Це має пряме практичне значення для сільськогосподарських підприємств, забезпечуючи економію та підвищення продуктивності, що підтверджено актом «Агробудавтосервис» (м. Кропивницький) про використання результатів наукових досліджень.

Аналіз публікацій за результатами дослідження

За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з них – 5 статей у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України за спеціальністю дисертації, 4 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій та семінарів.

Відповідно до 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.: наукові результати дисертації висвітлено у 4 наукових публікаціях.

Всі заявлені здобувачем публікації мають безпосереднє відношення до теми дисертаційної роботи та в повній мірі висвітлюють основні результати дисертаційного дослідження. Тематична спрямованість всіх публікацій в повній мірі відповідає профілю спеціальності 131 Прикладна механіка.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Слід відмітити, що другий розділ, присвячений методології досліджень, перевантажений теоретичним матеріалом. Зокрема, підрозділ 2.3 містить загальний огляд електродних матеріалів для нанесення покриттів методом електроіскрового легування (с.61-65). Було б доцільніше розмістити цей огляд в розділі першому, а в другому розділі навести лише ті матеріали, які використовувались безпосередньо в роботі. Аналогічно в розділі четвертому підпункт 4.1 та частково розділ 4.2 роботи не містять експериментальних даних і по суті є аналізом літературних даних, тому даний пункт також було б доцільно розмістити в розділі 1.
2. В таблиці 2.4. дисертант наводить склад електроду КХН-25. Було б логічно в даному розділі навести склад всіх електродних матеріалів, які використовувались для нанесення ЕІЛ-покриттів.
3. В розділі другому варто було б також вказати матеріал основи, на яку наносили покриття. Натомість ці дані наведено в розділі четвертому. Слід зазначити, що покриття наносили на зразки з різних марок сталей (Сталь 45, 65Г, 40Х13). В процесі електроіскрового легування відбувається інтенсивне перемішування матеріалів основи та електроду, що впливає не лише на структурно-фазовий склад покриттів, а й на їх властивості. Тому з методологічної точки зору більш коректно було б використовувати в якості основи під покриття зразки з одного й того ж матеріалу.
4. Досить спірним вважаю твердження дисертанта, що «Нанесенням ніхрому на зміцнюєму робочу поверхню формують антифрикційний шар, який, знижує коефіцієнт тертя....» (с. 66), оскільки покриття з ніхрому мають досить високі коефіцієнти тертя в умовах тертя без мастила при кімнатній температурі – $f=0,6-0,8$. Лише при підвищенні температури випробувань до $600-800\text{ }^{\circ}\text{C}$ можливе зменшення коефіцієнтів тертя даного матеріалу до 0,4. Тому, як правило покриття з ніхрому використовують в якості зносо- та корозійностійких, а не антифрикційних.
5. В розділі четвертому (на с. 106) дисертант наводить вплив амплітуди вібрації електрода (0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 мм) на товщину покриттів на зразку зі сталі 45. Однак з опису незрозуміло, при якій силі струму проводилась зміна амплітуди.
6. В розділі другому при описі методик триботехнічних випробувань,

дисертант зазначає «Відношення абсолютних лінійних зносів допускається замінювати відношенням абсолютних вагових зносів при рівності щільностей матеріалів еталонного та випробуваного зразків». Разом з тим, в роботі для нанесення покриттів використовували матеріали ВК8, КХН-25 та ніхром, які мають суттєву різницю в значеннях питомої густини: для ВК6 питома густина становить близько $14,6 \text{ г/см}^3$, а для КХН-25 – 4 г/см^3 . При такій різниці в питомій густині (майже в 4 рази) ваговий знос не відображає достовірно зміну лінійних розмірів зразка внаслідок зносу. Тому було б доцільніше перевести ваговий знос в лінійний, враховуючи питому густину (щільність) матеріалів.

7. В роботі важливим завданням було визначення впливу суцільності та товщини ЕІЛ-покриттів на їх зносостійкість. Однак, в роботі відсутні зображення поперечного перерізу ЕІЛ-покриттів, щоб дозволило б оцінити товщину та суцільність отриманих покриттів.

8. На рисунках 4.11, 4.12, 4.13 наведено результати триботехнічних випробувань ЕІЛ-покриттів з ВК8, КХН-20, Х20Н80. Слід відзначити, що дуже низькі значення коефіцієнти тертя (0,05-0,1) як для вищезазначених матеріалів, так і для ЕІЛ-покриттів в цілому (0,5-08). Однак, в тексті статті немає пояснення чим обумовлені такі результати.

9. У тексті дисертації виявлено русизми, граматичні помилки та некоректні формулювання: зносотійкість (с. 62), зміцнюєму робочу поверхню (с. 66), реєстрацією (с.72), покриттів (с.114), матеріал зміцнюємої поверхні (с.115), тощо.

10. Дисертаційна робота містить неточності у використанні термінології та формулювань. Зокрема, матеріал ВК8 це не карбід вольфраму, як зазначено в роботі, а композиційний матеріал на основі вольфраму з кобальтовою зв'язкою. Також слід відмітити вживання «стійкість до стирання» (с.66) замість «зносостійкість»; «опір до окислення» (с.66) замість «стійкість до окислення», тощо.

11. В роботі двічі наводиться рисунок з зображенням установки для електроіскрового легування «Елітрон 22» – рис. 2.2 на с. 57 та рис. 4.3 на с.103.

12. В описі наукової новизни роботи використовується скорочення НДС, яке не пояснюється в тексті вступу і відсутнє в переліку умовних скорочень. Розшифрування скорочення НДС надається лише в третьому розділі (с.77).

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

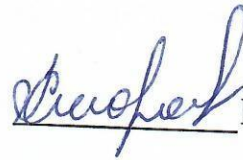
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шамрая Віталія Борисовича на тему «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності 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 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 Шамрай Віталій Борисович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

Зав. відділу міжнародних зв'язків
та трансферу технологій
Інституту проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича
Національної академії наук України
д.т.н., доцент



Марина СТОРОЖЕНКО

05.07.2025 р.

Підпис Марини Стороженко
засвідчую:

Учений секретар
Інституту проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича
Національної академії наук України
к.ф.-м.н



Денис МИРОНЮК

05.07.2025 р.