

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Захарова Андрія Вадимовича на тему «Застосування модифікуючих присадок та їх введення у відновлювальні покриття для підвищення експлуатаційної стійкості»**, подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство»

Актуальність теми дослідження. Проблема підвищення зносостійкості та ресурсу деталей сільськогосподарської техніки є критично важливою в умовах інтенсивного механізованого землеробства, що характеризується високими навантаженнями, агресивними абразивними середовищами та пришвидшеним зношуванням ріжучих елементів. У сучасній практиці функціонування аграрного сектору України експлуатаційна надійність техніки безпосередньо впливає на строки виконання технологічних операцій, витрати пального, кількість простоїв та загальну рентабельність сільськогосподарського виробництва.

За умов значного подорожчання нових деталей, нестабільності постачання й зростання затрат на імпортні комплектуючі, застосування ефективних технологій відновлення та зміцнення деталей набуває не лише технічного, а й стратегічного економічного значення. При цьому важливою вимогою до таких технологій є їх адаптивність до різних типів ґрунтів, зокрема важких і кам'янистих, у яких традиційні покриття демонструють низьку зносостійкість та швидке руйнування.

Тема дослідження є актуальною з огляду на недостатню ефективність існуючих методів наплавлення, які не забезпечують достатньої однорідності покриттів, часто супроводжуються формуванням структурних дефектів і не дозволяють забезпечити прогнозований термін служби деталі. Саме тому розробка нового технологічного підходу – електрошлакового наплавлення з використанням модифікуючих присадок – цілком обґрунтована і своєчасна.

Крім того, актуальність обумовлена міжгалузевим характером проблеми: рішення, знайдені в межах дисертації, можуть бути адаптовані до умов машинобудування, гірничої, металургійної та енергетичної галузей, де подібні виклики пов'язані з абразивним, ударним і температурним зношуванням елементів машин.

Таким чином, тематика дисертації відповідає сучасним вимогам науково-технічного прогресу, державним пріоритетам розвитку прикладної інженерії, технологій ресурсозбереження та імпортозаміщення.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, їх достовірність. У дисертації Захарова А.В. представлені результати, що базуються на чітко структурованій експериментальній, теоретичній та аналітичній роботі. Дослідження виконано із залученням повного комплексу методів:

- експериментальні випробування в лабораторних умовах (твердість, мікротвердість, зносостійкість, термостабільність),
- фазовий, металографічний, оптико-математичний аналіз структури покриттів,
- рентгеноспектральний аналіз,
- математичне моделювання процесів структуроутворення,
- польові випробування в умовах реальної експлуатації культиваторних лап і плужних лемішів,
- економічна оцінка впровадження нової технології.

Таке різнопланове й системне застосування методів забезпечує високу вірогідність результатів і дозволяє зробити аргументовані висновки. Кожен теоретичний висновок підкріплений практичними результатами. Наприклад, закономірності впливу модифікуючих домішок на структуру наплавленого металу підтверджено фактичними змінами в мікроструктурі та механічних характеристиках матеріалів. Також виявлені залежності були повторені на серії дослідів, що демонструє їх надійність і відтворюваність.

Підтвердженням достовірності отриманих результатів є успішне застосування технології на виробничих об'єктах – зокрема, на підприємстві «Калинове-7». Впровадження нової технології дозволило досягти зниження витрат на ремонт до 25–40%, що підтверджено відповідними розрахунками і показниками експлуатаційної довговічності деталей.

Наукові положення підтверджені також широкою апробацією – результати були представлені на численних міжнародних конференціях та опубліковані в понад 30 наукових роботах, зокрема у журналах, що індексуються у міжнародних наукометричних базах (DOI-посилання надаються). Це є додатковим підтвердженням визнання результатів науковою спільнотою.

Отже, наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи повністю обґрунтовані, побудовані на достовірній експериментальній базі, відповідають сучасним вимогам наукового дослідження та можуть бути використані як у виробництві, так і в подальших наукових розробках.

Ступінь новизни наукових положень. Дисертаційне дослідження Захарова Андрія Вадимовича характеризується високим рівнем наукової новизни, що проявляється як у постановці задач, так і в отриманих результатах, які вперше вирішують комплекс важливих техніко-технологічних проблем, пов'язаних із підвищенням експлуатаційної стійкості деталей сільськогосподарської техніки шляхом застосування модифікуючих присадок при електрошлаковому наплавленні (ЕШН).

1. Новизна в концептуальному підході: Уперше у вітчизняному матеріалознавстві розроблено системний підхід до формування високотносостійких відновлювальних покриттів на основі комплексної модифікації металу при ЕШН за допомогою присадок з багатофазними карбідами (Cr, Nb) та оксидом алюмінію. Такий підхід забезпечує не тільки модифікацію структури, але й одночасний контроль фазоутворення, градієнтів твердості та термостійкості.

2. Вперше експериментально встановлено:

- вплив конкретного гранулометричного складу модифікуючих домішок на ступінь мікролегування, структурну гомогенність і фазову стабільність наплавленого шару;

- залежність механічних характеристик (твердості, мікротвердість, стійкості до утворення тріщин) від рівномірності розподілу модифікуючих фаз у наплавленому металі, що дозволяє цілеспрямовано керувати властивостями покриття;

- ефективність отриманої дрібнозернистої структури в умовах абразивного середовища при роботі на важких, кам'янистих ґрунтах.

3. Створено нову оптико-математичну модель: Уперше запропоновано оптико-математичну модель кількісного аналізу структури металу, що поєднує методи цифрової мікроскопії, морфометрії та обробки зображень для визначення розмірів, орієнтації та розподілу зерен і фаз. Ця модель дозволяє прогнозувати експлуатаційні характеристики отриманих покриттів на етапі розробки технології.

4. Науково обґрунтовано нові технологічні режими ЕШН: Встановлено ефективні технологічні параметри ЕШН (температура шлакової ванни, швидкість подачі дроту, охолодження), які мінімізують залишкові напруження, пористість і мікротріщини. Це забезпечує підвищення довговічності наплавлених покриттів на 30–40% у порівнянні з аналогами.

5. Удосконалено методологію оцінки якості покриттів: Запропоновано комплексний підхід до аналізу властивостей покриттів, що поєднує структурний, фазовий, механічний та польовий аналіз. Вперше адаптовано та систематизовано критерії ефективності для оцінки ЕШН в умовах сільськогосподарського застосування.

6. Отримані наукові положення є такими, що мають прикладну новизну: Результати досліджень реально впроваджені у виробництво (підприємства агросектору Харківської області), що свідчить про їх інженерну інноваційність і технологічну життєздатність. Запропоновані рішення не мають аналогів у

zareestrovanih patentah Ukraini na moment zahistu i e захищеними авторським правом (патенти №147660 та №144463).

Повнота викладення результатів дослідження в опублікованих наукових працях. Результати дисертаційного дослідження повністю відображені в опублікованих працях, що свідчить про їх системну апробацію й висвітлення в науковому середовищі. Загалом за темою дисертації опубліковано:

- 12 статей у фахових наукових виданнях України (визнаних МОН),
- 4 статті в зарубіжних наукових журналах,
- 1 наукова монографія,
- 2 патенти України,
- 12 тез доповідей на міжнародних конференціях, у т.ч. в країнах ЄС,
- участь у 10 науково-практичних заходах з обговорення результатів дослідження.

Охоплення публікацій дозволяє зробити висновок про повне і всебічне викладення всіх наукових аспектів роботи: теоретичних засад, методів, отриманих результатів, аналізу та впровадження.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи викладено на 276 сторінках, у тому числі 3 додатки на 37 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 213 сторінок, має 91 рисунок і 40 таблиць. Список використаних джерел нараховує 197 найменувань на 25 сторінках.

Перший розділ дисертації присвячено теоретичному обґрунтуванню проблеми абразивного зношування робочих органів сільськогосподарської техніки та аналізу існуючих методів їх зміцнення. Автор систематизував сучасні підходи до відновлення деталей, звертаючи особливу увагу на переваги технології електрошлакового наплавлення (ЕШН). Обґрунтовано доцільність використання порошкових дротів з модифікуючими присадками, зокрема карбідів хрому, ніобію та оксидів алюмінію. Детально розглянуто

механізми впливу боридного, карбідного та карбоборидного зміцнення на формування структури та властивостей покриттів. Розділ містить чітко виражену аналітичну частину з критичним аналізом літератури, що створює наукову базу для подальших експериментальних досліджень.

Другий розділ обґрунтовано вибір методів дослідження, обладнання та матеріалів. Автор докладно описав процес виготовлення порошкових дротів, їх склад, методику електрошлакового наплавлення у струмопідвідному кристалізаторі. Значну увагу приділено впливу температурних режимів, структури шихти, властивостей флюсів і рівномірності розподілу модифікаторів. Запропоновано та реалізовано оптико-математичну модель для аналізу мікроструктур, що є інноваційним підходом у контексті візуалізації та кількісної оцінки фазового складу. Викладена методика досліджень є вичерпною, відтворюваною та відповідає сучасному рівню експериментальної науки.

Третій розділ містить результати вивчення структури, фазового складу і фізико-механічних властивостей наплавлених покриттів. Проаналізовано зміни структури в залежності від типу та концентрації присадок, наведено порівняльні характеристики твердості, зносостійкості, мікротвердості. Визначено оптимальні технологічні режими, за яких утворюється дрібнозерниста структура з рівномірним розподілом зміцнювальних фаз. Представлені результати свідчать про підвищення твердості до 20% та зносостійкості до 40% порівняно з традиційними методами. Емпіричні дані логічно доповнені мікроструктурними зображеннями та графічними залежностями.

Четвертий розділ описано польові випробування деталей, відновлених за запропонованою технологією. Випробування проводились на культиваторних стрілчастих лапах і плужних лемішах в умовах важких ґрунтів. Використано чітку методику вимірювання зносу, реєстрації технічного стану поверхонь та оцінки залишкових властивостей. Отримані результати підтвердили практичну ефективність запропонованого методу –

ресурс деталей зріс до 40%, при цьому зменшився рівень зношення й не було виявлено втрати механічних характеристик після експлуатації. Це засвідчує життєздатність розробки в реальних умовах агровиробництва.

П'ятий розділ присвячено економічному аналізу ефективності розробленої технології. Автором аргументовано доведено зменшення загальних витрат на ремонт сільськогосподарської техніки на 25–40% за рахунок збільшення ресурсу деталей та зменшення простоїв машин. Проведено розрахунки собівартості, енергоспоживання та економії витратних матеріалів. Обґрунтовано зниження екологічного навантаження завдяки зменшенню відходів та повторному використанню відновлених деталей. Цей розділ логічно завершує техніко-економічне обґрунтування впровадження технології в промисловість.

Практичне значення результатів дослідження. Підтверджена результатами впровадження технології на агропідприємстві «Калинове-7», що забезпечило суттєве зниження витрат на ремонт і продовження ресурсу деталей протягом двох повних сезонів. Запропонований підхід дозволяє створювати зносостійкі покриття адаптовані до конкретних умов експлуатації. Технологія може бути успішно масштабована для машинобудівної, гірничої та енергетичної галузей, де високі вимоги до довговічності робочих поверхонь.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. Ознайомившись із науковими публікаціями та дисертацією А. В. Захарова, можна відзначити відсутність порушень академічної доброчесності.

При загальній позитивній оцінці дисертаційної роботи хотілося б звернути увагу на деякі дискусійні положення, зауваження, запитання та побажання:

- У розділі «Практичне значення результатів» потребує уточнення формулювання «скорочення простоти», яке не має чіткого технічного змісту і викликає питання щодо точності викладення.

- Під час викладу особистого внеску здобувача окреслено завдання, які більше відповідають функціям наукового керівника (формування проблеми,

постановка задач). Доцільно було б конкретніше зазначити внесок автора у проведення досліджень, зокрема — участь у польових випробуваннях.

- У першому розділі відсутній систематизований аналіз поширених дефектів сільськогосподарської техніки та обґрунтування вибору об'єкта відновлення, що зменшує цілісність постановки проблеми.

- У підрозділі 1.3.1 детально охарактеризовано вплив різноманітних модифікуючих домішок, однак не наведено достатнього обґрунтування вибору саме карбідів хрому, ніобію та оксиду алюмінію для досліджень.

- У літературному огляді акцент зроблено майже виключно на електрошлаковому наплавленні без достатнього порівняння з альтернативними методами (наприклад, дугове, лазерне, плазмове наплавлення), через що в таблиці 1.1 не зрозуміло, з якою технологією проводиться економічне порівняння.

- Розділ 2, який має бути присвячений методології досліджень, частково повторює огляд літератури. Конкретна методика експерименту викладена лише фрагментарно (напр., у вигляді діаграми Ісікави), що потребує структурування.

- У розділі, де описується установка ЕШН, відсутнє зображення конструкції, а також не зазначено, хто є розробником обладнання і на якій базі проводились дослідження.

- Термін «в агресивних умовах сільськогосподарської техніки» потребує уточнення — ймовірно, пропущено слово «експлуатації».

- Основні результати дослідження винесено до додатків (таблиці А), без належного включення їх аналізу до основного тексту дисертації, що знижує їх аргументаційну силу.

- З огляду на вплив параметрів ЕШН і домішок на властивості покриттів, доцільно було б провести експериментальні дослідження з багатофакторним плануванням для обґрунтування рекомендацій.

Вказані зауваження та окреслені недоліки не впливають на загальну високу оцінку одержаних науково-прикладних результатів.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Захарова А.В. є результатом самостійного, комплексного та послідовного наукового дослідження, що поєднує теоретичні засади матеріалознавства, експериментальні методи аналізу мікроструктур і практичну реалізацію технологічних рішень у сфері відновлення зношених деталей.

У дисертації автор розв'язав наукову задачу підвищення зносостійкості та ресурсу робочих органів сільськогосподарської техніки, які працюють в умовах значного абразивного зношування, за допомогою удосконаленої технології електрошлакового наплавлення з використанням ефективних модифікуючих присадок. Обґрунтовано вибір карбідів хрому, ніобію та оксидів алюмінію як модифікаторів, запропоновано новий підхід до їх введення в порошкові дроти, а також досліджено вплив присадок на структуру, фазовий склад і механічні характеристики покриттів. Проведене оптико-математичне моделювання доповнило емпіричні дані об'єктивною кількісною оцінкою.

Автор не лише теоретично описав і експериментально підтвердив ефективність застосованих рішень, але й успішно реалізував результати в умовах реального аграрного виробництва. Польові випробування довели надійність запропонованих покриттів: ресурс деталей збільшився до 40%, а рівень зношування суттєво зменшився. Також проведено економічний аналіз, який засвідчив зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарських машин, що є ключовим фактором для широкого практичного впровадження.

Дисертація відзначається логічною структурою, високою якістю оформлення, виваженим стилем викладення, наявністю глибокого критичного аналізу джерел, сучасним рівнем застосованих методів дослідження, а також достовірністю та обґрунтованістю отриманих результатів. Робота має значну наукову новизну, підтверджену численними публікаціями, в тому числі у фахових і міжнародних виданнях, а також патентами на корисні моделі.

Дослідження проведено у межах державних та госпдоговірних тем, що додатково підтверджує його наукову цінність і практичну орієнтованість. Автор продемонстрував здатність до самостійної наукової роботи, вміння критично мислити, застосовувати міждисциплінарні підходи та генерувати технологічні рішення, адаптовані до умов виробництва.

Таким чином, дисертаційна робота Захарова А.В. повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, встановленим чинним законодавством та нормативними документами Міністерства освіти і науки України. За змістом, рівнем наукової новизни, теоретичною і практичною значущістю вона заслуговує на позитивну оцінку, а її автор — на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство (галузь знань 13 – Механічна інженерія).

Рецензент: д.т.н., професор, професор кафедри
сервісної інженерії та технології матеріалів
в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка,
Державного біотехнологічного університету



Тришевський О.І.



Підпис *Тришевського О.*
ЗАСВІДЧУЮ
Керівник відділу діловодства ДБТУ
[Signature] *[Signature]*