

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Волкова Олега Олексійовича**  
«Підвищення експлуатаційної стійкості деталей та інструменту методом термофрикційного  
зміцнення», яка подається до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.02.01 –Матеріалознавство (13 Механічна інженерія)

### **Актуальність обраної теми дисертації**

Актуальність дисертаційної роботи Волкова Олега Олексійовича обумовлена необхідністю підвищення поверхневої міцності деталей з конструкційних та інструментальних сталей. Розвиток сучасної промисловості неможливий без широкого використання технологій зміцнення виробів з різних матеріалів. При цьому неабиякий інтерес у всьому світі визивають підходи з використанням комплексних методів оброблення, які б дозволяли забезпечувати суттєве покращення властивостей матеріалу.

Термофрикційне оброблення (ТФО), що є одним із ресурсозберігаючих методів, саме відповідає таким вимогам. При цьому ефект зміцнення завдяки ТФО може суттєво перевищувати максимальний рівень зміцнення матеріалів, який можна отримувати за допомогою стандартних методів оброблення. Рівні властивостей та якості залежать від параметрів ТФО, хімічного складу матеріалів, їх вихідного стану та інших факторів. Однак це питання є недостатньо вивченим, тому актуальним є експериментальне та теоретичне обґрунтування технології зміцнення сталей різних класів з використанням методу термофрикційного зміцнення (ТФЗ). Автор дисертації узагальнив, що важливим є оптимізація режимів ТФЗ, та виявлення факторів, що мають пріоритетну роль в процесі оброблення матеріалів. Саме тому робота, яка спрямована на підвищення експлуатаційної стійкості деталей та інструменту методом термофрикційного зміцнення може бути віднесена до важливих та актуальних. Такі дослідження дозволять отримати чітке уявлення про природу ефекту зміцнення при ТФО з використанням основних положень теорії структурних і фазових перетворень в матеріалах, та сформулювати системний підхід до ТФЗ, як до ефективного методу, що дозволить забезпечити зміцнення різного типу виробів.

Наведені факти, характеризують тему рецензованої дисертаційної роботи Волкова О.О. як *актуальну*, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

### **Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна**

Науковий рівень дисертаційного дослідження Волкова О.О. відповідає встановленим критеріям. У дисертаційній роботі виконано науково обґрунтовані розробки у галузі матеріалознавства, які забезпечують вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення експлуатаційної стійкості деталей та інструменту методом термофрикційного зміцнення, що можуть працювати в складних умовах тертя і зношування, шляхом оптимізації основних факторів зміцнення, для впливу на їх структуроутворення і властивості.

Дисертантом запропоновано загальний комплексний підхід до теоретичних та експериментальних досліджень з оцінкою впливу різних факторів оброблення на структуроутворення та властивості сталей з різним вмістом вуглецю та різним ступенем легованості.

Теоретичні дослідження були розроблені автором на основі фундаментальних положень матеріалознавства, термодинаміки, термічного оброблення матеріалів, та математичного планування експерименту.



Лабораторні та промислові дослідження виконано на сучасному устаткуванні та вимірювальному обладнанні. Використовували сучасні методи досліджень: оптичну та електронну мікроскопію, рентгеноструктурний аналіз, оцінку твердості, мікротвердості та рівня напружень. Для оцінки структурного стану виробів використовували удосконалені методики виготовлення мікрошліфів.

Для вивчення теплових явищ під час ТФЗ дисертант Волков О.О. використовував метод розрахунку температурних полів. При цьому на окремі зразки у вигляді пластин було нанесено тонкий шар гальванічного покриття - олова для визначення, за допомогою експериментально-розрахункового методу, глибини прогрівання при ТФЗ. З метою оптимізації режимів ТФЗ сталей, для отримання необхідного співвідношення мікротвердості та глибини зміцнення, дисертант проводив математичне планування експерименту та обирав математична модель. При проведенні досліджень для визначення структурного стану по перерізу зразків автором були використані сучасні методи металографічного аналізу оптичної, електронної та растрової електронної мікроскопії, проведені дюрOMETричні дослідження. Для вивчення фазового складу «білого поверхневого шару», що формується в сталях під дією ТФЗ, використано метод рентгенівського фазового якісного аналізу. Оцінку залишкового напруженого стану поверхневого шару після ТФЗ Волков О.О. проводив з використанням рентгеноструктурного аналізу. Якість поверхні на різних етапах оброблення автор досліджував за допомогою профілографа-профілометра «Taylor-Hobson».

Аналіз теплостійкості «білого поверхневого шару», сформованого при ТФЗ під впливом нагрівання, Волков О.О. здійснював оцінюючи структурні зміни при нагріванні зразків після їх ТФЗ. За результатами таких досліджень, автор доказав відносну стабільність «білого поверхневого шару» та збереження в усіх зразках після нагрівання трьох характерних зон.

Обґрунтовані положення і висновки рецензованої роботи підтверджуються фундаментальними основами матеріалознавства.

Вирішення поставленої науково-технічної проблеми дозволило автору одержати низку нових результатів, що складають *наукову новизну* дисертації. Вважаю за необхідне наголосити на найважливіших положеннях:

*Вперше:*

– експериментально виявлено та підтверджено різними методами досліджень особливості структури та фазового складу «білого поверхневого шару» після ТФЗ;

– встановлено природу зміцнення при ТФЗ, яка полягає у формуванні в поверхні матеріалу нетипової структури – «дрібнозернистий деформований мартенсит» у поєднанні з  $\epsilon$ -карбідом, що формується в специфічних умовах одночасної дії термічного і деформаційного факторів;

– виконані розрахунки та побудовані температурні поля, які застосовували для аналізу та керування тепловими параметрами для керування структуроутворенням в сталях при ТФЗ;

– встановлено ефект додаткового зміцнення при перекритті «білих шарів» під час багатопрохідного ТФЗ за рахунок циклічного термодформаційного впливу в умовах підвищеної стартової твердості;

– науково обґрунтована можливість одночасного ефективного зміцнення та отримання необхідної якості поверхні виробів при ТФЗ сталей з різним вмістом вуглецю та різним ступенем легованості.

*Отримали подальший розвиток:*

– теорія аналізування теплових явищ по перерізу об'єктів при ТФЗ з побудовою температурних полів, що дозволяє прогнозувати перетворення на різних глибинах від поверхні під дією ТФО;

– теорія термодформаційного структуроутворення в умовах ТФЗ поверхні, використання якої, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити домінуючий механізм при зміцненні поверхні деталей з різних матеріалів.

*Удосконалено:*

– спосіб, який дозволяє при багаторазовому переполіруванні з локальним розтравлюванням одночасно порівнювати та аналізувати усі шари перерізу зразків, незважаючи на різну їх здатність до травлення;

– метод ТФЗ поверхні, що на відміну від відомих, додатково включає багатопрохідне оброблення з перекриттям сусідніх проходів, та дозволяє отримувати ефект вторинного термодеформаційного зміцнення з більш високим комплексом механічних характеристик.

### **Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики**

При виконанні дисертаційної роботи пошукач наукового ступеню кандидата технічних наук Волков Олег Олексійович провів фундаментальні дослідження в напрямі підвищення експлуатаційної стійкості деталей машин та інструменту із сталей шляхом розробки та використання технологічного комплексу термофрикційного зміцнення (ТФЗ) з можливістю одночасного формування необхідної якості поверхні, та визначення природи і закономірностей процесу зміцнення.

Важливим для забезпечення необхідних властивостей деталей та інструменту є формування в них нетипової структури деформованого зернистого мартенситу, що може формуватися в сталях в умовах розробленої технології ТФЗ. Також слід відзначити, доцільність розробленого інструменту та способу одночасного зміцнення та шліфування поверхні, які захищено патентами України на винахід (№ 90191, № 90192).

Основні практичні результати роботи пройшли випробування:

– на ДП «КРОНО-МЕХСИСТЕМ» технології зміцнення деревообробного інструменту: отримані результати зміцнення деревообробного інструменту та його випробувань в промислових умовах підтвердили підвищення його стійкості після ТФЗ - до 200 %;

– на ТОВ «АПОСТОЛОВАГРОМАШ» технології зміцнення деталей машин: показана ефективність можливість використання термофрикційного оброблення, як ефективного методу поверхневого зміцнення матеріалів з одночасним формуванням в деталях необхідних геометричних розмірів. Ефективність зміцнення при цьому обумовлена, переважно, формуванням «білого поверхневого шару» з надвисокими показниками твердості;

Згідно акту випробування результатів досліджень на підприємстві ДП «КРОНО-МЕХСИСТЕМ» та акту впровадження на підприємстві ТОВ «АПОСТОЛОВАГРОМАШ» при зміцненні інструменту, який було використано для подрібнення та оброблення деревини, показано, що стійкість деревообробного інструменту зросла до 200 % при цьому з урахуванням додаткових витрат на зміцнення витрати на інструмент зменшилися на 6 грн. на 1 м<sup>2</sup> поверхні, що оброблюється. На основі таких випробувань очікуваний економічний ефект станом на 2020 р. при зміцненні та використанні 100 тис. шт. деревообробних ножів та різців може дорівнювати 480 тис. грн.

Все це свідчить про достатню практичну значимість даного дисертаційного дослідження. Глибина наукових та практичних результатів, представлених Волковим О.О. у дисертаційній роботі, підкреслює системність, коректність та обґрунтованість накопиченого експериментального досвіду, що отриманий на основі застосування сучасних методів досліджень і підтверджених практичною реалізацією в умовах промислового виробництва.

### **Повнота викладу основних результатів дисертації**

Основні результати дисертаційної роботи Волкова О.О. опубліковані в 27 наукових працях, у тому числі: 14 статей у спеціалізованих наукових виданнях України і 1 стаття у міжнародному виданні (що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus); 10 публікацій за матеріалами доповідей на міжнародних наукових конференціях; отримано 2 патенти України на винаходи.

Загалом вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Волкова О.О. виконано у повному обсязі.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертація Волкова О.О. складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 209 сторінок, у тому числі 12 додатків на 19 сторінках, обсяг основного тексту дисертації становить 190 сторінок, містить 88 рисунків, 16 таблиць. Список використаних джерел нараховує 139 найменувань на 17 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, дана загальна характеристика



поверхневого зміцнення матеріалів термофрикційними методами оброблення, сформульовані мета і завдання дослідження, визначені об'єкт і предмет дослідження, наведені основні наукові результати, що отримані автором, викладені основні положення наукової новизни і практичної цінності, апробація результатів дисертації.

У першому розділі «Стан питання та перспективи і завдання поверхневого зміцнення для умов тертя та зношування» дисертант докладно провів огляд літературних джерел, присвячених проблемі поверхневого зміцнення за допомогою різних термодформаційних методів. Показано, що досягнення зміцнення при таких методах оброблення обумовлено саме формуванням поверхневого «білого шару». Проте, автор підкреслює, що природа і особливості формування та ідентифікація його структури, фаз, визначення впливу хімічного складу сталей на ефективність зміцнення при ТФО, підвищення працездатності виробів в умовах експлуатації (експлуатаційна стійкість) не розкриті повною мірою. Це не дає можливості прогнозування та управління характеристиками «білого шару». Також залишаються актуальними питання, щодо механічного оброблення та якості поверхонь зміцнення. Зазначено, що успішне вирішення проблеми полягає у детальному комплексному дослідженні особливостей формування структури та властивостей сталей при зміцненні ТФО з визначенням фаз «білого шару», та розкриттям особливостей його формування залежно від хімічного складу матеріалу. На цій підставі дисертантом Волковим О.О. сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі «Методика досліджень» здобувач висвітлює узагальнену методологію виконання дисертаційної роботи. Наведено відомості про матеріали, що були використані в роботі, та методологію досліджень, яка включає використання комплексу експериментів з досліджень впливу ТФО, що зміцнює (ТФЗ) на особливості формування структури та властивостей сталей.

Експерименти щодо ТФЗ проводилися на плоских та циліндричних зразках та деталях із сталей марок сталь 20, 45, 50, У7, У12, У8А, 65Г, Х12М, 15Х11МФ у двох попередніх станах: після відпалювання, та після гартування і відпускання. Такий вибір сталей пояснюється необхідністю охопити основний діапазон, щодо вмісту вуглецю – від 0,2 до 1,5 % С, та такі матеріали широко використовується в промисловості. ТФЗ проводили за двома принциповими схемами: для зміцнення плоских та циліндричних поверхонь відповідно на адаптованому для цього плоско- та круглошліфувальному обладнанні.

Вивчення структур Волков О.О. проводив з використанням методів металографічної, оптичної, електронної та растрової електронної мікроскопії. Контроль якості зміцнення визначали вимірюванням мікротвердості поверхневих шарів та її змінами по перерізу зразків після ТФЗ за спеціальною методикою з використанням мікротвердоміра «ПМТ-3». Фазовий склад поверхневого «білого шару» сталей при ТФЗ визначався з використанням рентгенівського фазового аналізу. Визначення температури розігрівання матеріалів в зоні ТФЗ та швидкості охолодження проводили з використанням методики розрахунку температурних полів. При аналізі розподілу температури по глибині від поверхні зразків із сталей з різним ступенем легування і вмістом вуглецю при ТФЗ вирішували завдання теплопровідності з використанням методу джерел. Для оптимізації режимів ТФЗ сталей та отримання необхідного співвідношення мікротвердості та глибини зміцнення проводили математичне планування експерименту. Напружений стан після ТФЗ автор визначав з використанням методу рентгеноструктурного аналізу, який проводив пошарово від поверхні в глибину. Такий підхід дозволив отримати інформацію щодо напруженого стану в усіх важливих шарах перерізу зразка. Для покращення якості поверхні після ТФЗ дисертантом розроблена методика фінішного чистового оброблення. Шорсткість поверхні після ТФЗ та ТФЗ з наступним чистовим обробленням було досліджено за допомогою профілографа-профілометра «Taylor-Hobson», та після порівняння отриманих результатів оцінена якість поверхні та, що дозволило, за необхідністю, корегувати параметри оброблення.

Представлена дисертантом Волковим О.О. методика проведення досліджень забезпечила одержання достовірних та коректних результатів. Даний розділ дисертації свідчить про логічні та чіткі напрями реалізації автором поставленої мети, та підтверджує його здатність ставити та послідовно розв'язувати складні наукові завдання, застосовувати сучасні методики та



обладнання, зіставляти і аналізувати одержані різними методами результати, робити на їх основі коректні висновки, що демонструє системний підхід до вирішення складних завдань.

У третьому розділі «Визначення структурних і фазових перетворень, викликаних ТФО, що зміцнює (ТФЗ), та їх вплив на властивості матеріалів» здобувач зосереджується на аналізі впливу різних режимів ТФЗ на структуру і властивості сталей у поверхневих шарах виробів. Розглянуто вплив вмісту вуглецю та вихідного стану сталей при їх ТФЗ.

ДюрOMETричні та металогРАфічні дослідження, що проводили по перерізу зразків із сталей з різним вмістом вуглецю та легувальних елементів на прикладі сталей 65Г та 15Х11МФ у протилежних вихідних станах дозволили виділити два типу розподілення мікротвердості від поверхні вглиб зразка. Так, зразки після ТФЗ у вихідному загартованому стані мають в приповерхневому шарі зони зміцнення та знеміцнення, а зразки у відпаленому стані – тільки зону зміцнення, яка плавно переходить в основний метал. Автор пов'язує це з тим, що відпалений стан забезпечує рівноважну структуру, переважно перлітного типу, залишкове нагрівання якої не завдає фазових змін, а вихідний загартований стан відповідає нерівноважній мартенситній структурі, залишкове нагрівання якої призводить до часткового розвитку процесів відпускання. Зразки більш складної – циліндричної форми із сталі 65Г було досліджено після ТФЗ також в різних вихідних станах, розглянутих вище. ТФЗ проводили за відсутності змащування та зі змащуванням. Для плоских поверхонь максимальна твердість зміцненого шару Н100 ~ 18 200 МПа та максимальна глибина зміцнення  $l \sim 650$  мкм були досягнуті в комбінації ТФЗ без змащування після по-переднього гартування і низькотемпературного відпускання в сталі 65Г. При зміцненні циліндричних поверхонь в подібних технологічних умовах рівень поверхневої твердості в сталі 65Г, є ідентичним, проте глибина зміцнення дещо нижча порівняно із ТФЗ плоских поверхонь. Автор доводить, що найбільш результативними, з точки зору досягнутого ефекту, є сталі 65Г та У8А.

Волковим О.О. за допомогою різних методів досліджень було також ідентифіковано фазовий склад та структуру «білого поверхневого шару», що отримано за допомогою ТФЗ. Аналіз мікроструктур зразків із сталі 65Г після багатопрхідного ТФЗ підтверджує, що така поверхнева структура має більш дрібне зерно круглястої форми, та рівень твердості, що суттєво вищий цього показника для стандартної структури мартенситу. При повторному обробленні по «білому шару» (на ділянці перекриття двох сусідніх проходів зміцнювального диска) автор отримав його додаткове зміцнення, з подальшим зменшенням розміру зерна. Дисертант встановив, що структура «білого шару» складається із довгастих зерен з розмірами 1–2 мкм, що відповідає  $\alpha$ -Fe («мартенсит зернистий») та включень правильної геометричної форми, які розташовані по поверхні зерен з розмірами ~ 100–300 нм і зустрічаються тільки в цьому шарі та ідентифіковані як  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>C ( $\epsilon$ -карбід), що переважно пояснює забезпечення високої твердості «білого шару». Також зафіксована наявність незначної кількості  $\gamma$ -Fe (аустеніту) та оксидів.

При оцінюванні чистового оброблення після ТФЗ автором було підтверджено суттєве покращення якості поверхні. Основні показники шорсткості поверхні після ТФЗ були: Ra = 1,82, Rq = 2,38, Rz = 7, а після чистового оброблення – знизилися: Ra = 0,22, Rq = 0,42, Rz = 0,7 (до рівня якості поверхні у вихідному стані).

У четвертому розділі «Дослідження теплових явищ при зміцненні поверхні деталей» автор розглядає та аналізує зв'язок між параметрами процесу ТФЗ та тепловими явищами в поверхні оброблюваних об'єктів.

Для опису процесу Волков О.О. використовував найбільш високолеговану з досліджуваних сталей 15Х11МФ. Температурне поле, яке виникає в зразку при ТФЗ, представлено у вигляді ізотерм у координатах  $y = f(x)$ , де  $x$  – вісь декартової системи координат, у протилежному напрямку якої рухається теплове джерело. В даному випадку це координата руху теплового джерела по поверхні, або відстань від переднього фронту джерела тепла.

Задачу теплопровідності автор вирішував в системі координат, що рухається разом з тепловим джерелом (з поверхнею контакту). Математичне планування експерименту з побудовою математичної моделі дозволило оцінити вплив параметрів ТФЗ на рівень мікротвердості та глибину зміцнення. Оцінка отриманих в даних рівняннях коефіцієнтів показала, що на мікротвердість поверхневого зміцненого шару такі параметри ТФЗ, як швидкість подачі  $S(x_1)$  і глибина оброблення  $t(x_2)$ , впливають майже однаково, а на глибину



зміцнення ( $y_2$ ) більш впливає глибина оброблення  $t$ . Відповідно цього, автор робить висновок, що для збільшення мікротвердості зміцненого шару необхідно збільшувати і швидкість подачі  $S$ , і глибину оброблення  $t$ . Проте, для збільшення глибини зміцнення поверхневого шару необхідно також збільшувати глибину оброблення  $t$ , але зменшувати швидкість подачі  $S$ .

У п'ятому розділі «Оцінка напруженого стану, викликаного ТФЗ, та структурна стабільність зміцнених шарів при подальшому нагріванні» дисертант Волков О.О. досліджує характер розподілу напружень та знаки напружень по перерізу зразків з легованої сталі 15X11МФ після ТФЗ, а також визначив рівень мікрореформацій і розмір блоків, що отримані під дією ТФЗ в зразках. Виявлено, що на поверхні зразка рівень мікрореформацій більший, а розмір блоків менший, ніж у його серцевині. Автором встановлено, що ТФЗ позитивно впливає на зміцнення поверхні зразка. Про це свідчить: знак отриманих стискаючих напружень, максимальний рівень напружень, мінімальний розмір блоків, максимальне значення рівня мікрореформацій у поверхневому шарі зразка.

Шостий розділ «Промислове застосування ТФЗ та оцінка ефективності використання розробленої технології зміцнення» присвячений практичному застосуванню виробів після ТФЗ. Волковим О.О. показано особливості використання в промислових умовах розробленої технології зміцнення інструменту двох різних типів (з циліндричною та плоскою поверхнею). Для промислового дослідження були обрані деталі зі сталей в яких традиційними методами зміцнення важко забезпечити досягнення необхідних експлуатаційних властивостей, а саме: прототип виробу «керна», виготовлений із сталі 65Г та деревообробний ніж зі сталі 65Г і деревообробний різець – У8А. Наголошено, що такий інструмент має невисоку експлуатаційну стійкість після стандартних процесів зміцнення, а після ТФЗ встановлено, що ресурс деревообробного інструменту підвищився втричі, а ресурс керна до моменту його виведення з експлуатації по причині зношення підвищився, приблизно, в 2 рази.

Автором дисертаційної роботи встановлено, що очікуваний економічний ефект станом на 2020 р. при зміцненні та використанні 100 тис. шт. деревообробних ножів та різців може досягти 480 тис. грн. На мою думку, це підтверджує важливість отриманих результатів і висновків не тільки у науковому, але й у прикладному плані, що дозволяє мені позитивно охарактеризувати здобувача Волкова Олега Олексійовича, як науковця, котрий чітко окреслює та успішно вирішує найскладніші наукові завдання і реалізує їх на практиці.

У додатках до дисертації, що рецензується, автором представлено повні результати дисертаційних досліджень у вигляді таблиць, графіків та фотографій мікроструктур, акт впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «КРОНО-МЕХСИСТЕМ», ТОВ «АПОСТОЛОВАГРОМАШ»

### **Зауваження по дисертаційній роботі**

Окрім викладених вище позитивних положень рецензованої дисертації Волкова О.О. слід зробити наступні зауваження по роботі:

1. В першому розділі розглянуті методи зміцнення поверхні з використанням тертя за різними схемами оброблення. На мою думку, було б доцільним зауважити які критерії їх об'єднують і що є найбільш важливим при подібних методах оброблення.

2. У другому розділі при описі методики вимірювання мікротвердості запропоноване навантаження на індентор – 100 г. Чи не було необхідності у використанні інших варіантів навантаження, наприклад, 50 г або 200 г.

3. Схема ТФЗ, яка використовується в даному дисертаційному дослідженні передбачає зустрічний напрямок руху зміцнювального диска та заготовки. Потребує пояснення чому обрано саме такий варіант оброблення а не попутній напрямок руху зміцнювального диска та заготовки, наприклад.

4. В третьому розділі при аналізі впливу режимів ТФЗ на структуроутворення та властивості сталей в якості прикладу обрані такі марки як сталь 15X11МФ та 65Г. Не зовсім зрозуміло, у зв'язку з чим автором зроблено саме такий вибір матеріалів для досліджень.

5. При аналізі напруженого стану в поверхневому шарі зразків після ТФЗ виявлена наявність стискаючих напружень, що характеризується одночасно складовими  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$ . Як це можна пояснити.



6. На мою думку, було б доцільним також провести оцінку впливу режимів ТФЗ на параметри та властивості зміцненого шару досліджуваних матеріалів, після попередньої термообробки, яка б включала тільки гартування. Оскільки саме за рахунок деформування невідпущеного (тетрагонального) мартенситу можливо найбільш повне використання позитивного впливу таких процесів, як деформаційне динамічне старіння для підвищення фізико-механічних властивостей сталевих поверхонь. Такий режим обробки може сприяти також значної економії енергоресурсів.

### Загальні висновки по дисертації


Дисертація Волкова О.О. є завершеною науковою працею, при виконанні якої були одержані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему – підвищення експлуатаційної стійкості деталей машин та інструменту із сталей шляхом розробки та використання технологічного комплексу термофрикційного зміцнення (ТФЗ) з можливістю одночасного формування необхідної якості поверхні, та визначення природи і закономірностей процесу зміцнення.

Основні положення дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у наукових фахових і міжнародних виданнях та широко апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях.

Автореферат дисертаційної роботи Волкова О.О. відповідає змісту дисертації і дає повне представлення з об'єму, суті виконаних досліджень.

Вважаю, що дисертаційна робота «Підвищення експлуатаційної стійкості деталей та інструменту методом термофрикційного зміцнення» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та вимогам п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів...», що затверджений постановою КМУ № 567 від 24.07.13, а її автор – **Волков Олег Олексійович** заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук,  
доцент кафедри технології матеріалів  
Харківського національного технічного університету  
сільського господарства імені Петра Василенка

 О.Ю. Ключко

