

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к. ф.-м. н., доцента Терлецького Олександра Семеновича

на дисертаційну роботу Краєвської Жанни Владиславівни

**«Підвищення зносостійкості поверхні при застосуванні додаткового
фрикційно-деформаційного зміцнення сталей»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Детальний аналіз дисертаційної роботи Краєвської Жанни Владиславівни на тему «Підвищення зносостійкості поверхні при застосуванні додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення сталей», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

Актуальність теми дослідження обумовлена потребою розроблення нових або удосконалення існуючих методів оброблення, які спрямовані на управління структурою та додаткове зміцнення поверхні виробів, що може застосовуватись при зміцненні виробів різної номенклатури.

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

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Матеріалознавство» НТУ «ХПІ» відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Частина отриманих результатів дисертаційних досліджень впроваджено в навчальний процес (в освітньо-професійні та освітньо-наукові програми) та розглядаються при вивченні дисциплін (освітніх компонентів): «Матеріали з особливими фізичними та механічними властивостями»

(бакалаврська освітня програма), «Технології та обладнання для модифікування поверхні та об'ємної обробки матеріалів», «Термомеханічні методи впливу на властивості матеріалу», «Зносостійкі та антифрикційні матеріали» (магістерська освітня програма).

3. Наукова новизна одержаних результатів

В дисертаційній роботі узагальнено та розвинуто результати теоретичних і експериментальних досліджень щодо факторів, умов забезпечення та керування процесами ДФДЗ, що дозволяє отримати необхідний рівень зносостійкості матеріалів і виробів з урахуванням відповідних до них вимог.

Зазначено, що вперше:

запропоновано метод ДФДЗ, як спосіб підвищення зносостійкості поверхні вже зміцнених термічним шляхом, до максимального рівня, виробів із сталей. Тобто наголошено про додаткове зміцнення, до суттєво більшого рівня (більш ніж у 2 рази), виробів із сталей попередньо зміцнених термічним шляхом;

експериментально виявлено морфологію структури в перерізі зразків із сталей, які були додатково зміцнені з використанням методу ДФДЗ;

встановлено оптимальні умови для отримання ефективного результату ДФДЗ сталей та надано рекомендації щодо оптимального вмісту вуглецю в сталях для застосування даного методу;

встановлено характер змін та науково обґрунтовано взаємозв'язок між отриманим під дією ДФДЗ рівнем інструментальної твердості та значенням модуля Юнга (модуля нормальної пружності), в різних структурних станах, тобто в поверхневій, підповерхневій та основній частинах зразків із сталей, що досліджували;

виконано розрахунки щодо підвищення зносостійкості сталі під дією ДФДЗ та визначено очікуваний економічний ефект від застосування методу ДФДЗ при зміцненні виробів із сталі 65Г на одиницю зміцненої поверхні.

Отримали подальший розвиток: теорії «додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення» (ДФДЗ) та «додаткового термо-деформаційного зміцнення» (ДФТЗ) в контексті характеру додаткового зміцнення для підвищення зносостійкості загартованих сталей, які на етапі термічного зміцнення набули максимально можливого, в термічний спосіб, рівня твердості.

теорія аналізу зміни мікротвердості порівняно зі зміною модуля Юнга під впливом ДФДЗ в перерізах зразків сталей, що досліджувалися в дисертаційній роботі.

Удосконалено:

Методи ДФДЗ та ДФТЗ, в питаннях факторів та умов оброблення, які є похідними від методу «термофрикційного зміцнення» (ТФЗ), проте відрізняються характером структуроутворення за рахунок механізму впливу імпульсу від оброблення на фізико-механічні процеси, які відбуваються при цьому.

Методи оброблення, що спрямовані на управління структурою та зміцнення поверхневих шарів виробів, під час яких формується багатошарова морфологія перерізу, що складається з шарів, які характеризуються різними структурними станами з відповідними різними функціональними властивостями.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Результатом проведених теоретичних і експериментальних досліджень є запропонований метод ДФДЗ, який може бути застосований для підвищення зносостійкості поверхні виробів із сталей. Це дозволяє реалізовувати концепцію ресурсозбереження при одночасному використанні менш дорогих матеріалів, але з покращеним рівнем зносостійкості, завдяки дії ДФДЗ. Окремі питання з матеріалів дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін (освітніх компонентів): «Матеріали з особливими фізичними та механічними

властивостями» (бакалаврська освітня програма), «Технології та обладнання для модифікування поверхні та об'ємної обробки матеріалів», «Термомеханічні методи впливу на властивості матеріалу», «Зносостійкі та антифрикційні матеріали» (магістерська освітня програма).

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.

За результатами дослідження опубліковано 11 наукових праць, які у повній мірі відображені у дисертаційній роботі:

- 2 статті в фахових виданнях України;
- 2 статті в наукових виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus;
- 7 наукових доповідей у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Робота Краєвської Ж.В. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел і два додатки.

Дисертація присвячена удосконаленню методів оброблення для підвищення зносостійкості, в результаті додаткового зміцнення під дієюДФДЗ, поверхні попередньо зміцненої термічним шляхом.

Об'єкт дослідження: процес формування ієрархічної структури та механічних властивостей при додатковому фрикційно-деформаційному зміцненні (ДФДЗ) поверхні.

Предмет дослідження: підвищення зносостійкості поверхні під дією додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення вуглецевих сталей та низьколегованої сталі 65Г.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету й завдання дослідження, окреслено об'єкт і предмет дослідження.

Зазначено які методи дослідження застосовані при виконанні роботи. Підкреслено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Показаний особистий внесок здобувача, надані відомості про апробацію результатів дисертації та публікації де висвітлено результати дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу стану питання щодо методів поверхневого зміцнення. Детально розглянуті термічні, хіміко-термічні методи поверхневого зміцнення. Також розглянуті окремі аспекти фрикційного зміцнення, формування покриттів та інші методи зміцнення поверхні. Проаналізовані дані показують, що існує потреба в методах додаткового зміцнення поверхні, таких як, наприклад, метод фрикційно-деформаційного зміцнення, який дає змогу додатково зміцнювати вже попередньо зміцнені (наприклад термічним шляхом) сталі та є актуальним і перспективним.

У другому розділі представлені матеріали та методика проведення дослідження. В якості матеріалів для виготовлення зразків була обрана низка (ряд) вуглецевих сталей та низьколегована сталь 65Г. Розглянута методика додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення, представлено обладнання, яке використовується для забезпечення процесу ДФДЗ. Описано методику металографічного аналізу, який був проведений за допомогою металографічних мікроскопів: оптичного МІМ-7 та цифрового мікроскопу ZEISS AXIO Vert. A1 та електронного мікроскопу «ПЕМ-100» в перерізах зразків, що досліджували. Детально розглянута методика інструментального індентування (наноіндентування), яке, станом на сьогодні, є одним із найсучасніших прецизійних методів визначення окремих механічних характеристик тонких шарів та покриттів. Індентування здійснювалось з використанням приладу «Нано скан 4D» в усіх ділянках перерізів зразків, де відбулись певні структурні перетворення. Окрім того, розглянуто методику випробувань зміцненої поверхні на тертя та зношування і методику визначення шорсткості при дослідженні якості поверхні, що проводили до та після випробувань на тертя та зношування. При дослідженні зносостійкості

зразків застосовано машину для випробувань на тертя та зношування СМЦ-2. Проведено порівняльний аналіз отриманих даних щодо зносостійкості зазначених зразків.

У третьому розділі розглянуті основні види термічних операцій та аспекти попереднього термічного оброблення зразків. Наведені результати дослідження структурних перетворень, що відбуваються в сталях в процесі основного термічного та додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення. Представлені мікроструктури досліджених зразків із сталей марок: Сталь 20, 45, У7, У12 після ДФДЗ з метою виявлення різниці в структуроутворенні внаслідок збільшення вмісту вуглецю та марок: Сталь 65Г, У8А в контексті ДФДЗ, як матеріалів конкретних виробів.

У четвертому розділі представлено результати дослідження змін механічних характеристик, які відбуваються в поверхневому та підповерхневому шарах попередньо термічно зміцнених сталей в процесі додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення зразків. Показано зміну мікротвердості в перерізах зразків з використанням приладу ПМТ-3, показано зміну інструментальної твердості в перерізах зразків з використанням приладу «Нано-скан 4D». Визначено модуль Юнга та його зміну в різних шарах при дослідженні перерізів зразків. Проаналізовано вплив ДФДЗ на зміну механічних властивостей матеріалів, а особливо, зміну мікротвердості, інструментальної твердості (нанотвердості) у співвідношенні з модулем нормальної пружності (модулем Юнга).

У п'ятому розділі надано результати визначення зносостійкості поверхні, як результат трибологічних змін в сталі, які викликані дією додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення поверхневих шарів виробів. Зносостійкість додатково зміцненої поверхні було визначено із застосуванням методу штучних баз за стандартною методикою, з використанням твердоміру типу ТП (Віккерс), а в якості зразка була застосована попередньо термічно зміцнена колодка із сталі 65Г після ДФДЗ. Випробування на зношування, з використанням машини СМЦ-2, проводили за схемою «диск-колодка». Також визначали рівень шорсткості при дослідженні

якості поверхні, що проводили до та після випробувань на тертя та зношування.

Шостий розділ присвячений визначенню очікуваного економічного ефекту від потенційного виготовлення та зміцнення циклювальних ножів із сталі 65Г.

У висновках представлено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження.

Список використаних джерел охоплює широке предметне поле дослідження, що свідчить про ґрунтовну роботу автора з великою кількістю технічної літератури, із включенням як вітчизняних, так і іноземних джерел.

Додатки містять інформацію про впровадження результатів дисертації в навчальний процес, а також список наукових публікацій за темою дисертації.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих результатів забезпечується відповідністю між поставленими метою та завданнями дослідження і застосованою методологією. Крім того, обґрунтованість викладених положень підтверджується комплексним підходом до вивчення об'єкта й предмета дослідження.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності, а отримані результати свідчать про її оригінальність. У тексті представлені авторські міркування, не виявлено також фактів запозичення ідей інших дослідників без відповідних посилань.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у чотирьох наукових статтях, двох закордонних статтях, двох статтях у фахових наукових українських виданнях, а також Краєвська Ж.В. активно приймала участь в

міжнародних наукових конференціях, де була проведена апробація ідей, що викладено у дисертаційному дослідженні.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. З погляду рецензента, доцільним уявляється більш детальний розгляд та оцінка відносного вкладу механізмів зміцнення, які задіяні у серцевині та на поверхні деталі під дією ДФДЗ.

2. В тексті дисертації сказано, що метод ДФДЗ застосовується до сталей вже зміцнених термічним шляхом до максимального рівня. Вважаю більш коректним характеризувати рівень зміцнення таких сталей, не як максимальний, а як наприклад, наближений до максимального можливого термічним шляхом рівня зміцнення.

3. В таблицях, де наведені результати механічних випробувань з використанням приладу Нано Скан 4D, вказані значення відповідних характеристик з чотирма знаками після коми. Вважаю, що при використанні даних значень для відповідних розрахунків в роботі необхідно враховувати тільки два знаки після коми, що буде відповідати фізичному сенсу даних вимірювань, а більша точність є зайвою.

4. При трактуванні змін морфології структури матеріалу під дією ДФДЗ зона знеміцнення, що знаходиться на певній глибині від поверхні, розглянута обмежено, хоча в роботі проведено ретельний аналіз зміни структури від поверхні вглиб зразків під дією ДФДЗ.

5. Результати вимірювань мікротвердості матеріалу зразків після ДФДЗ показано не діапазоном, а окремим значенням для кожного шару, який досліджували, що ускладнює можливість оцінити однорідність рівня мікротвердості в рамках кожного шару.

10. Висновки

Дисертаційна робота Краєвської Ж.В. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає

галузі знань 13 – «Механічна інженерія» та спеціальності 132 – «Матеріалознавство».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Краєвської Жанни Владиславівни «Підвищення зносостійкості поверхні при застосуванні додаткового фрикційно-деформаційного зміцнення сталей » відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сама авторка, Краєвська Жанна Владиславівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 132 «Матеріалознавство».

Рецензент – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри «Матеріалознавство»

Національного Технічного Університету

«Харківський Політехнічний Інститут»

Олександр ТЕРЛЕЦЬКИЙ

Підпис *Олександр Терлецький*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
Олександр Терлецький
"30" червня 2025 р.

