

Голові разової спеціалізованої вченої ради PhD 14951
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н., професору Яснію Володимирі Петровичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора Бабія Андрія Васильовича

на дисертаційну роботу

Семегена Володимира Олеговича

«Забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних

мікрорельєфів на плоских поверхнях»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 «Механічна інженерія»

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами

Сучасний розвиток машинобудування характеризується невідпинним зростанням вимог до надійності, довговічності та ресурсу відповідальних висконавантажених вузлів та агрегатів машин, основними вузлами яких є пари тертя. Традиційні підходи, що орієнтовані виключно на мінімізацію висотних параметрів шорсткості наприклад, шліфування чи тонке точіння, за умов високих питомих тисків та підвищених робочих температур стають неефективними через високий ризик адгезійного схоплювання II роду та ризику утворення задирів.

Одним із найбільш перспективних і науково обґрунтованих напрямів вирішення цієї проблеми є технологія формування регулярних мікрорельєфів, а саме формування методом поверхневого пластичного деформування впорядкованої системи виступів і западин, які виконують роль мікроканалів для утримання мастила в зоні трибоконтакту. У зв'язку з цим, дисертаційна робота Семегена В.О., спрямована на встановлення взаємозв'язків між геометричними параметрами регулярних мікрорельєфів, технологічними режимами їх

формування (зокрема швидкістю подачі та зусиллям деформування) та експлуатаційними параметрами якості – маслоємністю, шорсткістю та мікротвердістю поверхні є вкрай актуальним та прикладним науковим дослідженням.

Дисертаційне дослідження виконано відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій», а також в межах ініціативної науково-дослідної роботи Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Наукові основи покращення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей технологічними методами» (№ державної реєстрації 0125U003762). Тема роботи повністю відповідає предметній області освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Таким чином, вважаю, що тема дисертаційного дослідження є актуальною. У роботі вирішено важливе наукове завдання забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях, яке дозволить покращити експлуатаційні властивості поверхонь пар тертя.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У дисертації Семеґена В.О. отримано такі основні наукові результати:

- вперше отримано аналітичні залежності для розрахунку відносної площі регулярних та частково регулярних мікрорельєфів із трикутною формою канавок для I, II та III типів рельєфу, сформованих на плоских поверхнях, з урахуванням геометричних параметрів (ширини канавки, кроку, амплітуди) та площі їхнього взаємного перекриття (для мікрорельєфів із канавками, що перетинаються);

- вдосконалено наукові підходи до прогнозування шорсткості та маслоємності оброблених поверхонь шляхом побудови багатofакторних регресійних залежностей із застосуванням дисперсійного аналізу ANOVA, які описують сумісний вплив типу мікрорельєфу та швидкості подачі інструменту на стандартизовані параметри профілю за стандартом EN ISO 21920-2:2021 R_z , R_a , R_{mc25} ;

– набули подальшого розвитку закономірності зміни фізико-механічного стану поверхневого шару металу: побудовано математичні моделі та 3D-діаграми розподілу мікротвердості за Віккерсом ($HV_{0.01R}$ на гребенях та $HV_{0.01B}$ на дні канавок) в околі лунки, що дозволяє керувати ступенем зміцнення та глибиною деформованого шару за рахунок оптимізації інтенсивності пластичної деформації.

3. Практична цінність одержаних результатів

Практичне значення отриманих здобувачем результатів полягає у створенні комплексної інженерної методики для науково обґрунтованого вибору раціональних типів мікрорельєфів та технологічних режимів їх формування (подачі, зусилля деформування) для забезпечення заданих експлуатаційних параметрів та параметрів якості поверхні з регулярним мікрорельєфом.

Ефективність розроблених рішень підтверджується актами впровадження результатів роботи:

– у виробничу діяльність ТзОВ «Булат» (м. Тернопіль) у вигляді методики розрахунку параметрів мікрорельєфів на рухомих частинах обладнання для підвищення довговічності;

– у діяльність кафедри автомобілів ТНТУ імені Івана Пулюя при дослідженні оптимальних параметрів ЧРМР для вузлів тертя ДВЗ («гільза-поршень», «шатунний вкладиш-обойма»);

– у навчальний процес ТНТУ при викладанні лекційних матеріалів з дисципліни «Автомобільні двигуни».

Технічні рішення автора захищені патентом України на корисну модель № 153223 «Спосіб формування регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях вібраційним обкочуванням».

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях, дотримання вимог академічної доброчесності

Основні наукові результати дисертаційного дослідження Семегена В.О. опубліковано у 12 наукових працях. Серед них: 3 статті у міжнародних рецензованих журналах, що індексуються наукометричною базою Scopus

(зокрема у виданнях *Machines* та *Materials*, категорія Q2/Q3), 2 статті у провідних фахових періодичних виданнях України категорії Б, 6 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, а також 1 патент України на корисну модель. Опубліковані праці повною мірою відображають зміст дисертації.

Використання в дисертаційній роботі наукових напрацювань інших авторів здійснено відповідно до норм наукової етики та супроводжується належними посиланнями на першоджерела. Порухів принципів академічної доброчесності, зокрема фактів академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації наукових даних, у дисертаційній роботі не встановлено.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих в дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Сформульовані авторами положення та висновки мають високий ступінь обґрунтованості, що базується на поєднанні фундаментальних теоретичних розрахунків та ретельних експериментальних досліджень. У теоретичній частині здобувач застосував сучасний математичний апарат теорії малих вибірок, багатфакторного регресійного та дисперсійного аналізу (ANOVA) за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (MathCAD, Minitab, Statistika).

Достовірність результатів підтверджена значним обсягом експериментальних випробувань (комплекти з десятків дослідних зразків з магнієвого сплаву AZ31 та аустенітної сталі AISI 304L) на сертифікованому високоточному обладнанні: оброблювальному центрі з ЧПК HAAS TM-1 та профілометрі Mitutoyo SurfTest SJ-301. Вимірювання мікротвердості виконувалися на цифровому мікротвердомірі HVS-1000 відповідно до стандарту ISO 6507-1. Розраховані коефіцієнти детермінації побудованих регресійних моделей (R^2 до 93.3% для параметрів шорсткості R_z , R_a та до 97.8% для мікротвердості HV) математично доводять високу адекватність та достовірність отриманих результатів.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота Семегена В.О. є завершеним самостійним дослідженням, викладеним на 113 сторінках друкованого тексту, що містить 106 рисунків, 37 таблиць, 14 додатків та вичерпний список літератури із 117 джерел. Структура роботи характеризується чіткою послідовністю, логічністю викладу та повною мірою відповідає поставленим науковим завданням.

У вступі автором належним чином обґрунтовано актуальність обраної теми, чітко визначено мету, об'єкт, предмет, а також сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведено комплексний аналіз причин руйнування та зміни експлуатаційних властивостей високонавантажених деталей пар тертя, зокрема конусних дисків автомобільних варіаторів Jatco JF011E/JF015E та деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання автомобіля KIA Sportage. За допомогою фрактографічного контролю на електронному мікроскопі EVO-40XVP доведено, що головною причиною виникнення дефектів є адгезійне схоплювання II роду. На основі цього автор обґрунтував робочу гіпотезу дисертації, яка полягає в тому, що створення частково регулярних мікрорельєфів на деталях із легованої сталі 30ХГС здатне ефективно запобігти задиротворенню.

У другому розділі наведено глибоке теоретичне моделювання кінематики процесу формування канавок методом вібраційного обкочування. Використовуючи тригонометричний аналіз та геометричні перетворення, здобувач вивів аналітичні залежності для розрахунку відносної площі покриття F_e для частково регулярних мікрорельєфів I типу (з канавками, що не перетинаються), II типу (що дотикаються) та III типу (що перетинаються), а також побудував графіки їх залежності від режимів подачі S та частоти осциляцій $n_{\text{дв.х}}$ у програмному пакеті MathCAD.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень, які проводилися на базі 27 зразків з магнієвого сплаву AZ31, оброблених на верстаті з ЧПК HAAS TM-1 за допомогою спеціально спроектованого інструмента. За допомогою профілометра SurfTest SJ-301 та багатофакторного регресійного аналізу за методикою ANOVA в ПП Minitab 19 доведено, що тип

мікрорельєфу має домінуючий вплив на маслоємність поверхні (57.49%), тоді як швидкість подачі деформувального елемента на неї майже не впливає. Це дозволило автору зробити важливий висновок про можливість призначення максимальних подач (до 1500 мм/хв) задля підвищення продуктивності без втрати експлуатаційних властивостей.

У четвертому розділі наведено результати досліджень фізико-механічного та структурно-фазового стану сталі AISI 304L за допомогою мікротвердоміра HVS-1000 при малих навантаженнях 10 кг. Методами оптичної мікроскопії зафіксовано суттєве подрібнення зерен аустеніту та утворення мартенситу деформації на глибині до 500–1000 мкм під дном канавок. Отримані регресійні моделі довели, що збільшення швидкості деформування та щільності канавок (перехід до III типу рельєфу) підвищує мікротвердість поверхні в межах від 23.1% до 72.2%. Також у розділі представлено детальний опис патенту України № 153223 та інженерну методику розрахунку стохастичних квазірегулярних рельєфів.

У загальних висновках повно та лаконічно підсумовано наукові й практичні результати дисертації.

Список використаних джерел охоплює значну кількість наукових праць вітчизняних та закордонних авторів, що свідчить про ґрунтовний аналіз сучасного стану досліджень у даній предметній області.

У додатках подано допоміжні матеріали, що доповнюють основний зміст роботи, зокрема відомості про апробацію результатів дослідження, список публікацій автора за темою дисертації, акти впровадження результатів дослідження, профілограми досліджуваних поверхонь та інше.

7. Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота виконана на високому науково-теоретичному та методичному рівні, володіє логічною послідовністю викладу матеріалу та повністю відповідає вимогам чинного Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії. Зміст роботи, опубліковані праці та отримані патенти повністю відповідають

паспорту спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

8. Зауваження до дисертації

Поряд із беззаперечними науковими та практичними перевагами роботи, до дисертації Семенюка В.О. можна висловити такі зауваження:

1. В роботі для опису сформованого мікрорельєфу зустрічаються словосполучення як частково регулярні мікрорельєфи так регулярні мікрорельєфи. Необхідно внести однозначність у ці вирази при позначенні сформованих мікрорельєфів.

2. При моделюванні форми канавки мікрорельєфу у другому розділі автор робить припущення, що повздовжня подача інструменту – постійна величина. Однак у верстатах з механічною коробкою подач ця величина є випадковою з нормальним законом розподілу. Чи враховувалась ця особливість при моделюванні форми канавки.

3. У третьому розділі автор зазначає, що стандартизований показник апроксимованої площі западин R_{ak2} (за стандартом EN ISO 21920-2) є недостатньо точним для оцінки реальної маслоємності ЧРМР через те, що реальні криві Аббота-Фаєрстоуна для текстурованих поверхонь суттєво відрізняються від класичної S-подібної форми. Проте автор не запропонував власної модифікованої аналітичної залежності чи коефіцієнта для врахування цієї «додаткової» площі западин у практичних розрахунках.

4. У четвертому розділі при вивченні мікротвердості аустенітної сталі AISI 304L зафіксовано суттєве зміцнення матеріалу (до 72.2% на дні канавки). Хоча автор пов'язує це з подрібненням зерен аустеніту та утворенням деформаційного мартенситу, у роботі бракує кількісної оцінки (наприклад, даних рентгеноструктурного фазового аналізу) щодо відсоткового співвідношення сформованих фаз мартенситу деформації.

Зазначені зауваження мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер і жодним чином не знижують високу наукову новизну та безперечну практичну цінність дисертаційної роботи.

9. Висновки:

1. Дисертаційна робота Семегена Володимира Олеговича на тему «Забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано важливе науково-прикладне завдання підвищення експлуатаційної надійності та довговічності важконавантажених трибоспрямих деталей машин на основі комплексного аналізу та оптимізації геометричних параметрів мікрорельєфу й режимів його формування.

2. За тематикою, науковим рівнем, обсягом публікацій та структурою дисертація повністю відповідає спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

3. Вважаю, що дисертаційна робота Семегена В.О. «Забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях» повністю задовольняє всім вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (із змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. її автор, Семеген Володимир Олегович, безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Рецензент

Доктор технічних наук, професор

завідувач кафедри технічної механіки

та сільськогосподарських машин

Тернопільського національного

технічного університету імені Івана Пулюя



Андрій БАБІЙ


