

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

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Чаусова Миколи Георгійовича на дисертаційну роботу

Семегена Володимира Олеговича

«Забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях», подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії** з галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 131 «Прикладна механіка»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Необхідність переходу вітчизняного машинобудування до стратегії забезпечення якості поверхонь деталей, що працюють у критичних режимах, впливає на методологічну трансформацію підходу до проектування поверхонь: конкретно перехід від суто емпіричних пошуків – до аналітично обґрунтованих моделей.

Інтегрування функціонально-орієнтованих технологічних рішень безпосередньо у процес виготовлення деталей не лише мінімізує імовірність критичних відмов у майбутньому, але й сприяє реалізації концепції ресурсоощадного виробництва, де збільшення міжремонтних інтервалів відповідальних вузлів трансмісій та двигунів досягається шляхом точного проектування топографії поверхні ще на етапі технологічної підготовки виробництва.

Розробка і впровадження математичного моделювання геометрії канавок на поверхнях деталей у поєднанні зі статистичним плануванням експериментів

відповідає сучасним вимогам до цифрової трансформації машинобудівних процесів і тому є актуальною науково-технічною задачею, яка визначила напрям дисертаційного дослідження.

Такий системний підхід забезпечує не лише надійність окремих деталей, а й загальну стабільність технологічного циклу, що є визначальним чинником конкурентоздатності сучасної продукції в умовах вимог Industry 4.0.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі автотранспорту та логістики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тематика роботи пов'язана із науковим напрямом кафедри – підвищення ресурсу роботи важко навантажених пар тертя деталей транспорту. Дослідження було виконано у межах ініціативної НДР «Наукові основи покращення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей технологічними методами» (№0125U003762), у якій здобувач брав активну участь. Також робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки України «Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій».

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

До наукового доробку автора слід віднести наступні елементи наукової новизни:

- отримано нові аналітичні залежності для розрахунку відносної площі регулярних та частково регулярних мікрорельєфів (типи I, II, III) з трикутною формою канавок, сформованих на плоских поверхнях, які враховують геометричні параметри канавок, площу їхнього взаємного перекриття та режими формування.

- розроблено та обґрунтовано регресійні моделі, які встановлюють математичний взаємозв'язок між режимами обробки (зокрема, швидкістю подачі) типом мікрорельєфу та стандартизованими параметрами якості поверхні, такими як шорсткість (R_a , R_z , R_{ak2} , $R_{mc(25\%)}$) та маслоємністю поверхні.

— встановлено закономірності формування фізико-механічних властивостей приповерхневих шарів нержавіючої сталі AISI 304L і виявлено та описано ефект неоднорідного розподілу мікротвердості в околі канавок (різниця значень між гребнями та дном канавок), що дозволяє керовано впливати на зносостійкість обробленої поверхні шляхом налаштування інтенсивності деформаційного впливу.

— вперше запропоновано комплексний методологічний підхід до вибору раціональних типів мікрорельєфів та технологічних режимів їх формування, що базується на інтеграції даних про шорсткість, мікротвердість та здатність поверхні утримувати мастило на етапі проєктування технологічного процесу.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

В першому розділі проведено комплексний аналіз причин зміни експлуатаційних властивостей робочих поверхонь відповідальних деталей машин, зокрема конусних дисків автомобільних варіаторів та деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання. Автором встановлено, що основною причиною відмов є адгезійне схоплювання металу внаслідок високих питомих тисків і температур. Здійснено критичний огляд існуючих технологічних способів забезпечення експлуатаційних властивостей, що дозволило сформулювати робочу гіпотезу щодо ефективності застосування регулярних мікрорельєфів як засобу запобігання експлуатаційним дефектам.

В другому розділі викладено теоретичне обґрунтування параметрів регулярних мікрорельєфів, сформованих на плоских поверхнях. Здобувач розробив алгоритм проведення дослідження, отримав аналітичні залежності для розрахунку відносної площі мікрорельєфу F_e з урахуванням геометричних параметрів канавок та технологічних режимів їх формування. Побудовано графічні залежності, які дозволяють визначати вплив технологічних режимів (подачі, частоти осциляцій, кроку канавки) на топографію поверхні ще на етапі проєктування технологічного процесу.

В третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень впливу типу мікрорельєфу та режимів його формування на

геометричні параметри (шорсткість R_a , R_z , R_{ak2} , $R_{mc(25\%)}$) та експлуатаційні властивості – маслоємність поверхонь. Експерименти проводилися на 31 дослідному зразку за допомогою верстата з ЧПК HAAS TM 1, а опрацювання отриманих даних здійснювалося за методикою ANOVA. Встановлено оптимальні діапазони режимів формування мікрорельєфу та типи мікрорельєфу, які забезпечують мінімальну шорсткість та максимальну маслоємність поверхонь.

В четвертому розділі досліджено мікротвердість та мікроструктуру поверхонь із частково регулярними мікрорельєфами на зразках із нержавіючої сталі AISI 304L. Автор побудував регресійні моделі для оцінки впливу подачі інструменту на мікротвердість у зонах виступів та впадин канавок, а також проаналізував структурно-фазові зміни в поверхневому шарі, зумовлені пластичною деформацією. Крім цього встановлено оптимальний тип мікрорельєфу, що забезпечує максимальні значення мікротвердості поверхні. Розділ також містить опис розробленого автором способу формування мікрорельєфу вібраційним обкочуванням (захищеного патентом) та наводить дані щодо практичного впровадження результатів дослідження.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Семегена В.О. обґрунтовано коректним використанням математичного апарату теорії малих вибірок, методів математичного й комп'ютерного моделювання (MathCAD, SolidWorks, Statistika), а також сучасних методів планування та опрацювання результатів експериментальних досліджень за методикою багатofакторного регресійного аналізу ANOVA. Достовірність теоретичних досліджень підкріплено експериментальною верифікацією на 27 дослідних зразках з повторним 3-х та 5-ти кратним вимірюванням досліджуваних параметрів для різних серій експериментів, що продемонструвало високу відповідність розрахункових параметрів фактичним результатам, отриманим під час випробувань.

Обґрунтованість сформульованих у дисертаційній роботі наукових положень та висновків є достатньою. Вона базується на ґрунтовному аналізі сучасного стану технологій забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин, дослідженні існуючих способів формування регулярних мікрорельєфів, чіткій постановці завдань дослідження, застосуванні передових методів експериментального визначення параметрів якості (шорсткості, маслоємності, мікротвердості), а також якісному та логічному формулюванні загальних висновків.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих математичних моделей і технологічних рішень підтверджуються результатами проведених експериментів та коректним застосуванням наукових підходів. Зокрема, побудова аналітичних залежностей для відносної площі мікрорельєфу, статистична валідація отриманих регресійних моделей із застосуванням критеріїв дисперсійного аналізу, а також вимірювання фізико-механічних властивостей на сучасному вимірювальному обладнанні (Mitutoyo SurfTest SJ-301, HVS-1000) забезпечують надійну математичну та експериментальну основу для оптимізації процесів формування мікрорельєфів.

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації логічно впливають з отриманих результатів. Верифікація розроблених моделей, методів та технологічних рішень підтвердила коректність функціонування запропонованої технології та її відповідність поставленим завданням. Тому можна стверджувати, що отримані в роботі висновки та практичні рішення є коректними, достатньо обґрунтованими й можуть бути рекомендовані для використання у системах технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин.

6. Практичні результати роботи

Практична цінність отриманих результатів полягає у їх реалізації у вигляді аналітичних залежностей, методик розрахунку та технічних рішень для забезпечення заданих параметрів якості плоских робочих поверхонь деталей машин. На їх основі розроблено комплексну методику вибору раціональних

режимів формування частково регулярних мікрорельєфів (ЧРМР), що дозволяє забезпечувати необхідні експлуатаційні властивості (зносостійкість, маслоємність) залежно від умов експлуатації. Використання запропонованих аналітичних моделей дозволяє прогнозувати зміну мікротвердості, шорсткості та маслоємності поверхні на стадії технологічного проектування. Це сприяє мінімізації ризиків утворення адгезійних дефектів (задирок), уніфікує процедуру призначення режимів вібраційного обкочування та надає інженерно-технічному персоналу структуровану базу для забезпечення довговічності високонавантажених пар тертя.

Результати дисертаційного дослідження знайшли практичне застосування у виробничій діяльності ТзОВ «Булат» (м. Тернопіль), де впроваджено методику розрахунку параметрів регулярних мікрорельєфів для підвищення експлуатаційної надійності рухомих частин обладнання. Крім того, результати досліджень оптимальних параметрів частково регулярних мікрорельєфів для забезпечення маслоємності поверхонь пар тертя впроваджено у наукову та освітню діяльність кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (зокрема при викладанні дисципліни «Автомобільні двигуни»). Технічні рішення, розроблені в роботі, захищені патентом України на корисну модель № 153223 «Спосіб формування регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях вібраційним обкочуванням», що засвідчує науково-технічну новизну та готовність розроблених методологій до реального використання в промисловості та машинобудуванні.

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

Структура дисертаційної роботи включає анотацію, вступ, чотири основні розділи, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Основний зміст викладено на 129 сторінках друкованого тексту. Робота містить 106 рисунків, 37 таблиць та 14 додатків. Бібліографічний список налічує 117 позицій. Дисертацію оформлено згідно з «Вимогами до оформлення дисертації»,

затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 року № 40.

Структура дисертаційної роботи є логічною та зв'язною. Основні висновки та рекомендації логічно випливають з отриманих у розділах роботи результатів. Список використаних джерел містить сучасні праці, що відповідають предметній області дослідження.

У дисертації не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів інших науковців без зазначення посилань на відповідні джерела. Використання матеріалів інших дослідників здійснено з дотриманням вимог наукової етики та містить належні посилання на відповідні джерела.

Результати дисертаційного дослідження висвітлено у 12 наукових публікаціях, з яких 3 статті опубліковано у міжнародних журналах, що індексуються наукометричною базою Scopus (зокрема Q2, Q3), 2 статті у фахових наукових виданнях України категорії Б, 6 праць представлено на конференціях, а також отримано 1 патент України на корисну модель. За кількісними та якісними показниками наукових публікацій дисертаційна робота повністю задовольняє критерії «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Ключові наукові положення дисертації адекватно представлено в опублікованих наукових працях автора.

Оприлюднення наукових результатів дисертанта в рецензованих наукових виданнях, що здійснюють контроль матеріалів на предмет відсутності неправомірних запозичень, є додатковим свідченням дотримання норм академічної доброчесності. За підсумками аналізу дисертаційної роботи Семегена В.О. фактів порушення академічної доброчесності не виявлено. Забезпечено дотримання критеріїв щодо кількісних та якісних показників публікацій.

8. Мова та стиль дисертаційної роботи

Виклад матеріалу в дисертаційній роботі здійснено українською мовою з дотриманням норм академічного стилю. Текст роботи є логічно структурованим: окремі підрозділи послідовно підпорядковано загальній логіці дослідження, а перехід від теоретичних побудов до експериментальних результатів і прикладних реалізацій виглядає природним. Стиль викладу витриманий, формулювання чіткі, понятійний апарат застосовується послідовно протягом усієї дисертації, що сприяє точному сприйняттю наукових результатів читачем. Тема, зміст та отримані наукові результати дисертаційної роботи повністю відповідають спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

9. Зауваження до дисертації

1. Робота базується на припущенні, що маслоємність та мікротвердість однозначно корелюють зі зносостійкістю. Проте в дисертації бракує результатів безпосередніх трибологічних випробувань (наприклад, на машинах тертя типу "диск-колодка"), які б емпірично підтвердили зміну коефіцієнта тертя і зносостійкості на довговічність поверхонь із даними типами мікрорельєфів.

2. Для параметрів R_{ak} та $R_{mc(25\%)}$ отримані низькі значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 72\%$). Варто було б детальніше проаналізувати причини розсіювання даних: чи пов'язано це з похибками вимірювального приладу, чи з нелінійним характером самого процесу формування канавок (особливо при їх перетинанні), що потребує введення додаткових змінних у регресійну модель.

3. В огляді літератури порівнюються різні методи текстурювання. Варто було б навести порівняльну таблицю енергоємності та собівартості формування мікрорельєфу запропонованим вібраційним методом порівняно з фрезерними методами на ЧПК, що допомогло б потенційним користувачам обрати оптимальний технологічний варіант.

4. У тексті наявна певна термінологічна неоднорідність: автор використовує терміни «частково регулярні», «квазірегулярні» та «регулярні» мікрорельєфи. Доцільно було б навести чітку класифікаційну ознаку (наприклад,

за відсотком покриття поверхні або характером розподілу канавок) для кожного з цих понять у межах роботи.

5. На деяких графіках залежностей (рис. 2.8, 2.9, 2.12, 2.13) спостерігається висока щільність ліній одного типу, що ускладнює їх візуальну ідентифікацію при аналізі впливу кожного окремого параметра ($n_{d.m}$ або S_{n3}). Рекомендується використовувати маркування ліній або різні типи штрихування для покращення читабельності результатів.

6. Опис процедури нанесення мідного покриття для металографічних шліфів є цікавим, проте було б доцільно вказати, чи не впливає процес електрохімічного нанесення на мікроструктуру сталі AISI 304L у зоні контакту, особливо з урахуванням подальшого травлення.

7. У четвертому розділі при обговоренні мікроструктури сталі AISI 304L згадується утворення деформаційного мартенситу. Проте висновок про його наявність базується переважно на непрямих даних по аналізу мікротвердості. Було б науково вагомішим навести результати рентгеноструктурного аналізу, який підтвердив би відсотковий вміст мартенситної фази у зоні пластичної деформації.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Семегена Володимира Олеговича на тему «Забезпечення параметрів якості при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує науково-практичне завдання, що має істотне значення для підвищення зносостійкості та довговічності високонавантажених пар тертя деталей машин.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю 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 року №44.

Здобувач Семенен Володимир Олегович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Офіційний опонент.

Професор кафедри механіки
Національного університету біоресурсів
і природокористування України,
доктор технічних наук, професор


21.07.26р.

Микола ЧАУСОВ

