

ВІДГУК

офіційного опонента, д.т.н, професора Марчука Віктора Івановича
на дисертаційну роботу Дзюри Володимира Олексійовича
*«Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь тіл
обертання технологічними методами»*,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності
05.02.08 – технологія машинобудування

1. Актуальність теми дослідження

Одним з найбільших класів деталей у номенклатурі машинобудівних виробництв є клас «тіла обертання». Деталі цього класу, зокрема довгомірні пустотілі циліндри (гільзи гідроциліндрів автомобільних кранів, гідроциліндрів механізмів керування муфтами зчеплення, циліндрів підсилення механізмів повороту автомобілів, гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання) та диски (конусні диски варіаторних трансмісій, корпуси торцевих підшипників тощо), в основному, працюють у спряженні з іншими деталями та забезпечують передавання руху від одного рухомого об'єкта до іншого. Тому забезпечення необхідної якості робочих поверхонь цих деталей і, як наслідок, заданих експлуатаційних властивостей є важливим завданням машинобудівного виробництва.

Важливими параметрами якості обробленої поверхні є її точність і шорсткість. Однак забезпечення цих параметрів не завжди забезпечує належні експлуатаційні властивості робочих поверхонь деталей механізмів та машин.

Для деталей класу «тіла обертання», які працюють у важких умовах експлуатації, важливою експлуатаційною властивістю робочих поверхонь є маслоємність та зносостійкість поверхні, які забезпечуються технологічною операцією віброобточування шляхом формування на цих поверхнях регулярних мікрорельєфів. Оцінювання експлуатаційних властивостей за параметрами якості поверхні можна проводити за профілограмою шорсткості поверхні, використовуючи групу параметрів діаграми Аббота-Фаерстоуна. Таке оцінювання регламентоване стандартом ISO 4287 1996 й усуває необхідність у проведенні експлуатаційних випробувань.

Усі ці аргументи вказують на необхідність і актуальність створення наукових основ забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей класу «тіла обертання» технологічними методами на основі аналізу умов експлуатації.

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

Дисертаційне дослідження виконано згідно з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України 06 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі» та в рамках 6-ти науково-дослідних робіт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема таких: «Підвищення ефективності формування якісних параметрів робочих поверхонь деталей машин», №

держреєстрації 0115U002454 «Створення нового покоління методів фрактодіагностування матеріалів і конструкцій на основі використання нейронних мереж», № держреєстрації 0119U001323, «Розроблення діагностичного комплексу на базі глибоких нейронних мереж для розпізнавання множинних поверхневих дефектів металоконструкцій», № держреєстрації 0120U101924 та протоколу намірів про науково-технічне співробітництво із ПАТ «Дрогобицький завод автомобільних кранів» від 28 серпня 2012 року.

3. Наукова новизна роботи

Наукова новизна роботи полягає в розвитку експериментальних і теоретичних методів технологічного забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей класу «тіла обертання» з врахуванням комплексного підходу та умов експлуатації для забезпечення необхідної їх зносостійкості й маслоємності:

- отримав подальший розвиток комплексний підхід до забезпечення параметрів якості поверхонь деталей класу «тіла обертання» на основі статистичних методів оцінювання на етапі механічного оброблення, з врахуванням умов їх експлуатації;

- розроблено теоретичні засади врахування впливу технологічної спадковості на точність форми поперечних перерізів циліндричних поверхонь, отриманих на операціях технологічного процесу;

- розроблено новий метод визначення впливу осьової подачі, форми та розмірів циліндричної поверхні сформованої токарними операціями на її мікрогеометрію, та встановлено основні закономірності цього впливу;

- вперше розроблено нову математичну модель динамічного процесу формування регулярного мікрорельєфу на внутрішній циліндричній поверхні з урахуванням силових характеристик процесу формування регулярних мікрорельєфів та кінематику руху деформуючого інструменту;

- вперше розроблено класифікацію частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання», які враховують їх характеристики на основі введеного поняття кутового кроку канавки та запропоновано множину варіантів нових математичних моделей описування їх геометричних особливостей та взаємного розташування;

- вперше отримано математичні моделі частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання», які описують взаємозв'язок геометричних параметрів мікрорельєфу із режимами формоутворення на операції накатування та дозволяють отримати координати опорних точок для керуючих програм для верстатів з ЧПК.

4. Практична цінність роботи

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблені в роботі методи та прийняті технічні рішення створили комплексну основу для створення раціональних технологічних процесів виготовлення внутрішніх циліндричних і торцевих поверхонь деталей класу «тіла обертання», в структурі яких відпала

потреба використання складних та вартісних операцій тонкого оброблення. Скорочення кількості викінчувальних операцій на завершальному етапі виготовлення таких деталей забезпечує істотне зменшення витрат та підвищення ефективності технологічних процесів одночасно з досягненням високих експлуатаційних параметрів поверхонь під час роботи деталей у спряжених парах завдяки формуванню заданих мікрорельєфів.

Вперше з використанням фрезерних верстатів з ЧПК розроблено спосіб формування частково регулярного мікрорельєфу, який забезпечує однакову відносну площу мікрорельєфу V-подібної форми I і II виду, сформованого на різній відстані від центра обертання торцевої поверхні. Розроблено програмне забезпечення для побудови математичної моделі профілю шорсткості поверхні на основі параметрів профілограми.

Встановлено вплив зусилля деформування, швидкості подачі та осьового кроку канавок на середнє значення ширини канавки сформованого на торцевій поверхні деталей класу «тіла обертання» частково регулярного мікрорельєфу. Отримано регресійні залежності, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи, які описують вплив цих параметрів на ширину канавки в межах, встановлених при проведенні експерименту, рівнів варіювання змінних факторів.

Розроблено інструментальне забезпечення та інженерні методики розрахунку конструктивних параметрів інструментів для забезпечення запропонованих технологічних операцій механічного оброблення та формування регулярних мікрорельєфів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у вигляді конструкцій інструментів, методик розрахунку параметрів оброблення в цілому або його складових на ТОВ «ВКФ ДЗАК» (м. Дрогобич), ТОВ «ОСП Корпорація Ватра» (м. Тернопіль). Також результати впроваджено у вигляді комплексу комп'ютерних програм та його складових на кафедрі інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Окремі методики для оцінювання параметрів якості поверхонь на основі теорії малої вибірки впроваджено в навчальний процес на кафедрах приладів і контрольно-вимірювальних систем, автомобілів та верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. На впроваджений комплекс програм отримано два свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми. Інші технічні рішення захищені понад двадцятьма патентами на корисні моделі й п'ятьма патентами України на винахід.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність та новизна

Обґрунтованість наведених в дисертації наукових положень та висновків базується на успішному визначенні перспективних напрямів вирішення сформульованої проблеми, виборі адекватних моделей досліджень, опрацюванні недоліків та переваг існуючих методів забезпечення якості робочих поверхонь

деталей машин класу «тіла обертання», комплексним характером експериментів, сучасними математичними методами обробки їх результатів. Достовірність запропонованих положень забезпечується використанням базових положень теорії точності механічного оброблення, теорій пружності, пластичного деформування, методів математичної статистики й теорії імовірності, сучасних комп'ютерних систем і програмних продуктів.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Основний зміст викладено на 335 сторінках друкованого тексту. В роботі 106 рисунків, 37 таблиць, а також 13 додатків, список посилань містить 272 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й основні завдання, методи їх досягнення, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів досліджень, а також основні положення, які виносяться на захист. Наведено відомості щодо структури та обсягу роботи.

У першому розділі на основі огляду літературних джерел проаналізовано технологічні методи та засоби забезпечення якісних параметрів поверхонь деталей машин класу «тіла обертання». Проаналізовано результати досліджень у напрямі формування якісних параметрів поверхонь деталей машин. Розглянуто методи формування регулярного мікрорельєфу на поверхнях деталей класу «тіла обертання» деталей машин. Проаналізовано технічні вимоги до об'єктів досліджень. Встановлені недоліки існуючих технологічних процесів, які не забезпечують заданих експлуатаційних властивостей сформованих поверхонь.

У другому розділі описано методологію проведення досліджень формування якісних параметрів циліндричних поверхонь деталей машин класу «тіла обертання». Для цього розглянуто технологічну спадковість і точність форми поперечних перерізів циліндричних поверхонь об'єкту дослідження. Проаналізовано та оптимізовано технологічний процес формування внутрішньої циліндричної поверхні гільзи гідроциліндра на основі аналізу топографії її мікрорельєфу, утвореного на різних технологічних операціях. Розроблено ймовірно-статистичний метод оцінювання впливу подачі на шорсткість поверхні, сформованої точінням та ймовірно-статистичний метод оцінювання впливу кривини на шорсткість поверхні, сформованої токарною обробкою. Також розроблено спосіб аналітичного описування профілю поверхні, який дозволяє описати профіль шорсткості поверхні у вигляді математичної моделі.

У третьому розділі розроблено математичну модель динамічного процесу формування регулярного мікрорельєфу на внутрішній циліндричній поверхні деталі. Особливістю є те, що процес формування відбувається зосередженою силою, точка прикладання якої стосовно деталі змінюється в радіальному та осьовому напрямках. Запропоновано таку дію моделювати за допомогою дельта

функцій Дірака за лінійною та часовою змінними, використовуючи метод регуляризації вказаних особливостей, а відтак існуючі методи інтегрування відповідних нелінійних математичних моделей поздовжніх та поперечних коливань деталі, отримано аналітичні співвідношення які описують профіль мікрорельєфу.

У четвертому розділі класифіковано частково регулярні мікрорельєфи, сформовані на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання» у вигляді ієрархічної системи. Ознаками класифікації запропоновано прийняти: способи формування ЧРМ; форму осьової лінії НРМ; взаємне розташування суміжних канавок; взаємне розміщення осьових ліній НРМ; форми канавок. Проведено моделювання частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання» за допомогою блокового принципу, за яким кожна ознаку канавок мікрорельєфу описують системою окремих математичних залежностей, а для генерування будь-якого ЧРМ із множини можливих варіантів ці математичні залежності поєднують між собою. Наведено схему утворення множини варіантів канавок ЧРМ, що сформовані на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання». Отримано аналітичні залежності для визначення площі канавок трикутної форми частково регулярного мікрорельєфу, сформованого на торцевій поверхні деталей класу «тіла обертання». Проведено визначення оптимальних параметрів канавок частково регулярного мікрорельєфу I і II типу, сформованого на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання». Виведено залежності та області їх існування для визначення площі перекриття канавок ЧРМ III типу.

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень процесу формування частково регулярних мікрорельєфів на торцевих поверхнях деталей класу «тіла обертання». При цьому описано використане обладнання, спеціальний інструмент і програмне забезпечення для розрахунку координат спорних точок мікрорельєфу, обґрунтовано форму та розміри дослідного зразка. Описаний процес підготовки поверхні дослідного зразка до проведення повнофакторного експерименту, зокрема поділ зразка на сектори та зони. Розроблено програму і методику проведення експериментальних досліджень, при цьому вибрано та обґрунтовано досліджувані параметри та рівні їх варіювання. Отримані експериментальні дані перевірені на однорідність за критерієм Гребса та статистично опрацьовано. На основі результатів повнофакторного експерименту встановлено вплив зусилля деформування, швидкості подачі та осьового кроку канавок на середнє значення ширини канавки сформованого частково регулярного мікрорельєфу, сформованого на торцевій поверхні деталей класу «тіла обертання». Отримано регресійні залежності, поверхні відгуку та двомірні їх перерізи, які описують вплив цих параметрів на ширину канавки в межах, встановлених при проведенні експерименту, рівнів варіювання змінних факторів.

У шостому розділі розроблено конструкцію та методику розрахунку основних конструктивних параметрів дворіцевої адаптивної розточувальної головки. Розроблено конструкцію інструменту для формування регулярних мікрорельєфів

на внутрішніх циліндричних поверхнях довгомірних циліндричних заготовок вібраційним обкочуванням та методику розрахунку основних конструктивних параметрів інструмента. Також визначено вплив розміщення деформувальних елементів на параметри регулярного мікрорельєфу. Розроблено кінематичну схему токарного верстата із жорстко зв'язаним кінематичним зв'язком для формування регулярних мікрорельєфів на довгомірних циліндричних поверхнях. Розроблено спосіб вимірювання шорсткості відповідальних циліндричних поверхонь, отриманих методами протягування та прошивання.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, за структурою, мовою і стилем написання відповідає вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій.

7. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 71 науковій праці, із них 10 – у фахових наукових періодичних виданнях України (5 – без співавторів), 10 наукових статей у міжнародних журналах, індексованих у наукометричній базі Scopus (Q 2), 24 – матеріали наукових конференцій. Отримано 27 об'єктів права інтелектуальної власності, з яких 5 – патенти на винаходи, 20 – патенти на корисні моделі, 2 – свідоцтва реєстрації авторського права на твір.

8. Проте, є низка зауважень по дисертації, зокрема:

1. В першому розділі дисертаційної роботи при аналізі технологій оброблення робочих поверхонь деталей класу «тіла обертання» доцільно було б більше уваги приділити обмеженням щодо застосування технологій, які виникають внаслідок конструктивних особливостей поверхонь, зокрема внутрішніх циліндричних поверхонь довгомірних заготовок, якість яких необхідно забезпечити.
2. В першому розділі дисертаційної роботи на рис. 1.4 наведено порівняльну діаграму різних методів чистової обробки і досягнутої при цьому шорсткості поверхні, однак по осі ординат не вказано розмірності, тому незрозумілим є величина, яка характеризує вартість обробки.
3. В другому розділі крім оцінювання точності форми поперечних перерізів гільз циліндрів автомобільних кранів доцільно було б дослідити точність форми їх повздовжніх перерізів, оскільки вони також впливатимуть на експлуатаційні властивості гільзи.
4. У другому розділі роботи п. 2.4 досліджувався вплив форми та розмірів циліндричної поверхні на її шорсткість, сформовану токарною обробкою. Дійсно встановлено, що вказані геометричні особливості циліндричних

поверхонь впливають на значення параметра шорсткості при такій обробці, однак яким чином здійснювати врахування цього впливу не визначено.

5. У розділі 2.5 дисертаційної роботи розроблено алгоритм та програмне забезпечення для моделювання мікрорельєфу за даними отриманими за допомогою скануючого інтерференційного мікроскопа моделі Zygo NewView 6200, однак незрозуміло для чого отримувати математичну модель профілю шорсткості поверхні, якщо мікроскоп дозволяє отримати його профілограму?
6. У таблиці 4.1 наведено характеристики регулярних мікронерівностей, а на сторінці 196 дисертаційної роботи зображено мікронерівності V-подібної форми. Чи будуть наведені аналітичні залежності справедливими для канавок синусоподібної форми мікронерівностей чи лише для V-подібної форми?
7. У тексті дисертації зустрічаються неточності та стилістичні помилки.

Також є кілька недоліків у оформленні автореферату:

1. На титульній сторінці є опечатка у назві спеціальності. Зараз «технології», а має бути «технологія».
2. В списку основних праць у [2] не вказано рік видання, має бути 2017.
3. У підписі до рис. 7 описано чорні точки, проте на графіках їх немає.

9. Загальний висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Не зважаючи на виявлені недоліки, загалом, дисертаційна робота *Дзюри Володимира Олексійовича «Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь тіл обертання технологічними методами»*, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технології машинобудування, є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну проблему забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей машин класу «тіла обертання» з урахуванням комплексного підходу та умов експлуатації шляхом оптимізації структури технологічних процесів за параметрами якості після кожної технологічної операції та забезпеченні прогресивних режимів обробки з допомогою статистичних методів оцінювання. При цьому фізико-механічні параметри якості, які забезпечують експлуатаційні властивості поверхонь, пропонується забезпечувати операціями ППД із формуванням регулярних мікрорельєфів

Робота відповідає паспорту вказаної спеціальності, а також чинним вимогам до докторських дисертацій, а *Дзюра В.О.* заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент:

Професор кафедри прикладної механіки і мехатроніки
Луцького національного технічного університету,
заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор

Марчук Віктор Іванович



підпис засвідчую:
учений секретар
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
доц. А.Земко