

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДАХНЮК ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ



УДК 621.822. 1

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ
СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОПЕРАЦІЯХ МЕХАНІЧНОГО
ОБРОБЛЕННЯ

05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Луцьк – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Заблоцький Валентин Юрійович,
Луцький національний технічний університет,
завідувач кафедри «Електроніки та телекомунікацій»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Ларшин Василь Петрович
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри «Технології машинобудування»

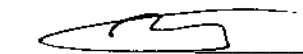
кандидат технічних наук, доцент,
Дзюра Володимир Олексійович
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,
доцент кафедри «Транспортних технологій»

Захист відбудеться «19» жовтня 2017 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 32.075.06 в Луцькому національному технічному університеті за адресою: 43000, м. Луцьк, вул. Потебні, 56.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Луцького національного технічного університету за адресою: 43000, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Автореферат розісланий «18» вересня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Лапченко Ю.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комплексний підхід до технологічного забезпечення зносостійкості деталей заснований, з одного боку, на оцінці показників якості деталей, які характеризують їх геометричну форму, якість поверхневого шару та об'ємні властивості, в залежності від технологічних факторів та, з іншого боку, на прогнозуванні експлуатаційних властивостей: контактної жорсткості, корозійної стійкості, тощо деталей в залежності від їх показників якості.

Якщо розглядати множину експлуатаційних властивостей і показників якості деталі, очевидно, що окремим елементам множини властивостей відповідають підмножини показників, які в загальному випадку перетинаються. Таким чином, відокремлені показники якості не можуть гарантувати задані експлуатаційні властивості деталі в цілому, тому необхідно забезпечити певну сукупність взаємопов'язаних показників.

Для забезпечення якості спряжених деталей, до яких висуваються підвищені вимоги щодо забезпечення точності їх виготовлення, необхідно враховувати дві складові похибок показників: перша складова є характерною безпосередньо для процесу оброблення, друга має спадкову природу, тобто визначається попередніми технологічними процесами. Усунення другої складової похибки має комплексний характер, оскільки передається поопераційно та є стійкою і за спроби її усунення на викінчувальних операціях проявляє себе в період експлуатації. Якщо під час виготовлення деталей заданої точності спадкова складова являє собою незначну частину допуску показника, то при виготовленні фрикційних деталей вона становить його основну частину, а в деяких випадках і складає загальний допуск.

Крім того, слід враховувати взаємний вплив показників якості, тобто зміни одного показника в залежності від іншого і зміни другого показника в залежності від першого, які проявляються на одному і тому самому технологічному переході. В даний час вивченню цього явища приділяється недостатньо уваги, хоча визнано, що такий вплив може істотно позначитися на значеннях показників якості, особливо при виготовленні прецизійних спряжених деталей.

Особливу складність являє виготовлення різних деталей типу тіло обертання, дотичні поверхні яких обмежені складним фасонним профілем, оскільки в даному випадку складові сили різання, параметри режиму оброблення, а, отже, і величини показників якості можуть змінюватися уздовж профілю. Фасонні поверхні деталей типу тіл обертання можуть працювати, як в парі з відповідними фасонними поверхнями, так і практично з будь-якими іншими поверхнями, наприклад площинами, циліндрами, торами та ін.

У роботі в якості базової деталі використано тіло обертання, що має ряд фрикційних поверхонь з регламентованими вимогами, зокрема: діаметральні розміри контактних поверхонь, і лінійні розміри валів виконують за 7 квалітетом точності ISO; відхилення реального профілю від теоретично не має перевищувати 0,01 мм; шорсткість функціональних поверхонь повинна бути в межах $Ra=0,4...1,6$ мкм.

Під час експлуатації дана деталь піддається різним видам зношування і знакозмінних навантажень. Найбільш важливими експлуатаційними властивостями є зносостійкість, контактна жорсткість, втомна міцність, корозійна стійкість.

Експлуатаційні властивості залежать від таких показників якості поверхні, як шорсткість, мікротвердість (твердість поверхневого шару), залишкові напруження, глибина і ступінь зміцнення.

Експлуатаційні показники якості робочої поверхні формуються, в основному, на заключній стадії чорнового процесу виготовлення, що виконується чистовим точінням. Це пов'язано з тим, що в технологічному процесі передбачено об'ємне термічне оброблення, яке може викликати суттєві деформації заготовки, що зумовлює досить великі (до 0,5 мм) припуски на чистове оброблення профілю.

Передбачити формування необхідних значень показників якості доцільно вже на етапі технологічної підготовки виробництва. Принципи спрямованого формування показників якості деталей спрямовані на те, щоб при заданих значеннях показників якості готової деталі, відомому діапазоні значень показників якості вихідної заготовки з урахуванням інформації про їх трансформації, особливостях технологічної спадковості та з урахуванням взаємного впливу в процесі оброблення розробити ефективний технологічний процес і забезпечити отримання регламентованих експлуатаційних показників якості.

Таким чином, дослідження в напрямку створення технологічних процесів з урахуванням показників якості вихідної заготовки для спрямованого формування експлуатаційних характеристик робочих поверхонь спряжених деталей для підвищення зносостійкості фрикційних пар є **актуальними**, оскільки їх результати можуть принести значний вклад у підвищення зносостійкості та довговічності спряжених деталей типу тіло обертання, а отже, і якості продукції вітчизняного машинобудування, її конкурентоспроможності на світовому ринку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Приладобудування» Луцького національного технічного університету відповідно до плану держбюджетної теми: «Підвищення ефективності трибосистем шляхом оптимізації діапазону робочих частот вібрацій»; (№ держреєстрації 0117U000632, Наказ МОН України № 1296 від 31.10. 2016 р. та № 199 від 10.02. 2017 р.) згідно з координаційним планом Комітету з питань науки і техніки України, розділу «Машинобудування» (позиція 43) «Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні» на 2015 – 2020 роки.

Тематика та структура досліджень по дисертації відповідають плану науково-дослідних робіт кафедри «Приладобудування» Луцького НТУ.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення технології формоутворення функціональних поверхонь спряжених деталей на токарних операціях для підвищення надійності та довговічності вузлів машин.

Для досягнення мети в роботі поставлені наступні завдання:

1. Встановити взаємозв'язки технологічних методів механооброблення з експлуатаційними параметрами функціональних поверхонь фрикційних пар вузлів машин;
2. Виявити причини втрати зносостійкості робочих поверхонь пар тертя вузлів деталей машин та визначити технологічні методи керування відхиленнями реального профілю функціональної поверхні на токарно-автоматних операціях;

3. Розробити математичну модель контактної взаємодії інструменту та заготовки на токарно-автоматних операціях з метою направлено впливу на формування параметрів геометричної структури поверхні оброблених деталей;

4. Дослідити процес формування мікронерівностей на операціях токарного оброблення з урахуванням впливу динамічної системи технологічного обладнання та ріжучого профілю інструмента;

5. Провести експериментальні дослідження механізму формування шорсткості функціональних поверхонь заготовок фрикційних пар деталей машин;

6. Виконати перевірку адекватності розроблених математичних моделей відносно отриманих результатів експериментальних досліджень;

7. Розробити інженерну методику вибору раціональних умов оброблення фрикційних пар на стадії технологічного проектування з урахуванням формування топографії функціональної поверхні за принципом технологічної спадковості.

Об'єктом дослідження є процес формування проектних технологічних рішень рівня маршрутно-операційної технології оброблення функціональних поверхонь спряжених деталей типу тіл обертання.

Предмет дослідження – закономірності формування макро- та мікрогеометричних параметрів функціональних поверхонь спряжених деталей на токарних операціях.

Методи дослідження. Базою для проведених досліджень служили наукові основи технології машинобудування, теорія колювання пружних систем, теорія надійності машин і сучасна теорія та практика дослідження надійності технологічного забезпечення якості та експлуатаційних властивостей деталей машин, фізико-статистична теорія формування геометричних параметрів поверхонь, теоретичні основи технологічного забезпечення параметрів стану поверхневого шару та експлуатаційних характеристик деталей на стадіях їх виготовлення, методи розв'язання диференціальних рівнянь для моделювання системи динаміки; методи планування експерименту й математичної статистики для проведення експериментальних досліджень, аналізу та подальшого оброблення їх результатів.

В ході досліджень та аналізу геометричної структури поверхонь для визначення параметрів мікрорельєфу утворених поверхонь використовувалось наступне метрологічне устаткування: автоматизований дослідницький комплекс на базі профілографа-профілометра моделі 101, координатно-вимірвальна машина WENZEL LH 108, установка «ВНИПП-542» – для випробування підшипників кочення на довговічність.

Наукова новизна роботи полягає у виявленні закономірностей формування показників якості поверхневого шару деталі при токарному обробленні з урахуванням взаємного впливу формованих показників. **Для цього вперше:**

1. Розроблено технологію токарного оброблення із застосуванням ітераційного підходу для формування мікрогеометричних характеристик спряжених поверхонь пар тертя, що за якісними характеристиками відповідають поверхням, отриманим на викінчувальних шліфувальних операціях;

2. Встановлено взаємозв'язки технологічних методів механооброблення з формуванням параметрів зносостійкості функціональних поверхонь в контексті

закономірностей формоутворення стійкого експлуатаційного стану з урахуванням фактору технологічної спадковості;

3. На підставі розроблених математичних моделей підтверджено гіпотезу наявності відхилень реального профілю функціональної поверхні, встановлено причини та запропоновано шляхи мінімізації даного явища за рахунок застосування прогресивної технологічної методики механічного оброблення;

4. Розроблено модель динаміки технологічного процесу лезового оброблення з метою визначення превалюючої складової сили різання для раціонального вибору та призначення технологічних режимів механічного оброблення;

5. Запропоновано методику селективного оброблення дотичних поверхонь пар та рекомендації щодо особливостей складання вузлів фрикційних пар;

6. Запропоновано спосіб оцінки параметрів зносостійкості функціональних поверхонь пар тертя із застосуванням теорії елементарних циліндричних поверхонь;

7. Встановлено вплив структури інструментального налагодження токарно-автоматної операції на ефективність процесу механічного оброблення.

Практичну цінність роботи визначають:

1) розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє для спряжених деталей плунжерних пар, обчислювати, з одного боку, показники якості при заданих параметрах технологічної системи, з іншого боку, параметри технологічної системи, що забезпечують регламентовані показники якості;

2) методика проектування технологічного процесу з урахуванням взаємовпливу формованих показників якості, яка включає в себе трьохрівневе моделювання процесу формування показників якості, що припускає розробку структурної, математичної та комп'ютерної моделей;

3) рекомендації щодо вибору ЗОР для токарної операції технологічного процесу виготовлення фрикційних пар;

4) спосіб визначення показників шорсткості функціональної поверхні під час лезового оброблення. Запропоновано формулу визначення циклічної частоти коливань інструменту з урахуванням формування профілю поверхні в радіальному та осьовому напрямках.

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані дисертантом самостійно.

Особистий внесок дисертанта в роботах, що виконаних у співавторстві [1, 2, 4-19] та одноосібно [3], полягає в обґрунтуванні наукового напрямку [5, 8, 9]; формуванні мети роботи та розроблені методик експериментальних досліджень [2, 10, 16]; участі в постановці й проведенні експериментальних досліджень [3, 4, 17, 18]; розроблені математичних моделей [11, 14, 18]; дослідженню зв'язків технологічних факторів з параметрами якості формоутворення поверхонь обертання та техніко-економічними показниками токарно-автоматних операцій [2, 6, 17]; формулюванні наукової новизни й основних висновків за результатами роботи [13, 15]; аналізі та узагальненні отриманих результатів дослідження [5, 7, 13, 17]; дослідженню технологічних особливостей вимірювання динамічних параметрів, мікрогеометрії робочих поверхонь спряжених деталей [1, 12, 19].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на наукових конференціях та семінарах, зокрема: Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів Актуальні задачі сучасних технологій (м. Тернопіль, 19-20 грудня 2014 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції Молодих учених та студентів, (м. Тернопіль, 25-26 листопада 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції: «Системи розробки та постановки продукції на виробництво» (м. Суми, 17-20 травня 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції: «Сучасні технології промислового комплексу» (м. Херсон, 14-18 вересня 2016 р.); II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» (м. Луцьк, 6-7 жовтня 2016 р.); Науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 18-21 квітня 2017 р.); XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (м. Київ, 29 червня - 1 липня 2017 р.). У повному обсязі робота доповідалась й отримала позитивний відгук на відкритому міжкафедральному науково-технічному семінарі Луцького національного технічного університету.

Публікації. Основний зміст і результати дисертаційного дослідження опубліковані в 19 друкованих працях, 6 з них надруковано у фахових виданнях, що входять до переліку ДАК Міністерства освіти і науки України, 1 у міжнародному науковому виданні, що входить до наукометричних баз Web of science та Scopus, 7 у тезах науково-технічних конференцій, 1 патент України на корисну модель, 1 монографія.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації – 194 сторінка машинописного тексту, в тому числі – 68 ілюстрацій, 15 таблиць, 8 додатків та список використаних джерел з 104 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет досліджень та завдання, які розв'язуються в роботі. Окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Сформульовано основні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі та вказано найважливіші результати, що виносяться на захист.

У першому розділі на підставі аналізу досліджень вчених: Э.В. Рыжова, А.Г. Суслова, В.Ф. Безъязычного, П.И. Ящерицына, А.М. Дальского, А.А. Маталина, Б.М. Базрова, В.П. Федорова, М.Л. Хейфеца, А.С. Васильева, А.И. Кондакова, М.С. Камсюка, В.І. Марчука та ін. встановлено, що надійність і довговічність деталей залежать від їх експлуатаційних властивостей, таких як зносостійкість, контактна жорсткість, корозійна стійкість, тощо. Дослідженнями функціональних поверхонь спряжених деталей встановлено, що експлуатаційні властивості забезпечуються показниками якості деталей, які характеризують геометричну форму, якість поверхневого шару і об'ємні властивості деталей. Виявлено, що розроблення способів забезпечення необхідних показників якості деталей машин є одним з основних напрямків розвитку технології машинобудування.

Встановлено, що однією з основних властивостей, які впливають на зносостійкість металів, є їх твердість, з підвищенням якої в умовах абразивного зношування зростає і зносостійкість функціональних поверхонь деталей. Крім того, на зносостійкість металів впливають такі їх фізико-хімічні властивості, як межа текучості, відносне видовження, ударна в'язкість, хімічний склад, атомна структура.

Швидкість зношування в основному залежить від виду тертя. В результаті зношування деталей, між ними збільшуються зазори, що призводить до різкого погіршення умов роботи у зв'язку зі зростаючою динамічністю робочих процесів і погіршенням умов змащення. Значна частина відмов машин відбувається в результаті зношування дотичних поверхонь. Тому завдання підвищення зносостійкості металевих матеріалів є важливою науково-технічною проблемою.

Здійснено аналіз причин втрати зносостійкості поверхні з урахуванням фізико-хімічних, структурних властивостей матеріалу деталей, властивостей зовнішнього середовища та особливостей абразиву, а також з режимами та умовами роботи фрикційних вузлів. Сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі здійснено аналіз можливостей спрямованого формування показників якості деталей на механообробних операціях.

За результатами аналізу відомих підходів до опису та моделювання показників якості деталей з позицій теорії технологічної спадковості, доцільною формою подання зміни показників якості обрана лінійна:

$$K_{ij} = K_{i(j-1)}(1 + k_i), \quad (1)$$

де K_{ij} , $K_{i(j-1)}$ – значення показника якості K_i заготовки після технологічних переходів j та $(j-1)$ відповідно; $i=1 \dots n$, де n – число показників якості заготовки; k_i – коефіцієнт технологічної спадковості для певного показника.

Зміна показника відповідно до формули (1) ілюструється на рис. 1.

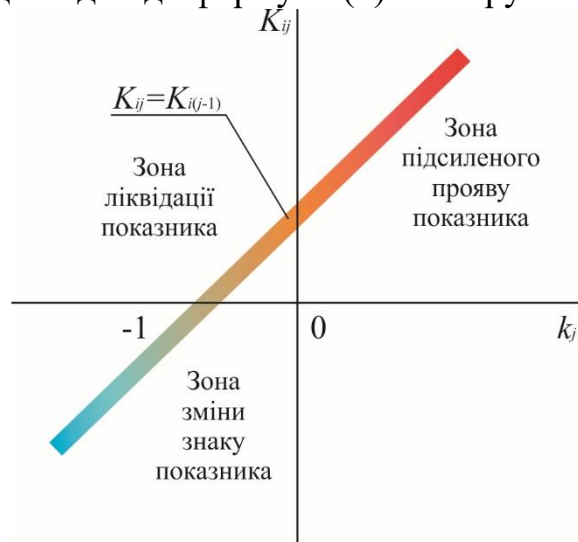


Рис. 1. Зміна показника якості K_i деталі під час зміни коефіцієнта технологічної спадковості k на переході j

Така форма подання дозволяє уникнути невизначеності в момент формування показника та під час зміни знаку коефіцієнта. В даному випадку, якщо в ході технологічного процесу значення показника якості стало рівним нулю, то в подальшому можливе «відновлення» його ненульового значення.

Для оцінки взаємного впливу показників якості деталі вирішено два завдання:

- 1) отримано кількісні оцінки впливу та їх статистичні характеристики в фіксованому часовому інтервалі;
- 2) визначено умови, час і закономірності прояву впливу.

Встановлено, що зносостійкість залежить від таких показників якості поверхні, як шорсткість, мікротвердість і залишкові напруження. На контактну жорсткість впливають відхилення форми, шорсткість, мікротвердість і величина залишкових напружень. Втомна міцність визначається в значній мірі фізико-механічними показниками, такими як залишкові напруження, глибина і ступінь зміцнення поверхні, мікротвердість, а також показниками шорсткості. Корозійна стійкість залежить в основному від шорсткості поверхні, залишкових напружень і в деякій мірі від мікротвердості. З основних технологічних варіантів оброблення і, зокрема, отримання фрикційних профілів кращим є варіант, що включає високопродуктивне токарне оброблення із застосуванням інструменту з надтвердого матеріалу. Цей варіант ТП (технологічного процесу) забезпечує отримання необхідних розмірної точності, шорсткості і зміцнення поверхні деталі.

Дослідження показали функціональний зв'язок формованих показників якості з показниками, отриманими на попередніх стадіях оброблення. Для лезового і шліфувального оброблення ці зв'язки представлено у вигляді схеми (рис. 2).

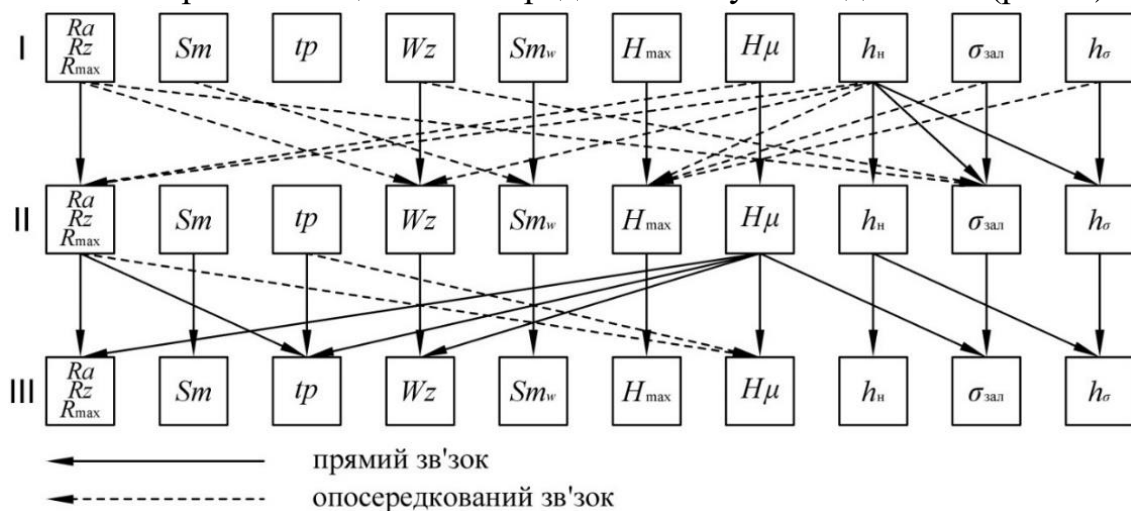


Рис. 2. Технологічна спадковість основних показників якості поверхневого шару деталей: I – вихідні показники якості поверхневого шару заготовки; II – показники якості отримані внаслідок лезового оброблення; III – показники якості отримані на шліфувальних операціях; Ra , Rz , R_{max} – параметри шорсткості; Sm – хвилястість в поздовжньому напрямку; tp – відносна довжина опорної лінії профілю шорсткості на рівні середньої лінії; Wz – середня висота хвиль поверхні контакту; Sm_w – хвилястість; H_{max} – максимальна висота мікровідхилень поверхні; H_{μ} – поверхнева мікротвердість; h_n – пружне відновлення після проходження різця; $\sigma_{зал}$ – залишкові поверхневі напруження; h_{σ} – висота профілю відносно середньої лінії

З метою дослідження формування технологічного мікрорельєфу в процесі припрацювання, проведено дослідження характеру змін робочих поверхонь спряжених деталей з метою встановлення максимально наближеної операції механічного оброблення до даного процесу. Під час дослідження проведено аналіз

зміни основних характеристик мікрогеометрії і мікротвердості поверхневого шару в процесі припрацювання.

У якості об'єкта дослідження була взята пара, що працює в умовах граничного тертя: $P_d - 0,8$ МПа; $v_d - 0,9$ м/с; мастило «Індустріальне-20». Матеріал спряжених деталей – сталь 95Х18, твердість HRC=58...60. Випробування на зношування проводилися на машині ВНИПП – 542 за схемою тертя плунжерної пари.

За результатами досліджень запропоновано показник Δ і побудовано залежності зміни безрозмірного комплексу Δ в процесі припрацювання (рис. 3). Ці залежності показують: незважаючи на значні коливання окремих характеристик мікрогеометрії, має місце певна закономірність монотонного зменшення комплексу Δ в процесі припрацювання, що характерно для методів токарного оброблення.

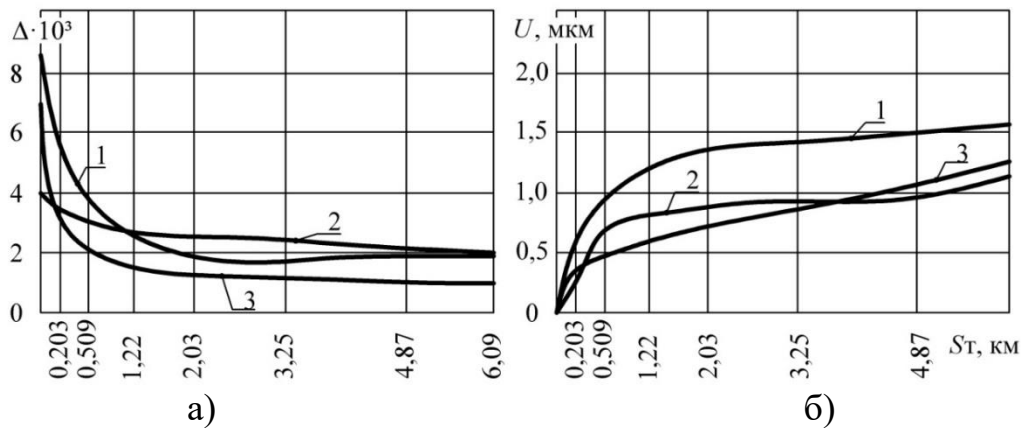


Рис. 3. Залежність безрозмірного комплексу Δ (а) і зносу зразків (б) від шляху тертя в процесі припрацювання для різних методів оброблення: 1 – шліфування; 2 – токарне оброблення; 3 – оброблення ППД (поверхнево-пластичного деформування)

Отримані дані підтверджують правильність використання безрозмірного комплексу Δ , як основної характеристики мікрогеометрії поверхні при вивченні процесів тертя і зношування. Отримане рівняння, описує залежності, яке було знайдено з трьох довільними постійними і виглядає, як:

$$\Delta = \Delta_{вих} - k \left(1 + \frac{1}{e^{Cx}} \right), \quad (2)$$

де x – число циклів зношування N або шлях тертя S_T , км; $\Delta_{вих}$ – значення безрозмірного комплексу після фінішного оброблення; C – коефіцієнт, що залежить від якості поверхневого шару, який визначається технологічними методами оброблення; k – коефіцієнт, що характеризує зміну величини безрозмірного комплексу залежно від вихідного стану $\Delta_{вих}$ до експлуатаційного стану робочого рельєфу $\Delta_{експ}$:

$$k = \Delta_{вих} - \Delta_{експ}. \quad (3)$$

Величина $\Delta_{експ}$ визначається умовами зношування (швидкістю, тиском, мастилом, матеріалом пари тертя, фізико-механічними властивостями). Тому можна стверджувати, що даний коефіцієнт пов'язує величину зміни безрозмірного комплексу Δ з умовами процесу тертя і зношування.

У третьому розділі шляхом створення та аналізу математичних моделей процесів різання встановлено, що під час оброблення на технологічну систему

впливають силові фактори, зміна яких пов'язана з нерівномірністю зрізаного шару, неоднаковою твердістю оброблюваного матеріалу, зносом інструменту, що в свою чергу, викликає появу відхилень форми заготовки і визначає залишкову глибину оброблення $t_{зал}$, рівну різниці між заданою глибиною t_3 і фактичною t_ϕ і, тим самим, величину відхилення $\Delta_{пр}$ реального профілю робочої поверхні деталі від теоретичного.

Аналіз складових сили різання дає можливість стверджувати, що визначені складові в різній мірі впливають на формування параметрів зносостійкості оброблюваних деталей. Так превалюючого впливу у даному випадку набуває складова сили різання P_η , Н, перпендикулярна до нормалі. Силу різання можна представити, як рівнодіючу розподіленого навантаження.

Розподілене навантаження підпорядковується закону, аналогічну до розподілу питомої сили різання:

$$p = k\delta^{\mu_0}, \quad (4)$$

де δ – поточна товщина шару, що зрізується, мм; k , μ_0 – коефіцієнти, що залежать від умов оброблення, $\mu_0 < 1$.

Вираз для визначення поточної товщини зрізаного шару $\delta = S_m \sin \varphi$ (де S_m – подача інструменту, мм/об), справедливий для випадку поздовжнього точіння, перетворюється з урахуванням того, що при обробленні контурів великої або змінної кривизни подача здійснюється кроковим переміщенням від попередньої точки L_i траєкторії інструменту до кожної наступної точки L_{i+1} .

Положення сусідніх точок визначає поточний кут α напрямку подачі (рис. 4):

$$\alpha = \arctg \frac{x - x_0}{\sqrt{R^2 - (x - x_0)^2}}, \quad (5)$$

де x_0 – координата центру окружності, що визначає профіль, мм; x – координата, що визначає положення інструменту, мм.

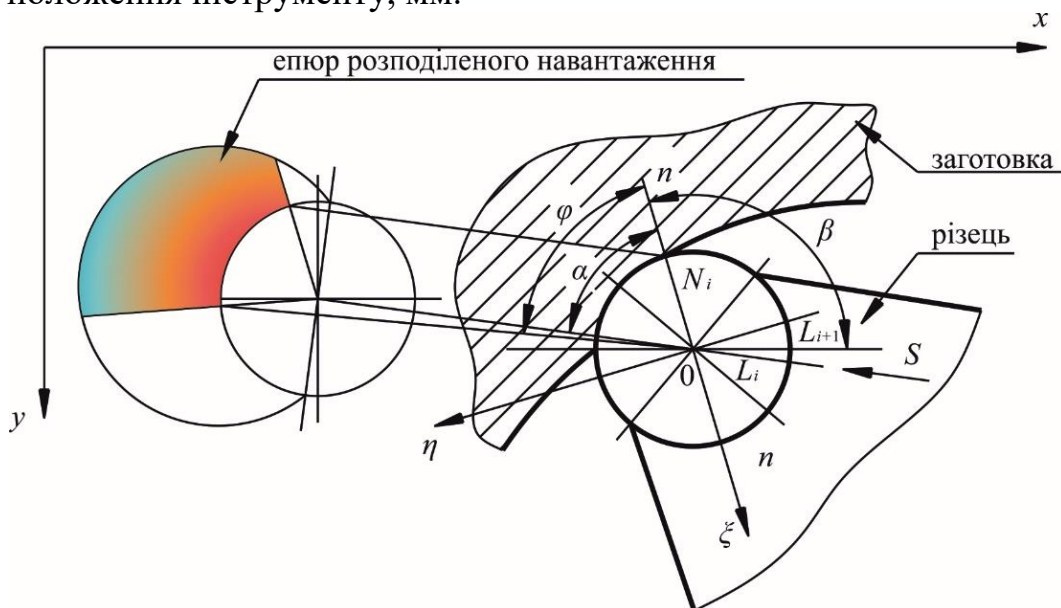


Рис. 4. Схема для визначення складових сили різання

З урахуванням наведених залежностей отримаємо:

$$p = A \cos^{\mu_0} (\varphi - \alpha). \quad (6)$$

Тоді складові сили різання: паралельну напрямку загальної нормалі інструменту і деталі P_ξ і перпендикулярну нормалі P_η – можна подати наступним чином:

Складова сили різання P_η , Н, перпендикулярна до нормалі, має вигляд:

$$P_\eta = \int_0^\varphi p \sin \varphi d\varphi = A \int_0^\varphi \cos^{\mu_0}(\varphi - \alpha) \sin \varphi d\varphi. \quad (7)$$

Після перетворення отримаємо:

$$P_\eta = A \left\{ \frac{\cos \alpha [\cos^{\mu_0+1} \alpha - \cos^{\mu_0+1}(\varphi - \alpha)]}{\mu_0 + 1} + \sin [f_{\mu_0+1}(\varphi - \alpha) - f_{\mu_0+1}(-\alpha)] \right\}, \quad (8)$$

де, в загальному вигляді, $f_{\mu_0+1}(\zeta) = \int_0^\zeta \cos^{\mu_0+1} v dv$; ζ, v – відповідні параметри функцій.

Вісь Oy визначає радіальний напрямок відносно заготовки, вісь Oz – дотичний. У розрахунках враховується радіальна складова P_y сили різання, оскільки вона має найбільший вплив на поперечний переріз заготовки. Систему диференціальних рівнянь, що описує динамічні процеси в технологічній системі механічного оброблення, можна представити у вигляді лінеаризованої двоконтурної моделі:

$$T_{y2}^2 \ddot{y} + T_{y1} \dot{y} + y = Q; \quad (9)$$

$$T_{z2}^2 \ddot{z} + T_{z1} \dot{z} + z = P_{ym};$$

$$T_Q \dot{Q} + Q = P_{ym} - T_{ky} \dot{y} - T_{kz2} \dot{z}; \quad (10)$$

$$T_P \dot{P}_{ym} + P_{ym} = -(k_y y + k_x x) - T_{kz1} \dot{z},$$

де T_{y1}, T_{z1} – постійні часу демпфування контурів y та z системи, с; T_{y2}, T_{z2} – постійні часу контурів y та z системи, с; T_P, T_Q – постійні затримки процесу різання, $T_P = \frac{l_P}{V}, T_Q = \frac{l_Q}{V}$, с; V – номінальна швидкість різання, м/с; l_P, l_Q – переміщення ріжучого інструменту в напрямку сил різання і тертя (відповідно в радіальному y і дотичному z напрямках) за час затримки τ_P і τ_Q сили різання від зсуву z і сили тертя від сили різання, мм.

Рівняння (10) відображає процес затримки ріжучого інструменту з кутом в плані $\varphi_P \neq 0^\circ$ при подачі S_m (мм/об) і глибині різання t_m , (мм). У цьому випадку потрібно розглянути коливання в радіальному y і осьовому x напрямках, так як необхідно врахувати криволінійність ріжучої крайки інструменту.

При обробленні зовнішньої поверхні крім головного обертального руху заготовки і поступального руху подачі інструменту мають місце лінійні гармонічні коливання в радіальному напрямку, тому на поверхні деталі утворюються нерівності в поздовжньому (що збігається з напрямком головного руху) і поперечному (перпендикулярному йому) напрямку (рис. 5).

Привід, що обертає заготовку, має великий запас потужності і достатню крутну жорсткість, в силу чого циклічну частоту головного руху можна прийняти постійною. Рух інструменту відносно заготовки в радіальному напрямку є сукупністю коливань з широким спектром частот. Високочастотні коливання впливають на шорсткість поверхні. Циклічну частоту головного руху позначимо

$\omega = \frac{\pi n}{30}$; циклічну частоту коливань інструменту – $p = 2\pi f$, де n – число обертів заготовки, об/хв; f – частота коливань інструменту, Гц.

На чистовому етапі лезового оброблення поздовжня шорсткість виникає при перенесенні (успадкуванні) вихідної шорсткості та значному впливі хвилястості поверхні. В ході попереднього аналізу встановлено, що на циклічну частоту коливань інструменту основний вплив має крок хвиль вихідної поверхні, вплив середнього кроку мікронерівностей вихідної поверхні незначний.

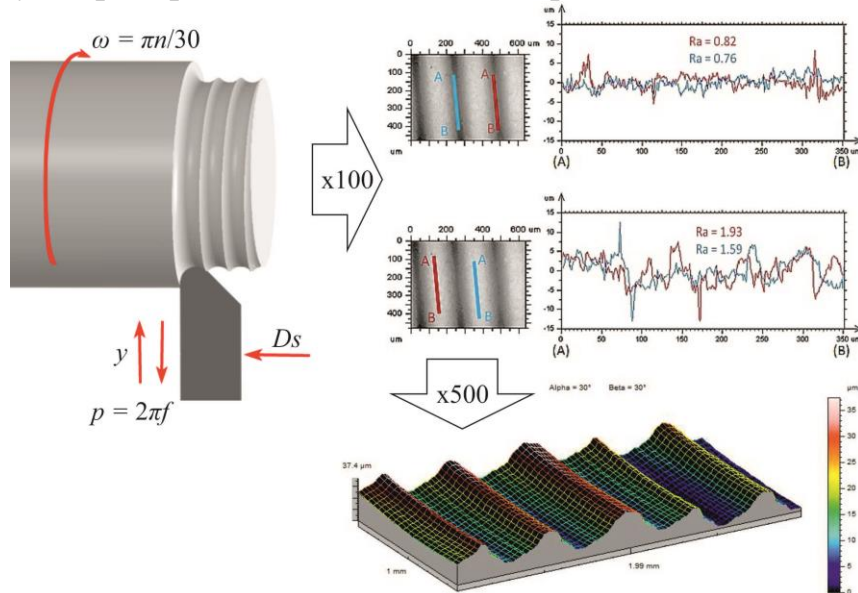


Рис. 5. Формування мікронерівностей під час токарного оброблення

В цьому випадку $p = \frac{2\pi R_n}{1000 S m w_{\text{вих}}}$, R_n – радіус оброблюваної заготовки в поперечному перерізі, мм; $S m w_{\text{вих}}$ – середній крок хвиль вихідної поверхні, мкм. На формування поперечної шорсткості впливають коливання і геометрія ріжучого інструменту. З огляду на що, в технологічній системі має місце рідинне тертя, а рівняння руху інструменту подано у вигляді:

$$m\ddot{y} + \mu_{\text{р}}\dot{y} + F_y + P_y = 0, \quad (11)$$

де m – приведена маса рухомої системи, кг; $\mu_{\text{р}}$ – коефіцієнт рідинного тертя, Н·с/мм; F_y – радіальна складова реакції опор в спряженні з заготовкою, Н; P_y – радіальна складова сили різання, Н. Деталь достатньо жорстка, тому під час токарного оброблення жорсткість спряження опори з заготовкою вважали постійною. Таким чином, $F_y = yJ^{\text{рад}}$, де $J^{\text{рад}}$ – радіальна жорсткість технологічної системи, Н/мм. В ході формування шорсткості найбільший вплив спричиняє радіальна складова P_y сили оброблення, вона прямопропорційна фактичній глибині оброблення і представлена як:

$$P_y = \chi t_{\phi},$$

де χ – коефіцієнт, що залежить від конкретних умов оброблення.

Фактична глибина оброблення буде визначатися як:

$$t_{\phi} = y + \rho_0 + \rho(\tau) - R_n, \quad (12)$$

тут ρ_0 – середнє значення радіуса заготовки, мм; R_n – початковий радіус оброблення в поперечному перерізі, мм; $\rho(\tau)$ – змінна складова радіусу, мм:

$$\rho(\tau) = H_{\text{вих}} \cos(p\omega\tau),$$

де $H_{\text{вих}}$ – амплітуда нерівностей вихідної поверхні, $H_{\text{вих}} = \frac{R_{\text{пmax вих}}}{2 \cdot 1000}$, мм; $R_{\text{пmax вих}}$ – максимальна висота нерівностей профілю вихідної поверхні, мкм.

У четвертому розділі на основі аналізу механізму формування шорсткості обробленої поверхні заготовки було встановлено, що її величина залежить від вихідної мікротвердості.

Для визначення впливу параметрів режимів оброблення відповідно до теорії планування експерименту було підготовлено і проведено експериментальні дослідження, які передбачали визначення залежності шорсткості поверхні від вихідної мікротвердості заготовки та параметрів режимів оброблення під час токарного оброблення. Дослідження проводили на зразках, що мають функціональні спряжені поверхні (рис. 6). У якості матеріалу було обрано сталь 95X18, яка використовується для виготовлення втулок та золотників плунжерної пари.

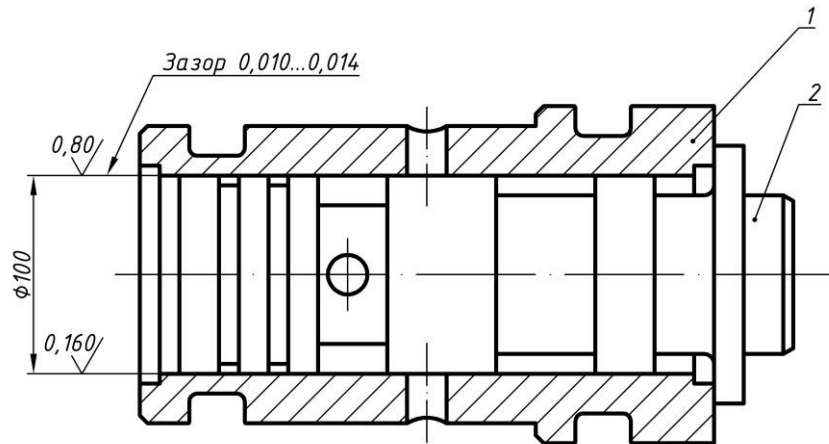


Рис. 6. Експериментальний зразок – плунжерна пара: 1 – втулка; 2 – золотник керування

Під час дослідження токарних операцій шорсткість добре характеризується висотою нерівностей профілю по десяти точках Rz_m (мкм). В якості факторів були обрані вихідна мікротвердість $H\mu_{m0}$ (Н/мм²), подача S_m (мм/об), глибина різання t_m (мм) і частота обертів заготовки n_m (об/хв), що характеризує швидкість різання.

Залежність, що характеризує взаємозв'язок мікротвердості, режимів оброблення і шорсткості під час токарних операцій, можна апроксимувати рівнянням регресії степеневого вигляду:

$$Rz_m = CH\mu_{m0}^{\alpha_1} S_m^{\alpha_2} t_m^{\alpha_3} n_m^{\alpha_4}, \quad (13)$$

де C – постійний множник.

Аналіз експериментальних досліджень виявив, що зміна значення вихідної мікротвердості $H\mu_{m0}$ істотно впливає на величину висотного показника шорсткості. Збільшення вихідної величини $H\mu_{m0}$ на 10% викликає збільшення Rz_m на 5%.

Серед параметрів режиму оброблення найбільш впливовим при чистовому точінні є подача S_m . Збільшення значення S_m на 10% викликає збільшення кінцевого значення шорсткості Rz_m на 14%. Наступним за ступенем впливу параметром

технологічної системи є частота обертання шпинделя. Зі збільшенням n_m на 10% значення Rz_m зменшується на 3,7%. Найменшого впливу на кінцеве значення Rz_m надає зміна значення глибини різання t_m . За умови збільшення t_m на 10% Rz_m зростає лише на 0,11%.

Вимірювання проводили на координатно-вимірювальній машині WENZEL LH 108 (рис. 7).



Рис. 7. Фрагмент експериментально-дослідницької установки

Моделювання процесу контактної взаємодії наведено на прикладі співвісного ковзаючого контакту двох поверхонь обертання, у вигляді контакту гладкої циліндричної деталі та втулки з наведеними (еквівалентними) значеннями параметрів шорсткості, хвилястості і макровідхилень (рис. 8).

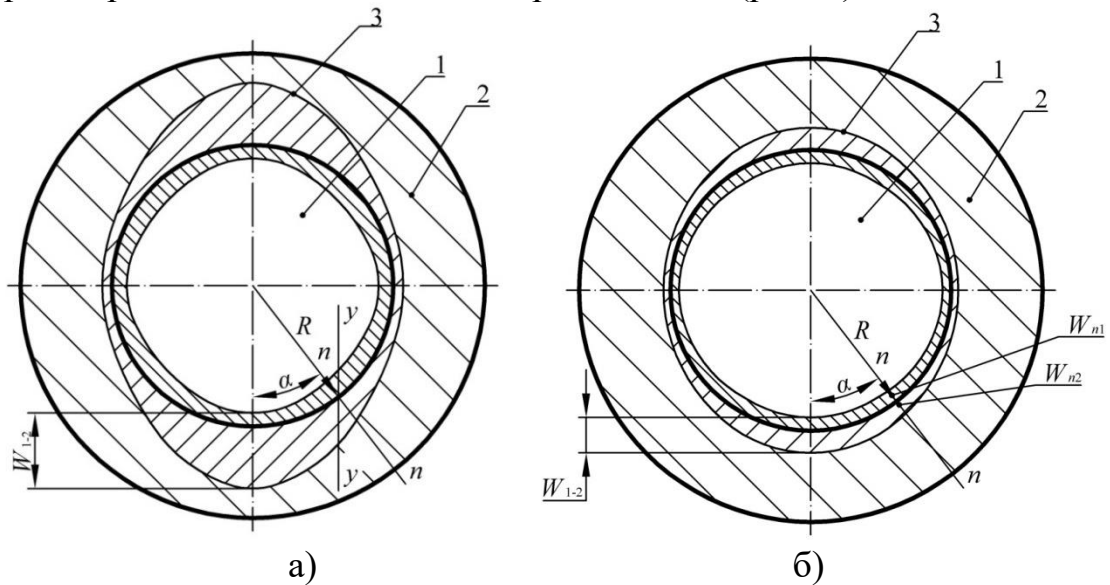


Рис. 8. Форма оптимального зносу спряжених деталей: 1 – золотник; 2 – втулка; 3 – поверхня контакту спряжених деталей; R – радіус дотичних деталей до зношування; α – кут контакту, що визначає розміри поверхні тертя ($\alpha \in [0; 90^\circ]$); W_{n1} , W_{n2} – лінійний знос по нормалі $n-n$ опори і валу відповідно; W_{1-2} – сумарний знос вздовж напрямку зближення деталей ($W_{1-2} = \text{const}$ при будь-яких значеннях α – умова контакту спряжених деталей по всій поверхні)

Для забезпечення мінімального і рівномірного зношування уздовж твірної спряжених поверхонь (зі збереженням первісної геометричної форми однієї зі

спряжених деталей) шляхом технологічного впливу на поверхневий шар втулки, швидкість зношування в осьовому напрямку і сумарний знос W_{1-2} вздовж напрямку зближення деталей будуть відрізнятися (меншими значеннями) від тих, які спостерігаються під час природного зношування поверхонь. На рис. 8а представлено форму природного зношення спряжених деталей, а на рис. 8б при забезпеченні рівномірного зношування золотника і втулки згідно до реалізованого в дисертації способу підвищення рівня зносостійкості спряжених поверхонь фрикційних пар.

В п'ятому розділі експериментальними дослідженнями встановлено залежність коефіцієнта тертя і зношення від тривалості випробувань втулок фрикційних пар та визначено, що найбільша зносостійкість і найменший коефіцієнт тертя мають поверхні, виготовлені за розробленою технологією з наступними режимами викінчувального шліфувального оброблення $v_d=56,5...60$ м/хв; $v=10...12$ м/хв; $S=0,2...0,25$ мкм/рухів·хід; $\tau=30$ с.

Розроблена методика проектування технологічного процесу базується на використанні програмного забезпечення, є зручною для застосування під час проектування технологічних процесів виготовлення фрикційних деталей підвищеної точності. Модель процесу трансформації показників якості дозволяє досліджувати різні варіанти технологічних процесів, визначати параметри режими оброблення, необхідні для отримання регламентованих показників якості, а також з'ясовувати за рахунок яких параметрів доцільно керувати процесом їх формування. Дослідження множин цих варіантів має відбуватися з використанням ПК.

В ході визначення зміни діапазонів режимів необхідно враховувати, з одного боку, можливості засобів технологічного оснащення, з іншого – регламентовані значення показників якості. Складена за результатами моделювання діаграма, що характеризує ступінь впливу змін значень параметрів на величину відхилення реального профілю від теоретичного при точінні. Параметром, що надає найбільший вплив, в даному випадку є глибина різання t_m , при її збільшенні на 10%, відхилення профілю збільшується на 16%. Ступені впливу подачі S_m , числа обертів n_m і радіусу ріжучої крайки r_m приблизно однакові. Зміна цих параметрів на 10% викликає зміну відхилення на 3...4%, причому збільшення подачі S_m викликає збільшення відхилення, а збільшення числа обертів n_m або радіусу ріжучої кромки r_m – його зменшення.

У відсотковому відношенні, в ході токарного оброблення вплив режимів і показників вихідної шорсткості, а саме середнього арифметичного відхилення профілю Ra_m і середнього кроку нерівностей профілю Sm_m , отриманих на попередніх технологічних операціях, на одержувану мікротвердість $H\mu_\epsilon$ невеликий, це пов'язано з твердістю матеріалу 95X18. Наприклад, збільшення середнього кроку Sm_m на 10 мкм викликає збільшення величини $H\mu_\epsilon$ приблизно на 5 одиниць, збільшення Ra_m на 1 мкм викликає збільшення $H\mu_\epsilon$ на 0,5 одиниці. У свою чергу, збільшення подачі S_m на 0,02 мм/об викликає зменшення $H\mu_\epsilon$ на 13,7 одиниць.

При співставленні результатів моделювання показників шорсткості, з урахуванням впливу вихідної мікротвердості та експериментальних досліджень отримані наступні результати. Складова шорсткості, пов'язана з геометрією вершини інструменту, при точінні становить 3...17%. Таким чином, величина складової, пов'язана з вихідною мікротвердістю і параметрами режимів оброблення,

дозволяє істотно уточнити значення експлуатаційної шорсткості. Співставлення результатів моделювання і експериментів показало, що з урахуванням всіх складових величина шорсткості визначається з точністю 15...40%, що є прийнятним для використання даної моделі при проектуванні ТП.

Розроблена інженерна методика проектування технологічного процесу з врахуванням взаємовпливу формованих показників якості, із використанням спеціалізованого ПЗ дозволяє досліджувати різні варіанти технологічних процесів, визначати параметри режимів оброблення, необхідні для отримання заданих показників якості, а також з'ясовувати за рахунок яких параметрів доцільно керувати процесом їх формування.

Розроблено рекомендації щодо вибору ЗОР для токарної операції технологічного процесу виготовлення фрикційних пар. Встановлено, що застосування різних ЗОР в ході лезового оброблення призводить до зниження коефіцієнта тертя на 2...5%. Вид ЗОР має значний вплив на величину контактної температури, формування властивостей поверхневого шару та стійкість інструменту. Встановлено, що використання пластичних мастильних матеріалів, на 15...25% знижує контактну температуру за рахунок зменшення контактного тертя.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проаналізовано експлуатаційні властивості функціональних поверхонь спряжених деталей та встановлено їх зв'язки з показниками якості поверхневого шару для забезпечення направленої формування в контексті підвищення зносостійкості фрикційних пар.

На основі аналізу множини показників якості деталей, характерних для фрикційних пар, встановлено, що існує ряд параметрів, які здійснюють визначальний вплив на формування параметрів зносостійкості. Серед таких показників варто виділити: субшорсткість, макровідхилення, мікротвердість, залишкові напруження.

2. З метою дослідження формування технологічного мікрорельєфу в процесі припрацювання, проведено дослідження характеру змін робочих поверхонь спряжених деталей з метою встановлення максимально наближеної операції механічного оброблення до даного процесу. Встановлено, що зміна мікротвердості поверхневих шарів в процесі припрацювання визначається, головним чином, умовою дотримання рівності зовнішнього навантаження і відображення межі текучості металу на величину фактичної опорної поверхні.

Встановлено, що під час оброблення на технологічну систему впливають силові фактори, зміна яких пов'язана з нерівномірністю зрізаного шару, неоднаковою твердістю оброблюваного матеріалу, зносом інструменту, що в свою чергу, викликає появу відхилень форми заготовки і визначає залишкову глибину оброблення $t_{\text{зал}}$, рівну різниці між заданою глибиною t_3 і фактичною $t_{\text{ф}}$ і, тим самим, величину відхилення $\Delta_{\text{пр}}$ реального профілю робочої поверхні деталі від теоретичного.

3. Шляхом математичного моделювання розроблено модель динаміки робочого простору токарного верстату і встановлено, що в ході виконання технологічної операції токарного оброблення сила різання несе у собі три складові: тангенціальну,

радіальну та осьову. Аналіз складових сили різання дає можливість стверджувати, що визначені складові в різній мірі впливають на формування параметрів зносостійкості оброблюваних деталей. Так превалюючого впливу у даному випадку набуває складова сили різання P_n , H , перпендикулярна до нормалі.

4. Здійснено визначення показників шорсткості функціональної поверхні під час лезового оброблення. Встановлено, що на циклічну частоту коливань інструменту основний вплив має крок хвиль вихідної поверхні, тоді як вплив середнього кроку мікронерівностей вихідної поверхні є незначним. Запропоновано формулу визначення циклічної частоти коливань інструменту з урахуванням формування профілю поверхні в радіальному та осьовому напрямках.

5. Проведено оцінку форми і встановлені закономірності зношування елементарних поверхонь тертя. Запропоновано модель, за допомогою якої можливо забезпечувати необхідну закономірність зношування поверхонь тертя уздовж їх твірних шляхом технологічного забезпечення закономірної зміни параметрів якості поверхневого шару спряжених деталей. На основі побудованих математичних моделей та проведенні теоретичних й експериментальних досліджень встановлено закономірності зміни параметрів якості, зокрема коефіцієнта зміцнення і параметра C_x , поверхонь тертя, що зумовлюють закономірне зношування поверхонь, зокрема мінімальне і рівномірне спрацьовування поверхонь пари (золотник-втулка), а також мінімальний сумарний знос в напрямку зближення спряжених тіл.

Встановлено значення коефіцієнтів в моделі зношування поверхонь тертя, залежність між інтенсивністю зношування і параметром C_x методами лінійного регресійного аналізу.

6. Проведено перевірку на адекватність математичних моделей шляхом співставлення результатів математичного моделювання та експерименту. Отримані результати підтверджують справедливість висунутих припущень, ступінь розбіжності теоретичних та експериментальних даних не перевищує 15%

Проведені експериментальні дослідження підтвердили гіпотезу про наявність фактору технологічної спадковості в процесі формування параметрів зносостійкості фрикційних пар. Таким чином у технологічному процесі виготовлення плунжерної пари проведено ряд змін, стосовно технологічних режимів токарного оброблення із подальшим застосуванням операції плосковершинного шліфування, що в свою чергу дозволило уникнути процедури припрацювання та вийти на оптимальні робочі режими функціонування плунжерної пари. Експериментальними дослідженнями встановлено залежність коефіцієнта тертя і зносу від тривалості випробувань втулок фрикційних пар та визначено, що найбільша зносостійкість і найменший коефіцієнт тертя мають поверхні, виготовлені з $v_d=56,5$ м/хв.

7. Розроблена інженерна методика проектування технологічного процесу з врахуванням взаємовпливу формованих показників якості, із використанням спеціалізованого ПЗ дозволяє досліджувати різні варіанти технологічних процесів, визначати параметри режимів оброблення, необхідні для отримання заданих показників якості, а також з'ясувати за рахунок яких параметрів доцільно керувати процесом їх формування. Встановлено, що параметром, який спричиняє найбільший вплив на формування зносостійкості оброблюваної поверхні фрикційної пари, в даному випадку є глибина різання t_m , при її збільшенні на 10%, відхилення

профілю збільшується на 16%. Ступені впливу подачі S_m , числа обертів n_m і радіусу ріжучої кромки r_m приблизно однакові. Зміна цих параметрів на 10% викликає зміну відхилення на 3...4%, причому збільшення подачі S_m викликає збільшення відхилення, а збільшення числа оборотів n_m або радіусу ріжучої кромки r_m – його зменшення.

8. Розроблено рекомендації щодо вибору ЗОР для токарної операції технологічного процесу виготовлення фрикційних пар. Встановлено, що застосування різних ЗОР в ході лезового оброблення призводить до зниження коефіцієнта тертя на 2...5%. Вид ЗОР має значний вплив на величину контактної температури, формування властивостей поверхневого шару та стійкість інструменту. Встановлено, що використання пластичних мастильних матеріалів, на 15...25% знижує контактну температуру за рахунок зменшення контактного тертя.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. O. Dahnyuk, A. Tkachuk Analysis of opportunities aimed formation of quality indicators for details machining operations / A. Tkachuk, O. Dahnyuk // Perspective technologies and devices. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2016. – №9 (2). – P. 138-143.
2. O. Dahnyuk, V. Zablotskyi, S. Prystupa, A. Tkachuk Formation of physical and mechanical properties of surface layer of machine parts. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 8, March 2017, Pages 87-98, DOI: 10.2412/mmse.99.57.43
Режим доступу: <https://issuu.com/mmsejournal/docs/mmse-journal-vol-8-2017/86>
3. Дахнюк О.П. Вплив технологічних методів оброблення на зносостійкість робочих поверхонь // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 6–7 жовтня 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 27-28.
4. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю. Вдосконалення технології виготовлення сепараторів конічних роликотидшипників, та їх вплив на віброакустичні параметри // «Перспективні технології та прилади». Збірник статей. Випуск 8 (1). м. Луцьк, червень 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 12-15.
5. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю. Дослідження зв'язків технологічних факторів з параметрами якості формоутворення поверхонь обертання та техніко-економічними показниками токарно-автоматних операцій // «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. Випуск №4 (1). м. Луцьк, червень 2014 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – С. 33-41.
6. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю. Кінематичний синтез формоутворюючих рухів ріжучого інструменту в робочому просторі багатопшпіндельного токарного автомата // «Перспективні технології та прилади». Збірник статей. Випуск 7. м. Луцьк, грудень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С. 42-48.
7. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю. Технологічні особливості вимірювання динамічних параметрів мікрогеометрії робочих поверхонь кілець підшипників // «Перспективні технології та прилади». Збірник статей. Випуск 6 (1). м. Луцьк, травень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С. 13-16.
8. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю., Приступа С.О. Оцінка ефективності операцій

механічного оброблення // Технологічні комплекси: науковий журнал №1(9). – Луцьк: Вид-во Луцького НТУ, 2014. – С. 127-131.

9. Дахнюк О.П., Заблоцький В.Ю., Ткачук А.А. Технологічне забезпечення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей методами зміцнювально-вигладжувального оброблення // «Системи розробки та постановки продукції на виробництво»: матеріали І-ї Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 17-20 травня 2016 р.) – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 138-139.

10. Дахнюк О.П., Корольова А.Г. Структурна модель процесу формування показників якості спряжених функціональних поверхонь обертання на фінішних зміцнювально-викінчувальних операціях / О.П. Дахнюк, А.Г. Корольова // «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – №10 (1). – С. 43-49.

11. Дахнюк О.П., Приступа С.О., Заблоцький В.Ю. Природа латентної енергії деформації та її вплив на експлуатаційні властивості деталей підшипників // Вісник Хмельницького національного університету: науковий журнал. №5. 2013. – Хмельницький: Вид-во Хмельницького ТУ, 2013. – С. 32-35.

12. Дахнюк О.П., Приступа С.О., Ткачук А.А. Дослідження впливу технологічних факторів на енергоємність процесу різання // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямком «Інженерна механіка»). Вип. 44. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – С. 221-226.

13. Дахнюк О.П., Ткачук А.А. Аналіз способів технологічного забезпечення регламентованих показників якості функціональних поверхонь / А.А. Ткачук, О.П. Дахнюк // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 18-21 квітня 2017 року) : у двох частинах / редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – Ч. 1. – 183 с. – С. 90-91

14. Дахнюк О.П., Ткачук А.А. Визначення числа елементарних дотичних площин спряжених фрикційних поверхонь // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 19-20 грудня 2014.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2014. – С. 149-150.

15. Дахнюк О.П., Ткачук А.А. Комбіноване зміцнювально-викінчувальне оброблення, як засіб підвищення зносостійкості спряжених поверхонь маложорстких деталей // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей IV Міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25-26 листопада 2015р.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 240-241.

16. Дахнюк О.П., Ткачук А.А., Заблоцький В.Ю. Передумови підвищення рівня зносостійкості спряжених поверхонь роликотпідшипників засобами зміцнювально-вигладжувального оброблення // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу» 14-18 вересня 2016 року. Випуск 2. Херсон: ХНТУ, 2016. – С. 192-194.

17. Заблоцький В.Ю., Дахнюк О.П., Марчук В.І. Забезпечення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин на операціях механічного

оброблення. Монографія. – Луцьк: Видавництво: «Вежа Друк», 2017. – 120 с.

18. Заблоцький В.Ю., Приступа С.О., Лапченко Ю.С., Дахнюк О.П. Особливості дослідження процесу різання з урахуванням характеристик пружної системи технологічного обладнання / В.Ю. Заблоцький, С.О. Приступа, Ю.С. Лапченко, О.П. Дахнюк // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (Київ, 29 червня – 1 липня 2017 року): Київ, 2017. – 384 с. – С. 320-322.

19. Дахнюк О.П. Патент на корисну модель №94828, Україна. МПК В23Q 17/00 (2014.01). Багатокомпонентний динамометр для вимірювання складових сили різання / Дахнюк О.П., Приступа С.О., Ткачук А.А., Заблоцький В.Ю., Терлецький Т.В., Заявлено 20.03.2014; опубл. 10.12.2014; Бюл. №23. – 4 с.

Анотація

Дахнюк О.П. Технологічне забезпечення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей машин на операціях механічного оброблення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. – Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2017.

Дисертація присвячена розробленню науково-практичних основ проектування технологічних процесів виготовлення деталей плунжерних пар з урахуванням показників якості вихідної заготовки з метою спрямованого формування експлуатаційних характеристик робочих поверхонь спряжених деталей для підвищення зносостійкості.

Розроблено технологічні принципи прогнозування експлуатаційних показників робочих поверхонь фрикційних пар на основі моделювання функціонально-параметричних та структурно-функціональних зв'язків експлуатаційних властивостей поверхонь з параметрами мікрогеометрії та з конструкторсько-технологічними чинниками механообробних операцій. На підставі отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено інженерну методика проектування технологічного циклу виготовлення спряжених деталей плунжерної пари.

Ключові слова: втулка, золотник, зносостійкість, мікрорельєф, формоутворення, фрикційна поверхня, токарне оброблення, інженерна методика.

Аннотация

Дахнюк А.П. Технологическое обеспечение износостойкости рабочих поверхностей сопряженных деталей машин на операциях механической обработки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Луцкий национальный технический университет, Луцк, 2017.

Диссертация посвящена разработке научно-практических основ проектирования технологических процессов изготовления деталей плунжерных пар с учетом показателей качества исходной заготовки с целью направленного

формирования эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей сопряженных деталей для повышения износостойкости.

В первом разделе на основании анализа предыдущих исследований установлено, что надежность и долговечность деталей зависят от их эксплуатационных свойств, таких как износостойкость, контактная жесткость, коррозионная стойкость и т.д. Осуществлен анализ причин потери износостойкости поверхности с учетом физико-химических, структурных свойств материала деталей, свойств внешней среды и особенностей абразива, а также с режимами и условиями работы.

Во втором разделе осуществлен анализ возможностей направленного формирования показателей качества деталей на механообрабатывающих операциях. Установлено, что износостойкость зависит от таких показателей качества поверхности, как шероховатость, микротвёрдость и остаточные напряжения. В ходе исследования проведен анализ изменения основных характеристик микрогеометрии и микротвердости поверхностного слоя в процессе приработки. За результатами исследований предложено показатель Δ и построены зависимости изменения безразмерного комплекса Δ в процессе приработки.

В третьем разделе, путем создания и анализа математических моделей процессов резания установлено, что при обработке на технологическую систему влияют силовые факторы, изменение которых связано с неравномерностью срезанного слоя, неодинаковой твердостью обрабатываемого материала, износом инструмента, что в свою очередь, вызывает появление отклонений формы заготовки и определяет остаточную глубину обработки $t_{зал}$, равную разнице между заданной глубиной t_z и фактической t_ϕ и, тем самым, величину отклонения Δ_{np} реального профиля рабочей поверхности детали от теоретического.

В четвёртом разделе, на основе анализа механизма формирования шероховатости обработанной поверхности заготовки, было установлено, что ее величина зависит от исходной микротвердости. Для определения влияния параметров режимов обработки согласно теории планирования эксперимента были подготовлены и проведены экспериментальные исследования, которые предусматривали определение зависимости шероховатости поверхности от исходной микротвердости заготовки и параметров режимов при токарной обработке.

В пятом разделе разработана методика проектирования технологического процесса, которая базируется на использовании программного обеспечения, и является удобной для применения при проектировании технологических процессов изготовления фрикционных деталей повышенной точности. Модель процесса трансформации показателей качества позволяет исследовать различные варианты технологических процессов, определять параметры режимов обработки, необходимые для получения необходимых показателей качества, а также выяснять за счет каких параметров целесообразно управлять процессом их формирования.

Ключевые слова: втулка, золотник, износостойкость, микрорельеф, формообразование, фрикционная поверхность, токарная обработка, инженерная методика.

Annotation

O. Dahniuk Technological ensuring of wear-resistance of working surfaces of conjugated parts of machines on machining operations. – Manuscript.

The dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.02.08 – technology of mechanical engineering. – Lutsk National Technical University, Lutsk, 2017.

The dissertation is devoted to the development of scientific and practical bases for designing technological processes for the production of parts of plunger pairs, taking into account the quality indices of the original workpiece, with the aim of the direct formation of the operational characteristics of the working surfaces of the conjugated parts for increasing wear resistance.

The technological principles of forecasting of operational parameters of working surfaces of friction pairs on the basis of modeling of functional-parametric and structural-functional connections of surface properties with microgeometry parameters and with design and technological factors of machining operations have been developed. Based on the results of theoretical and experimental studies, an engineering methodology for designing a technological cycle for the production of conjugated parts of a plunger pair has been developed.

Keywords: sleeve, spool, wear resistance, microrelief, forming, friction surface, turning process, engineering technique.

Підписано до друку 14.09.17. Формат 60x84/6.
Папір офісний. Гарнітура Times New Roman.
Обл.-вид. арк.0,7. Ум. друк. арк. 0,75. Тираж 100 прим. Зам. 26

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧИЙ ВІДДІЛ
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
43018, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75