

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МОРОЗ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 621.822:681.2:369.64

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОТОПОГРАФІЇ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИП-
НИКІВ НА ОСНОВІ
ЗМІЦНЮВАЛЬНО-ВИГЛАДЖУВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ**

05.02.08 – технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Луцькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Марчук Віктор Іванович,

Луцький національний технічний університет,
завідувач кафедру “Приладобудування”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Лебедєв Володимир Георгійович,

Одеський національний політехнічний університет
професор кафедри “Технологія конструкційних
матеріалів”;

кандидат технічних наук, доцент

Стойко Ігор Іванович,

Тернопільський національний технічний університет
імені І. Пулюя,
доцент кафедри “Менеджмент підприємницької
діяльності”.

Захист відбудеться “__” _____ 20__ р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К58.052.03 в Тернопільському національному технічному університеті ім. І. Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий “__” _____ 20__ р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради _____ Данильченко Л.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надійність роботи машин та механізмів безпосередньо пов'язана з якістю поверхневого шару деталей, яка характеризується геометричними та фізико-механічними параметрами. В процесі експлуатації деталі машин контактують один з одним або з навколишнім середовищем. Від якості поверхневого шару залежать експлуатаційні властивості – опір втомі, зносостійкість, корозійна стійкість тощо. У зв'язку з інтенсифікацією експлуатаційних процесів, збільшенням швидкостей переміщення робочих органів, підвищенням температур і тиску роль якості поверхневого шару значно зростає. Зв'язок характеристик якості поверхневого шару з експлуатаційними властивостями деталей свідчить про те, що оптимальна (з погляду підвищення експлуатаційних властивостей деталей) поверхня повинна бути достатньо твердою, повинна мати стискуючі залишкові напруження, дрібнодисперсну структуру, згладжену форму мікронерівностей з великою площею опірної поверхні.

Методи механічного оброблення різанням дають можливість варіювати параметрами шорсткості оброблюваних поверхонь в порівняно вузьких межах. Зміна умов оброблення дозволяє дещо розширити можливості цих методів.

Значно більші можливості в технологічному керуванні якістю поверхні, зокрема, шорсткістю поверхні, з'являються при впровадженні таких прогресивних методів оброблення, як різновиди зміцнювально-вигладжувального оброблення, в основі яких закладена поверхнева пластична деформація (ППД). Оброблення на основі ППД застосовується для підвищення втомної міцності, зносостійкості поверхонь тертя, контактної міцності, жорсткості та покращення інших експлуатаційних властивостей деталей машин. Найбільшого поширення набули методи ППД при обробленні плоских та циліндричних зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Однак, широке впровадження методів ППД у виробництво, з використанням вигладжувального інструменту на основі синтетичного алмазу типу АКМ, стримуються відсутністю науково-обґрунтованих режимів оброблення, детально вивчених закономірностей перебігу процесу, відсутністю встановлених зв'язків між конструктивно-технологічними факторами вигладжувальних операцій та мікрогеометричними параметрами оброблених поверхонь і їх експлуатаційними властивостями.

Тому, технологічне забезпечення покращених експлуатаційних характеристик кілець роликотішипників із застосуванням зміцнювально-вигладжувальних операцій є актуальною науковою проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі приладобудування Луцького національного технічного університету відповідно до плану держбюджетної роботи “ Технологічне забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликоті-

підшипників ” (№ держреєстрації 0109U001210, наказ МОНУ № 1043 від 17.11.2008р.); згідно з координаційним планом Комітету з питань науки і техніки України, розділ “Машинобудування” (поз. 43) “Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні на 2005–2010рр.”

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є технологічне забезпечення формування параметрів мікротопографії робочих поверхонь та стабілізація експлуатаційних властивостей кілець роликопідшипників шляхом застосування прогресивних вікінчувально-вигладжувальних операцій.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі методи формоутворення циліндричних поверхонь деталей машин і механізмів із застосуванням зміцнювально-вигладжувальних методів оброблення. Визначити причини, які стримують їх широке впровадження у виробництво, розробити новий метод комбінованого шліфувального та вигладжувального оброблення.

2. Здійснити аналіз теоретичних та експериментальних досліджень впливу на якість оброблюваних поверхонь зміни швидкості, подачі та сили вигладжування в процесі оброблення вигладжувочим інструментом із синтетичного алмазу типу АКТМ;

3. Дослідити вплив конструктивно-технологічних чинників вигладжувальних операцій на перебіг процесу вигладжування та на параметри мікротопографії робочих поверхонь кілець.

4. Вдосконалити основний та допоміжний інструмент для алмазного вигладжування з метою стабілізації сили вигладжування та параметрів мікрогеометрії робочих поверхонь кілець роликопідшипників.

5. На основі математичного моделювання дослідити взаємозв'язки динамічних параметрів процесу вигладжування з амплітудними параметрами мікротопографії поверхні.

6. Експериментально перевірити можливість технологічного керування параметрами мікротопографії поверхонь обертання на зміцнювально-вигладжувальних операціях.

7. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити інженерну методику комбінованого оброблення робочих поверхонь кілець роликопідшипників на основі шліфування та вигладжування.

Об'єкт дослідження – процес оброблення зміцнювальним вигладжуванням робочих поверхонь кілець роликопідшипників.

Предмет дослідження – взаємозв'язки геометричних та фізико-механічних параметрів поверхонь обертання з технологічними чинниками зміцнювально-вигладжувальних операцій в технологічному циклі виготовлення кілець роликопідшипників.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено загальні положення технології машинобудування, теорії ППД матеріалів; теорії коли-

вань, методів розв'язку диференційних рівнянь для формування динамічної моделі процесу вигладжування; апарат перетворень Фур'є для моделювання нерівностей оброблюваних поверхонь та зв'язків шорсткості з експлуатаційними властивостями робочих поверхонь кілець; методів планування експерименту й математичної статистики для проведення експериментальних досліджень та аналізу й оброблення їх результатів.

Для аналізу геометричної структури поверхні, а також в процесі дослідження параметрів мікротопографії та фізико-механічного стану поверхневого шару використано сучасне метрологічне устаткування – автоматизований дослідницький комплекс на базі профілографа-профілометра моделі 101, автоматизований вимірювальний комплекс “Talyskan 150” та ультразвуковий твердомір TP 5006.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вирішено актуальну науково-технічну задачу встановлення взаємозв'язків параметрів мікрогеометрії робочих поверхонь кілець з їх експлуатаційними властивостями при вигладжуванні з використанням інструментів із синтетичного алмазу типу АКТМ, функціональних залежностей між конструктивно-технологічними особливостями зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхонь обертання, режимами та показниками процесу оброблення й параметрами мікрорельєфу оброблюваних поверхонь. **Для цього вперше:**

- теоретично обґрунтовано функціональні зв'язки між кінематичними особливостями технологічного устаткування, режимами зміцнювально-вигладжувального оброблення, характеристиками вигладжувального інструменту, показниками процесу вигладжування й мікрогеометричними параметрами та експлуатаційними властивостями робочих поверхонь кілець роликотідишпників;

- з позицій наукового підходу розроблений інструмент для вигладжування, зокрема запропоновано багатоінструментальний метод оброблення робочих поверхонь на операціях зміцнювального оброблення, який дозволяє стабілізувати параметри мікрогеометрії поверхні;

- розроблено динамічну модель процесу зміцнювально-вигладжувального оброблення робочих поверхонь кілець для виявлення взаємозв'язків технологічних факторів процесу алмазного вигладжування з параметрами мікрорельєфу та експлуатаційними властивостями поверхонь обертання кілець.

Практичне значення одержаних результатів:

- вдосконалено технологію формоутворення робочих поверхонь кілець роликотідишпників за рахунок введення операцій зміцнювального вигладжування;

- розроблено метод керування параметрами шорсткості поверхонь кочення кілець роликотідишпників на зміцнювально-вигладжувальних операціях;

- запропоновано спосіб вигладжування поверхонь обертання з використанням опозитно розміщених вигладжувальних інструментів, споряджених індикаторами сили притискання;

- розроблено методику керування параметрами мікротопографії робочих поверхонь кілець роликотідшипників та їх експлуатаційними властивостями, яку практично реалізовано на діючому виробництві АТ «СКФ Україна» (публічне) та в навчальний процес підготовки фахівців з напрямів 0909 «Прилади», 0902 «Інженерна механіка» ЛНТУ для проведення лабораторних робіт і лекційних занять з курсів «Технологія приладобудування», «Спеціальні технології в приладобудуванні», «Технологія машинобудування»

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

Особистий внесок дисертанта в роботах, виконаних у співавторстві [1-11, 13-15] та одноосібно [12, 16], полягає в обґрунтуванні наукового напрямку [7], формулюванні мети роботи; обґрунтуванні та розробленні методик експериментальних досліджень, участі у постановці й проведенні експериментальних досліджень [10, 11]; розробленні математичних моделей [12], встановленні теоретичних залежностей [5]; розробленні конструкцій пристосувань для зміцнювально-вигладжувального оброблення [13, 16]; формулюванні новизни й основних висновків за результатами роботи; аналізі та узагальненні отриманих результатів дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались та обговорювались на наукових конференціях та семінарах, зокрема: 7-ій Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (Одеса, 2007); VI Науково-технічній конференції "Приладобудування 2007: стан і перспективи" (технічний напрямок) (Київ, 2007); XV Міжнародній науково-технічній конференції «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь, 2008); 9-ій Всеукраїнська молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (Запоріжжя, 2009); 1-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Європрилад-2010: тенденції розвитку та перспективи» (Луцьк, 2010); на науково-практичних конференціях Луцького національного технічного університету (Луцьк, 2007-2010). У повному обсязі робота доповідалась й отримала позитивний відгук на розширеному науково-технічному семінарі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Публікації. Основний зміст і результати дисертації опубліковані у 16 працях, серед яких – 7 статей у фахових виданнях, 8 – у тезах науково-технічних конференцій, 1 – патент України на корисну модель

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації – 180 сторінок машинописного тексту, в тому числі – 65 ілюстрацій, 15 таблиць, 10 додатків та список використаних джерел з 127 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наводиться загальна характеристика роботи, в якій обгрунтовано актуальність, новизну та практичну цінність отриманих результатів, сформульовані мета та завдання дослідження, показано особистий внесок здобувача у виконану роботу і результати апробації дисертації.

У першому розділі розглянуто особливості сучасного методологічного підходу до технологічного забезпечення якості поверхонь кілець роликопідшипників. Зокрема, аналізується вплив технологічних чинників фінішних операцій на параметри якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників, розглянуто особливості формування геометричних та фізико - механічних параметрів поверхонь кочення кілець в технологічному циклі виготовлення підшипників, розглянуто значення зміцнювально-вигладжувальних технологій в забезпеченні параметрів якості поверхонь деталей, здійснено огляд відомих схем та матеріалів інструменту для зміцнювально-вигладжувальних операцій поверхонь кочення роликопідшипників. Основним завданням в роботі є вдосконалення технологічного процесу та технологічного забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників шляхом застосування прогресивних викінчувально-вигладжувальних операцій.

Питання керування параметрами мікротопографії робочих поверхонь та технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик деталей машин висвітленні в роботах А.А. Маталіна, А.Г. Сулова, А.М. Сулими, А.П. Гавриша, В.А. Прилуцького, В.Г. Лебедева, В.І. Марчука, Д.Д. Папшева, Є.В. Ригова, І.В. Гурія, І.І. Стойка, І.С. Кудрявцева, О.О. Розенберга, Я.І. Рудзіта, Ю.В. Петракова. На підставі аналізу літературних джерел визначено наукові підходи, що стосуються стратегії та практики поставлених задач.

У другому розділі проведено аналіз механізму формування мікротопографії робочих поверхонь на викінчувальних операціях. Виявлено вплив технологічних факторів на формування поверхневого шару робочих поверхонь кілець. Проведено дослідження механізму формування поверхневого шару на зміцнювально-вигладжувальних операціях

Поверхня готової деталі є результатом складання багатьох інструментальних рухів та вібрацій верстату і носить відбиток всіх процесів, що відбуваються в ТС. Будь-яка значна зміна в стані технологічної системи виявляється в отриманій текстурі профілю.

Випадкова складова профілю накладається на систематичну складову (ідеальна шорсткість), зумовлену такими факторами, як геометрія робочої частини інструменту та кінематика його робочого руху. На вихід системи накладаються збурення, які супутні процесу оброблення, у тому числі можливі вібрації верстату. Також на вихід системи впливає вихідна шорсткість, отримана на попередній операції. Виходом є реальна шорсткість обробленої деталі.

Кількість факторів, що впливають на процес вигладжувального оброблення досить велика (рис. 1).

Параметри системи верстат-інструмент-деталь (ВІД) в значній мірі визначаються завданням на оброблення, типорозміром кілець і формою робочої частини вигладжувача, системою контролю, подачі змашувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), контролю спрацювання робочої частини інструменту.

До основних критеріїв оцінки якості оброблюваної деталі відносяться: якість геометричної структури поверхні (ГСП) (шорсткість, хвилястість); точність форми і розмірів; властивості поверхневого шару.

Вигладжування поверхні полягає в наступному. Вигладжувач, що знаходиться у відповідному пристосуванні під певним тиском контактує з поверхнею оброблюваної деталі. Гребінці шорсткої поверхні згладжуються, при цьому в результаті їх зминання відбувається заповнення западин мікропрофілю.

Схему згладжування гребінців в процесі вигладжування показано на рис. 2. У місцях дотику вигладжувача з гребінцями виникає контактний тиск, що перевищує межу текучості матеріалу заготовки, унаслідок чого гребінці пластично деформуються, мнуться і затікають в обидві сторони від контактної зони.

Під дією сили P_y інструмент входить в поверхневий шар на глибину $h_{зл}$. У напрямі швидкості попереду інструменту утворюється вал висотою h_6 . Після робочого ходу інструменту відбувається пружне відновлення металу на величину $\Delta_{пр}$. У напрямі подачі процес формування мікронерівностей носить дещо інший характер. Крім пружного відновлення на величину $\Delta_{пр}$ має місце пластична текучість металу, що видавлюється з-під вигладжувача у бік вигладженої поверхні. Максимальна товщина витисненого шару Δ в поєднанні з $\Delta_{пр}$ визначає результуючу висоту мікронерівностей після вигладжування.

Параметр шорсткості початкової поверхні $R_{z\text{вих}}$ (рис. 2) однаковий і у напрямі швидкості, і у напрямі подачі. Враховуючи, що передуючим вигладжуванню обробленням може бути або точіння, або шліфування, необхідно відзначити що формування шорсткості у напрямі V і s для цих видів оброблення різне. Під час точіння на величину шорсткості у напрямі швидкості

різання впливають особливості стружкоутворення (зливна або елементна стружка).

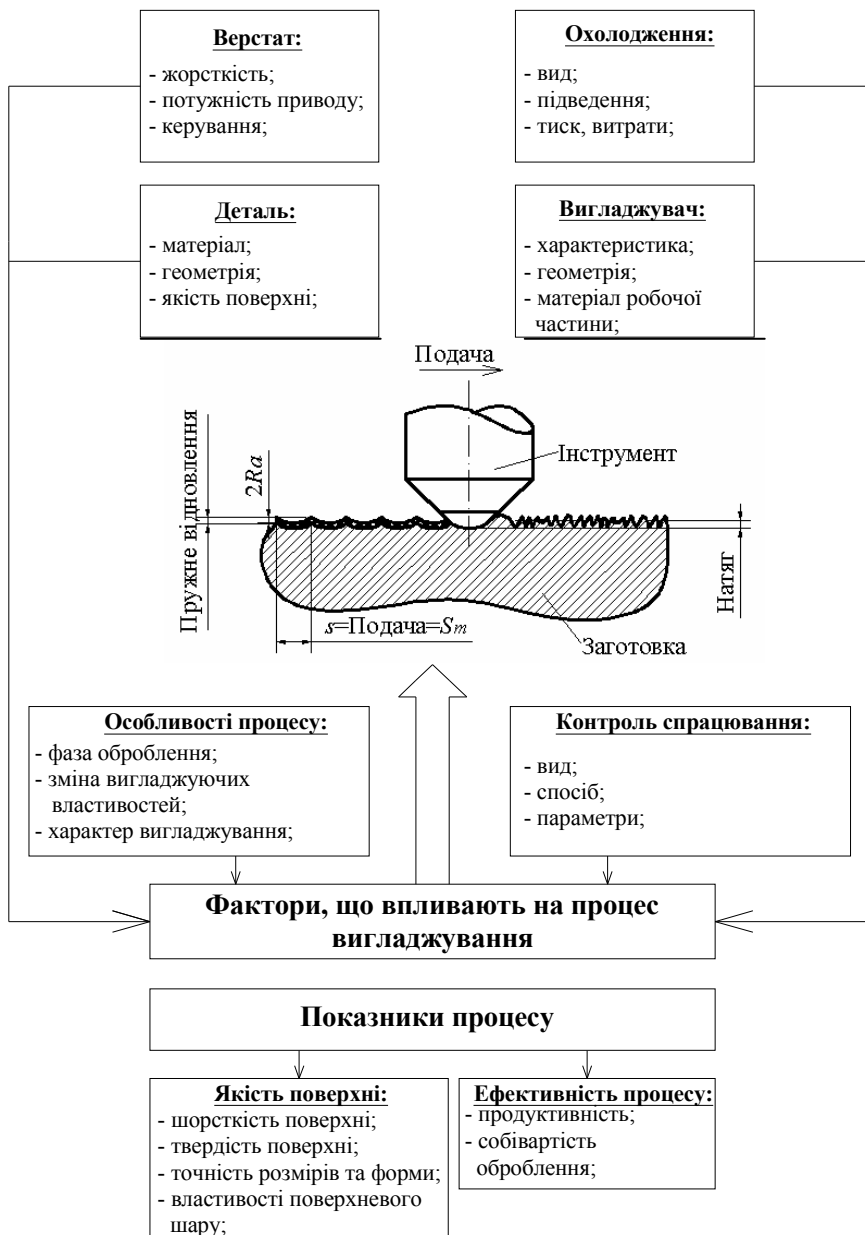


Рис. 1. Фактори впливу, параметри та показники процесу зміцнювального вигладжування доріжок кочення кілець роликопідшипників

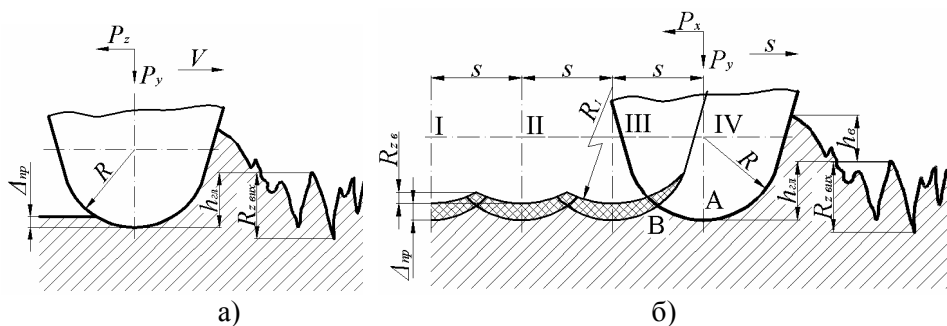


Рис. 2. Схема формування мікро нерівностей в напрямі вектора швидкості (а) і подачі (б) при вигладжуванні

На параметри шорсткості істотно впливають геометрія інструменту, подача та сила вигладжування (натяг). В процесі утворення шорсткості уздовж вектора швидкості (рис. 2, а) тонкий поверхневий шар повинен був би мати несущільну структуру (тріщини, орієнтовані уздовж вектора швидкості), але її не спостерігається під час дослідження на електронному мікроскопі. Окрім цього, підвищення характеристик втоми вигладжених деталей також свідчить про відсутність концентраторів напруження в поверхневому шарі.

Встановлено, що параметрами вигладжування, які впливають на шорсткість, є: сила вигладжування, подача та радіус робочої частини інструменту. Із збільшенням сили вигладжування до певного значення шорсткість зменшується.

За оптимальних значень сили вигладжування початкові нерівності повністю згладжуються і утворюється шорсткість, яка зумовлена безпосередньо процесом вигладжування, який пов'язаний з подачею. Подальше збільшення сили вигладжування збільшує пластичні спотворення, висота нерівностей зростає порівняно з найменшою, поверхневі шари можуть руйнуватися та з'явитися тріщини.

У третьому розділі розглянуто теоретичні передумови, технологічні особливості та розроблено математичну модель формування шорсткості поверхні на зміцнювально-вигладжувальних операціях.

Оброблення зміцнювально-вигладжувальними операціями супроводжується складними структурними та фазовими перетвореннями, які характерні для формування поверхневого шару. В першопочатковий момент відбувається дроблення зерен металу на блоки (поліганізація) та утворюється мозаїкова структура. Надалі внаслідок підсилення розвитку зсувів по площинах ковзання створюються нові, значно подрібненні зерна. При цьому кристаліти втрачають свою глобійдну форму, сплющуються, витягуються в напрямі деформування. Різко змінюється відношення їх розмірів, утворюється впорядкована орієнтована структура волокнистого характеру з анізот-

ропними механічними властивостями, коли пластичність вздовж волокон вища, ніж в поперечному напрямі.

Для прогнозування шорсткості поверхні після вигладжувального оброблення виведено математичну модель пружної системи формоутворення мікрогеометрії поверхні, яка враховує як технологічні фактори оброблення вигладжуванням, так і стан поверхні до вигладжування.

Для розрахунку шорсткості в процесі вигладжування за спрощених умов використовується аналітична залежність (1):

$$R_z = \frac{s^2}{8 \cdot R_A}, \text{ (мкм)} \quad (1)$$

де, s – подача, R_B – радіус вигладжувача.

В процесі вигладжування відбувається пружна деформація матеріалу (рис 2,б). Найбільшу деформацію має матеріал в точці A , тобто у центрі впадини. В точці B , яка знаходиться на вершині гребеня, деформація мінімальна. Тобто, після пружного відновлення матеріалу висота мікронерівностей буде відрізнятися від значення R_z , яке визначено з виразу (1). Ця відмінність повинна бути рівною різниці за величиною пружної деформації матеріалу в точках A і B .

Пружна деформація вершини та впадини гребенів може бути наближено визначена з допомогою задачі Герца.

Дослідженнями встановлено, що внаслідок пружного відновлення, яке відбувається за деформуючим вигладжувачем, радіус впадини R_I більший радіуса інструмента R_B . Це підтверджується проведеними експериментами. Після проведених математичних перетворень з врахування необхідних особливостей формоутворення поверхні висота мікронерівностей з врахування пружної деформації визначається з виразу:

$$R_z = \left[\frac{s^2}{8R_A} - \frac{(k-1)}{k} \cdot \frac{s^2}{16R_A} \right] = \frac{s^2}{8R_A} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right), \text{ (мкм)} \quad (2)$$

Для точнішого визначення шорсткості у формулу (2) потрібно ввести коефіцієнти, які враховують технологічні фактори при обробці вигладжуванням та величину мікронерівностей до вигладжування:

$$R_z = \frac{s^2}{8R_B} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right) k_\epsilon k_p k_z \cdot 10^3, \text{ (мкм)} \quad (3)$$

де s – подача інструменту при вигладжуванні, мм/об; R_B – радіус вигладжувача, мм; k – коефіцієнт, який характеризує збільшення радіуса впадин ($k=1,1-2,1$ – для м'яких сталей при оптимальній силі вигладжування, $k=2,1-2,6$ – для сталей підвищеної твердості); k_ϵ – коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей металу ($k_\epsilon=1,1 \div 2,1$ – для вуглецевих сталей); k_p – коефіцієнт, який залежить від зусилля вигладжування ($k_p=1$ – при оптимальній силі вигладжування, $k_p=1,1-1,5$ – при $50N > P_\epsilon > 300N$); k_z – кое-

фіцієнт, який залежить від величини $R_{\text{вих}}$ поверхні до зміцнювально-вигладжувального оброблення ($k_z=1,0$ – при $R_a=0,08-2,5$, $k_z=1,1-1,5$ – при $R_a>2,5$).

Параметри мікрорельєфу залежать від співвідношень величин подачі інструменту та частоти обертання заготовки. Розрахункова схема динамічної моделі процесу зміцнювального вигладжування подана на рис. 3

Динамічна розрахункова схема включає маси: шпинделя з деталлю, супортної групи, приведену масу різцетримача та державки з вигладжувачем, задньої бабки з центром з'єднаних пружними ланками. Оскільки коливання мас відбувається вздовж взаємоперпендикулярних осей та пов'язані безпосередньо через оброблювану деталь, виникає необхідність врахування взаємного демпфування коливань.

В зв'язку з цим, математична модель динаміки складається з чотирьох диференційних рівнянь, які описують поперечні та поздовжні коливання мас системи. На схемі: m_1 – маса супорту; m_2 – маса різцетримача і державки; m_3 – маса шпинделя; m_4 – маса задньої бабки з центром; C_1 – жорсткість супорту; C_2 – жорсткість різцетримача і державки; C_3 – жорсткість шпинделя; C_4 – жорсткість задньої бабки з центром; x_1, x_2 – координати переміщень мас m_1 та m_2 вздовж осі x ; y_3, y_4 – координати переміщень мас m_3 та m_4 вздовж осі y ; P_z – тангенціальна складова сили вигладжування P ; P_x – нормальна (радіальна) складова сили вигладжування P ; P_y – осьова (сила подачі) складова сили вигладжування P ; λ_1 – коефіцієнт в'язкого тертя супорту (коефіцієнт демпфування); λ_2 – коефіцієнт в'язкого тертя різцетримача і державки (коефіцієнт демпфування); λ_3 – коефіцієнт в'язкого тертя шпинделя (коефіцієнт демпфування); λ_4 – коефіцієнт в'язкого тертя задньої бабки з центром (коефіцієнт демпфування)

Рівняння коливання мас динамічної системи шпинделя опишемо залежностями у відповідних напрямках руху:

- в напрямку руху вздовж осі x :

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + \lambda_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 + c_2 (x_2 - x_1) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + \lambda_2 \dot{x}_2 + c_2 (x_2 - x_1) &= P_x(t) \end{aligned} \quad (4)$$

- в напрямку руху вздовж осі y :

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + \lambda_3 \dot{y}_3 + c_3 (y_3 - y_4) &= P_y(t); \\ m_4 \ddot{y}_4 + \lambda_4 \dot{y}_4 + c_4 y_4 - c_3 (y_3 - y_4) &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

P_x та P_y складові сили вигладжування P : $P_a = \sqrt{D_x^2 + D_y^2}$.

В результаті розв'язку рівнянь за допомогою методу комплексних амплітуд одержано залежності для розрахунку частот та амплітуд коливань у двох взаємоперпендикулярних напрямках руху основних частин токарного верстату.

Формули для визначення амплітуд коливань мас в напрямку осі x

(u_1, u_2) та осі y (u_3, u_4):

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{P_x \cdot c_2}{\sqrt{B^2(\omega) - \lambda_2^2 \omega^2 A(\omega)}}; \\ u_2 &= \frac{P_x \cdot A(\omega)}{\sqrt{B^2(\omega) - \lambda_2^2 \omega^2 A(\omega)}}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} u_3 &= \frac{P_y C(\omega)}{\sqrt{\lambda_3^2 \omega^2 C^2(\omega) + D^2(\omega)}}; \\ u_4 &= \frac{P_y c_3}{\sqrt{\lambda_3^2 \omega^2 C^2(\omega) + D^2(\omega)}}. \end{aligned} \quad (7)$$

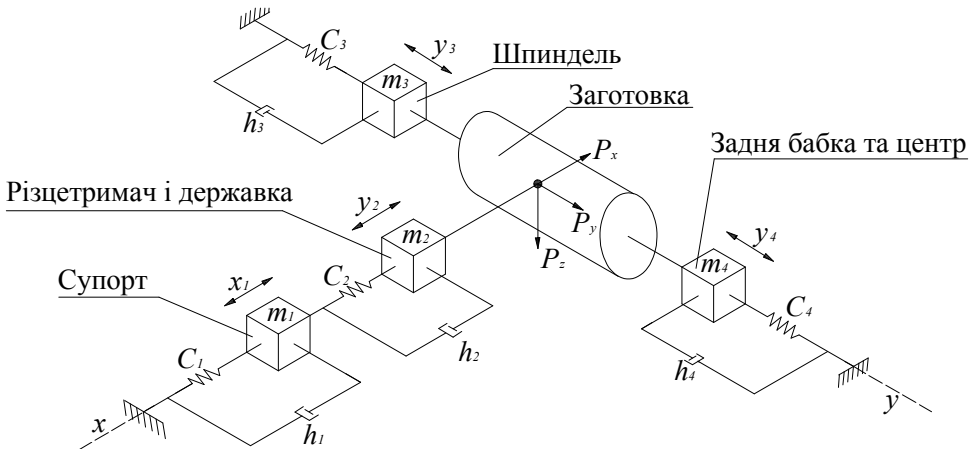


Рис.3. Розрахункова схема динамічної моделі процесу змцнювального вигладжування

Частоти поперечних коливання визначимо за формулою:

$$K_{1,2} = \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{2m_1} + \frac{c_2}{2m_2}} \pm \sqrt{\left(\frac{c_1 + c_2}{2m_1} + \frac{c_2}{2m_2}\right)^2 - \frac{(c_1 + c_2)c_2 - c_2^2}{m_1 m_2}}. \quad (8)$$

Частоти поздовжніх коливання визначимо за формулою:

$$K_{3,4} = \sqrt{\frac{c_3}{2m_3} + \frac{c_3 + c_4}{2m_4}} \pm \sqrt{\left(\frac{c_3}{2m_3} + \frac{c_3 + c_4}{2m_4}\right)^2 - \frac{c_3(c_3 + c_4) - c_3^2}{m_3 m_4}}. \quad (9)$$

Амплітуда коливань характеризує висотні параметри мікротопографії поверхні (R_z), частота – крокові (S_m). За відомих значень амплітуди та

частоти коливань мас можна прогнозувати параметри мікротопографії оброблюваних поверхонь.

У четвертому розділі приведені результати експериментальних досліджень процесу вигладжування поверхонь кочення кілець.

Дослідження зв'язків параметрів якості оброблюваних поверхонь з режимами оброблення, матеріалом інструмента та деталі, жорсткістю технологічної системи проводились на токарному верстаті моделі 1И611П. Це дозволило проводити варіювання значень режимів вигладжування та інших технологічних чинників в широких межах з необхідними діапазонами регулювання.

Встановлено залежності середнього арифметичного відхилення профілю, середнього кроку нерівностей профілю та поверхневої мікротвердості від режимів оброблення й параметрів вихідної шорсткості поверхні.

Експериментальні дослідження параметрів шорсткості та хвилястості робочих поверхонь роликотідшипників проводились на автоматизованому вимірювальному комплексі “Talyskan 150” з використанням програми оброблення даних Mountains Map Universal.

Програма аналізу результатів сканування дає можливість оцінювати геометричну структуру поверхні (мікротопографію) за двадцятьма параметрами та функціями в системі 3D. Характерною особливістю методики досліджень є можливість отримання профілограми поверхні в будь-якому перерізі, одержаного скануванням.

Фрагменти досліджуваних поверхонь і їх мікрогеометричні показники наведено на рисунках 4-6.

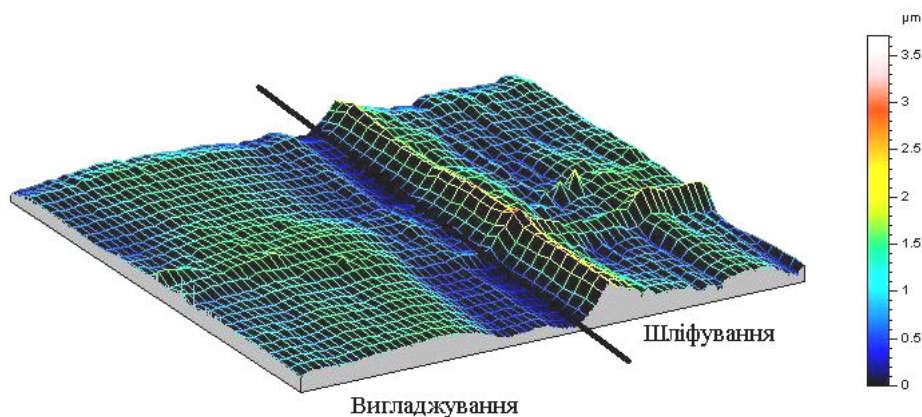


Рис. 4. Вигляд мікротопографії робочої поверхні кільця роликотідшипника після шліфування та вигладжування в просторі (3D)

Як видно з рис. 6, у вигладжених зразків крива опорної поверхні має сприятливішу форму, ніж у шліфованих, а отже експлуатаційні властивості

робочих поверхонь, такі як зносостійкість, контактна жорсткість, вібростійкість, покращились.

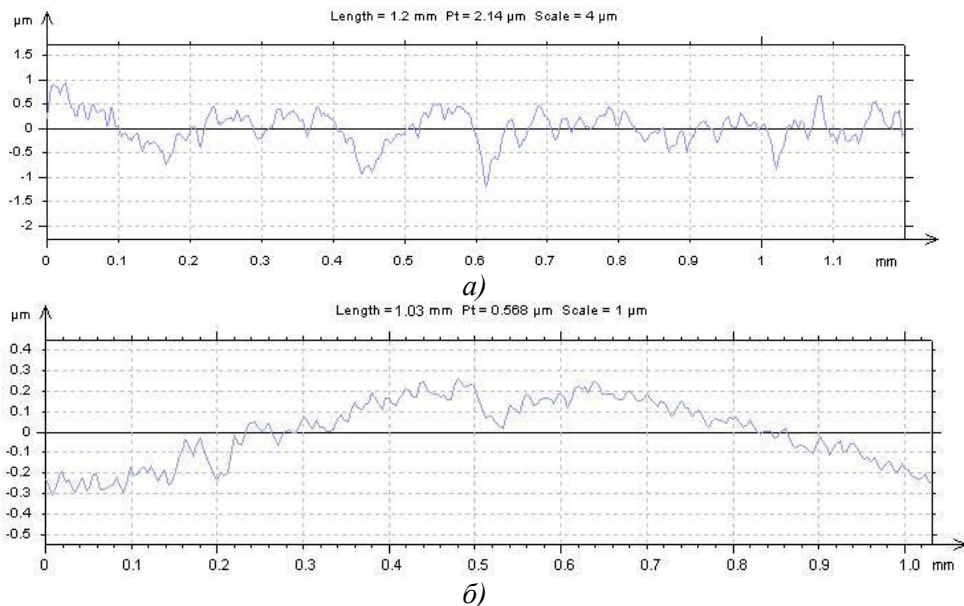


Рис.5 Профілограми перерізів досліджуваної поверхні в напрямі подачі:

а) чистове шліфування ($n_d=180$ об/хв., $n_{кр}=1590$ об/хв., $s_{чорн}=0,6$ мм/хв., $s_{чист}=0,2$ мм/хв); б) вигладжування ($P_6=200$ Н, $s=0,1$ мм/об, $n=500$ об/хв.)

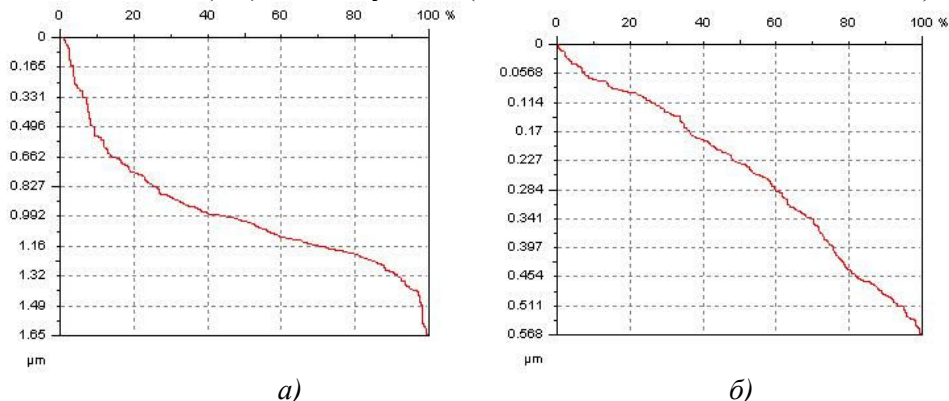


Рис. 6 Крива опорної поверхні: а) чистове шліфування ($n_d=180$ об/хв., $n_{кр}=1590$ об/хв., $s_{чорн}=0,6$ мм/хв., $s_{чист}=0,2$ мм/хв); б) вигладжування ($P_6=200$ Н, $s=0,1$ мм/об, $n=500$ об/хв)

Для удосконалення процесу вигладжування з використанням ЗОР було розроблено гідравлічне пристосування для вигладжування поверхонь обертання (рис. 7). Воно забезпечує подачу ЗОР безпосередньо у зону обро-

блення, а саме у впадини мікронерівностей, гарантуючи її попадання в місце контакту інструмента та заготовки.

Описано методику дослідження впливу сили деформування і радіусу деформуючого елемента на геометричні параметри поверхонь.

Геометричні параметри досліджувалися на зразках зі сталі ШХ15, які попередньо пройшли операцію чорнового шліфування

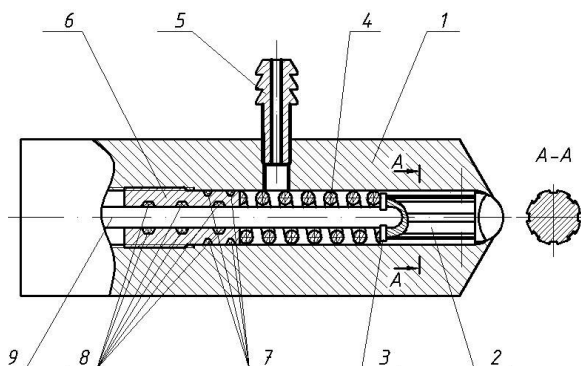


Рис. 7. Гідравлічне пристосування для вигладжування поверхонь обертання з одночасною подачею ЗОР:

- 1- корпус, 2- вигладжувач, 3- шайба, 4- пружина, 5- штуцер, 6- втулка різьбова, 7- ущільнювач зовнішній, 8- ущільнювач внутрішній, 9- шток вимірювального індикатора

Згідно з експериментальними дослідженнями, виявлено: період припрацювання для зразків оброблених вигладжуванням t_1 менший часу припрацювання t_1' для шліфованих зразків; період стійкого зношування для вигладжених зразків більший ($t_2 > t_2'$); інтенсивність зношення на границях періодів менша для зразків, які оброблені вигладжуванням ($I_{h1} < I_{h1}'$, $I_{h2} < I_{h2}'$) (рис. 8).

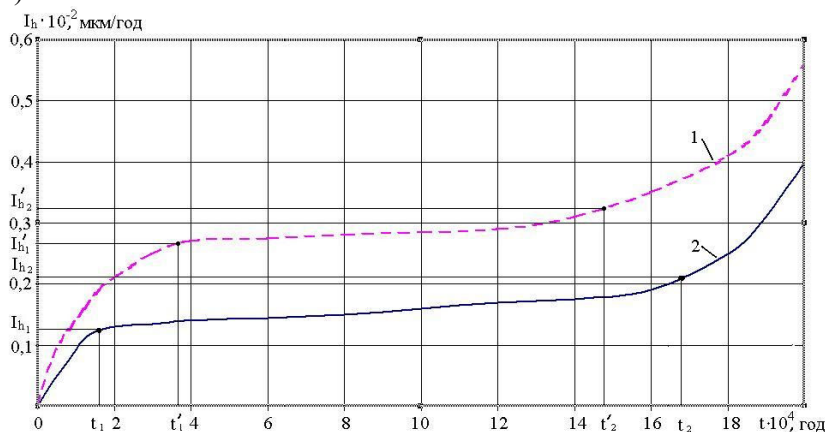


Рис. 8. Залежність інтенсивності зношення від часу експлуатації для зразків із сталі ШХ-15 (HRC 60) оброблених вигладжуванням (2 – $P_g=200$ Н, $s=0,1$ мм/об, $n=500$ об/хв) та чистовим шліфуванням (1 – $n_d=180$ об/хв., $n_{кр}=1590$ об/хв., $s_{чорн}=0,6$ мм/хв., $s_{чист}=0,2$ мм/хв)

У п'ятому розділі реалізовано результати теоретичних та експериментальних досліджень у вигляді запропонованої інженерної методики викінчувального оброблення робочих поверхонь кілець роликопідшипників.

Для покращення експлуатаційних властивостей роликопідшипників та здешевлення їх собівартості запропоновано в технологічному циклі виготовлення внутрішнього кільця роликопідшипника операцію шліфування скоротити тільки до чорнового шліфування, а чистове шліфування та суперфініш замінити зміцнювально-вигладжувальним обробленням.

Розроблено алгоритм і програму проектування технологічної операції вигладжування робочих поверхонь кілець роликопідшипників для умов підшипникового виробництва з отриманням основних показників режиму вигладжування.

Розроблено прогресивну технологію комбінованого оброблення робочих поверхонь кілець роликопідшипників на основі чорнового шліфування та алмазного вигладжування, що дозволило зменшити енерговитрати технологічного процесу виготовлення кілець роликопідшипників на 15-20%, зменшити собівартість підшипника на 5-7% з одночасним підвищенням показників якості оброблених деталей.

Проведені після вигладжування вимірювання параметрів шорсткості робочої поверхні 50-ти внутрішніх кілець роликопідшипників дали наступні результати: $S_m=4...5\text{мкм}$; $H_u = 4210 \dots 4250 \text{ МПа}$; $R_a = 0,12-0,16\text{мкм}$.

Одна деталь з п'ятдесяти не задовольняє вимогам по R_a , що становить 2% браку (було 2,5%). Отримані результати вимірювання R_a задовольняють вимоги по якості.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення й нове вирішення наукової задачі, що полягає в розробленні новітніх методів оброблення робочих поверхонь кілець роликопідшипників, які характеризуються покращеними експлуатаційними характеристиками і є особистим розробленням автора. Суть проблеми полягає в наступному: відсутні науково-обґрунтовані режими оброблення вигладжуванням з використанням синтетичного алмазу типу АКТМ; недостатньо вивчені закономірності перебігу процесу; відсутні встановлені зв'язки між конструктивно-технологічними факторами вигладжувальних операцій та мікрогеометричними параметрами оброблених поверхонь і їх експлуатаційними властивостями. Задача вирішена за рахунок виведених аналітичних залежностей, які визначають раціональні технологічні особливості процесу оброблення кілець роликопідшипників, розроблення основного та допоміжного інструменту для зміцнювального вигладжування.

1. На підставі аналізу існуючих методів формоутворення поверхонь обертання деталей машин при застосуванні зміцнювально-вигладжувальних

методів оброблення розроблено новий метод комбінованого оброблення, який полягає у використанні двох опозитно розміщених вигладжувачів, що дає змогу стабілізувати мікрогеометричні параметри оброблених поверхонь, створюючи направлений вплив пластичної деформації на вершини мікронерівностей поверхні.

2. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що на якість оброблених поверхонь та стійкість інструменту найбільший вплив спричиняють параметри: швидкість, сила вигладжування та подача інструменту. На практиці доведено, що для отримання раціональної мікротопографії робочих поверхонь кілець роликопідшипників показники режиму вигладжування повинні знаходитись у межах: $P_6=150-250\text{Н}$, $s=0,06-0,1\text{мм/об}$, $V=150-300\text{ м/хв}$.

3. На основі розробленої моделі динаміки формоутворення мікрорельєфу робочих поверхонь кілець встановлені зв'язки між амплітудно-частотними характеристиками динамічної системи формоутворення вигладжувальної технологічної системи і параметрами точності та мікрогеометричними параметрами поверхонь після вигладжування. Встановлено, що форма та висота мікронерівності за параметром R_z становить 80% значення середньої амплітуди коливаний інструменту.

4. Експериментальні дослідження розробленої моделі динаміки процесу зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхонь обертання довели, що для забезпечення максимальної точності необхідно визначити оптимальне відносне положення деталі та інструмента в процесі оброблення. Встановлено, що на якість оброблюваної поверхні серед багатьох чинників впливає точність розміщення вигладжувального інструменту по осі ОУ і ОZ, наявність та властивості ЗОР, режими вигладжування.

5. Для фінішного комбінованого оброблення зовнішніх робочих поверхонь кілець роликопідшипників розроблено конструкцію двохстороннього вигладжувального інструменту, яка підтверджена патентом України на корисну модель.

6. За результатами експериментальних та теоретичних досліджень розроблено алгоритм і програму проектування технологічної операції вигладжування робочих поверхонь кілець роликопідшипників для умов підшипникового виробництва з отриманням основних показників режиму вигладжування, на основі яких розроблена інженерна методика керування якістю оброблення кілець роликопідшипників.

7. Розроблено прогресивну технологію комбінованого оброблення робочих поверхонь кілець роликопідшипників на основі чорнового шліфування та алмазного вигладжування, що дозволило зменшити енерговитрати технологічного процесу виготовлення кілець роликопідшипників на 15-20%, зменшити собівартість підшипника на 5-7% з одночасним підвищенням показників якості оброблених деталей. Впровадження методики в діюче

виробництво АТ "СКФ Україна" (публічне) дозволило отримати економічний ефект в сумі 14 тис. грн. на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мороз С.А. Застосування генеративних технологій в біомедицині / В.І.Марчук, С.А Мороз // Збірник тез доповідей VI науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ 2007: стан і перспективи, 24-25 квітня 2007р., м.Київ, ПБФ, НТУУ "КПІ". – с. 240-241.

2. Мороз С.А. Застосування генеративних технологій в медицині / В.І.Марчук, С.А Мороз // Збірник матеріалів міжнародного науково-практичного семінару «Актуальні питання технологічного менеджменту в галузі охорони здоров'я». Луцьк: ЛДТУ, 2006.- с 109-113.

3. Мороз С.А. Перспективи та особливості впровадження генеративних технологій в машино- та приладобудування / В.І.Марчук, С.А Мороз // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво. Матеріали сьомої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції Під редакцією Копитчука М.Б. та ін. - Одеса: ОНПУ, 2007. - 48-49 с.

4. Мороз С.А. Перспективи та особливості впровадження генеративних технологій в машино- та приладобудування / В.І.Марчук, С.А Мороз // Труды Одесского политехнического университета. – 2008. – №1(29). – с.23-25

5. Мороз С.А. Про переваги використання інтегрованих генеративних технологій в машино- та приладобудуванні / В.І.Марчук, С.А Мороз, І.В.Демянова // Тези XXII-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу (технічний напрямок). - Луцьк: Навчально-науковий відділ ЛДТУ, 2007. - с.144-145.

6. Мороз С.А. Вплив методу поверхневого пластичного деформування на формування мікрогеометричних параметрів робочих поверхонь кілець підшипників / В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцький, С.А Мороз // "Наукові нотатки" міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). Випуск 21 (березень, 2008), Луцьк, 2008. с.187-190.

7. Мороз С.А. Технологічне забезпечення і стабілізація параметрів якості підшипників на алмазно-абразивних операціях / В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцький, С.А Мороз // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XV международной научно-технической конференции в г.Севастополе 15-20 сентября 2008г. В 4-х томах.- Донецк: ДонНТУ, 2008. Т.4.- с.276-279.

8. Мороз С.А. Забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників за допомогою комбінування фінішних операцій вигладжування та шліфування / В.І. Марчук, О.О. Розенберг, С.А Мороз // "Машино-

будування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво" // Збірник праць восьмої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції в м. Луцьк 29-31 жовтня 2008 р. - Луцьк: ЛНТУ, 2008. - с.111-113.

9. Мороз С.А. Забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників за допомогою комбінування фінішних операцій вигладжування та шліфування / В.І. Марчук, О.О. Розенберг, С.А. Мороз // "Наукові нотатки" міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). Випуск 24 (лютий, 2009), Луцьк, 2009. с.378-384.

10. Мороз С.А. Зміцнювально-вигладжувальна обробка поверхонь обертання деталей з використанням пристосування з подвійними вигладжувачами / С.А. Мороз, А.А. Ткачук, І.В.Демянова // "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво" // тези доповідей ІХ всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції, 26-27 листопада 2009р., Запоріжжя / відп. ред. Ю.М. Внуков. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2009.- с.139-141.

11. Мороз С.А. Особливості формування фізико-механічних параметрів робочих поверхонь на механообробних операціях / В.Ю. Заблоцький, С.А. Мороз // Тези ХХІV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу "Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва" (технічний напрям).

12. Мороз С.А. Моделювання пружної системи формоутворення мікрогеометрії поверхні при зміцнювально-вигладжувальній обробці / С.А. Мороз // "Наукові нотатки" Міжвузівський збірник (за галузями знань "Машинобудування та металообробка", "Інженерна механіка", "Металургія та матеріалознавство"). Випуск 28 (травень, 2010), Луцьк, 2010. с.340-343.

13. Мороз С.А. Зміцнювально-вигладжувальна обробка поверхонь обертання деталей з використанням пристосування з подвійними вигладжувачами / В.І. Марчук, С.А. Мороз, І.В. Демянова // Вісник СевНТУ «Машинобудування та транспорт», Випуск 107, Севастополь, 2010. с.138-140.

14. Мороз С.А. Покращення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь роликопідшипників за допомогою зміцнювально-вигладжувальних операцій / В.І. Марчук, С.А. Мороз, А.А. Ткачук // Вісник СевНТУ «Машинобудування та транспорт», Випуск 107, Севастополь, 2010. с.141-143.

15. Пат. 48959 Україна, МПК В24В 39/00. Пристрій для вигладжування поверхонь обертання/Марчук В.І., Мороз С.А., Лук'янчук Ю.А., Дем'янова І.В., Радзивилук І.М. - №200911019; Заявл. 02.11.2009; Опубл. 12.04.2010. Бюл. №7.-с.3

16. Мороз С.А. Зміцнювально-вигладжувальне оброблення поверхонь обертання деталей з використанням гідравлічного пристосування з одночасною подачею ЗОР / С.А. Мороз // Європрилад-2010: тенденції роз-

витку та перспективи // Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції в м.Луцьк 14-16 жовтня 2010 р. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. с.55-56.

Анотація

Мороз С.А. Забезпечення мікротопографії кілець роликотідшипників на основі зміцнювально-вигладжувальної технології. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування, – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2010.

Дисертація присвячена вирішенню комплексної науково-технічної задачі технологічного забезпечення формування параметрів мікротопографії робочих поверхонь та експлуатаційних властивостей кілець роликотідшипників шляхом застосування прогресивних викінчувально-вигладжувальних операцій.

На основі розробленої моделі динаміки формоутворення мікрорельєфу робочих поверхонь кілець встановлені зв'язки між амплітудно-частотними характеристиками динамічної системи формоутворення вигладжувальної технологічної системи і параметрами точності та мікрогеометричними параметрами поверхонь після вигладжування.

Розроблено прогресивну технологію комбінованого оброблення робочих поверхонь кілець роликотідшипників на основі чорнового шліфування та алмазного вигладжування, що дозволило зменшити енерговитрати технологічного процесу виготовлення кілець роликотідшипників та зменшити собівартість підшипника з одночасним підвищенням показників якості оброблених деталей.

За результатами експериментальних та теоретичних досліджень розроблено алгоритм і програму проектування технологічної операції вигладжування робочих поверхонь кілець роликотідшипників для умов підшипникового виробництва з отриманням основних показників режиму вигладжування.

Ключові слова: технологічний процес, роликотідшипник, зміцнювально-вигладжувальне оброблення, робочі поверхні, параметри мікротопографії.

Аннотация

Мороз С.А. Обеспечение микротопографии колец роликотидшипников на основе укрепляющей выглаживальной технологии. Рукопись

Диссертация на соискания учения степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения, - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2010.

Диссертация посвящена решению комплексной научно-технической задачи технологического обеспечения формирования параметров микрото-

пографии рабочих поверхностей и эксплуатационных свойств колец роликоподшипников путем применения прогрессивных финишных выглаживальных операций.

На основе разработанной модели динамики формообразования микрорельефа рабочих поверхностей колец установлены связи между амплитудно-частотными характеристиками динамической системы формообразования выглаживальной технологической системы и параметрами точности и микрогеометрическими параметрами поверхностей после выглаживания.

Разработано прогрессивную технологию комбинированного обработки рабочих поверхностей колец роликоподшипников на основе чернового шлифования и алмазного выглаживания, что позволило уменьшить энергозатраты технологического процесса изготовления колец роликоподшипников и уменьшить себестоимость подшипника с одновременным повышением показателей качества обработанных деталей.

По результатам экспериментальных и теоретических исследований разработан алгоритм и программа проектирования технологической операции выглаживания рабочих поверхностей колец роликоподшипников для условий подшипникового производства с получением основных показателей режима выглаживания.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованной литературы и приложений.

В первом разделе рассмотрены особенности современного методологического подхода к технологическому обеспечению поверхностей колец роликоподшипников. В частности анализируется влияние технологических факторов финишных операций на параметры качества рабочих поверхностей колец роликоподшипников, рассмотрены особенности формирования геометрических и физико-механических параметров поверхностей качения колец в технологическом цикле изготовления подшипников. Рассмотрено значение укрепляющей выглаживальной технологий в обеспечении параметров качества поверхностей деталей, осуществлен обзор известных схем и материалов инструмента для укрепляющих выглаживальных операций поверхностей качения роликоподшипников.

Во втором разделе проведен анализ механизма формирования микротопографии рабочих поверхностей на финишных операциях. Выявлено влияние технологических факторов на формирование поверхностного слоя рабочих поверхностей колец.

Установлено, что основными параметрами выглаживания, влияющими на шероховатость, являются: сила выглаживания, подача и радиус рабочей части инструмента. При увеличении силы выглаживания до определенного значения шероховатость уменьшается.

В третьем разделе рассмотрены теоретические предпосылки, технологические особенности и разработана математическая модель формообразования

вания шероховатости поверхности на укрепляющих выглаживальных операциях.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований процесса выглаживания поверхностей качения колец с целью разработки методики моделирования параметров формообразования микро-рельефа поверхностей обрабатываемых деталей для управления процессом формообразования.

В пятом разделе реализовано результаты теоретических и экспериментальных исследований в виде предложенной инженерной методики для финишной обработки рабочих поверхностей колец роликоподшипников.

Ключевые слова: Технологический процесс, роликоподшипник, упрочняющая выглаживательная обработка, рабочие поверхности, параметры микро топографии.

Annotation

S. Moroz. Providing of micro-topography the rings of roller-bearing is on the basis of strengthen-smoothing technology. - Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering's sciences of specialty 05.02.08 - technology of engineer in the Ternopil national technical university of the name of Ivan Pulyuya, Ternopil, 2010.

Dissertation is sacred to the decision of complex scientific and technical task of the technological providing of forming of parameters of micro-topography of working surfaces and operating properties the rings of roller-bearings by application of progressive finished-smoothing operations.

On the basis of the worked out model of dynamics of form-making of micro-relief of working surfaces of rings the set copulas are between the gain-frequency characteristics of the dynamic system of form-making of smoothing of the technological system and parameters of exactness and micro-geometry parameters of surfaces after pressing.

Progressive technology of the combined treatment of working surfaces of rings of roller-bearings is worked out on the basis of the draft polishing and diamond pressing which allowed to decrease energy consumption of technological process of making the rings of roller-bearings and decrease a prime bearing price with the simultaneous increase of indexes the quality of the treated details.

On results experimental and theoretical researches an algorithm and program of planning the technological operation of pressing of working surfaces the rings of roller-bearings is worked out for the terms of bearing production with the receipt of basic indexes of the pressing mode.

Keywords: technological process, roller-bearing, strengthen-smoothing treatment, working surfaces, parameters of micro-topography.

Підписано до друку _____ 10. Формат 60×84/6.
Папір офісний. Гарнітура Times New Roman
Обл.-вид. арк.1 Ум. друк. арк. 1,5. Тираж 100 прим. Зам.

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧИЙ ВІДДІЛ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
43018, УКРАЇНА, М. ЛУЦЬК, ВУЛ. ЛЬВІВСЬКА, 75