

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГРИНЮК СЕРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.822.681.2:369.64

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАЦІЙ БЕЗЦЕНТРОВОГО
ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ В УМОВАХ
СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.02.08 - технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛУЦЬК - 2021

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Марчук Віктор Іванович
Луцький національний технічний університет,
професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Лебедєв Володимир Георгійович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри технології конструкційних матеріалів
та матеріалознавства

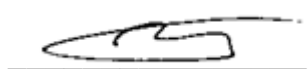
доктор технічних наук, доцент,
Ляшук Олег Леонтійович
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,
завідувач кафедри автомобілів

Захист відбудеться «29» квітня 2021р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради К 32.075.06 в Луцькому національному технічному університеті за
адресою: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Луцького національного
технічного університету за адресою: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Автореферат розісланий «28» березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Лапченко Ю.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У практиці світового машинобудування відбувається постійне підвищення вимог до якості та конкурентоспроможності виробів. Оскільки, надійність та довговічність машин і механізмів багато в чому визначається надійністю опор кочення, то проблема підвищення експлуатаційних характеристик підшипників кочення, які вирішальним чином залежать від точності форми і якості робочих поверхонь їх деталей є актуальною і надзвичайно важливою.

Розвиток машинобудування на сучасному етапі вимагає прискорення темпів науково-технічного прогресу, підвищення продуктивності праці на основі ефективного використання трудових і матеріальних ресурсів, швидкого оновлення засобів виробництва, широкого впровадження прогресивних технологій на базі автоматизованих гнучких виробництв.

Успішний розвиток багатьох галузей промисловості, зокрема, машинобудування, сільгосптехніки, авіаційної техніки, верстатобудування та багатьох інших пов'язаний з використанням підшипників кочення. Часто показники якості багатьох з цих машин і механізмів прямо залежать від експлуатаційних характеристик підшипників. Через це вимоги до якості виготовлення підшипників і до їх експлуатаційних показників постійно зростають, а технологічне забезпечення цих вимог стає все більш проблемним.

Характерною особливістю сучасного машинобудування є широке застосування серійних і малосерійних виробництв; 80 – 85% виробів від загального об'єму продукції, що випускається, виготовляються в умовах серійного та дрібносерійного виробництва, які поступаються масовому і великосерійному виробництву за технологічною продуктивністю та техніко-економічними показниками. У цих умовах актуальною є проблема виявлення резервів підвищення ефективності фінішних операцій та якості оброблених поверхонь на основі використання технологічних принципів масового та великосерійного виробництва.

В дисертаційній роботі запропоновано використання прогресивного, переривчастого шліфувального інструмента (кругів) на операціях чорнового та напівчистового шліфування базових поверхонь зовнішніх кілець після термічного оброблення, внаслідок чого покращились умови тепло- та стружко відведення від зони різання, що, в свою чергу, дозволило підвищити точність і якість шліфованих поверхонь, знизити температуру різання, запобігти виникненню температурних дефектів, збільшити технологічну продуктивність шліфувальних операцій.

Враховуючи вищесказане, дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-практичної проблеми, а саме підвищення ефективності операцій безцентрового шліфування деталей роликпідшипників під час їх виготовлення в умовах серійного переналагоджувального виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі приладобудування Луцького національного технічного університету відповідно до плану держбюджетної

теми: «Підвищення технологічної гнучкості та ефективності багатоінструментальних операцій механічного оброблення деталей роликотидшипників в умовах переналагоджувального виробництва» (№ держреєстрації 0112U000285, наказ МОН молоді та спорту України № 1241 від 28.10.2012 р.); згідно з координаційним планом Комітету з питань науки і техніки України, розділу «Машинобудування» (позиція 43) «Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні» на 2010–2015 роки. та держбюджетної теми: «Технологічне забезпечення й стабілізація якості поверхневого шару деталей підшипників на операціях шліфування переривчастими кругами» (№ державної реєстрації 0115U002202).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є технологічне забезпечення й стабілізація умов високопродуктивного бездефектного шліфування поверхонь обертання кілець роликотидшипників для підвищення якості та експлуатаційних характеристик шліфованих поверхонь в умовах серійного переналагоджувального підшипникового виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі були поставлені такі завдання:

1. На підставі аналізу літературних джерел за напрямом досліджень та вивчення виробничого досвіду з проблеми технологічного забезпечення якості шліфованих деталей й підвищення ефективності технології підшипникового виробництва дослідити джерела походження та причини виникнення розмірно-геометричних, фізико-механічних дефектів під час виконання фінішних шліфувальних операцій.

2. Дослідити механізм походження температурних дефектів на операціях безцентрового шліфування базових поверхонь обертання зовнішніх кілець роликотидшипників переривчастими шліфувальними кругами.

3. Розробити методику моделювання теплових процесів на операціях чорного та напівчистого шліфування кілець, а також математичну модель оперативного розрахунку температури та визначення умов бездефектного високопродуктивного шліфування циліндричних поверхонь для функціонування системи адаптивного керування шліфуванням.

4. Визначити умови зменшення температури поверхневого шару під час безцентрового шліфування поверхонь зовнішніх кілець підшипників для бездефектного високоєфективного шліфування переривчастим абразивним інструментом (кругами).

5. Провести комплекс експериментальних досліджень зв'язків конструкторсько-технологічних чинників безцентрово-шліфувальних операцій з фізико-механічними показниками якості шліфованих поверхонь та силовими параметрами процесу шліфування, які безпосередньо впливають на показники процесу шліфування та на параметри якості шліфованих поверхонь. Дослідити вплив конструктивних параметрів переривчастого збірного круга та умов охолодження ЗОР на показники якості та умови бездефектного шліфування деталей.

6. Визначити геометричні параметри та конструктивні особливості переривчастого абразивного інструменту для високоєфективного безцентрового

шліфування базових поверхонь кілець та розробити методику прогнозування температури в зоні шліфування і параметрів якості шліфованих поверхонь.

7. На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розробити схему адаптивного керування температурою шліфування та інженерну методику оперативного визначення параметрів налагодження шліфувального верстата SASL5AD на етапі технологічної підготовки та безцентрово-шліфувальних операцій.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси шліфування поверхонь обертання кілець роликотішипників в умовах автоматизованого переналагоджувального підшипникового виробництва.

Предмет дослідження – взаємозв'язки конструкторсько-технологічних чинників шліфувальних операцій з показниками якості та експлуатаційними характеристиками базових поверхонь кілець роликотішипників.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є системний підхід до визначення досліджуваного об'єкту – технологічних процесів формоутворення поверхонь обертання з врахуванням зв'язків технологічних факторів із розмірними та фізико-механічними параметрами якості шліфованої поверхні. В основу дисертаційних досліджень було покладено загальні положення технології машинобудування, теорії різання металів, а також математичний апарат аналізу та синтезу для моделювання розмірних параметрів поверхонь обертання в процесі їх формоутворення на операціях безцентрового шліфування, теорії гармонічного аналізу для дослідження механізму виникнення похибок розмірного контролю та причин, що їх викликають, математичної статистики під час аналізу причин виникнення дефектів оброблення в технологічних системах механічного оброблення, теорії автоматичного керування процесом шліфування; методів планування експерименту для проведення експериментальних досліджень, аналізу та оброблення результатів.

Для дослідження й аналізу геометричної структури поверхонь, шорсткості та фізико-механічних параметрів якості, а також для визначення параметрів мікрогеометрії використовувався прилад MWA100C, прилад SURTRONIC-3 для вимірювання шорсткості поверхонь обертання. Температурні показники досліджувались за допомогою пірометра пістолетного типу з діапазоном вимірювання температури від 50-1000°C, марки НТ-822. Результати теоретичних досліджень підтверджені аналітичними розрахунками, моделюванням на ЕОМ, експериментальними дослідження та апробовані у виробничих умовах .

Наукова новизна одержаних результатів.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено взаємозв'язки конструкторсько-технологічних чинників безцентрово-шліфувальних операцій з показниками ефективності процесу шліфування та параметрами якості шліфованих деталей. Встановлені важливі функціональні залежності між режимами шліфувальних операцій, конструктивними особливостями та структурою ріжучого інструменту (шліфувальних кругів), температурою в зоні шліфування та показниками якості кілець роликотішипників.

Для цього вперше:

- розроблено математичну модель визначення та прогнозування температури в зоні шліфування поверхонь кілець, яка ґрунтується на врахуванні балансу тепла, що передається в стружку і в оброблювану деталь, що дозволило визначити умови зменшення температури шліфування, а отже умови запобігання температурних дефектів та стабілізації параметрів якості і точності шліфованих поверхонь кілець роликів підшипників;

- виявлено закономірності розповсюдження тепла в зоні шліфування кілець роликів підшипників, отримані залежності для визначення глибини прогрівання шліфованої поверхні для заданої швидкості переміщення теплового джерела вздовж шліфованої поверхні під час переривчастого шліфування, аналітично визначені умови зменшення температури та швидкості її проникнення в тіло заготовки;

- отримано аналітичні залежності, що описують функціональні зв'язки між режимами шліфування, конструктивними особливостями шліфувального інструмента (число ріжучих виступів круга) при зміні типорозмірів кілець, які запускаються у виробництво, та температурою в зоні шліфування поверхонь кілець роликів підшипників;

- встановлено залежність між швидкістю різання, температурою шліфування та кількістю тепла, що переходить в стружку, в тіло заготовки та в різальний інструмент під час шліфування циліндричних поверхонь кілець роликів підшипників переривчастими кругами;

- отримані аналітичні залежності для визначення приведенного показника температури, який характеризує теплонапруженість процесу шліфування. На цій основі отримані залежності для оперативного визначення температури в ході безцентрового шліфування поверхонь обертання переривчастими і суцільними кругами.

Практичне значення одержаних результатів.

Вдосконалено технологію безцентрового шліфування поверхонь зовнішніх кілець роликів підшипників за рахунок використання високоефективного шліфувального інструмента з переривчастою робочою поверхнею, що покращило умови стружки - та тепловідведення з зони шліфування:

- запропоновано конструкцію збірного шліфувального круга зі змінною зернистістю окремих секцій, що дозволило стабілізувати параметри якості шліфованих поверхонь та зменшити теплонапруженість процесу шліфування;

- розроблено інженерну методику розрахунку і встановлення раціональних режимів оброблення та визначення параметрів інструментального налагодження верстата SASL5AD на шліфувальну операцію для стабілізації параметрів якості та підвищення ефективності бездефектного оброблення деталей;

- запропоновано алгоритм оперативного визначення параметрів технологічної операції абразивного оброблення кілець на безцентрово-шліфувальному верстаті. З технологічного маршруту вилучена одна

шліфувальна операція, що дало змогу отримати економічний ефект в сумі 180 тис. грн. Технологія переривчастого шліфування впроваджена в діюче підшипникове виробництво ПрАТ «СКФ Україна».

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок дисертанта в роботах, які виконані спільно з авторами публікацій та патенту на корисну модель [12] розроблення технологічного обґрунтування та розроблення методики експериментальних досліджень [1, 2], постановка й проведення експериментальних досліджень [4, 8 - 10], розроблення математичних моделей [5 – 7, 11], дослідження фізико - механічних параметрів поверхонь обертання та експлуатаційних властивостей зовнішніх кілець роликотпідшипників [3].

Постановка задач, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим керівником та, частково, з співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на : науково-практичних конференціях Луцького національного технічного університету у 2015-2020 рр.; IV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м.Тернопіль, 25-26 листопада 2015 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування» (м. Луцьк, 20-23 травня 2019 р.); IX Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» (м.Львів-Плай, 3 – 7 лютого 2020 р.); IV Всеукраїнській науково-технічній конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції» (м.Луцьк, 29 жовтня 2020 р.) Робота доповідалась й отримала позитивний відгук на розширених засіданнях науково-технічних семінарів Луцького національного технічного університету.

Публікації. Основний зміст і результати роботи опубліковані в 11 друкованих працях, серед яких 3 статті (1 одноосібно) в наукових журналах, збірниках, тезах доповідей, з них 8 у фахових виданнях, отримано один патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації – 173 сторінок, в тому числі – 58 ілюстрацій, 15 таблиць, список використаних джерел з 149 найменувань та 4 додатки на 11 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації – 162 сторінки.

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 проведено аналіз сучасного стану проблеми підвищення якісних параметрів кілець роликотідшипників в умовах серійного переналагоджувального виробництва. Розглянуто особливості та структура технологічних процесів підшипникового виробництва, наведено характер взаємозв'язків між конструктивними особливостями деталей підшипників та структурою технологічних процесів.

На рис. 1 показано взаємозв'язки показників процесу шліфування з чинниками, які впливають на ефективність шліфування та якісні показники шліфованих поверхонь.

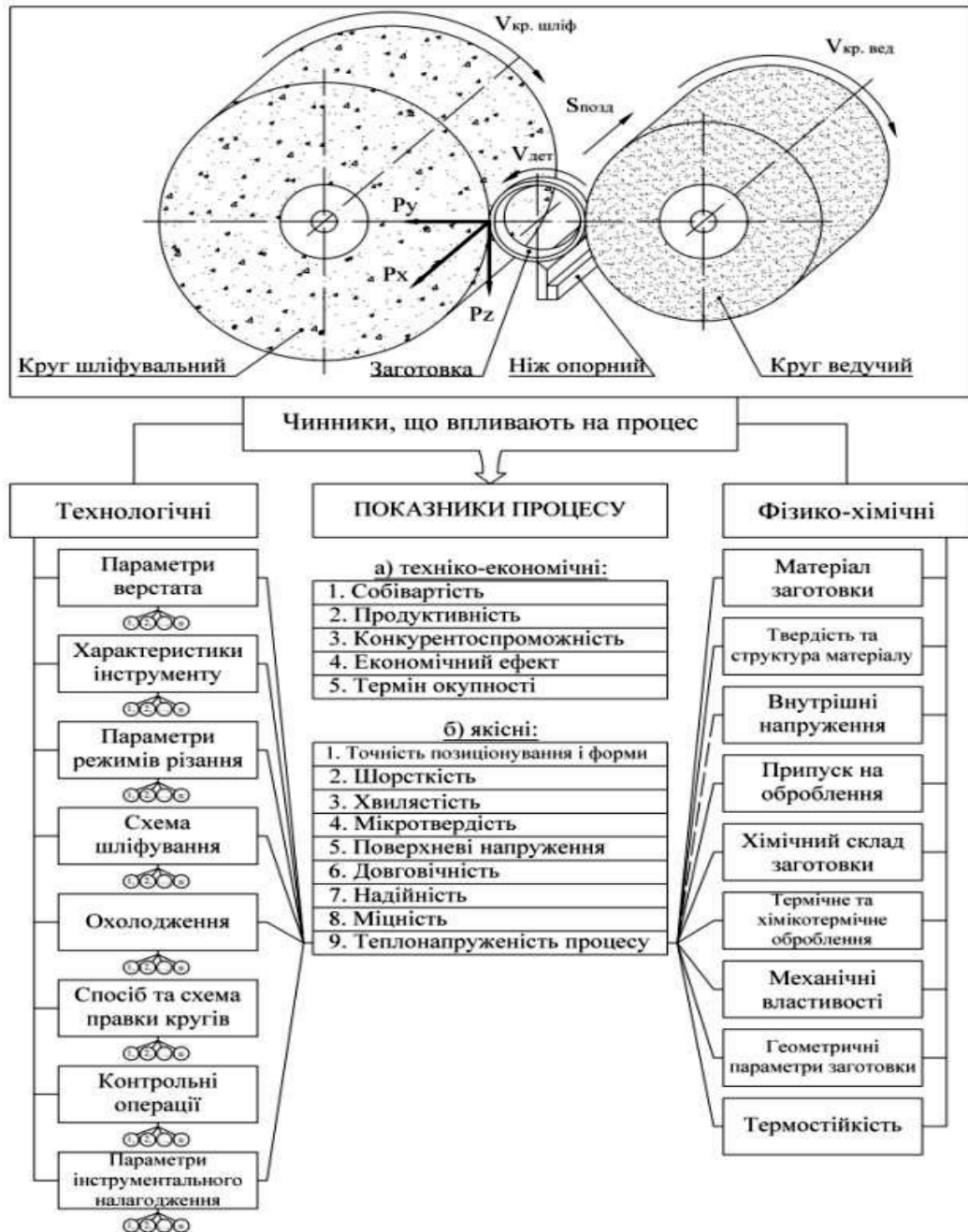


Рис. 1. Чинники та показники операцій шліфування кілець роликотідшипників

На підставі аналізу літературних джерел та виробничого досвіду розглянуто причини виникнення та характеристика виробничих дефектів, що

спостерігаються під час операцій безцентрового шліфування циліндричних поверхонь кілець роликотідшипників. Встановлено, що найпоширенішими дефектами, що виникають під час шліфувальних операцій деталей роликотідшипників є температурні дефекти, а також ті, що пов'язані з вимогами до якості поверхонь деталей. Причинами виникнення температурних дефектів є складний характер взаємозв'язків між режимами механічного оброблення, температурою, що виділяється в зоні різання, та фізико-механічними характеристиками оброблених поверхонь. Особливо актуальними ці взаємозв'язки є для шліфувальних операцій.

Аналізуючи схему (рис. 1) можна зробити висновок, що на показники ефективності та якості шліфування впливає множина чинників, які можна розділити на дві групи – технологічні, які пов'язані з процесом оброблення та фізико-хімічні, які характеризують властивості шліфованої заготовки. Основним завданням дослідження було встановити взаємозв'язки між множинами конструкторсько-технологічних чинників, що впливають на техніко-економічні показники процесу і на параметри якості та точності шліфованих поверхонь, як результат реалізації технологічного процесу

При аналізі наукових робіт учених, до яких слід віднести: П.І. Ящеріцина, Є.Н. Маслова, О.В. Якімова, В.П. Ларшина, В.М. Вerezуба, В.А. Сипайлова, Л.М. Філімонова, Ю.Н. Полянчикова, Ю.В. Петракова, В.Г. Лебедева, В.І. Марчука, С.С. Шахновського, П.Р. Родіна, В.М. Сухарева, А.В. Корольова, А.М. Баландіна, створені наукові основи процесу шліфування, розроблені технологічні методи абразивного оброблення, що широко й успішно застосовуються в різних галузях машинобудування. Цими роботами і досвідом підприємств наведено широкі можливості процесів шліфування щодо забезпечення високої якості деталей машин при обробленні. Разом з тим, недостатньо досліджень спрямовано на вивчення потенційних можливостей процесу переривчастого шліфування, який дозволяє значно підвищити продуктивність, стабілізувати якість внаслідок зменшення теплонапруженості процесу. Сформульовано мету та задачі дослідження

У другому розділі на підставі відомих підходів до моделювання температури під час безцентрового шліфування, запропоновано підхід до моделювання теплових процесів в зоні різання під час шліфувального оброблення поверхонь обертання кілець роликотідшипників.

Для моделювання теплових процесів в зоні різання прийнята умова, що за час впливу теплового потоку τ відбулося перерізування сегмента довжиною l_1 , тобто тепловий потік перемістився вздовж сегмента на величину $l_1 = V_{piz} \cdot \tau$, і за цей проміжок часу в результаті різання виділилась певна кількість тепла Q (де V_{piz} – швидкість перерізування сегмента, м/с) (рис. 2).

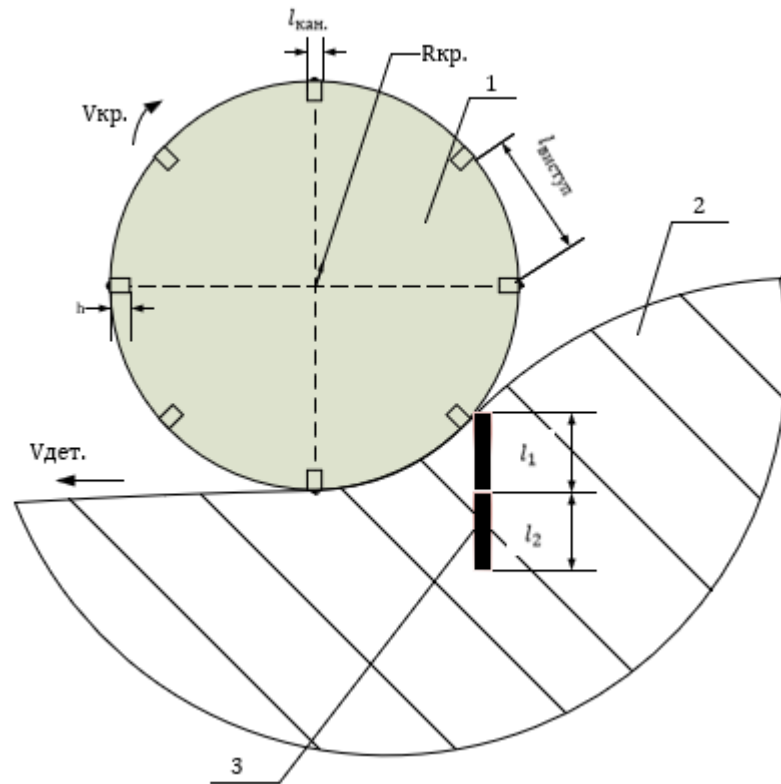


Рис. 2. Розрахункова схема теплопровідності в зоні шліфування переривчастим кругом: 1 – шліфувальний круг; 2 – деталь (заготовка); 3 – адіабатичний стержень

Це тепло, використовується на нагрівання сегмента довжиною l_1 (витрачена кількість тепла Q_1), а також на нагрівання сегмента довжиною l_2 за рахунок теплопровідності оброблюваної деталі (витрачена кількість тепла Q_2):

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

В результаті перетворень рівність (1) можна представити у вигляді диференційного рівняння за температурою:

$$\theta_2' \cdot \theta_2 + A \cdot \theta_2 = B, \quad (2)$$

де $A = \frac{V_{\text{різ}} \cdot N}{\lambda \cdot S}$; $B = \frac{N^2}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot S^2}$; N – потужність теплового джерела, Вт; λ – коефіцієнт теплопровідності деталі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot ^\circ\text{C}$; c – питома теплоємність деталі, $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$; ρ – густина матеріалу деталі, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; S – площа поперечного перерізу сегмента, м^2 .

Після виконання певних перетворень розв'язок диференціального рівняння (2) буде мати наступний вигляд:

$$\theta = \frac{B}{A} \cdot \left[1 - e^{-\frac{A^2}{B} \tau + \frac{\theta}{A}} \right]. \quad (3)$$

Як бачимо із залежності (3), характер зміни температури θ від часу дії теплового потоку τ підпорядковується складній закономірності, через те, що температура θ є в лівій і в правій частині залежності (рис.3.).

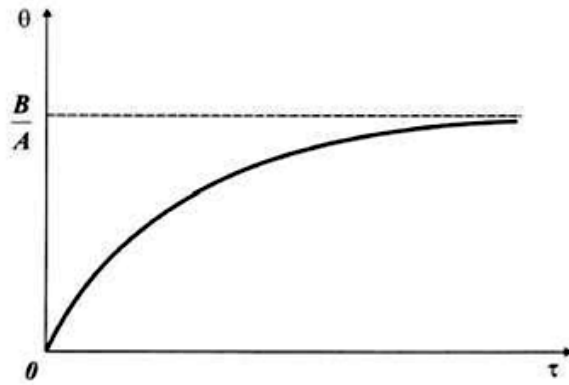


Рис. 3. Залежність величини температури θ від часу дії теплового потоку τ

В результаті проведених перетворень отримаємо:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ.}} \cdot l_1}{\lambda}} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho}{\sigma} \cdot \theta} \right] \quad (7)$$

Враховуючи складний характер взаємозв'язку температури θ з часом дії теплового потоку τ , введемо новий параметр – показник приведеної температури $\omega = \frac{\theta}{\sigma}$ та виразимо в залежності (7) температуру θ безрозмірною величиною ω :

$$l_1 = -\frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ.}}} \cdot [\ln(1 - \omega) + \omega] = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ.}}} \cdot \bar{l}_1 \quad (8)$$

де $\bar{l}_1 = -\ln(1 - \omega) - \omega$.

В результаті обчислень було отримано залежність для визначення довжини частини сегмента l_1 . В табл.1 і на рис. 4 наведені розрахункові значення показника приведеної температури ω .

Таблиця 1

Розрахункові значення безрозмірної величини \bar{l}_1

ω	0,095	0,172	0,323	0,54	0,687	0,814	0,89	0,9	0,999	0,9999
\bar{l}_1	0,004	0,015	0,072	0,193	0,368	1,0477	1,4	2,005	3,6	6,0

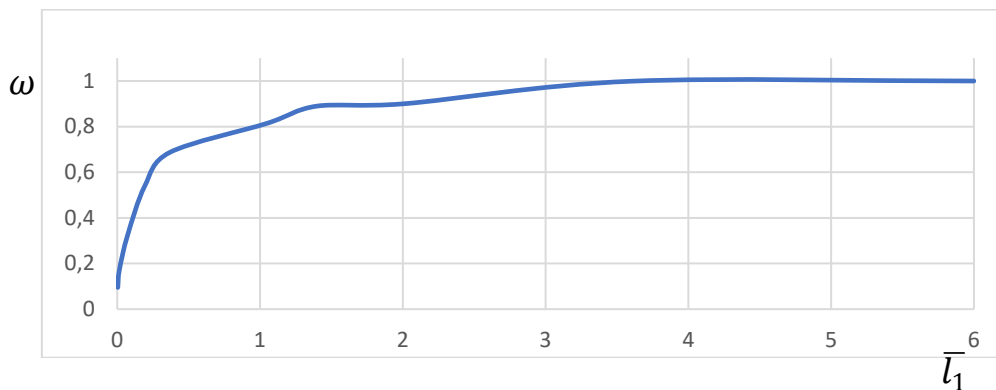


Рис. 4. Залежність показника приведеної температури ω від параметра \bar{l}_1

З рис. 3 можна зробити висновок, що чим більша безрозмірна величина \bar{l}_1 , тим більший показник приведеної температури ω , який прямує до одиниці. За

таким самим законом буде змінюватися показник приведеної температури ω в залежності від часу дії теплового потоку τ :

$$\tau = \frac{l_1}{V_{\text{різ.}}} = -\frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ.}}^2} \cdot [\ln(1 - \omega) + \omega] = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ.}}} \cdot \bar{l}_1 \quad (9)$$

В загальному випадку (для невстановленого теплового процесу) розрахунок поточної температури шліфування θ можна виконати згідно залежності:

$$\theta = \left(\frac{\sigma}{c \cdot \rho}\right) \cdot \omega. \quad (10)$$

Суть полягає у тому, що спершу за допомогою залежностей (8) і (9) для заданих значень τ і \bar{l}_1 визначаються безрозмірні параметри \bar{l}_1 і ω . Потім за допомогою залежності (10) визначається значення температури під час шліфування.

В результаті проведених теоретичних досліджень, отримано аналітичну залежність, що дозволяє в явному вигляді виразити температуру в зоні різання, через параметри процесу шліфування, такі як товщина шару, що піддається тепловому впливу, який складається з поверхневого шару обробленої деталі та зрізаного припуску, швидкості переміщення теплового джерела в глибину поверхневого шару деталі, умовного напруження різання й фізико-механічних характеристик матеріалу заготовки.

Отримані залежності створюють передумови прогнозування шляхів та способи зменшення температури шліфування на етапі технологічного проектування переналагоджувального підшипникового виробництва. Встановлено, що зі збільшенням показника приведеної температури ω для умов безцентрового шліфування кілдець роликотіпшипників кількість тепла, яке переходить в стружку, збільшується, наближаючись до 70%, а кількість тепла, що переходить в адіабатичний сегмент, зменшується, наближаючись до 30%.

На підставі теоретичного підходу до розрахунку теплового балансу під час безцентрового шліфування, визначені основні умови зменшення температури і відповідно підвищення якості оброблення, які полягають в зменшенні кількості тепла, що передається в деталь та збільшення кількості тепла, що передається в стружку, за рахунок зменшення величини припуску, швидкості переміщення теплового джерела в глибину поверхневого шару і застосування переривчастих шліфувальних кругів.

У **третьому розділі** проведено теоретичні дослідження температури, що утворюється в зоні шліфування переривчастими кругами. Розроблена математична модель теплових процесів, що виникають на операціях безцентрового шліфування переривчастими шліфувальними кругами (рис. 5).

З урахуванням залежностей, отриманих в другому розділі, основне диференціальне рівняння теплопровідності з урахуванням руху теплового джерела має вигляд:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right) + V_d \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2}, \quad (11)$$

де θ – температура; a – коефіцієнт температуропровідності; V_d – швидкість деталі (заготовки); τ – час контакту круга з заготовкою.

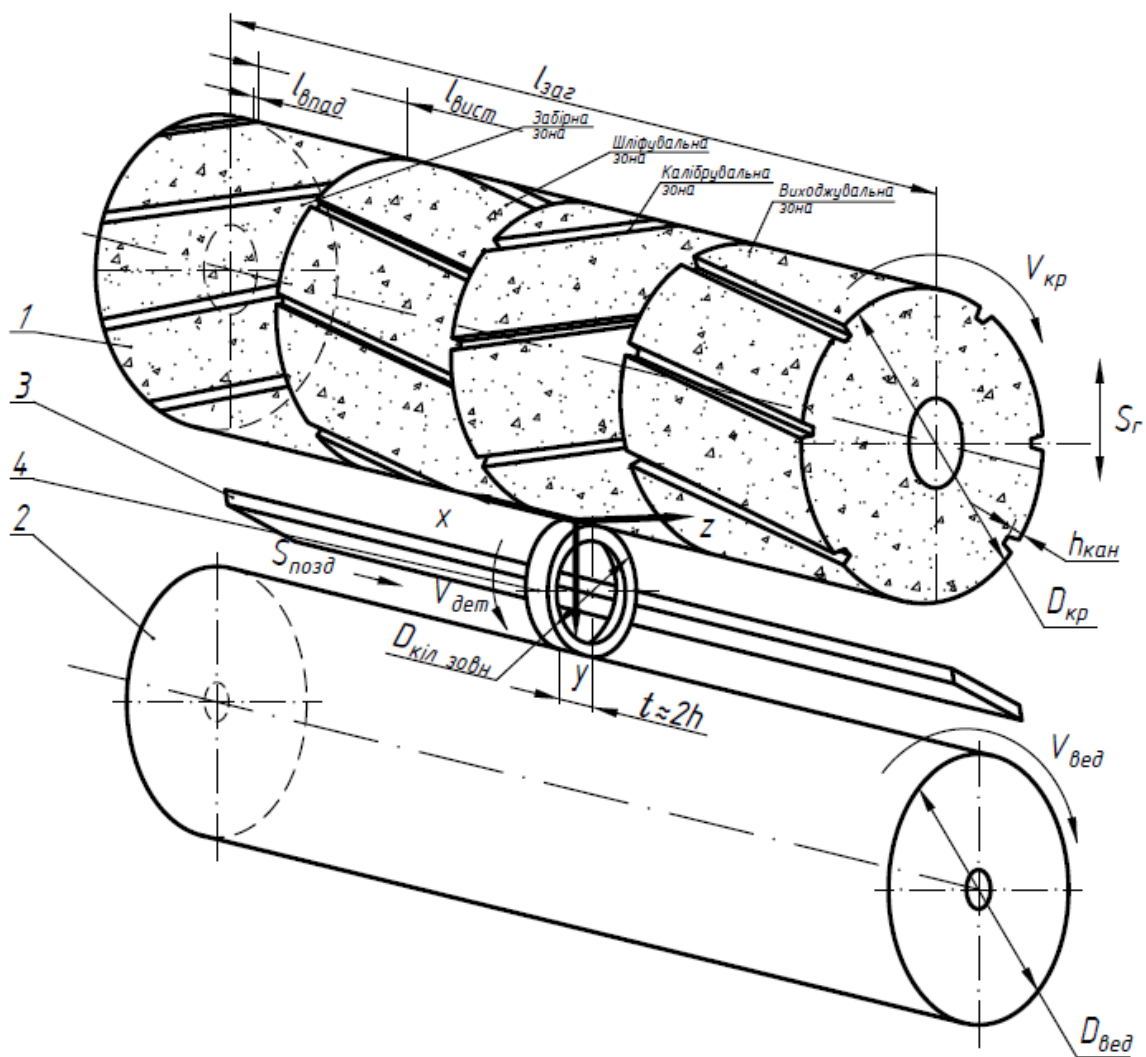


Рис. 5. Розрахункова схема утворення нескінченного сегментоподібного теплового джерела: 1 – шліфувальний круг; 2 – ведучий круг; 3 – ніж опорний; 4 – заготовка

Таким чином, задача знаходження розв'язку рівняння теплопровідності (11) зводиться до вирішення рівняння $\theta = f(X, Y, Z, \tau)$ методом теплових джерел. Суть методу теплових джерел полягає в тому, що будь-який процес можна представити як суму процесів вирівнювання температури від нескінченної кількості елементарних джерел тепла, розподілених у просторі та часі. Дія елементарного джерела в нескінченному масиві характеризується функцією джерела:

$$\theta(X, Y, Z, X', Y', Z', \tau) = \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{(4\pi \cdot a \cdot \tau)^2}} \cdot e\left(-\frac{(X-X')^2 \cdot (Y-Y')^2 \cdot (Z-Z')^2}{4a\tau}\right) \quad (12)$$

де Q – кількість тепла, що миттєво виділилося в точці з координатами X', Y', Z' ; c – питома теплоємність; ρ – густина матеріалу.

Під час руху джерела в позитивному напрямку осі Z або під час руху теплопровідного середовища відносно джерела в протилежному напрямку,

координата дії джерела відносно середовища Z' буде безупинно змінюватися на величину $V_d \cdot \tau$:

$$\theta = \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{(4\pi \cdot a \cdot \tau)^2}} \cdot e\left(-\frac{(X-X')^2 \cdot (Y-Y')^2 \cdot (Z-Z'+V_d \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right). \quad (13)$$

Інтенсивність джерела характеризується щільністю теплового потоку g , що являє собою кількість тепла, яке виділяється на одиницю довжини сегмента за одиницю часу.

Після проведених деяких перетворень отримали рівняння, що виражає залежність температури на шліфованій поверхні від часу:

$$\theta = \frac{2g \cdot a}{\lambda \cdot \sqrt{\pi} \cdot V_d} \cdot \left[\frac{V_d \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}} \cdot \left(1 - \Phi\left(\frac{V_d \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}\right)\right) - \frac{e\left(\frac{-V_d^2 \cdot \tau}{4a}\right) - 1}{\sqrt{\pi}} \right]. \quad (14)$$

Вираз (14) дозволяє визначити час, протягом якого температура поверхні досягне наперед заданої величини.

Враховуючи складний характер зв'язку приведеного показника температури ω з глибиною шліфування t , виконаємо відповідно до залежності $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t = \frac{\lambda \cdot \omega}{c \cdot \rho \cdot l_2} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{кр} \cdot \omega}{l_2 \cdot \bar{l}_1}}$ кількісну оцінку впливу глибини шліфування t на основні параметри теплового процесу. Під час розрахунку використовуємо вихідні дані: $c = 175,9$ Дж/(кг · °С); $\rho = 15 \cdot 10^3$ кг/м³; $\lambda = 50$ Вт/(м · °С); $2R_{кр} = 0,25$ м; $V_d = 600$ мм/хв.

Таблиця 2

Розрахункові значення параметрів \bar{l}_1 ; ω ; l_2 ; $l_1 = t$; l_2/l_1 ; Q_1/Q ; Q_2/Q ; Q_2/Q_1

$t \cdot 10^{-3}, \text{ м}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
\bar{l}_1	0,042	0,012	0,022	0,034	0,047
ω	0,09	0,15	0,19	0,24	0,27
$l_2 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$	0,426	0,5	0,52	0,57	0,57
$l_1 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
l_2/l_1	21,3	12,5	8,7	7,1	5,7
Q_1/Q	0,05	0,1	0,13	0,17	0,19
Q_2/Q	0,95	0,9	0,87	0,83	0,81
Q_2/Q_1	19	9	6,7	4,9	4,3

Як видно з табл. 2, зі збільшенням глибини шліфування t безрозмірна величина \bar{l}_1 і приведений показник температури ω збільшуються. Відповідно будуть збільшуватися й абсолютні значення температури шліфування θ , що визначається залежністю (10).

Справедливим буде висновок, що довжина l_2 зі збільшенням глибини шліфування t збільшується і приймає значення, яке суттєво перевищує $l_1 = t$, однак слід відмітити, що інтенсивність збільшення довжини l_2 зі збільшенням глибини шліфування t незначна. Отже зі збільшенням глибини шліфування t в 5 раз (з 40 до 200 мкм) довжина l_2 збільшилась тільки в 1,34 рази. Це важливий результат, який вказує на те, що за рахунок зменшення глибини шліфування t складно досягнути зменшення довжини l_2 .

На рис. 6 графічно показано характер зміни параметрів зі зміною глибини шліфування t .

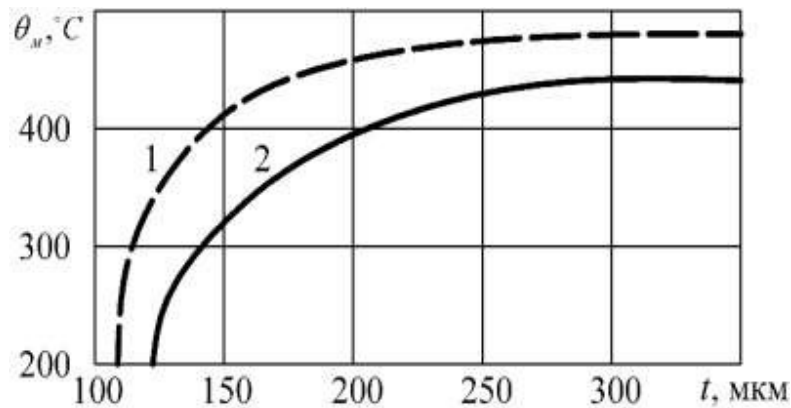


Рис. 6. Температурні залежності під час шліфування кілець на верстаті SASL5AD (1 – суцільним кругом; 2 – переривчастим кругом)

В загальному випадку температура шліфування θ визначається залежністю (10), в яку входять два змінних параметри: умовне напруження різання σ та приведений показник температури ω , який змінюється в межах 0...1. Тому, зменшити температуру шліфування θ можна зменшенням цих двох параметрів.

Зменшення умовного напруження різання σ , визначимо за допомогою залежності для встановлення умовного напруження різання σ :

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{ст.}}}{K_{\text{різ.}}}$$

де – $\sigma_{\text{ст.}}$ межа міцності оброблюваного матеріалу на стиснення, Н/м²; $K_{\text{різ.}} = P_z/P_y$ – коефіцієнт різання; P_z, P_y – тангенціальна і радіальна складові сили різання, Н; пов'язані з підвищенням ріжучої здатності шліфувального круга за рахунок збільшення коефіцієнта різання $K_{\text{різ.}}$.

В загальному випадку приведений показник температури ω залежить від часу τ і швидкості переміщення теплового потоку $V_{\text{різ.}}$, згідно залежності (9). Тому для заданої швидкості $V_{\text{різ.}}$ зменшити параметр ω можна за рахунок зменшення часу дії теплового потоку τ . Це досягається в першу чергу за рахунок періодичного переривання процесу шліфування шляхом використання переривчастих кругів, введення додаткових коливань круга або оброблюваної деталі.

На основі проведеного аналізу сформульовано основні умови зменшення температури шліфування θ (рис.7).

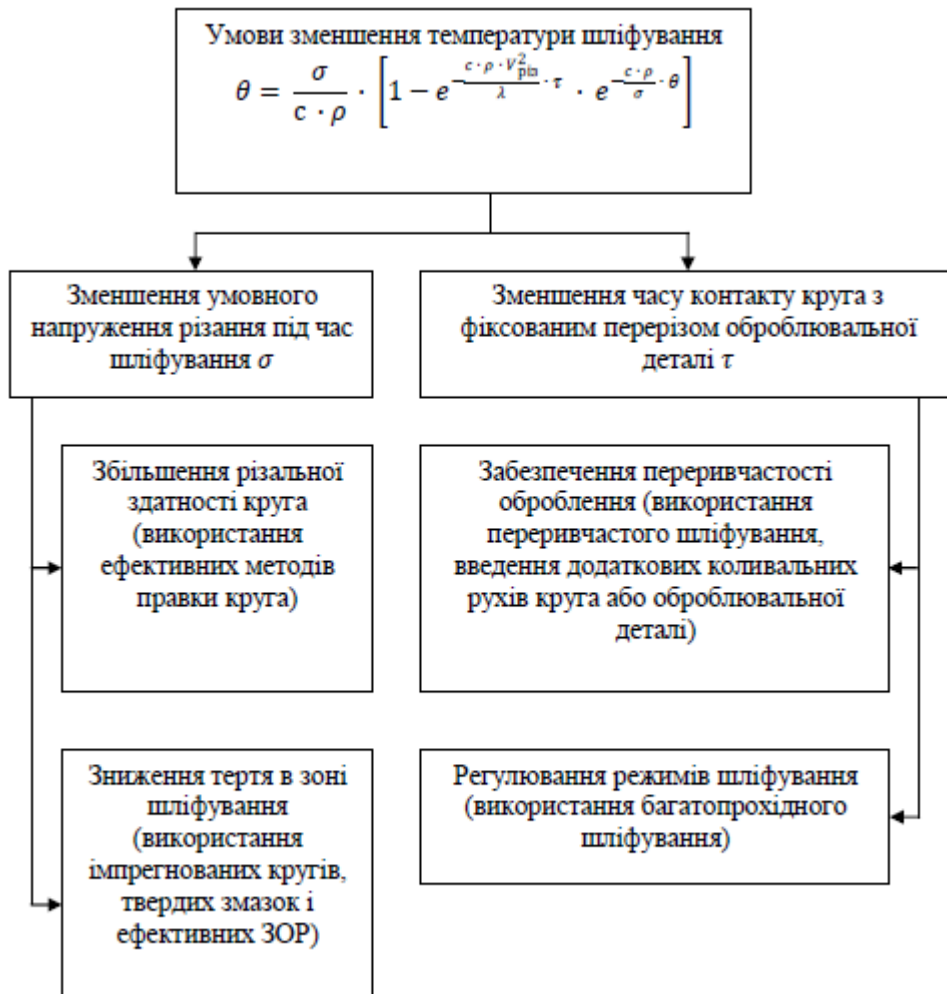


Рис. 7. Умови зменшення температури під час переривчастого шліфування

Отримано аналітичні залежності для визначення геометричних параметрів шліфувального інструменту, таких як зовнішній діаметр шліфувального круга $D = 500$ мм, число канавок $\varepsilon = 12$, що забезпечує 20% зниження температури в зоні різання. Встановлено, що збільшення кількості канавок шліфувального круга призводить до зменшення температури шліфування, за рахунок зменшення часу контактування ріжучих виступів круга з шліфованою поверхнею.

Розроблена методика розрахунку основних параметрів теплового процесу під час безцентрового шліфування переривчастими кругами, проведена їх кількісна оцінка відносно зміни режимів шліфування та геометричних параметрів шліфувального інструменту. Встановлено, що приведений показник температури ω приймає значення (0,15...0,27), відповідно абсолютне значення температури при шліфуванні кругом з кількістю канавок 12 дорівнює 440 -480°C при цьому миттєва швидкість розповсюдження тепла в глибину поверхневого шару заготовки в 3...6 разів більше швидкості переміщення теплового джерела в глибину поверхневого шару шліфованої деталі. Кількість тепла, що переходить в стружку складає 25...32%, що в 3,5...4,5 разів менше кількості тепла, що переходить в заготовку.

Проведена кількісна оцінка впливу глибини шліфування та швидкості деталі на основні параметри теплового процесу під час безцентрового шліфування зовнішніх поверхонь обертання кілець роликотідшипників. Встановлено, що зі збільшенням глибини шліфування приведений показник температури ω збільшується. Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання деталі приведений показник температури ω безперервно збільшується, а товщина поверхневого шару заготовки, в якому концентрується тепло зменшується і приймає значення в декілька разів більше глибини шліфування. Отже, кількість тепла, що переходить в стружку збільшується в межах 20...30%, однак з меншою інтенсивністю, чим від збільшення глибини шліфування t .

Обґрунтовані основні умови зменшення температури під час переривчастого шліфування, які полягають в зменшенні умовного напруження різання і часу дії теплового джерела в зоні шліфування. В першому випадку – це досягається підвищенням ріжучої здатності шліфувального круга, та зниженням тертя в зоні шліфування. В другому випадку забезпеченням переривчастості оброблення та регулюванням режимів шліфування.

У **четвертому розділі** приведено програму та план експериментальних досліджень зв'язків технологічних параметрів з показниками операцій безцентрового шліфування, згідно з якими виконано наступне:

- проведені дослідження температури під час шліфування поверхонь обертання зовнішніх кілець роликотідшипників;
- проведені дослідження шорсткості шліфованої поверхні;
- проведені дослідження мікротвердості поверхневого шару;
- проведені дослідження силових параметрів процесу різання.

Для проведення експериментальних досліджень було використано збірну конструкцію багатосекційного переривчастого шліфувального круга з комбінуванням різного значення зернистості для кожної робочої секції (рис. 8).

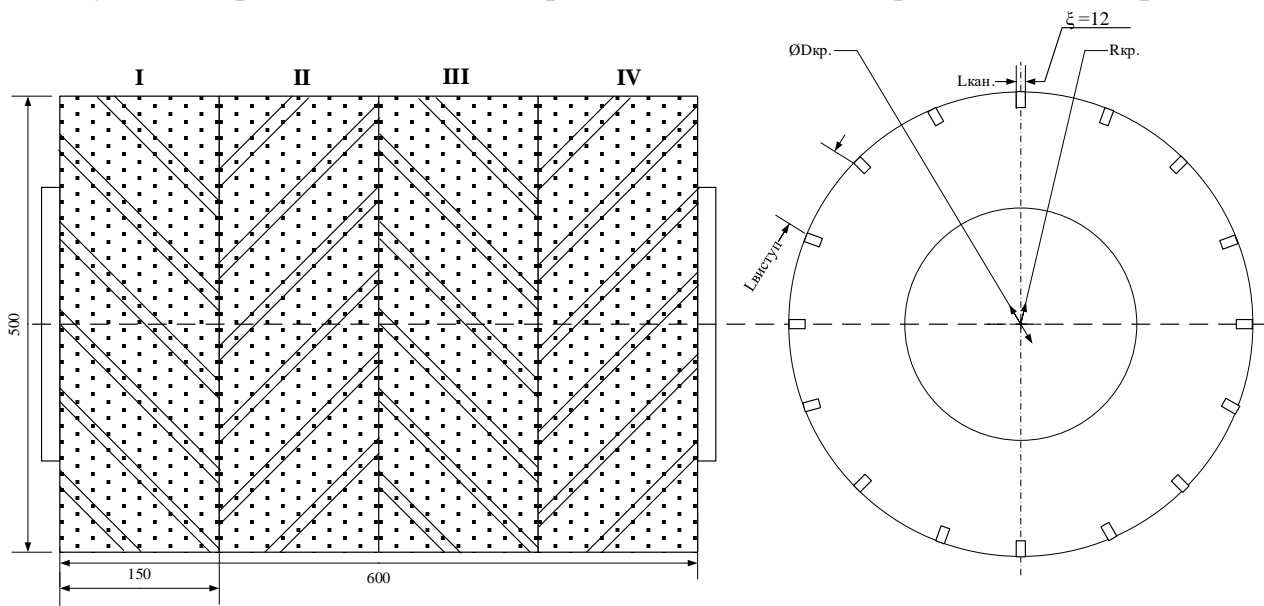


Рис. 8. Шліфувальний переривчастий збірний круг з різнонаправленими похилими ріжучими виступами (число канавок $\varepsilon=12$)

Комбінуванням зернистості секцій з ріжучими зонами шліфувального круга створюються передумови для поєднання чорнового та напівчистового шліфування на одній технологічній операції, або за один робочий прохід заготовки (поздовжньої подачі) через робочий простір безцентрового шліфувального верстата (табл. 1).

Таблиця 3

Значення зернистості шліфувальних секцій абразивного переривчастого круга

№ абразивного диска	Зернистість	
	Чорнове шліфування	Напівчистове шліфування
I	110	75
II	75	60
III	60	30
IV	30	22

Використання запропонованої конструкції шліфувального інструменту дозволило скоротити число шліфувальних операцій технологічного процесу механічного оброблення кілець завдяки цьому забезпечити регламентовану якість та точність шліфованих поверхонь за умови зниження температури шліфування на 20-30%.

Експериментальні дослідження проводили з використанням ЗОР на безцентрово- круглошліфувальному верстаті SASL5AD (рис.9). Застосовувався шліфувальний круг із електрокорунду білого на керамічній зв'язці твердістю CM2 марки 1- 600x500x305 14A25-H C1-CM2 7K1A 35 м/с. Глибину шліфування змінювали в межах 0,1...0,5 мм, швидкість деталі – в межах 10...50 м/хв, повздовжню подачу заготовок кілець змінювали в межах від 300...800 мм/хв. Швидкість обертання круга встановлювалась рівною 35 м/с, а ширина шліфувального круга В = 500 мм.

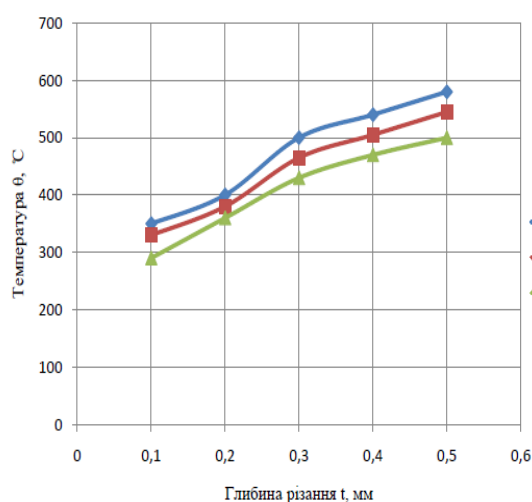


Рис. 9. Налаштування безцентрово-круглошліфувального верстату SASL5AD

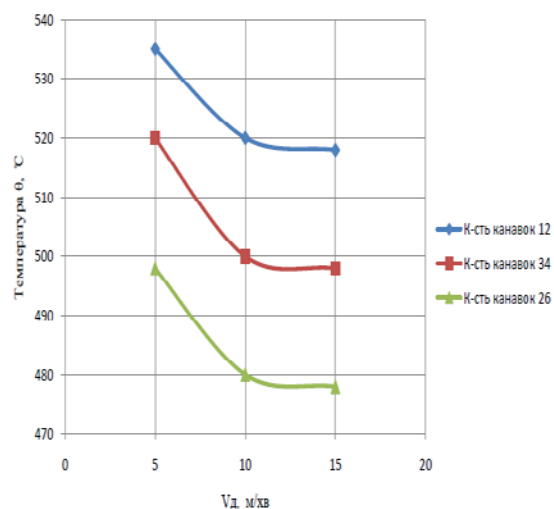
Параметри режимів різання контролювались під час проведення експериментальних досліджень за допомогою секундоміра, для вимірювання шорсткості доріжки поверхонь обертання профілограф-профілометр

SURTRONIC-3, прилад MWA100C для вимірювання мікрогеометрії поверхонь кочення. Для визначення температури в зоні різання використовувався пірометр пістолетного типу з діапазоном вимірювання температури від 50-1000°C, марки НТ-826.

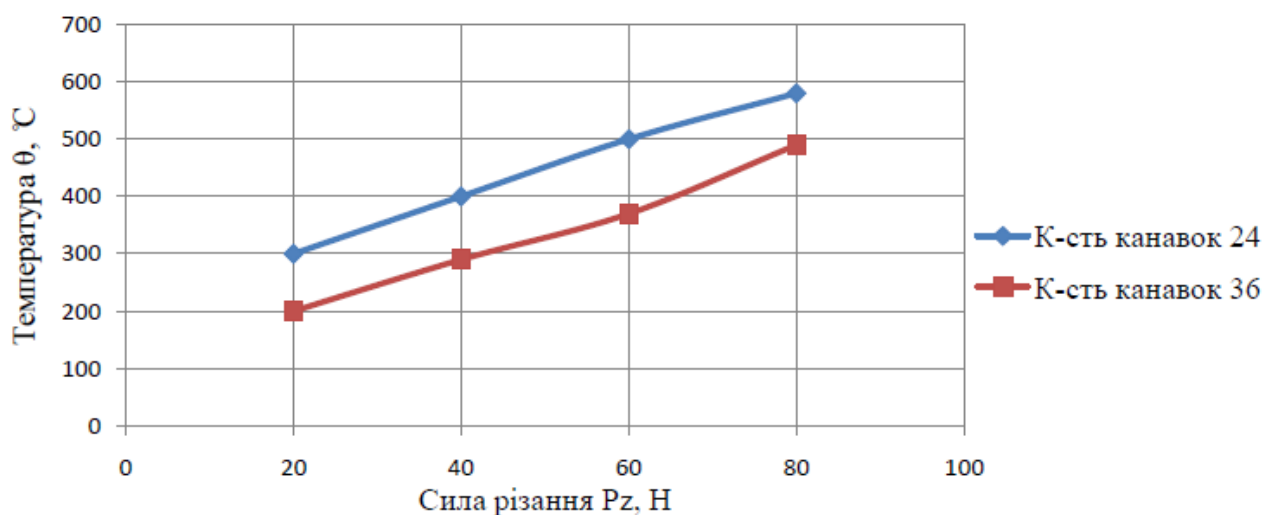
Проведено комплекс експериментальних досліджень впливу режимів шліфування переривчастими і суцільними кругами на шорсткість шліфованих поверхонь. Проведено експериментальні дослідження впливу режимів на температуру в зоні шліфування, а також впливу силових параметрів процесу шліфування на температуру шліфування та на параметри якості шліфованої поверхні (рис. 10).



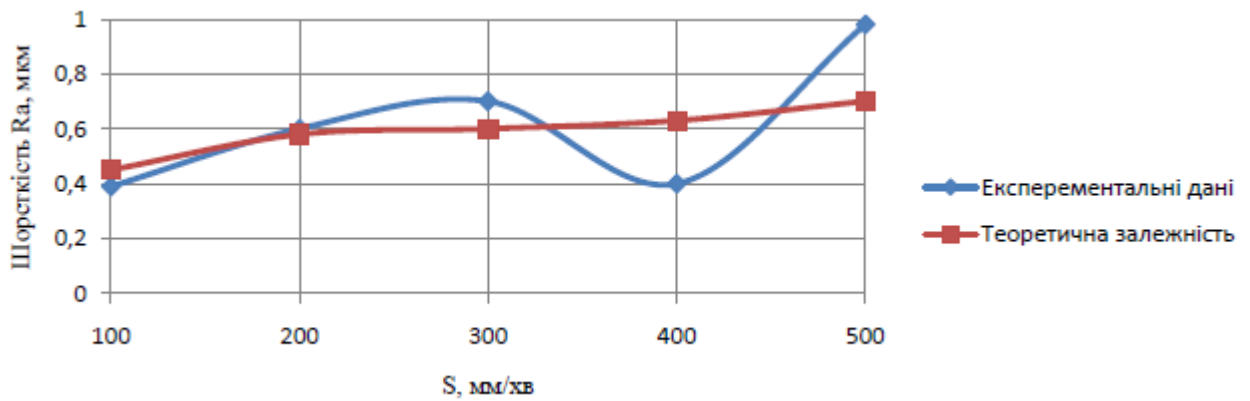
А) Залежність температури різання від глибини різання



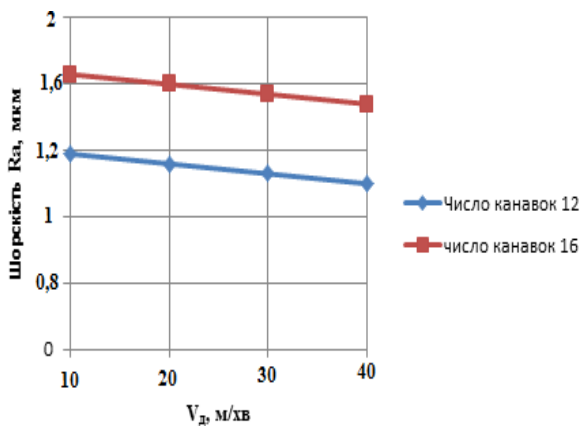
Б) Залежність температури різання від швидкості заготовки



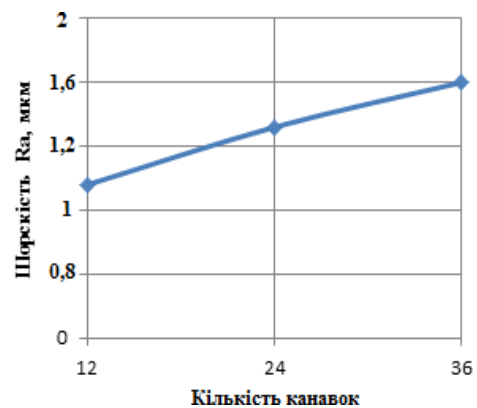
В) Залежність між силою різання P_z та температурою



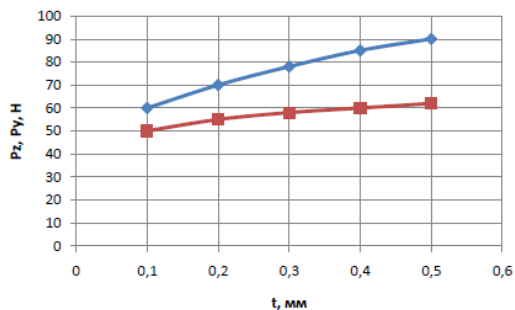
Г) Вплив повздовжньої подачі на шорсткість поверхні



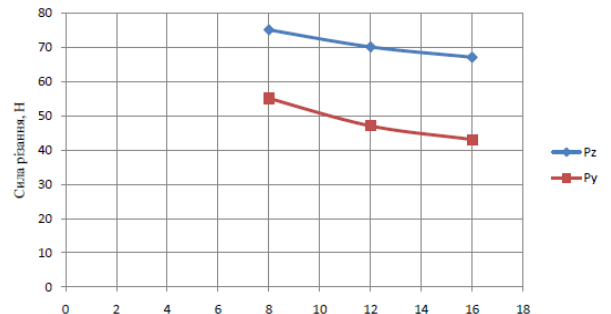
Д) Вплив швидкості заготовки на шорсткість поверхні



Е) Вплив кількості канавок на шорсткість поверхні



Є) Вплив глибини різання на силу різання



Ж) Вплив числа канавок на силу різання

Рис. 10. Вплив параметрів процесу шліфування на якість шліфованої поверхні деталі

У п'ятому розділі розроблені ефективні технології безцентрового шліфування циліндричних поверхонь кілець роликопідшипників.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень зв'язків параметрів технологічної системи шліфування з показниками процесу оброблення розроблена структурно-функціональна схема адаптивної системи керування температурою безцентрового шліфування базових поверхонь обертання кілець роликопідшипників (рис. 11).

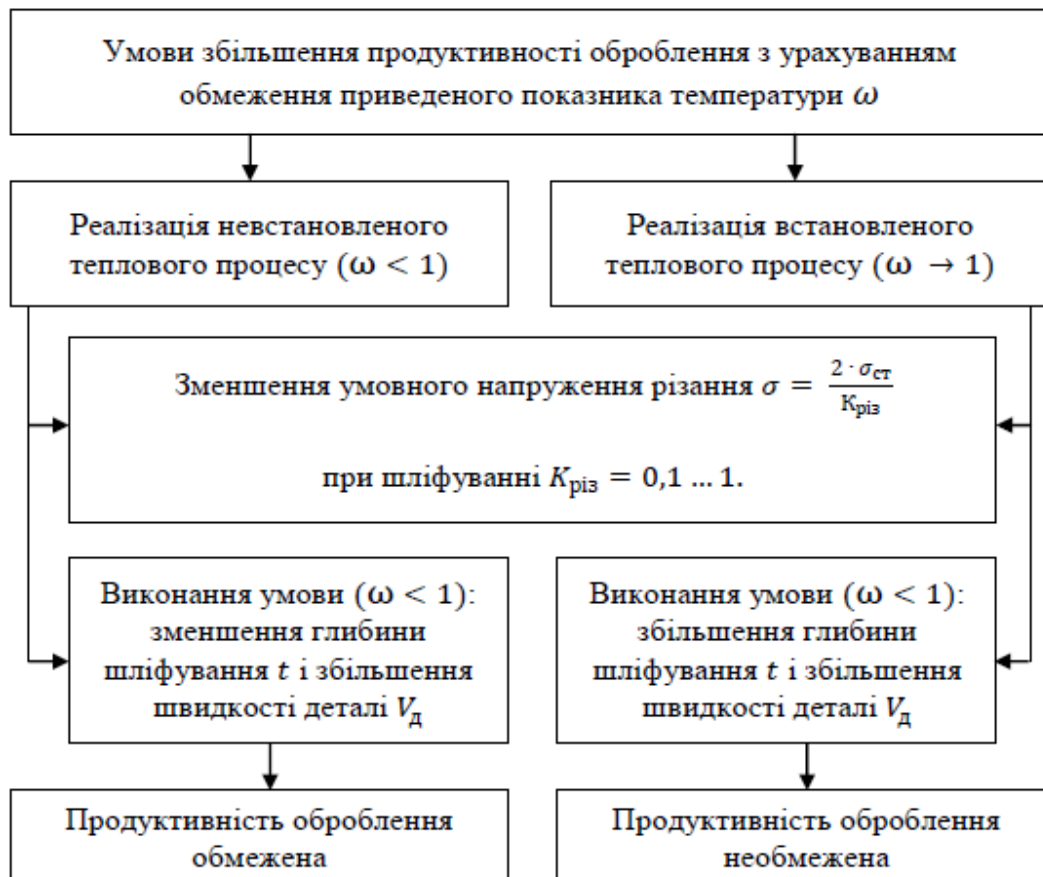


Рис. 11. Структурно-функціональна система адаптивної системи керування температурою безцентрового шліфування базових поверхонь обертання кілець роликотішлипників

Експериментальними дослідженнями встановлено, що під час застосування переривчастого шліфування коефіцієнт різання $K_{різ}$ змінюється у межах $0,1 \dots 1,0$, тобто цей коефіцієнт не перевищує значення 1.

Розроблена інженерна методика розрахунку оптимальних параметрів режиму шліфування (швидкості деталі та глибини шліфування) з урахуванням вимог до температури та товщини поверхневого шару заготовки, в якому концентрується тепло (товщини дефектного шару деталі).

В основу системи адаптивного керування покладена кореляційна залежність між тангенціальною складовою сили різання P_z та температурою шліфування θ для заданих значень технологічних параметрів і режимів різання. Керуючим чинником в процесі шліфування використовується частота обертання заготовки, яка залежить від частоти обертання ведучого круга $V_{вед}$. Зменшення частоти обертання деталі призводить до збільшення теплонапруженості в зоні різання заготовки, що супроводжується збільшенням тангенціальної сили різання P_z . (рис. 12).

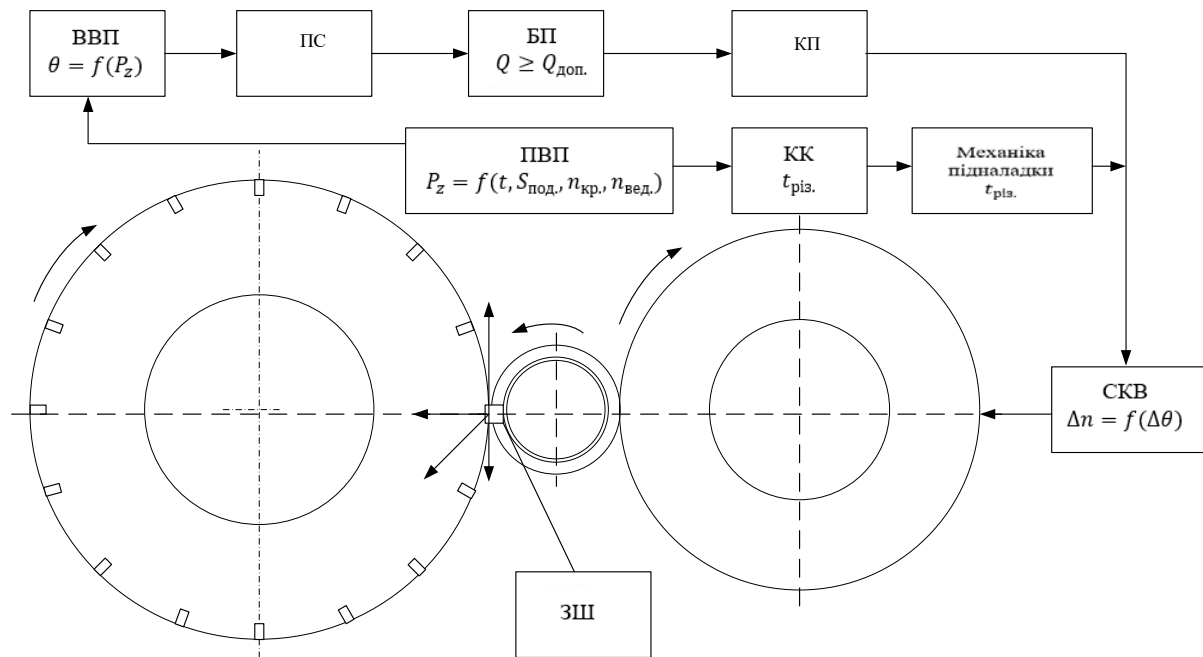


Рис. 12. Система адаптивного бездефектного шліфування на базі безцентрово-шліфувального верстату SASL5AD: 1 – шліфувальний круг; 2 – заготовка; 3 – ведучий круг; ЗШ – зона шліфування; ПВП – первинний вимірювальний перетворювач; ВВП – вторинний вимірювальний перетворювач; ПС – підсилювач сигналу; БП – блок порівняння; КП – керуючий прилад; КК – контролер керування; СКВ – система керування верстатом; Δn – зміна частоти обертання ведучого круга, яка необхідна для забезпечення потрібного значення тангенціальної сили ΔP_z ; $\Delta \theta$ – регульована температура; $t_{\text{різ.}}$ – глибина шліфування

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена функціональна схема системи адаптивного керування процесом шліфування за величиною тангенціальної сили різання, щої відповідає певному значенню температури в зоні шліфування. Такий підхід дозволив створити технологію бездефектного оброблення кілець в умовах переналагоджувального підшипникового виробництва.

ВИСНОВКИ

В дисертаційні роботі на підставі одержаних науково обґрунтованих результатів вирішена важлива науково-практична задача створення ефективної технології бездефектного фінішного механічного оброблення поверхонь обертання кілець роликпідшипників в умовах серійног переналагоджувального виробництва за рахунок використання високоефективного переривчастого абразивного інструмента, вдосконалення переналагоджувальних операцій та використання методики прогнозування технологічних показників на стадії проектування технології.

1. Проведено аналіз методів та технологічних схем безцентрового шліфування поверхонь обертання. Визначені параметри інструментального

налагодження та режимів шліфування, що впливають на показники якості шліфованих поверхонь та на техніко-економічні показники технологічної операції. Встановлено, що 30% від загальної кількості дефектів, які виникають на безцентрово-шліфувальних операціях оброблення базових поверхонь кілець є наслідком перевищення температури в зоні шліфування, а причинами виникнення температурних дефектів є невідповідність режимів різання та непрогнозованість умов оброблення деталей у зв'язку з чинником багатоменклатурності частопереналагоджуваного виробництва.

2. Проведено аналіз існуючих розрахункових схем шліфування з позиції теплоутворення і встановлені шляхи технологічного керування теплонапруженістю процесу шліфування. Доведено, що ефективним методом зниження теплонапруженості є застосування шліфування переривчастим абразивним інструментом, однак конструктивні параметри та характеристики переривчастих кругів для безцентрового шліфування мають визначатись за результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

3. Розроблено математичну модель для визначення умов та способів зменшення температури шліфування на етапі технологічного проектування шліфувальних операцій. Обґрунтовано доцільність використання для безцентрового шліфування кілець роликотіпшипників високопродуктивних переривчастих шліфувальних кругів. Встановлено, що зі збільшенням показника приведеної температури ω для умов безцентрового переривчастого шліфування деталей кількість тепла, яке переходить в стружку, збільшується, наближаючись до 70%, а кількість тепла, що переходить в адіабатичний стержень, зменшується, наближаючись до 30%.

4. Отримано аналітичні залежності для визначення геометричних параметрів переривчастого шліфувального інструменту, таких як зовнішній діаметр шліфувального круга $D = 500$ мм, число канавок $\varepsilon = 12$, що забезпечує 20% зниження температури в зоні різання. Встановлено, що збільшення кількості канавок шліфувального круга призводить до зменшення температури шліфування, за рахунок зменшення часу контактування ріжучих виступів круга з шліфованою поверхнею. Зростання ширини виступу шліфувального круга $l_{\text{виступ}}$ та зменшення ширини канавки $l_{\text{канавки}}$ до певної міри зумовлює зростання ріжучої здатності шліфувального круга внаслідок збільшення числа активних зерен, які беруть участь в різанні, однак це призводить до зростання контактної температури шліфування. Зменшення відношення $l_{\text{виступ}}/l_{\text{канавки}}$ зумовлює протилежні процеси, однак зниження температури можна досягнути при різному співвідношенні ширини різального виступу та ширини впадини.

Максимальне співвідношення $l_{\text{виступ}}/l_{\text{канавки}} = 1$ забезпечує рівномірне самозаточування круга та найменше значення температури шліфування. Відношення $l_{\text{виступ}}/l_{\text{канавки}}$, що відповідає 60/1 забезпечує високу зносостійкість шліфувальних кругів, але призводить до збільшення температури шліфування на 20 – 25%.

5. На підставі використання запропонованої збірної конструкції переривчастого шліфувального круга розроблена високоефективна технологія

безцентрового шліфування циліндричних поверхонь кілець роликотітників з можливістю керуванням шорсткістю збірної, робочої, калібрувальної та виходжувальної зони різання. Поєднання різної зернистості в конструкції збірного шліфувального круга дало змогу покращити показники якості шліфованих поверхонь до Ra 1-1,2 мкм, значно скоротити виникнення температурних дефектів, знизити та стабілізувати температуру в зоні шліфування до 400°C та вилучити з технологічного процесу шліфування базової поверхні кільця одну операцію напівчорнового шліфування.

6. Експериментально встановлені залежності між температурою шліфування та тангенціальною складовою сили різання P_z і радіальною складовою P_y під час переривчастого шліфування кругами зі значенням числа канавок 12, 24 та 36. Виявлено, що збільшення числа канавок переривчастого шліфувального круга призводить до зменшення складової сили різання P_z та зниження температури шліфування, однак шорсткість поверхні при цьому зростає від 1,2 до 2,2 мкм, що допустимо для чорнового та напівчистового абразивного оброблення поверхонь кілець. Встановлені також досить важливі залежності шорсткості шліфованої поверхні та її твердості від режимів оброблення, параметрів шліфувального круга та параметрів налагодження безцентрово-шліфувального верстата. На підставі експериментальних досліджень побудовані поверхні відгуку, які покладені в основу методики пришвидшеного переналагодження безцентрово-шліфувального верстата в умовах переналагоджувального виробництва. Важливо, що під час шліфування кругом з числом ріжучих виступів 12 при значенні повздовжньої подачі $S=350$ мм/хв заготовки діаметром 80 мм, значенні тангенціальної сили різання $P_z=40$ Н відповідає температура шліфування 400°C, а зростання сили різання до 45 Н приводить до зростання температури до 420°C. Така кореляційна залежність між силою різання і температурою шліфування покладена в основу розробленої методики адаптивного керування температурою шліфування.

7. Розроблено алгоритм оперативного проектування технологічної операції безцентрового шліфування кілець, прогнозування допустимої температури шліфування та розрахунку параметрів інструментального налагодження шліфувального автомата SASL5AD використання якого, створило можливості для підвищення технологічної гнучкості шліфувальних операцій в умовах переналагоджувального виробництва.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Марчук В.І., Равенець Л.М., Гринюк С.В. Технологічне керування теплонапруженістю процесу безцентрового шліфування кілець роликотітників// Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вил. 7. - 2015. - С. 87-90. *Здобувачем проаналізовані технологічні чинники та показники операцій безцентрового шліфування кілець роликотітників.*

2. Ravenets L., Marchuk I., Grunyk S., Eshteivi A. Technological processing system superfinishing raceways rings roller bearings // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вип. 9. -

2016. - С. 121-125. *Здобувачем досліджено вплив режимів оброблення на якість шліфованих поверхонь обертання кілець роликотідшипників.*

3. Marchuk V., Hrynjuk S., Hrysjuk I. An analysis of intercommunications of technological factors is with indexes of quality of polishing operations // Technological Complexes. - Lutsk, 2017 - №1(14) -Р. 36-43. *Здобувачем проаналізовано фактори, які впливають на якість шліфування деталей та розроблено структурну схему взаємозв'язків між технологічними чинниками та фізико-механічними властивостями.*

4. Гринюк С.В., Міскевич О.І. Технологічне керування точністю обробки поверхонь роликотідшипників в автоматизованих системах // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вип. 33. - 2018. - С. 56-60. *Здобувачем дослідження точності при обробці поверхонь роликотідшипників з використання автоматизованих систем та оцінка статичної похибки оброблювальної деталі.*

5. Марчук В.І., Марчук І.В., Гринюк С.В., Сачковська Л.О. Моделювання процесу безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець роликотідшипників в умовах серійного виробництва // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки») - Луцьк: Луцький НТУ, 2019. Вип. 66. - С. 234-239. *Здобувачем розроблена адаптивна система керування процесом бкцентрового шліфування.*

6. Marchuk V., Hryniuk S, Dzhuhuryan T. Simulation of dimensional accuracy in an automated grinding system of surfaces of rotation // “Перспективні технології та прилади”. Збірник статей. Випуск 14. м. Луцьк, червень 2019 р. - Луцьк: Луцький НТУ, 2019. -С. 82-87. *Здобувачем розроблені умови моделювання розмірної точності при шліфуванні рликотідшипників.*

7. Марчук В.І., Гринюк С.В., Сачковська Л.О. Динамічна модель процесу шліфування переривчастими кругами // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №16. - С.33-37. *Здобувачем розроблена динамічна модель процесу шліфування переважним інструментом.*

8. Marchuk V.I., Marchuk I.V., Dzhuguryan T.G., Grinyuk S.V., Karpyuk V.O. On the influence of operating characteristics of grinded wheels on the quality indicators of grinded parts // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №17. - С.86-92. *Здобувачем досліджено вплив експлуатаційних характеристик кругів на показники якості шліфованих деталей.*

Публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій:

9. Марчук В.І, Сачковська Л.О., Гринюк С.В. Про вплив температури шліфування на показники якості поверхонь кілець роликотідшипників // Збірник наукових праць ІХ-тої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» 3-7 лютого 2020 Львів-Плай 120-121с. *Здобувачем проведені дослідження температури шліфування на показники якості.*

10. Гринюк С.В., Поліщук М.М. Дослідження впливу режимів різання переривчастими кругами на температуру шліфування кілець роликотідшипників

// The 3 th International scientific and practical conference “MAN AND ENVIRONMENT, TRENDS AND PROSPECTS”! (February 10-11, 2020) SH SCW "NEW ROUTE" Tokyo, Japan 2020. 321-327 p. *Здобувачем досліджено режими різання переривчастими кругами на температуру шліфування.*

Статті у зарубіжних наукових фахових виданнях:

11. Hryniuk S. Investigation of the influence of cutting modes and intermittent grinding wheel parameters on the grinding temperature of the roller bearings // «Modern engineering and innovative technologies» - Karlsruhe, Germany, March 2020. Issue №11 Part1.-С. 17-21.

Отримані патенти:

12. Гринюк С.В. Патент № 142710 В24В 5/00 Спосіб виготовлення шліфувального круга / Марчук В.І., Марчук І.В., Гринюк С.В., Сачковська Л.О. (Україна). -№ u 2019 11730; Заявл. 09.12.2019; Опубл. 25.06.2020р. Бюл. №12

АНОТАЦІЯ

Гринюк С.В. Підвищення ефективності операцій безцентрового шліфування кілець роликотідшипників в умовах серійного виробництва. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – «Технологія машинобудування» – Луцький національний технічний університет, Луцьк 2021.

Робота присвячена вдосконаленню операцій безцентрового шліфування функціональних поверхонь зовнішніх кілець роликотідшипників за рахунок створення науково-практичних підходів до моделювання технологічних операцій та запровадження прогресивних методів безцентрового шліфування переривчастими абразивними інструментами.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень виявлені закономірності розповсюдження тепла в зоні шліфування поверхонь кілець, отримані залежності для визначення глибини нагрівання поверхневого шару шліфованої поверхні в залежності від режимів формоутворення і конструктивних особливостей шліфувального інструменту. Математичним моделюванням визначені умови зменшення температури під час переривчастого шліфування, умови підвищення продуктивності при обмеженнях за температурою шліфування. Теоретично та експериментально обґрунтована умова впливу температурного фактору на фізико-механічні параметри якості шліфованих поверхонь кілець роликотідшипників.

Ключові слова: функціональна поверхня, температурні дефекти, параметри якості, безцентрове шліфування, переривчастий круг, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Гринюк С.В. Повышение эффективности операций бесцентрового шлифования колец роликотідшипников в условиях серийного производства.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - «Технология машиностроения» -Луцкий национальный технический университет, Луцк 2021.

Работа посвящена совершенствованию операций бесцентрового шлифования функциональных поверхностей наружных колец роликоподшипников за счет создания научно-практических подходов к моделированию технологических операций и внедрение прогрессивных методов бесцентрового шлифования прерывистыми абразивными инструментами.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований выявлены закономерности распространения тепла в зоне шлифования поверхностей колец, полученные зависимости для определения глубины нагрева поверхностного слоя шлифованной поверхности в зависимости от режимов формообразования и конструктивных особенностей шлифовального инструмента. Математическим моделированием определены условия уменьшения температуры во время прерывистого шлифования, условия повышения производительности при ограничениях по температуре шлифования. Теоретически и экспериментально обоснована условие влияния температурного фактора на физико-механические параметры качества шлифованных поверхностей колец роликоподшипников.

Ключевые слова: функциональная поверхность, температурные дефекты, параметры качества, бесцентровое шлифовки, прерывистый круг, математическое моделирование.

SUMMARY

Hryniuk S.V. Improving the efficiency of operations of centerless grinding of roller bearing rings in the conditions of serial production.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.02.08 - "Technology of mechanical engineering" - Lutsk national technical university, Lutsk 2021.

The work is devoted to the improvement of operations of centerless grinding of the functional surfaces of the outer rings of roller bearings by creating scientific and practical approaches to modeling technological operations and the introduction of advanced methods of centerless grinding with intermittent abrasive tools.

On the basis of theoretical and experimental studies revealed patterns of heat distribution in the area of grinding the surfaces of the rings, obtained dependences to determine the depth of heating of the surface layer of the ground surface depending on the modes of formation and design features of the grinding tool. Mathematical modeling determines the conditions for reducing the temperature during intermittent grinding, the conditions for increasing productivity with restrictions on the grinding temperature. The condition of influence of a temperature factor on physical and mechanical parameters of quality of the ground surfaces of rings of roller bearings is theoretically and experimentally substantiated.

Keywords: functional surface, temperature defects, quality parameters, centerless grinding, discontinuous circle, mathematical modeling.

Підписано до друку 18.02.21. Формат 60x84/6.
Папір офісний. Гарнітура Times New Roman.
Обл.-вид. арк.0,7. Ум. друк. арк. 0,75. Тираж 100 прим. Зам. 26