ВІДГУК

офіційного опонента, к.т.н., доцента Кондратюка Олега Леонідовича
на дисертаційну роботу Кальченка Дмитра Володимировича
на тему «Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Актуальність теми дисертації

У сучасному машинобудуванні вимоги до точності машин і механізмів постійно зростають, тому актуальним є питання удосконалення існуючих методів обробки шляхом підвищення їх точності та продуктивності.

Саме шліфування, яке виступає фінішною операцією механічної обробки і безпосередньо впливає на точність і термін служби готової деталі, задовольняє вищевказані вимоги. Однак, забезпечення високої точності виготовлених виробів супроводжується необхідністю врахування ряду факторів, зокрема впливу зносу інструменту, термомеханічних навантажень, стану правки інструменту тощо.

Тому проведення наукових досліджень, направлених на удосконалення існуючих і створення нових способів шліфування, є актуальною проблемою.

На базі поставлених задач та отриманих результатів дисертаційної роботи можна стверджувати, що в дисертаційній роботі розв'язується важлива та актуальна задача – підвищення ефективності двостороннього шліфування торців круглих деталей та виключення геометричної похибки формоутворення торцевих поверхонь завдяки запропонованій методиці правки кругів однокристальним алмазним інструментом.

На підставі вищевикладеного вважаю, що актуальність дисертації Кальченка Д.В., яка направлена на розв'язання важливої науково-технічної задачі – підвищення ефективності двостороннього шліфування торців роликів

підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками, не викликає сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Тема дисертації відповідає науковому напряму роботи кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ» і виконувалась у відповідності до тем «Дослідження процесу обробки орієнтованими профільованими інструментами» (ДР №0117U003758) та «Підвищення надійності системи «двигун-коробка швидкостей – карданний вал – колеса» (№0122U201629).

Наукова новизна досліджень та отриманих результатів

Підхід автора до розв'язання задачі підвищення ефективності шліфування двостороннього шліфування торців роликів підшипників полягає у ефективному використанні робочих поверхонь орієнтованих інструментів з чорновими і чистовими ділянками та різною подачею правлячого інструмента на відповідних ділянках. Новизна роботи полягає у наступному:

1. Вперше запропоновано новий спосіб двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими і профільованими кругами з конічною калібрувальною ділянкою, який зводить до нуля геометричну похибку обробки.

2. Вперше визначено розташування та форму калібрувальної ділянки залежно від кутів орієнтації шліфувальних бабок верстату, при яких геометрична похибка обробки зводиться до нуля і формоутворення торцевої поверхні здійснюватиметься методом копіювання твірної конуса, яка перпендикулярна оброблюваній поверхні і лежить в площині, що проходить через вісь обертання круга.

3. Вперше розроблені математичні моделі, на базі яких з метою утворення прямолінійної калібрувальної ділянки отримані залежності осьового

переміщення шліфувального круга від координат алмазного олівця, який обертається разом з барабаном подачі виробів верстату.

4. Вперше при запропонованому методі обробки торцевих поверхонь припуск зрізається тільки чорновою ділянкою шліфувального круга, а остаточна точність формується на конічній ділянці круга при виході із зони обробки методом копіювання, що забезпечує мінімальні сили та теплонапруженість процесу.

Практична цінність отриманих результатів

Практична значимість отриманих результатів для машинобудування полягає у тому, що отримані методики і модульні просторові моделі зняття припуску та формоутворення, правлячого інструменту та процесу правки шліфувальних кругів є базовими для нового ефективного способу двостороннього шліфування торцевих поверхонь орієнтованими кругами з конічною калібрувальною ділянкою.

1. Запропонована схема правки шліфувальних кругів для отримання конічних калібрувальних ділянок, яка забезпечує одночасне формоутворення робочих поверхонь двох кругів та може використовуватись не тільки на верстатах, оснащених системами ЧПК, але і без них. За рахунок одночасної правки двох кругів зменшується час підготовки до роботи і, відповідно, підвищується загальна продуктивність роботи обладнання.

2. Завдяки сталій кутовій швидкості барабану подачі під час правки чорнової та чистової ділянок круга забезпечується формування різної шорсткості вздовж радіусної прямої та покращуються умови в зоні різання. Під час правки калібрувальної ділянки круга кутова швидкість поступово зменшується з метою отримання постійної розвиненості цієї частини поверхні та підвищення якості шліфування торців.

3. Запропоновано програмне забезпечення для отримання конічної калібрувальної ділянки для системи ЧПК, базою якого є розроблені загальні

модульні просторові моделі правлячого інструменту та процесу правки шліфувальних кругів.

4. Визначено мінімально допустиму довжину калібрувальної ділянки шліфувального круга при двосторонній обробці торців круглих деталей.

5. Авторство наукових розробок здобувача підтверджується отриманим патентом на корисну модель: спосіб двостороннього торцевого шліфування круглих деталей кругами з конічними калібрувальними ділянками (№149856 від 08.12.2021).

6. Розроблені і впроваджені у виробництво практичні рекомендації з використання наукових розробок на ПрАТ «Чексіл-Автосервіс»(м. Чернігів), ТОВ «Датчикове підприємство» «ЗАВОД РАПІД» (м. Чернігів), ТОВ «ІталтексМеріно» (м. Чернігів). Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів роботи становить близько 300 тис. грн. за рік.

7. Результати і методики дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного університету «Чернігівська політехніка».

Оцінка достовірності та обґрунтованості положень, висновків і рекомендацій дисертації

Усі наукові результати дисертаційної роботи представлені у 8 наукових працях, з них: 6 статей у провідних фахових науково-технічних виданнях, 2 статті включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 3 доповіді на міжнародних наукових конференціях. Додатково наукові результати дисертації відображені в 1 патенті України на корисну модель.

Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані теоретичним аналізом та експериментальними дослідженнями, тому їх слід вважати цілком достовірними.

Теоретичні дослідження виконані на основі фундаментальних положень технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, теорії формоутворення поверхонь, математичного та комп'ютерного моделювання,

теорії ймовірності та розділів математичного аналізу. Використовувався апарат диференціального та інтегрального числення однієї та кількох змінних, векторної алгебри, аналітичної геометрії, методи візуально-орієнтованого програмування.

Експериментальні дослідження, метою яких була перевірка достовірності даних, отриманих при теоретичних розрахунках з використанням алгоритмів і моделей, які були розроблені Кальченком Д.В., виконані з використанням теорії планування експерименту та сучасної контрольно-вимірювальної апаратури.

Достовірність математичних моделей, висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена результатами експериментальних досліджень і практикою промислового впровадження.

Структура і характеристика роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження, наведено структурно-логічну схему досліджень, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

У першому розділі проведено аналіз існуючих способів абразивної обробки деталей з високоточними торцевими поверхнями: периферією, одним торцем шліфувального круга, двостороннє торцеве шліфування деталей з різними схемами їх підведення у зону обробки, та напрями підвищення ефективності вказаних процесів шліфування. Здійснено аналіз існуючих способів просторового моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення, який показав відсутність загальних модульних тривимірних моделей процесу двостороннього шліфування торцевих поверхонь кругами з конічними калібрувальними ділянками. Розробка цих моделей сприятиме

створенню високопродуктивних способів двостороннього шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі кругами з конічними калібрувальними ділянками.

У результаті проведеного в розділі аналізу стану питання двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталей показано, що підвищити ефективність процесу обробки можна за рахунок розробки нового способу двостороннього шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі кругами з конічними калібрувальними ділянками.

У другому розділі наведено методику проведення експерименту на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342 АДО, описано обладнання, що використовувалося при проведенні експерименту, та вимірювальні прилади.

Було застосовано метод математичного планування експерименту для визначення оптимальних значень швидкості подачі деталі, припуску на обробку та кута повороту круга у вертикальній площині. У якості параметра оптимізації була прийнята продуктивність шліфування. При виконанні досліджень визначаються температури в зоні обробки, їх розподіл при обробці, потужність, профіль абразивного круга.

У третьому розділі розроблені математичні модульні просторові моделі формоутворення торців круглих деталей при шліфуванні кругами з конічними калібрувальними ділянками. Доведено, що за розробленою схемою шліфування геометрична похибка довжини деталі дорівнює нулю, а за рахунок рівномірного розподілу припуску вздовж чорнової різальної кромки шліфувального круга покращується якість поверхневого шару торців деталей.

Отримані тривимірні математичні моделі процесу правки шліфувальних кругів з конічною калібрувальною ділянкою для двостороннього шліфування торцевих поверхонь циліндричних деталей. Розрахована довжина калібрувальної ділянки та визначено її мінімально допустиме значення, яке забезпечує високу точність торця. Показано, що величина калібрувальної ділянки не залежить від величини припуску, що зрізається, а залежить від

діаметру деталей, що оброблюються. На базі просторових математичних моделей процесів зняття припуску і формоутворення при правці круга проведено дослідження його поверхні. Приведені теоретичні розрахунки температури в зоні різання та сили, що виникають при двосторонньому торцевому шліфуванні торців циліндричних деталей.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень процесу двостороннього шліфування роликів підшипників на модернізованому верстаті 3342АДО.

З метою визначення оптимальних значень швидкості подачі деталі, припуску на обробку та кута повороту круга у вертикальній площині проведено планування повного факторного експерименту та отримано рівняння математичної моделі продуктивності шліфування.

Аналіз рівняння регресії дає змогу зробити висновок, що вплив на продуктивність обробки здійснюють вказані вище фактори. А їх взаємодія та взаємодія повздовжньої подачі деталі з величиною припуску не впливають на результати експерименту. Найбільший вплив на продуктивність обробки здійснює величина припуску.

Експериментально визначено потужність холостого ходу, активну потужність та сумарну активну потужність при шліфуванні 6-ти деталей. Визначено складову сили різання Pz, температури в місці контакту деталі та круга, розподіл температури під час шліфування та профіль абразивного круга після обробки торців роликів підшипника зі сталі ШХ15 діаметром 14 мм.

Отримані дані свідчать, що під час двостороннього шліфування торцевих поверхонь структурних перетворень, які можуть негативно вплинути на точність та якість деталі, не відбувається.

Розбіжність результатів, отриманих при експериментальному та теоретичному дослідженнях шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами знаходиться в межах 4%.

У загальних висновках здобувач сформулював найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи.

Обґрунтування та достовірність основних висновків дисертації

Наведені в дисертаційній роботі висновки і рекомендації є достатніми й належним чином обґрунтовані. Автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, розроблені відповідні методики, проведена апробація результатів.

Зауваження до дисертації

1. З тексту дисертації незрозуміло, що є критерієм при визначенні необхідності правки кругів.

2. Доцільно було б привести динамічні дослідження системи у зв'язку з модернізацією верстата.

3. Для більш широкого представлення експериментальних досліджень варто було б провести обробку деталей різних діаметрів.

4. У третьому розділі дисертаційної роботи процес визначення температури в зоні контакту деталі та круга представлений недостатньо повно.

5. З метою більш яскравого підтвердження підвищення точності обробки деталей бажано було би для порівняння доповнити наведені експериментальні дані відповідними результатами, отриманими при традиційних способах обробки.

Загальні висновки до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Кальченка Дмитра Володимировича на тему «Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», є завершеною науковою працею і має важливе значення для машинобудування. Вирішується актуальна науково-практична задача, яка полягає у підвищенні ефективності шліфування торцевих поверхонь роликів підшипників шляхом розробки нового способу двостороннього шліфування спеціально орієнтованими і профільованими кругами з конічною

калібрувальною ділянкою.

Отримані нові рішення науково-практичної задачі, актуальність, новизна, практичне значення та закінченість досліджень заслуговують позитивної оцінки.

Зміст дисертаційної роботи, отримані основні наукові положення та висновки відповідають спеціальності133 «Галузеве машинобудування».

Вказані зауваження до дисертаційної роботи не знижують вагомості отриманих у роботі наукових та практичних результатів і підтверджують її позитивну оцінку.

Робота відповідає вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), п. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, а її автор, Кальченко Дмитро Володимирович, заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Офіційний опонент,
декан факультету інноваційних технологій
Української інженерно-педагогічної академії,
кандидат технічних наук, доцент О. Л. Кондратюк

Підпис О.Л. Кондратюка ЗАСВІДЧУЮ:

Підпис Кондратюка О.Л.
Завіряю
Інспектор ВК УІПА
27.04.2023р.
дата