

АНОТАЦІЯ

Кальченко Д.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2023.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками.

У першому розділі проведено огляд наявних методів вивчення та підвищення ефективності процесів шліфування торцевих поверхонь деталей зі схрещеними осями інструменту та деталі, а також тривимірного моделювання правки шліфувальних кругів, інструментальних поверхонь, процесів зняття припуску та формоутворення оброблювальної поверхні деталі.

Абразивна обробка набула стрімкого розвитку завдяки роботам наукових центрів, лабораторій та великої кількості вчених, зокрема: А.К. Байкалов [9-10], С.М. Братан [11-12] Ю.Н. Внуков [13], А.П. Гавриш [14], А.І. Грабченко [15-18], В.Л. Доброскок [19-20], В.В. Кальченко [21-22], В.І. Кальченко [23-26], В.Г. Клименко [27], С.М. Корчак [28-29], В.І. Лаврінченко [30-32], Г.Б. Лур'є [33], П.Г. Матюха [34-35], Ф.В. Новиков [36-38], О.А. Пермьяков [39], Ю.В. Петраков [40-41], Н.С. Равська [7, 42], С.П. Радзевич [43], А.М. Резніков [44], П.Р. Родін [45], М.Ф. Семко [46-47], Ю.А. Сизий [48-49], М.Д. Узунян [50-51], В.А. Федорович [52-54] Л.М. Філімонов [56-57], Степанов М.С. [57-58], А.В. Якимов [59-61].

Об'єктами наукових досліджень вищевказаних авторів виступають процеси шліфування з паралельними і схрещеними осями круга та деталі, визначення величини шару, який зрізається, сил різання, технологічні процеси підвищення якості оброблюваних поверхонь деталей, взаємозалежність режимів обробки та величини вібрацій, тривимірне моделювання

шліфувальних кругів, систем формоутворення верстатів, керування та вплив різальної здатності інструментів на температуру, сили різання при обробці, способи підвищення точності обробки із забезпеченням високої продуктивності тощо.

Мета та основні завдання дослідження сформульовані в результаті аналізу наукових праць.

У другому розділі дисертаційної роботи описується методика виконання експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження процесу шліфування торцевих поверхонь роликів підшипників проводилися на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342 АДО.

Дослідження температури безпосередньо у місці контакту інструмента та деталі, а також її розподілу під час шліфування проводились за допомогою термопар типу «хромель-капель» і тепловізора НТІ Thermal Imaging Camera НТ-18.

Для визначення профілю абразивного круга був використаний оптиковолоконний датчик.

Вимірювання величини потужності проводилось аналізатором потужності С.А 8220.

Шорсткість обробленої поверхні деталі визначалась за допомогою портативного профілометра Pocket Surf III.

Для визначення оптимальних значень величини швидкості подачі деталі, припуску на обробку та кута повороту круга у вертикальній площині, за умови максимальної продуктивності використовувався метод математичного планування експерименту. Був обраний повний факторний експеримент, де фактори варіюються на двох рівнях – типу 2^3 . Параметром оптимізації Y виступала продуктивність обробки Q .

У третьому розділі розроблено математичні просторові моделі формоутворення торців круглих деталей при шліфуванні кругами з кінчними калібрувальними ділянками, доведено що за розробленою схемою шліфування геометрична похибка довжини деталі дорівнює нулю. Також, у результаті

більш рівномірного розподілу припуску вздовж чорнової різальної кромки шліфувального круга покращується якість поверхневого шару торців деталей.

Здійснено тривимірне математичне моделювання процесу правки шліфувальних кругів з кінчною калібрувальною ділянкою з метою двостороннього шліфування бічних поверхонь циліндричних деталей. Проведено розрахунок довжини калібрувальної ділянки, визначено її мінімально допустиме значення, при якому досягається висока точність торця. Доведено, що величина калібрувальної ділянки залежить лише від діаметру деталей, що оброблюються, та не залежить від величини припуску, що зрізається. На базі просторових математичних моделей процесів зняття припуску і формоутворення при правці круга проведено дослідження поверхні шліфувального круга.

Розраховано температуру в зоні різання та сили, що виникають при двосторонньому торцевому шліфуванні циліндричних деталей при обробці за запропонованим способом.

У четвертому розділі наведені результати експериментального дослідження процесів зняття припуску, зносу інструмента, точності отриманих поверхонь та температури при шліфуванні орієнтованими кругами задля перевірки достовірності теоретичних результатів дослідження процесу шліфування торцевих поверхонь роликів підшипників орієнтованими кругами.

З метою забезпечення високої продуктивності шліфування та визначення оптимальних значень швидкості подачі деталі, припуску на обробку та кута повороту круга у вертикальній площині проведено математичне планування експерименту.

Експериментальні дослідження підтвердили підвищення точності формоутворення деталі за рахунок зняття максимального припуску при шліфуванні чорновою ділянкою круга, а мінімального – калібрувальною.

Аналіз температурних показників в зоні шліфування показав, що структура поверхневого шару оброблюваної деталі не змінюється, а отже, забезпечується її висока якість.

Експериментально визначено потужність під час шліфування торців роликів підшипників.

Повний факторний експеримент включає три фактори, які варіюються на двох рівнях. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії показала, що вплив на продуктивність обробки при двосторонньому торцевому шліфуванні торців роликів підшипників здійснюють швидкість подачі деталі, припуск на обробку та кут повороту круга у вертикальній площині, а також їх взаємодія, а взаємодія швидкості подачі деталі з припуском на обробку не впливають на результати експерименту. Найбільший вплив на продуктивність здійснює величина припуску.

Наукова новизна одержаних результатів:

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

2. Вперше визначені кути орієнтації шліфувальних бабок верстату, при яких геометрична похибка обробки буде дорівнювати нулю і формоутворення торцевої поверхні буде забезпечуватись 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 отримані залежності осьового переміщення шліфувального круга від координат алмазного олівця, який обертається разом з барабаном подачі виробів верстату, з метою утворення прямолінійної калібрувальної ділянки.

4. Вперше при запропонованому методі обробки торцевих поверхонь припуск зрізається тільки чорною ділянкою шліфувального круга, а остаточна точність формуватиметься методом копіювання на конічній ділянці

круга при виході із зони обробки, що забезпечує мінімальні сили та теплонапруженість процесу.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Запропонована схема правки шліфувальних кругів для отримання конічних калібрувальних ділянок забезпечує одночасне формоутворення 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. При правці чорнової та чистової ділянок круга кутова швидкість барабану подачі постійна, що забезпечує формування різної шорсткості вздовж радіусної прямої та покращує умови в зоні різання. При правці калібрувальної ділянки кутова швидкість поступово зменшується, це забезпечує постійну розвиненість цієї частини поверхні та підвищує якість шліфування торців.

3. На базі розроблених загальних модульних просторових моделей правлячого інструменту та процесу правки шліфувальних кругів для отримання конічної калібрувальної ділянки запропоновано програмне забезпечення для реалізації від системи ЧПК.

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.

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

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

Ключові слова: двостороннє торцеве шліфування, схрещені осі, правка кругів, конічні калібрувальні ділянки круга, торці роликів підшипників.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

Публікації у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Kalchenko Volodymyr, Kalchenko Vitaliy, Kolohoida Antonina, Yeroshenko Andrii, Kalchenko Dmytro (2022). Building a Model of Dressing the Working Surfaces of Wheels During the Two-Side Grinding of Round End Faces at CNC Machines Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (115)), 86–93, 2022. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252642>

2. Kalchenko Volodymyr, Kalchenko Vitaliy, Kolohoida Antonina, Kalchenko Olga, Kalchenko Dmytro, (2022). Building a Model of the Process of Shaping Tapered Calibrating Areas of Wheels at the Two-Sided Grinding of Round Ends Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (116)), 62–70, 2022. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253660>.

Публікації у фахових виданнях

1. Кальченко, Д. В. Модульне 3d-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями ступінчастого вала і круга / Д. В. Кальченко, В. І. Кальченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. - 2013. – №3 (67). – С. 91-99. <http://ir.stu.cn.ua/123456789/7330>

2. Кальченко В.І. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей / В.І. Кальченко, В.І.

Венжега, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко // Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т. – 2016. – № 4 (6). – С. 25-34. <http://ir.stu.cn.ua/123456789/13316>

3. Кальченко В.І. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко // Вісник ЧДТУ. Серія: Технічні науки / Черкаси ЧДТУ, 2016. – Вип. №4 (2016). С. 69-79. http://visnyk.chdtu.edu.ua/images/tech/4_2016/13.pdf

4. Кальченко В.І. Модульне 3D моделювання процесу двостороннього шліфування торців кругами з конічними калібруючими ділянками / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко // Вісник ТНТУ. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – Вип. № 4 (84). – С. 82-92. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/20706>

5. Кальченко В.В., Кальченко Д.В., Венжега В.І., Рябов С.І. Підвищення точності та продуктивності обробки торців роликів підшипників кочення. Технічні науки та технології. Науковий журнал. 2019. №3 (17). С.9-17. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/197600/197777>

6. Експериментальне дослідження шліфування торців роликів підшипників на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342 АДО / Кальченко В., Єрошенко А., Венжега В., Кальченко Д. // Технічні науки та технології. Науковий журнал. 2022. №3 (29). С.67-77.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

1. Kalchenko D.V. Theoretical and experimental investigation of the process of two-side grinding of cylindrical parts with oriented circuits with calibrated parts. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences. December 27-28, 2017. Radom, Republic of Poland. P.98-102.

2. Єрошенко А. М., Кальченко Д. В. Дослідження процесу двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими кругами з калібруючими ділянками. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних

процесів та систем», м. Чернігів, 2018 р., Том 1, С. 183-185.
<https://drive.google.com/file/d/1pfss7tIYm9KAhPvOD6wHISUusdYqzfWY/view>

3. Кальченко Д.В., Єрошенко А.М. Дослідження процесу двостороннього шліфування торців роликів підшипників на верстатах з ЧПК орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками. Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». Том 1. 26 - 27 травня 2021 р., м. Чернігів, с. 116-118.

<https://drive.google.com/file/d/1DJQ7obOsqiuP7nBVzk7Kjp1xZ0joHkIO/view>

4. В повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на XI міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 26 - 27 травня 2021 р., м. Чернігів.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Патент 149856 Україна, МПК В24В 5/04 (2006.01)/ Кальченко В.В., Кальченко В.І., Кологойда А.В., Сіра Н.М., Венжега В.І., Кальченко Д.В. Спосіб двостороннього торцевого шліфування круглих деталей кругами з конічними калібрувальними ділянками. Опубл.08.12.2021, бюл. № 49/2021 заявка u202104160.

<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=279631>

ABSTRACT

Kalchenko D.V. Increasing the efficiency of two-sided grinding of the bearing rollers ends with oriented wheels with conical calibration sections.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 133 Industrial mechanical engineering. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2023.

The dissertation is devoted to increasing the efficiency of two-sided grinding of the ends bearing rollers ends with oriented wheels with conical calibration sections.

In the first chapter, an overview of the existing methodological approaches to the study and improvement of the processes of grinding the end surfaces of parts with crossed axes of the tool and the part, as well as three-dimensional modeling of the adjustment of grinding wheels, tools, the processes of removing the allowance and the shaping of the machining surface of the part is carried out.

Abrasive processing has developed rapidly thanks to the work of scientific centers, laboratories and a large number of scientists, in particular: A.K. Baikalov [9-10], S.M. Bratan [11-12] Y.N. Vnukov [13], A.P. Havrysh [14], A.I. Hrabchenko [15-18], V.L. Dobroskok [19-20], V.V. Kalchenko [21-22], V.I. Kalchenko [23-26], V.G. Klymenko [27], S.M. Korchak [28-29], V.I. Lavrinenko [30-32], G.B. Lurie [33], P.G. Matyuha [34-35], F.V. Novikov [36-38], O.A. Permyakov [39], Yu.V. Petrakov [40-41], N.S. Ravska [7, 42], S.P. Radzevych [43], A.M. Reznikov [44], P.R. Rodin [45], M.F. Semko [46-47], Yu.A. Siziyy [48-49], M.D. Uzunyan [50-51], V.A. Fedorovych [52-54] L.M. Filimonov [56-57], Stepanov M.S. [57-58], A.V. Yakimov [59-61].

The objects of scientific research of the above-mentioned authors are grinding processes with parallel and crossed axes of the wheel and part, determination of cutting forces, thickness of the layer to be cut, technological processes of improving the quality of the processed surfaces of parts, interdependence of processing modes and the magnitude of vibrations, three-dimensional modeling of grinding wheels, systems shaping of machine tools, control and influence of cutting ability of tools

on temperature, cutting forces during processing, methods of increasing processing accuracy while ensuring high productivity, etc.

The purpose and main tasks of the research are formulated as a result of the analysis of scientific works.

The second chapter of the dissertation describes the method of conducting experimental research. A modernized two-sided face grinding machine 3342 ADO was used to carry out experimental studies of the process of grinding the end surfaces of bearing rollers.

To determine the temperature in the processing area and the temperature distribution during grinding, a chromel-drop type thermocouple and an HTI Thermal Imaging Camera HT-18 were used.

A fiber optic sensor was used to determine the profile of the abrasive wheel.

The power value was measured by a power analyzer SA 8220.

Determination of the roughness parameter of the part was carried out with a Pocket Surf III portable profilometer.

The method of mathematical planning of the experiment was used to determine the optimal values of the part feed rate, machining allowance and the angle of rotation of the wheel in the vertical plane, under the condition of maximum productivity. Grinding performance Q was taken as the optimization parameter Y . A type 23 full factorial experiment with interactions was also applied.

In the third chapter, mathematical spatial models of the formation of the ends of round parts during grinding with conical calibration sections are developed, it is proved that the geometric error of the length of the part is zero according to the developed grinding scheme. Also, as a result of a more uniform distribution of the allowance along the rough cutting edge of the grinding wheel, the quality of the surface layer of the ends of the parts improves.

A three-dimensional mathematical modeling of the process of straightening grinding wheels with a conical calibration section was carried out for the purpose of two-sided grinding of the side surfaces of cylindrical parts. The length of the calibration section was calculated, its minimum permissible value was determined,

at which high accuracy of the end face is achieved. It has been proven that the size of the calibration area depends only on the diameter of the parts being processed and does not depend on the size of the allowance being cut. On the basis of spatial mathematical models of the processes of allowance removal and shape formation during wheel straightening, a study of the surface of the grinding wheel was carried out.

The temperature in the cutting zone and the forces occurring during bilateral face grinding of cylindrical parts during processing according to the proposed method were calculated.

The fourth chapter presents the results of an experimental study of the processes of removal of allowance, tool wear, forming accuracy and thermal stress during grinding with oriented wheels in order to verify the reliability of the results obtained during the theoretical study of the process of grinding the end surfaces of bearing rollers with oriented wheels.

The method of mathematical planning of the experiment was used in order to determine the optimal values of the feed rate of the part, the allowance for processing and the angle of rotation of the wheel in the vertical plane while obtaining the maximum grinding productivity.

Experimental studies have confirmed an increase in the accuracy of part shaping due to the removal of the maximum allowance during grinding with the rough section of the wheel, and the minimum allowance with the calibration one.

Analysis of temperature indicators in the grinding zone showed that the structure of the surface layer of the processed part does not change, and therefore, its high quality is ensured.

The power during grinding of the ends of the bearing rollers was determined experimentally.

The planning of a full factorial experiment with three factors was carried out and the significance of the regression coefficients was checked. The analysis of the regression equation showed that the influence on the processing performance during two-sided face grinding of the ends of the bearing rollers is carried out by the feed

rate of the part, the machining allowance and the angle of rotation of the wheel in the vertical plane, as well as their interaction, and the interaction of the feed rate of the part with the machining allowance does not affect the results of the experiment. The largest impact on performance is made by the size of the allowance.

Scientific novelty of the obtained results:

1. For the first time, a new method of double-sided grinding of the ends of the bearing rollers with specially oriented and profiled wheels with a conical calibration section was proposed, which reduces the geometric processing error to zero.

2. For the first time, the orientation angles of the grinding headstocks of the machine were determined, at which the geometric error of processing will be zero and the shaping of the end surface will be provided by the method of copying the generating cone, which is perpendicular to the processed surface and lies in the plane passing through the axis of rotation of the wheel.

3. For the first time, mathematical models were developed on the basis of which the dependences of the axial movement of the grinding wheel on the coordinates of the diamond pencil, which rotates together with the feed drum of the machine tool in order to form a rectilinear calibration area, were obtained.

4. For the first time, with the proposed method of processing end surfaces, the allowance is cut only by the rough section of the grinding wheel, and the final accuracy will be formed by the method of copying on the conical section of the wheel at the exit from the processing zone, which ensures minimal forces and thermal stress of the process.

Practical significance of the obtained results:

1. The proposed scheme for adjusting grinding wheels to obtain conical calibration sections provides simultaneous shaping of two wheels and can be used not only on machines equipped with CNC systems, but also without them. Due to the simultaneous editing of two wheels, the preparation time for work is reduced and, accordingly, the overall productivity of the equipment increases.

2. When straightening the rough and finishing sections of the wheel, the angular speed of the feed drum is constant, which ensures the formation of different

roughness along the radius line and improves the conditions in the cutting zone. When straightening the calibration section, the angular speed gradually decreases, this ensures the constant development of this part of the surface and improves the quality of grinding the ends.

3. On the basis of the developed general modular spatial models of the ruling tool and the process of adjusting grinding wheels to obtain a conical calibration section, software is proposed for implementation from the CNC system.

4. The minimum permissible length of the calibration section of the grinding wheel during double-sided processing of the ends of round parts is determined.

5. The authorship of the acquirer's scientific developments is confirmed by the obtained utility model patent.

6. Practical recommendations on the use of scientific developments were developed and implemented in production at "Sensor Enterprise" LLC "ZAVOD RAPID" (Chernihiv), PJSC "Cheksil-Avtoservice" (Chernihiv), LLC "Italtex Merino" (Chernihiv). The expected economic effect from the implementation of the work results is about UAH 300,000. in a year.

7. The results and methods of the dissertation are used in the educational process of the department of automobile transport and industrial engineering of the Chernihiv Polytechnic National University.

Key words: two-sided face grinding, crossed axes, straightening of wheels, wheel conical calibration sections, bearing rollers ends.

LIST OF THE APPLICANT'S PUBLICATIONS

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation were published:

Publications in professional publications included in international scientometric databases:

1. Kalchenko Volodymyr, Kalchenko Vitaliy, Kolohoida Antonina, Yeroshenko Andrii, Kalchenko Dmytro (2022). Building a Model of Dressing the Working Surfaces of Wheels During the Two-Side Grinding of Round End Faces at

CNC Machines Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (115)), 86–93, 2022. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252642>

2. Kalchenko Volodymyr, Kalchenko Vitaliy, Kolohoida Antonina, Kalchenko Olga, Kalchenko Dmytro, (2022). Building a Model of the Process of Shaping Tapered Calibrating Areas of Wheels at the Two-Sided Grinding of Round Ends Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (116)), 62–70, 2022. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253660>.

Publications in professional publications

1. Kalchenko, D. V. Modulne 3d-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia prypusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy stupinchastoho vala i kruha / D. V. Kalchenko, V. I. Kalchenko // Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. - 2013. – №3 (67). – С. 91-99. <http://ir.stu.cn.ua/123456789/7330>

2. Kalchenko V.I. Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesiv zniattia prypusku, znosu kruhiv, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pid chas shlifuvannia tortsiv detalei / V.I. Kalchenko, V.I. Venzheha, O.S. Sliednikova, D.V. Kalchenko // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii : naukovyi zhurnal / Chernihiv. nats. tekhnol. un-t. – Chernihiv : Chernihiv. nats. tekhnol. un-t – 2016. – № 4 (6). – С. 25-34. <http://ir.stu.cn.ua/123456789/13316>

3. Kalchenko V.I. Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriietovanykh detalei profilovanymy kruhamy / V.I. Kalchenko, V.V. Kalchenko, O.S. Sliednikova, D.V. Kalchenko // Visnyk ChDTU. Serii: Tekhnichni nauky / Cherkasy ChDTU, 2016. – Vyp. №4 (2016). С. 69-79. http://visnyk.chdtu.edu.ua/images/tech/4_2016/13.pdf

4. Kalchenko V.I. Modulne 3D modeliuvannia protsesu dvostoronnoho shlifuvannia tortsiv kruhamy z konichnymy kalibriuchymy diliankamy / V.I. Kalchenko, V.V. Kalchenko, O.S. Sliednikova, D.V. Kalchenko // Visnyk TNTU. – Ternopil: TNTU, 2016. – Вип. № 4 (84). – С. 82-92. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/20706>

5. Kalchenko V.V., Kalchenko D.V., Venzheha V.I., Riabov S.I. Pidvyschennia tochnosti ta produktyvnosti obrobky tortsiv rolykiv pidshypnykiv kochennia. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. Naukovyi zhurnal. 2019. №3 (17). C.9-17. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/197600/197777>

6. Eksperymentalne doslidzhennia shlifuvannia tortsiv rolykiv pidshypnykiv na modernizovanomu dvostoronnomu tortseshlifovalnomu verstati 3342 ADO / Kalchenko V., Yeroshenko A., Venzheha V., Kalchenko D. // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. Naukovyi zhurnal. 2022. №3 (29). C.67-77.

Published works of approbation nature:

1. Kalchenko D.V. Theoretical and experimental investigation of the process of two-side grinding of cylindrical parts with oriented circuits with calibrated parts. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences. December 27-28, 2017. Radom, Republic of Poland. P.98-102.

2. Yeroshenko A. M., Kalchenko D. V. Doslidzhennia protsesu dvostoronnoho shlifuvannia tortsiv tsylindrychnykh detalei oriietovanykh kruhamy z kalibriuichymy diliankamy. Materialy VIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system», m. Chernihiv, 2018 r., Tom 1, S. 183-185. <https://drive.google.com/file/d/1pfss7tIYm9KAHpVOD6wHISUusdYqzfWY/view>

3. Kalchenko D.V., Yeroshenko A.M. Doslidzhennia protsesu dvostoronnoho shlifuvannia tortsiv rolykiv pidshypnykiv na verstatakh z ChPK oriietovanykh kruhamy z konichnymy kalibruvalymy diliankamy. Materialy XI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system». Tom 1. 26 - 27 travnia 2021 r., m. Chernihiv, s. 116-118. <https://drive.google.com/file/d/1DJQ7obOsquP7nBVzk7Kjp1xZ0joHk1O/view>.

4. The dissertation work was presented in its entirety at the 11th International Scientific and Practical Conference "Complex Quality Assurance of Technological Processes and Systems" May 26-27, 2021, Chernihiv.

Published works that additionally reflect scientific results theses:

1. Patent 149856 Ukraina, MPK B24B 5/04 (2006.01)/ Kalchenko V.V., Kalchenko V.I., Kolohoida A.V., Sira N.M., Venzheha V.I., Kalchenko D.V. Sposib dvostoronnoho tortsevoho shlifuvannia kruhlykh detalei kruhamy z konichnymy kalibruvalnymy diliankamy. Opubl.08.12.2021, biul. № 49/2021 zaiavka u202104160.

<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=279631>