

# ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ПІДШИПНИКІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ КІНЕМАТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

Вінницький національний технічний університет;

## **Анотація**

Досліджено особливості підвищення точності відновлення поверхонь підшипників шляхом оптимізації кінематичної структури процесу обробки. Розглянуто вплив кінематичних параметрів шліфування, зокрема швидкості різання, подачі та траєкторії руху інструмента, на формування геометричної точності та якості поверхонь підшипників. Запропоновано підхід до оптимізації режимів обробки на основі математичного моделювання процесу формоутворення та використання адаптивних систем керування. Визначено перспективи зниження похибок відновлення підшипникових поверхонь за рахунок стабілізації кінематичних режимів і застосування сучасних методів цифрового контролю технологічного процесу.

**Ключові слова:** підшипники, відновлення поверхонь, кінематична структура, точність обробки, формоутворення.

## **Abstract**

The features of increasing the accuracy of restoration of bearing surfaces by optimizing the kinematic structure of the machining process are investigated. The influence of kinematic parameters of grinding, in particular cutting speed, feed and tool motion trajectory, on the formation of geometric accuracy and quality of bearing surfaces is considered. An approach to optimizing processing modes based on mathematical modeling of the shaping process and the use of adaptive control systems is proposed. The prospects for reducing errors in restoration of bearing surfaces are determined by stabilizing kinematic modes and applying modern methods of digital control of the technological process.

**Keywords:** bearings, surface restoration, kinematic structure, machining accuracy, shaping.

## **Вступ**

Сучасний розвиток машинобудування, транспортної техніки та високоточних механічних систем зумовлює підвищені вимоги до надійності й довговічності підшипникових вузлів. У процесі експлуатації підшипники зазнають інтенсивного зношування, що призводить до втрати геометричної точності, збільшення зазорів, погіршення трибологічних характеристик та зниження ресурсу роботи обладнання. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають технології відновлення підшипників, спрямовані на забезпечення високої точності формоутворення та мінімізацію похибок обробки [1, 2].

Одним із ключових факторів, що визначають якість відновлення підшипникових поверхонь, є кінематична структура процесу обробки. Раціональне поєднання швидкості різання, подачі, траєкторії руху інструмента та режимів шліфування суттєво впливає на формування мікрогеометрії поверхні, точність розмірів і стабільність експлуатаційних характеристик підшипників [1, 3]. Тому оптимізація кінематичних параметрів обробки є важливим напрямом наукових досліджень у галузі прикладної механіки.

## **Результати дослідження**

Аналіз сучасних досліджень свідчить про значну увагу науковців до проблем підвищення точності шліфування та відновлення підшипникових поверхонь. У роботі авторів [1] досліджено вплив параметрів прецизійного шліфування на якість поверхонь газових підшипників, а також встановлено взаємозв'язок між кінематичними режимами та точністю обробки. Значну увагу приділено математичному моделюванню процесів контактної взаємодії під час відновлення підшипників ковзання, що дозволяє прогнозувати похибки формоутворення та оцінювати стабільність технологічного процесу [2].

У працях, присвячених технологічному забезпеченню точності шліфування кілець підшипників, встановлено, що зміна швидкості обертання заготовки та шліфувального круга суттєво впливає на температурні деформації, параметри шорсткості та точність формування поверхонь [4, 5]. Дослі-

дження механізмів утворення шорсткості підтверджують, що кінематичні похибки та нестабільність подачі можуть призводити до локальних відхилень форми та збільшення хвилястості поверхні [6].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням адаптивних систем керування обробкою та цифрового моделювання процесів відновлення. Використання математичних моделей дозволяє оптимізувати траєкторії руху інструмента, прогнозувати навантаження в зоні контакту та забезпечувати автоматичне коригування режимів шліфування залежно від зміни умов обробки [7]. Перспективними є також методи комп'ютерного моделювання, що забезпечують можливість створення цифрових двійників технологічного процесу відновлення підшипників [8].

Разом із тим, незважаючи на значну кількість наукових праць, залишаються недостатньо дослідженими питання комплексної оптимізації кінематичної структури процесу відновлення підшипників із урахуванням одночасного впливу швидкісних режимів, траєкторій інструмента та динамічних характеристик технологічної системи. Потребують подальшого вивчення закономірності формування похибок у багатофакторних умовах обробки, а також методи адаптивного керування процесом для забезпечення стабільної геометричної точності підшипникових поверхонь [3, 5, 8].

### Висновки

Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на розроблення інтегрованих математичних моделей процесу відновлення підшипників, які враховуватимуть кінематичні, температурні та динамічні фактори формоутворення. Важливим напрямом є створення адаптивних систем керування шліфуванням із використанням інтелектуальних алгоритмів оптимізації режимів обробки. Очікується, що застосування сучасних методів цифрового моделювання та автоматизованого контролю дозволить підвищити точність відновлення підшипників, зменшити похибки формоутворення та забезпечити підвищення ресурсу роботи машин і механізмів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудратов М. М., Віштак І. В. Аналіз сучасних методів шліфування для підвищення точності та якості поверхонь газових підшипників // Наукові праці ВНТУ. 2024. №4. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-4-97-104>.
2. Віштак І. В., Сорока М. О. Фізико-математичне моделювання процесу відновлення підшипників ковзання з використанням полімерів // Вісник машинобудування та транспорту. 2026. №1. С. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2026-23-1-17-24>.
3. Єрошенко А. М., Дорошенко О. О. Точність формоутворення поверхонь тіл обертання при шліфуванні з використанням мастильно-охолоджуючого технологічного середовища // Технічні науки та технології. 2019. № 3. С. 18-26. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt\\_2019\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt_2019_3_4).
4. Кайдик О. Л. Технологічне забезпечення точності виготовлення кілець карданних підшипників в адаптивних технологічних системах шліфування : дис. канд. техн. наук. 05.02.08 / Кайдик Олег Леонтійович ; Луцький держ. технічний ун-т. - Луцьк, 2004. - 217 арк.: рис. - арк. 164-178
5. Марчук В. І., Гринюк С. В., Марчук І. В. Дослідження впливу режимів шліфування та параметрів переривчастого шліфувального круга на температуру шліфування кілець роликотпідшипників // Перспективні технології та прилади. 2022. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2022-20-12>.
6. Решетило А. Ю., Лапченко Ю. С., Симонок В. П., Лук'янчук Ю. А. Дослідження механізму утворення шорсткості шліфованих поверхонь // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2011. №713. С. 104–108. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/5b09fa1f-a005-4d21-8764-cbe9a9fc937e>
7. Pessoles X., Tournier C. Automatic polishing process of plastic injection molds on a 5-axis milling center. URL: <https://arxiv.org/abs/1003.5062>.
8. Wojciechowski S. et al. Study on ploughing phenomena in tool flank face workpiece interface including tool wear effect during ball end milling. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.15554>.

**Сорока Максим Олександрович** – аспірант 2 року навчання кафедри технологій автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [maksim.soroka69@gmail.com](mailto:maksim.soroka69@gmail.com)

Науковий керівник: **Віштак Інна Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua)

***Soroka Maksym*** - postgraduate 2 year of study of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [maksim.soroka69@gmail.com](mailto:maksim.soroka69@gmail.com)

**Supervisor: *Vishtak Inna. V.*** – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department Safety of Life and Pedagogical Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua)