

УДК 621. 941

ENSURING THE PRECISION OF THE TURNING OF BEARING OUTER RINGS

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ЗОВНІШНІХ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ

Halchuk T.N. / Гальчук Т.Н.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3474-9848

Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska, 18, 45018

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Львівська, 18, 43018

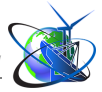
Анотація. У статті показано вплив технологічної системи автоматизованого токарного верстата, зокрема кулачкових патронів, на точність обробки кілець підшипників для виробничих умов. Досліджено значення некруглості кільця під час обробки однорядного конічного роликового підшипника 32017X по зовнішньому діаметру. Для експерименту було відібрано зразки кілець, які оброблялися за однакових умов, безпосередньо на виробництві, без втручання в технологічний процес. Запропоновано використання змінних плаваючих кулачків у конструкції патрона для підвищення точності та продуктивності обробки. Представлено реалізацію на виробництві контролю точності якості продукції. Проведено дослідження впливу зусилля затиску на точність токарної обробки кілець. Показано, що якість продукції формується під впливом використання сучасних комп'ютерних технологій на всіх етапах виготовлення та контролю деталей, що забезпечує проведення досліджень у широкому діапазоні змін технологічних параметрів та порівняння окремих досліджень з реальними умовами обробки на верстаті, з результатами достатнього рівня надійності.

Ключові слова: підшипник, точність, кільце, огранка, технологічна система.

Вступ

В сучасному машинобудуванні вимоги до підвищення точності обробки деталей безперервно зростають, а проблеми досягнення точності характеризуються надзвичайною багатфакторністю. Ряд факторів практично не змінюється у процесі обробки: деформації заготовки та елементів технологічної системи під впливом зусиль закріплення; похибки базових поверхонь заготовки та встановлення її на верстаті; похибки виготовлення та встановлення інструмента; геометричні похибки верстата. Інші фактори суттєво змінюються у процесі обробки під впливом змінних зусиль, змінної жорсткості, зміни температурних умов, параметрів процесів різання і тертя [1-3].

Обробка кілець підшипників на токарних операціях, пов'язана з прогином оброблюваних поверхонь під дією сил різання і закріплення з подальшим формуванням пов'язаних з цим похибок обробки. Під час затиску тонкостінних

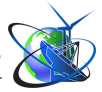


кілець у патронах формується деформація заготовки, яка залежить, зокрема, від кількості точок прикладання сили і величини сили затиску. Деталь стискається, і в точках механічного контакту в матеріалі виникають підвищені напруження викликані виключно зміною товщини стінки заготовки. Це призводить до похибки обробки кільця – некруглості. Некруглість кілець впливає на експлуатаційні показники, зокрема знижує довговічність підшипників кочення в декілька разів [4]. Величина такої похибки залежить від кількості кулачків та від того, наскільки форма їх затискної поверхні наближається до форми деталі. Чим більше кулачків і чим більше їх затискна поверхня відповідає формі деталі, тим похибка буде меншою. І навіть при ідеально правильній обробці точінням деталей після зняття її з верстата, в результаті релаксації напружень у металі, набуває огранки (часткового випадку некруглості) з числом граней за кількістю кулачків патрона. Для її зменшення необхідно правильно вибирати схему встановлення та закріплення заготовок, що в значній мірі забезпечує точність проведення кінцевої обробки деталей та підвищує продуктивність металообробки [5]. У цих умовах актуальною є проблема виявлення резервів підвищення точності оброблюваних поверхонь, зокрема кілець роликотпідшипників під час їх виготовлення в умовах автоматизованого виробництва.

Основний текст.

Огляд літературних джерел показав, що дослідження і опис подібної проблеми розглядається у ряді наукових праць [5-10]. Ці роботи присвячені дослідженням з аналітичних розрахунків похибки обробки, забезпечення точності вирізання деталей, підвищення точності верстатів, розробками та випробуваннями конструкцій затискних механізмів, їх приводів для закріплення і обробки нежорстких деталей. Але разом з тим є важливим дослідження точності операцій для умов конкретного виробництва. Зокрема, визначення деформацій деталі в процесі чорнової обробки та визначення показників, які зменшують вплив похибки деформування заготовки на точність обробки.

Мета дослідження – визначення впливу окремих характеристик



технологічної системи на точність токарної обробки кілець підшипників для умов виробництва.

Для кілець підшипників встановлені високі вимоги до геометричної форми після токарної операції. Контролюються такі параметри, як непостійність внутрішнього діаметру кільця, кут внутрішнього діаметра, непостійність зовнішнього діаметра та його конусність, непостійність ширини кільця, а також відхилення від круглості форми - огранка кільця. Для визначення величини деформації деталі в процесі обробки було прийнято дослідити точність форми кільця роликового підшипника по зовнішньому діаметру – огранку, що виникає після токарної обробки.

Кільце підшипника, механічна обробка якого досліджувалась, є кільцем однорядного роликового конічного підшипника 32017X, що виготовляється на ПАТ «СКФ – Україна» (публічне). Підшипник складається з двох обойм (зовнішньої та внутрішньої) та тіл обертання (конічних роликів), з'єднаних сепаратором (рисунок 1, а, б). Зовнішній діаметр підшипника $D=130$ мм, внутрішній діаметр $d=85$ мм, загальна висота $B=29$ мм і висота обойми $C=22$ мм.

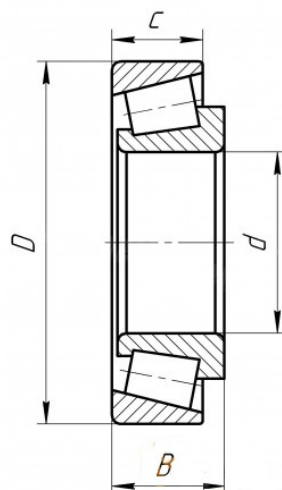
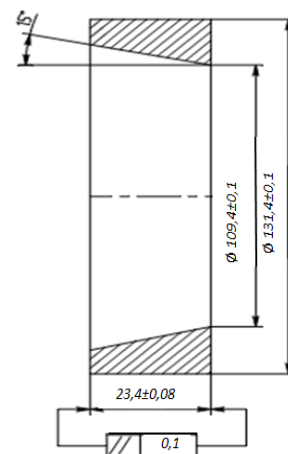
**а****б****в**

Рисунок 1 - Підшипник 32017X:

а – загальний вигляд; **б** – схема; **в** – макет кільця

Джерело: [1]



Підшипник 32017X застосовують в автомобілебудуванні вантажного автотранспорту таких моделей як Mercedes-Benz (Atego, Atego 2), Fiat, MAN, Renault, Volvo, ISUZU. Заготовку кільця виготовляють методом кування (рисунок 1, в) зі сталі марки ШХ15СГ ДСТУ ISO 683-17. Для проведення випробовувань використовувалися деталі з заданою округлістю по зовнішньому діаметру: $0,27 \text{ мм} - 5 \text{ шт.}$ Кожну заготовку в ділительній головці розділили на 12 пронумерованих частин. В розтиснутий патрон встановлювалась тонкостінна заготовка діаметром $130^{+0,5} \text{ мм}$ і затискалась осьовим зусиллям $P_o=25000 \text{ Н}$ та $P_o=39500 \text{ Н}$. Для експерименту використовувався токарний трьохкулачковий патрон з пневмоциліндром поршнями $\varnothing 150 \text{ мм}$ і $\varnothing 95 \text{ мм}$ та плаваючий шестикулачковий патрон з пневмоциліндром поршнем $\varnothing 95 \text{ мм}$ (рисунок 2) закріплені на верстаті 1Б265НП-6К, що характеризується підвищеними вимогами до точності оброблюваних деталей в умовах серійних виробництв. В результаті дослідження необхідно було встановити кращий варіант кулачкового патрону, що забезпечував би мінімальну деформацію заготовки.

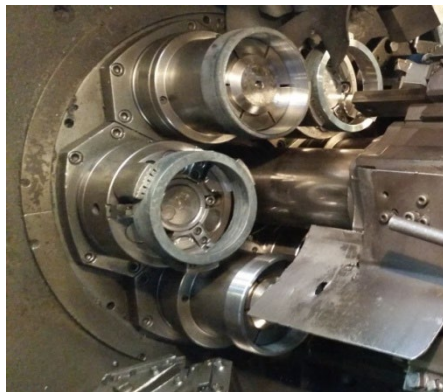
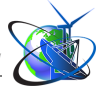
**а****б**

Рисунок 2 - Затиснення заготовки кільця: а – 3-х кулачковому патроні;

б – 6-и кулачковому токарному патроні

Авторська розробка

Закріплення заготовки в патронах проводилися 10 разів. Оскільки огранка, має практичний вплив на вимірювання діаметра і може дати хибний результат



під час вимірювання, а отже, впливати на дійсний розмір деталі під час її виготовлення. Тому для вимірювання правильності форми обов'язковим є обертання заготовки. Під час вимірювання розмірів кільця відбувається розходження між вимірним та дійсним розміром за будь-якої непарної кількості граней, тому відхилення форми деталі може суттєво впливати на її розмір, вимірний звичайним методом. Визначення правильності форми вимагає вимірювання непостійності – огранки, що виражається регулярно повторюваними нерівностями. Це особливо важливо для забезпечення необхідної точності, так як огранка є неодмінними атрибутами будь-якого верстатного оброблення [2]. Після кожного затиску заготовка проточувалася на верстаті 1Б265НП-6К з глибиною різання $t=0,5$ мм, числом обертів $n=378$ мм/об і подачею $S=0,3$ мм/об.

В процесі оброблення деталей забезпечити дотримання форми практично неможливо, тому під час контролю зовнішнього діаметру кільця, застосовувався метод контролю за допомогою мікрокатора ІГПВ і установкою кільця у приладі ПП-1М, що гарантує достовірність вимірювання (рисунок 3). Мікрокатор ІГПВ вставлений до пружинної вимірювальної головки. Це дає переваги під час вимірювання (відсутність «мертвого ходу», малі тертя в ланках механізму). Таким чином вимірювальна система, яка використовувалася для проведення замірів, була прийнятною.

Вимірювалась огранка заготовки в 12-ти точках по зовнішньому діаметру (рисунок 4). Результати досліджень опрацьовані методами математичної статистики [11]. Некруглість обробленої поверхні склала до 0,15 мм. Отримані значення відхилень в даному випадку знаходяться в межах допуску (270 мкм), а подекуди значення значно менші від тих, що передбачені на карті контролю.

Проаналізувавши отримані експериментальні дані, можна стверджувати, що заготовка під час затиску в трьохкулачковому патроні приймає трьохгранну форму, а під час затискання у 6-ти кулачковому – шестигранну. Отже, деталь, котра отримана після точіння здобуде деяку технологічну спадковість, внаслідок сил деформування виникаючих під час затиску заготовки в пристрої, котра



обов'язково відобразиться як на точності чистової обробки так і на точності та якості готового виробу в цілому.



а



б

Рисунок 3 - Загальний вигляд: а - прибору ПП-1М;

б - вимірювання огранки кільця підшипника

Авторська розробка

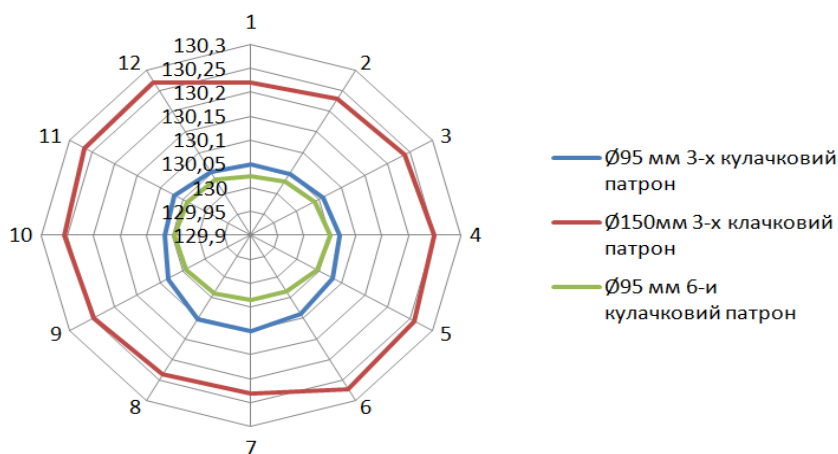


Рисунок 4 - Огранка кільця в 12-ти точках (мкм)

Авторська розробка

На остаточно оброблену поверхню шліфуванням може переноситися до 33% некруглості обробленої на токарній операції зовнішньої поверхні, для товщини стінки оброблюваної деталі в межах 9 мм.



Випробування при обробці з великими зусиллями різання проводились на виготовлених в кількості 3 шт. деталях зі збільшеним припуском (глибина різання 2,5 мм, подача – 0,3 мм/об, частота обертання шпинделя верстата – 376 об/хв, тиск в гідросистемі верстата становить 10...15 кг/см²), огранка заготовок перед точінням 0,5 мм.

Висновок.

Для підвищення точності обробки зовнішнього кільця однорядного роликового конічного підшипника 32017X на токарних автоматизованих верстатах для умов ПАТ «СКФ-Україна» (публічне) пропонується використовувати змінні плаваючі кулачки в конструкції затискного патрона. На основі аналізу експериментальних і виробничих випробувань встановлено, що овальність обробленої поверхні залежить від зусилля затиску на кулачках патрона. Це визначається тим, що при менших зусиллях затиску зменшується сили тертя, через які кулачки переміщуються по-різному і виникає деформація поверхні деталі. У зв'язку з цим рекомендується вести обробку з мінімальними зусиллями затиску заготовки, що допускаються по зусиллю різання. Точність форми, що досягається під час обробки, у 6-ти кулачковому патроні із змінними плаваючими кулачками вище, ніж у 3-х кулачковому затискному патроні за однакових умов обробки деталі.

Література:

1. Гальчук Т.Н. Дослідження точності обробки кілець підшипників / Гальчук Т.Н. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2017): матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24–27 квіт. 2017 р.). Чернігів: ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 95-96.
2. Marchuk V., Mykhalevytch V. Deviation of the shape of surfaces and their influence on the dimensional accuracy of bodies of rotation / V. Marchuk, V. Mykhalevytch // Scientific notes: interuniversity collection (in the field of "Engineering Mechanics). – 2008. – Vol. 23. – pp. 197–202.



3. Mao Yuze. Influence of ring deformation on the dynamic characteristics of a roller bearing in clearance fit with housing / Mao Yuze, Wang Liqin, Zhang Chi // International Journal of Mechanical Sciences. – 2018. – Vol. 138 (139). – P. 122–130. Doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.01.042

4. Луців І.В. Вплив системи затиску на похибку форми при обробці кільцевих заготовок багатолезовим самоналагоджувальним обладнанням / І.В. Луців, В.Н. Волошин, В.М. Буховець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні. – 2016. – Випуск 953. – С.72 – 74.

5. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія / [Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин]. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.

6. Петріков А.В., Іванов О.О. Види і причини похибок при механічній обробці деталей, а також методи їх усунення [Електронний ресурс] – А.В. Петріков, О.О. Іванов // Scientific researches and their practical application 2 October 2012. – URS: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/oct-2012>. Modern state ways of development '2012. – 2–1. – Назва екрану.

7. Zhu, Hm. Dynamic analysis of a flexible rotor supported by ball bearings with damping rings based on FEM and lumped mass theory / Zhu, Hm., Chen, Wf., Zhu, Rp. et al // J. Cent. South Univ. – 2020. – Vol. 27. – pp. 3684–3701. Doi.org/10.1007/s11771-020-4510-z

8. Wang, H. Characteristics analysis of aero-engine whole vibration response with rolling bearing radial clearance [J] / Wang, H., Gong, J., Chen, G. // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2017 – Vol. 37. – pp. 2129–2141. Doi.org/10.1007/s12206-017-0409-5.

9. Liu, X. Bifurcation analysis of a magnetically supported rigid rotor in auxiliary bearings [J] / Liu, X., Liu, Y., Wang, S., Yan, H., Liao, P. // Chaos, Solitons & Fractals. – 2019. – Vol. 118. – P. 328–336. Doi.org/10.1016/j.chaos.2018.11.034.

10. Ahmer, M. Failure mode classification for condition-based maintenance in a



bearing ring grinding machine / Ahmer, M., Sandin, F., Marklund, P. et al. // Int J Adv Manuf Technol. – 2022. – Vol. 122. – P. 1479 – 1495. Doi.org/10.1007/s00170-022-09930-6

11. Гальчук Т. Н. Комп'ютерна обробка статичних даних контролю точності виробів машинобудування/ Т.Н. Гальчук // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – 2017. – № 26. – С. 42–47.

Abstract. *The article shows the influence of the technological system of an automated lathe, in particular cam chucks, on the accuracy of machining bearing rings for production conditions. The value of the ring out-of-roundness during the machining of a single-row tapered roller bearing 32017X on the outer diameter was investigated. For the experiment, samples of rings were selected that were machined under the same conditions, directly in production, without interference in the technological process. The use of replaceable floating cams in the chuck design is proposed to increase the accuracy and productivity of processing. The implementation of product quality accuracy control in production is presented. The influence of clamping force on the accuracy of turning rings is studied. It is shown that the quality of products is formed under the influence of the use of modern computer technologies at all stages of manufacturing and control of parts, which ensures research in a wide range of changes in technological parameters and comparison of individual studies with real machining conditions on the machine, with the results of a sufficient level of reliability.*

Keywords: *bearing, precision, ring, cut, technological system.*

Статтю надіслано: 11.02.2026р.

© Гальчук Т.Н.