

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-3(17)-9-17

Володимир Кальченко, Дмитро Кальченко, Володимир Венжега, Сергій Рябов

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ТОРЦІВ РОЛИКІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Актуальність теми дослідження. Високоточна та продуктивна обробка торців роликів підшипників кочення є актуальним і важливим науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить як підвищити термін служби підшипників, так і здешифувати їх виробництво, а отже, підвищити рівень конкурентоспроможності продукції.

Постановка проблеми. Основними вимогами, що ставляться до роликів підшипників кочення, є забезпечення високої точності розмірів, форми та якості торцевих поверхонь при високій продуктивності процесу обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними напрямками підвищення точності та продуктивності двосторонньої торцешліфувальної обробки є збільшення жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь, зменшення теплового впливу, удосконалення кінематичних характеристик руху заготовки в зоні обробки, оптимізація конструкції та характеристик шліфувальних кругів.

Виділення не досліджених раніше частин загальної проблеми. Одним із найбільш перспективних напрямів підвищення точності та продуктивності процесу двосторонньої торцешліфувальної обробки є використання ефекту схрещення осей шліфувальних кругів та заготовок при спеціальному профілюванні інструменту.

Постановка завдання. Провести аналіз факторів, що впливають на точність та продуктивність обробки торцевих поверхонь деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, та розробити новий високопродуктивний спосіб обробки торцевих поверхонь роликів підшипників кочення, який би забезпечував можливість складання тіл кочення з кільцями не селективним методом, а методом повної взаємозамінності.

Виклад основного матеріалу. Комбінована правка орієнтованих у двох площинах шліфувальних кругів на двосторонніх тоцешліфувальних верстатах дає змогу отримати на більшому діаметрі калібрувальну ділянку. При цьому весь припуск зрізується на ділянці, прилеглій до калібрувальної. Калібрувальна ділянка на вході деталей у зону обробки не бере участі в зрізуванні припуску, має високу стійкість і на виході формує остаточну точність торцевих поверхонь.

Висновки відповідно до статті. У роботі запропоновано новий високопродуктивний спосіб однопрохідної обробки торцевих поверхонь роликів підшипників кочення на двосторонніх торцешліфувальних верстатах орієнтованими шліфувальними кругами, що мають калібрувальну ділянку, яка забезпечує високу точність обробки. Цей спосіб дозволяє зменшити діапазон розсіювання розмірів та перейти до методу повної взаємозамінності при складанні підшипникових вузлів.

Ключові слова: двостороння торцешліфувальна обробка; шліфувальні круги з калібрувальною ділянкою; ролики підшипників кочення; точність обробки торцевих поверхонь роликів підшипників; продуктивність обробки.

Рис.: 5. Бібл.: 17.

Актуальність теми дослідження Підшипники кочення є найбільш поширеними стандартними складальними одиницями, які виготовляють на спеціалізованих заводах. Їх широко застосовують для рухомих з'єднань, особливо в механізмах із високими відносними швидкостями обертання, механізмах зі значними силовими навантаженнями та високими вимогами до точності їх центрування.

Вони мають повну зовнішню взаємозамінність за зовнішніми, внутрішніми діаметрами та шириною кілець. Між кільцями та тілами кочення існує неповна взаємозамінність, оскільки кільця та тіла кочення складають селективним методом, що полягає в точному вимірюванні дійсних розмірів поверхонь, сортуванні їх на розмірні групи в порядку зростання розмірів від найменшого до найбільшого з невеликою їх градацією та маркуванні розсортованих виробів для їх подальшого складання. Тому дуже важливо забезпечити точність обробки кілець та тіл кочення з мінімальним розсіюванням розмірів оброблених поверхонь для зменшення трудомісткості складання.

Постановка проблеми. ГОСТ 25255-82 «Подшипники качения. Ролики цилиндрические длинные. Технические условия» встановлює вимоги до роликів підшипників. Ролики повинні виготовлятися трьох ступенів точності I, II, та III для яких нормуються основні параметри. Так, наприклад, для ступені точності I при довжині ролика до 30 мм верхнє граничне відхилення $es = +1,5$ мкм, нижнє $ei = -7,5$ мкм, випуклість торця до

2 мкм. Увігнутість торців роликів не допускається. Ролики повинні бути термічно оброблені до твердості 60...65 HRC, не мати тріщин, раковин, корозії, слідів припалів.

Отже, забезпечення точності та продуктивності обробки торців роликів підшипників є актуальним і важливим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільший вплив на якість і точність виробу мають операції на заключних етапах обробки. Такою операцією є шліфування, яке зазвичай виконується за допомогою традиційних способів: шліфування периферією чи торцем абразивного круга, але часто ці способи не дозволяють отримати заготовки заданої якості й забезпечити потрібну продуктивність.

Одним із найбільш ефективних способів механічної обробки деталей, що мають паралельні торцеві поверхні, у теперішній час є двостороння торцешліфувальна обробка (ДТШО). Нині серед основних напрямків і результатів підвищення ефективності процесу ДТШО автори [1] виділяють такі.

1. Управління жорсткістю верстата з метою мінімізації лімітуючих зсувів у зоні обробки.

У роботі [2] вирішена задача забезпечення підвищення осьової жорсткості верстата за рахунок зменшення і взаємної компенсації деформацій системи корпусних деталей, їх стиків і опор; розвалу кругів у вертикальній площині від сили, прикладеної вздовж осі круга. Таким чином, раціональна компоновка і баланс податливостей елементів пружної системи верстата можуть забезпечити відсутність кутових зсувів шліфувальних кругів (ШК) при прикладенні осьової сили. Кутові зміщення ШК при відцентровому прикладенні навантаження не компенсуються.

У роботі [3] визначені теоретичні умови, за яких похибка форми деталей наближається до нуля. Ці умови зводяться до певного місця розташування так званого «полюса повороту» круга Π (точки, відносно якої круг повертається під дією сил різання) (рис. 1). Полюс повороту повинен знаходитися в зоні калібрування. Це накладає обмеження на співвідношення наведених до круга характеристик жорсткості верстатів, що працюють з подачею виробів «на прохід».

$$J_0 = D_{кр} \cdot j_k / R_k \cdot R_y,$$

де j_0 і j_k – осьова і кутова жорсткість круга на шпинделі; R_y – радіус прикладання рівнодіючої сил різання; $D_{кр}$ – діаметр круга.

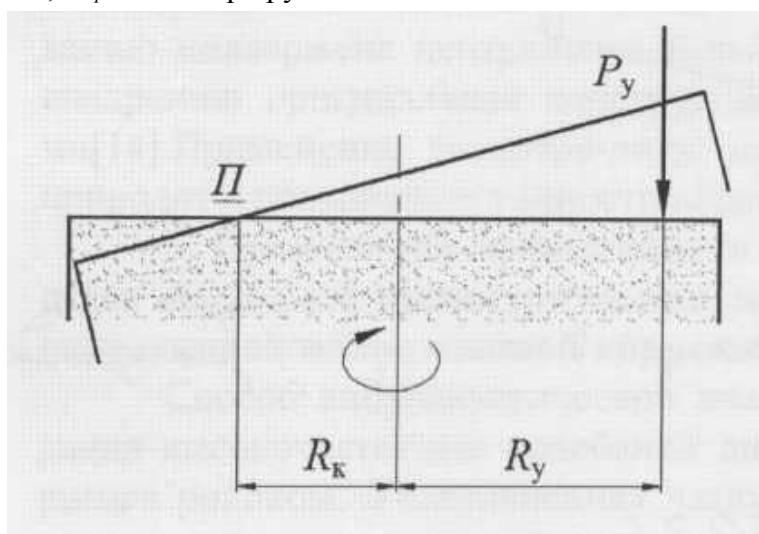


Рис. 1. Розташування полюсу повороту ШК у точці калібрування Π на радіусі R_k під дією сили P_y на плечі R_y

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Зниження негативного впливу теплових факторів і деформацій верстатів.

Негативний вплив теплових процесів розглядається в двох аспектах:

1) вплив високотемпературних процесів у контакті ШК і заготовок на стан поверхневого шару й появу припалів;

2) вплив тепловиділення у вузлах тертя і надлишкової температури охолоджуючої рідини (ОР) на температурні зміщення елементів несучої системи, що призводять до зміни відносного положення заготовки і ШК.

Практичним результатом рішення першої теплофізичної проблеми в роботах [4] і [5] є вдосконалення конструкції і робочого профілю ШК. У [4] запропоновано ШК з отворами для підводу ОР в зону контакту, що розташовані по концентричних колах; вони ж виконують функцію додаткових тепловідводів. У [5] для уникнення припалів пропонується використовувати переривчасті круги з пазами різної конфігурації. Для цього розроблені відповідні пристрої правки шліфувальних кругів.

Оскільки зміщення ШК здебільшого пов'язані з тепловими деформаціями станини через її нагрівання відпрацьованою ОР у центральній верхній частині, одним із радикальних і технічно простих заходів з їх мінімізації є вдосконалення системи відведення ОР в поєднанні з раціональним розподілом теплових потоків у верстаті. У роботі [6] розроблено заходи щодо значного зменшення (в 2-3 рази) і стабілізації теплових деформацій шляхом стабілізації температури ОР і збалансованості теплових потоків.

3. Забезпечення раціональних кінематичних характеристик руху заготовки при проходженні зони обробки.

Для реалізації сприятливого з точки зору формування точності руху заготовки в зоні шліфування розроблені різні схеми примусового її обертання [7-9].

Для забезпечення заданого закону зміни кутової швидкості вільної заготовки в гнізді диска-сепаратора авторами проведені спеціальні розрахунково-експериментальні дослідження. Запропоновано методику визначення сукупності технологічних параметрів (кути нахилу ШК, швидкість подачі та припуск на обробку), що забезпечує реалізацію оптимальної характеристики обертання заготовки, при якій забезпечується необхідна точність обробки [10].

4. Оптимізація конструкції та геометричних характеристик ШК з метою підвищення їх формостійкості і зниження похибок оброблених поверхонь.

У результаті моделювання процесу формоутворення оброблених торців і виробничих випробувань встановлено позитивний вплив на точність геометричної модифікації торцевих поверхонь ШК у вигляді параболоїдів обертання [11]. Для формування профілю ШК з параболічною модифікацією запропоновані відповідні пристрої правки [12-13].

Дослідження форми ШК показали, що найбільш інтенсивному зносу піддається центральна кільцева область ШК [14]. Запропоновано і прийнята до впровадження оригінальна конструкція двухзонного ШК із гетерогенними властивостями [15]. Застосування геометрично модифікованого і двухзонного інструменту приводить до підвищення точності обробки та періоду між правками ШК.

5. Застосування ефективного способу віброакустичної діагностики процесу обробки циліндричних деталей і розробленого на його основі методу оперативної спрямованої корекції параметрів налагодження верстата.

Спосіб віброакустичної діагностики процесу заснований на ефекті збудження високочастотних коливань динамічної системи диска-сепаратора роликом, що обертається. Встановлений взаємозв'язок показників віброхарактеристики і характеристик обертання, що визначають точність обробки за параметром торцевого биття, зробив можливим ефективне використання віброхарактеристики для оперативного виробничого налагодження торцешліфувальних верстатів і його корекції [16].

6. Моделювання процесу ДТШО і прогнозування форми й похибок оброблюваних поверхонь, можливість інтерактивного вибору керуючих технологічних параметрів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Вимоги до точності торцевих поверхонь, що є основними конструкторськими й технологічними базами при наступному круглому зовнішньому, внутрішньому і безцентровому шліфуванні, постійно зростають, оскільки значно впливають на якісні показники машинобудівних виробів загалом. Технологічне забезпечення точності при ДТШО сприяє вирішенню проблеми імпортозаміщення виробів машинобудування і спрямовано на зміцнення економічної незалежності країни. Як показує досвід проектування, виготовлення і експлуатації двосторонніх торцешліфувальних верстатів, підвищення їх геометричної точності, жорсткості й інших показників не завжди дає ефект зниження похибки оброблених торців. Тому більш ефективним напрямком є підвищення технологічних можливостей процесу ДТШО, правильний вибір раціональних режимів шліфування, оптимізація характеристик інструментів і параметрів наладки.

Мета статті. Метою цієї статті є розробка високопродуктивного способу обробки торців роликів підшипників на двосторонніх тоцешліфувальних верстатах, який би забезпечував більш високу точність розмірів оброблених поверхонь і, як наслідок, дозволив би перейти від селективного методу складання підшипників до повної взаємозамінності.

Виклад основного матеріалу. Отримання високої точності та продуктивності ДТШО забезпечується за рахунок зняття припуску за один прохід, одночасної обробки відразу двох торців кількох деталей, що знаходяться в зоні обробки, простоти завантаження-вивантаження з можливістю автоматизувати цей процес, мінімізації похибки базування, суміщення в часі процесів завантаження, обробки та вивантаження, створення неперервності потоку заготовок.

Для підвищення ефективності шліфування, зменшення теплового впливу необхідна профільна правка круга. Найбільш раціональним є комбінований спосіб правки, представлений на рис. 2 та досліджений у роботі [17].

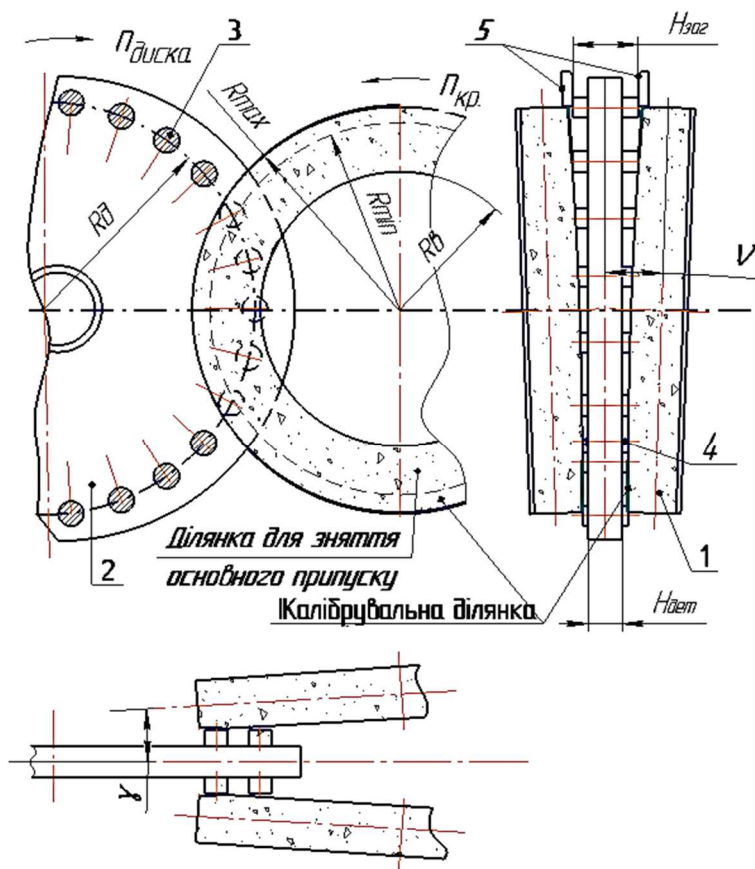


Рис. 2. Комбінований спосіб правки

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Круги 1 орієнтують в горизонтальній площині на кут γ і у вертикальній – на кут ν з метою зняття припуску за один прохід. Спочатку вся торцева поверхня круга правиться в площині, перпендикулярній осі обертання круга за допомогою стаціонарного пристрою верстата. Після цього, алмазними олівцями 4, закріпленими на диску подачі заготовок 2, правлять ділянки, які прилягають до зовнішніх діаметрів кругів. При цьому величина радіуса правки, по якому переміщується вершина алмазного олівця, вибирається в залежності від форми та розмірів оброблюваної заготовки.

У робочому циклі шліфування комбінована правка дає можливість розподілити весь припуск між чорною і чистою ділянками, збільшити робочу довжину дуги контакту деталей із кругом, що підвищує продуктивність обробки, знижує температуру в зоні обробки. Висока точність форми торця деталі забезпечується на калібрувальній ділянці, прилеглий до зовнішнього діаметру круга, при виході із зони обробки. При цьому калібрувальна ділянка при вході в зону шліфування не бере участі в зніманні припуску й має високу стійкість, оскільки напрямні елементи 5 унеможливають її контакт із заготовками.

Проведемо дослідження точності формоутворення деталей при запропонованому способі шліфування з калібрувальною ділянкою.

Радіус-вектор \vec{R}_i точок калібрувальної ділянки торцевої поверхні шліфувального круга визначається траєкторією руху алмазного олівця:

$$\vec{R}_i(\theta_B, \theta) = A^6(\theta) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^5(\nu) \cdot A^4(\gamma) \cdot A^2(Y_c) \cdot A^1(X_c) \cdot A^3(Z_c) \cdot A^6(-\theta_B) \cdot A^1(R_B) \cdot e^4, \tag{1}$$

де A^1, \dots, A^6 – матриці перетворення систем координат, які моделюють рухи й повороти вздовж і навколо координатних осей;

θ, θ_B – параметри поверхні різального інструменту, які відповідають за кутове й радіальне положення точки робочої поверхні круга;

X_c, Y_c, Z_c – розміри, що визначають положення центра сферичного пальця відносно барабана подачі й робочої площини круга,

γ, ν – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній і вертикальній площинах;

R_B – радіальний розмір розташування осей заготовок у барабані подачі;

$e^4 = (0, 0, 0, 1)^T$ – радіус-вектор вершини алмазного олівця, що збігається з початком координат.

Рівняння (1) описує калібрувальну ділянку торця інструмента при його профілюванні на верстаті, яка наведена на рис. 3.

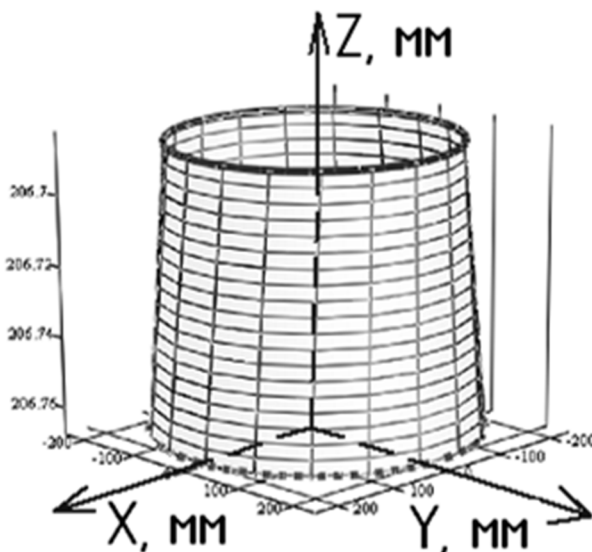


Рис. 3. Калібрувальна ділянка круга при збільшенні розмірів вздовж вісі Z в 1000 разів

Формоутворююча модель верстата описує сімейство інструментальних поверхонь у системі координат деталі

$$\vec{R}_o(\theta_o, \theta_B, \theta) = A^1(-R_B) \cdot A^6(\theta_o) \cdot A^3(-Z_c) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^2(-Y_c) \cdot A^4(-\gamma) \cdot A^5(-\nu) \cdot A^1(X_c) \cdot \vec{R}_i(\theta_B, \theta), \quad (2)$$

де θ_o – кутова координата положення центра заготовки відносно системи координат круга.

При комбінованому способі правки у формоутворенні торця заготовки бере участь вся поверхня калібрувальної ділянки, але остаточна точність може формуватися колом найменшого радіуса R_{\min} , найбільшого радіуса R_{\max} чи лінією контакту заготовки з кругом (рис. 4).

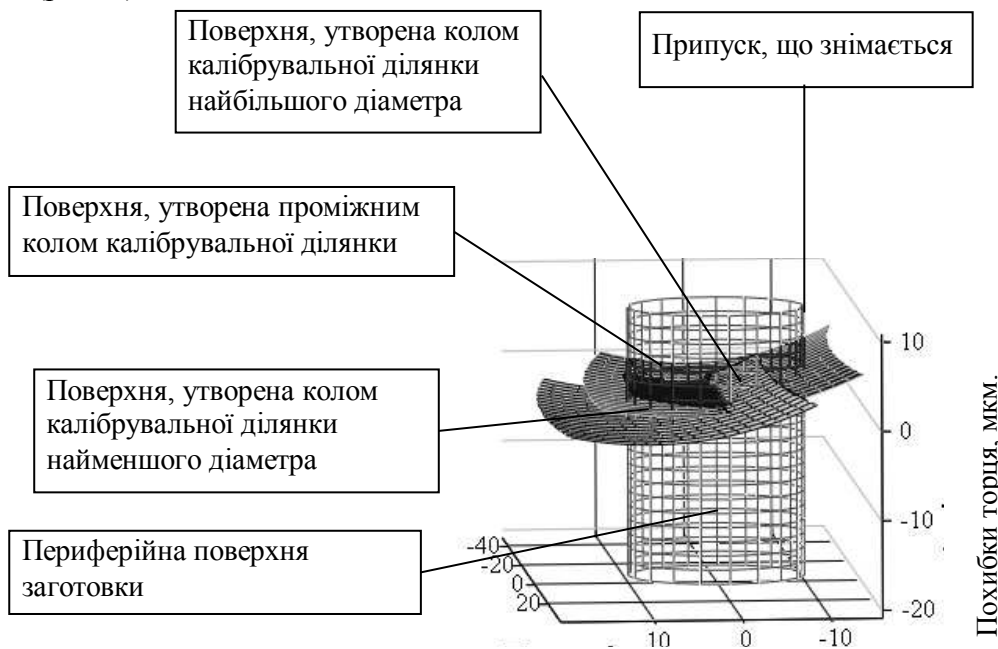


Рис. 4. Формоутворення торця заготовки

Радіус-вектор характеристики на формотвірній ділянці торцевої поверхні круга визначається із рівняння (2), враховуючи рівняння зв'язку для однопараметричного огинання

$$\frac{\partial \vec{R}_o(\theta_o, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_o} \cdot \frac{\partial \vec{R}_o(\theta_o, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_B} \times \frac{\partial \vec{R}_o(\theta_o, \theta_B, \theta)}{\partial \theta} = 0$$

Рівняння поверхні, яка утворюється при русі максимального кола, може бути отримано із рівняння (2) при підстановці в нього замість радіус-вектора поверхні координат точок кола.

$$\vec{R}_o(\theta_o, \theta) = A^6(k \cdot \theta_o) \cdot A^1(-R_B) \cdot A^6(\theta_o) \cdot A^3(-Z_c) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^2(-Y_c) \cdot A^4(-\gamma) \cdot A^5(-\nu) \cdot A^1(X_c) \cdot A^6(\theta) \cdot A^1(R_{\max}) \cdot A^3(Z_{\max}) \cdot \vec{e}^4$$

Проведені теоретичні дослідження впливу довжини калібрувальної ділянки, обертання заготовок, кутів орієнтації кругів на точність обробки показали такі результати.

1. Довжина калібрувальної ділянки повинна бути не меншою діаметру оброблюваної заготовки, але робити її надто великою недоцільно, оскільки точність при цьому фактично не збільшується, а довжина лінії контакту деталі з кругом зменшується.

2. Для підвищення точності обробки необхідно, щоб заготовка, що обробляється, обернулася на калібрувальній ділянці не менше одного разу.

3. Найкращі по точності результати отримані при співвідношенні кутів орієнтації у вертикальній ν і горизонтальній γ площинах $\gamma = 1,57 \cdot \nu$. Чим більше відрізняється це співвідношення, тим нижча точність.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Експериментальні значення відхилень, виміряні приладом «TALYROUND» при обробці циліндричних роликів $\varnothing 20$ мм на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО кругами I-450×305×63-25A40CT1B8 з довжиною калібрувальної ділянки 20 мм, співвідношенням кутів орієнтації $\gamma = 1,57$ °, обертанням заготовок, знімаємим припуском 0,5 мм становили:

- відхилення від площинності – 1,5 мкм;
- відхилення від паралельності торцевих поверхонь – 2 мкм.

Висновки відповідно до статті. У роботі запропоновано високопродуктивний спосіб обробки торцевих поверхонь роликів всіх видів для підшипників, який забезпечує більш високі вимоги по точності та дозволяє проводити комплектування підшипників без сортування на розмірні групи – методом повної взаємозамінності. Це також сприяє збільшенню терміну довговічності підшипників, оскільки осьове навантаження розподіляється по торцях рівномірно.

Список використаних джерел

1. Вайнер Л. Г. Повышение эффективности процесса двусторонней торцешлифовальной обработки. URL: http://konf-sev.donntu.org/sbornik/Pdf_1_16/057-060.pdf.
2. Гуревич А. Л., Каминская В. В. Автоматизированный расчет жесткости торцешлифовальных станков. *Станки и инструмент*. 1983. № 12. С. 4-6.
3. Байор Б. Н., Шахновский С. С. Повышение точности обработки на двустороннем торцешлифовальном станке. *Станки и инструмент*. 1974. № 312. С. 12-13.
4. Савинская В. Г. Качество поверхностного слоя дисков трения при торцовом двустороннем шлифовании. *Прогрессивные технологии чистой и отделочной обработки / Челябинский гос. тех. ун-т. Челябинск, 1995. С. 102-106.*
5. Гурьянихин В. Ф., Евстигнеев А. Д. Повышение эффективности двустороннего торцевого шлифования тонкостенных заготовок. *СТИН*. 2006. № 3. С. 34-35.
6. Андрианова И. А., Шахновский С. С. Влияние тепловых деформаций на положение шлифовальных кругов торцешлифовального станка. *Станки и инструмент*. 1982. № 9. С. 6-7.
7. Salhe E. *Plan- und Planprofilschleifmaschinen / G. Rohde. VDI-Z. 1882. Vol.124, № 23/24. S. 129-137.*
8. Патент №2455142. РФ, МПК В24В7/17. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей / Вайнер Л. Г. № 2010153645; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19. 4 с.
9. Патент №2463150, РФ, МПК В24В7/17. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей / Вайнер Л. Г. №2010153444/02; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.10.2012. Бюл. № 28. 4 с.
10. Вайнер Л. Г. Исследование характера движения цилиндрических роликов при обработке на двусторонних торцешлифовальных станках. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. № 4 (282). С. 49-54.
11. Степанов Ю. С., Вайнер Л. Г. Анализ систем и процессов реального формообразования оппозитных торцевых поверхностей при двустороннем шлифовании. *Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки*: коллективная монография / под ред. А. В. Киричека. Москва: Изд. дом «Спектр», 2013. С. 227-277.
12. Патент № 126980 РФ, МПК В24В7/17. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов / Вайнер Л. Г., Богачев А. П., Флусов Н. И.; заявл. 03.08.2012; опубл. 20.04.2013. Бюл. № 11.
13. Патент № 136381 РФ, МПК В24В53/02. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов / Вайнер Л. Г.; заявл. 14.06.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
14. Вайнер Л. Г., Носенко В. А., Сафронов А. Э. Анализ закономерностей изнашивания шлифовальных кругов при двусторонней обработке торцов колец подшипников. *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2013. № 3(30). С. 111-118.
15. Патент № 121465 РФ, МПК В24В7/17. Устройство для двустороннего шлифования торцов деталей / Вайнер Л. Г. № 2011153276/02; заявл. 26.12.2011; опубл. 27.10.2012. Бюл. № 30. 3 с.
16. Вайнер Л. Г., Ривкин В. А. Виброакустический контроль двустороннего торцешлифования в производственных условиях. *Вестник машиностроения*. 2011. № 7. С. 60-64.

17. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2009. 214 с.

References

1. Vayner, L. G. (n.d.). Povyshenie effektivnosti protsessa dvustoronnei tortseshlifovalnoi obrabotki [Improving the efficiency of the process of two-side face grinding]. Retrieved from http://konf-sev.donntu.org/sbornik/Pdf_1_16/057-060.pdf.
2. Gurevich, A. L., Kaminskaya, V. V. (1983). Avtomatizirovannyi raschet zhestkosti tortseshlifovalnykh stankov [Automated calculation of rigidity of face grinding machines]. *Stanki i instrument – Machine tools and tools*, 12, 4-6 [in Russian].
3. Bayor, B. N., Shakhnovskiy, S. S. (1974). Povyshenie tochnosti obrabotki na dvustoronnem tortseshlifovalnom stanke [Improving the accuracy of processing on a double-sided face grinding machine]. *Stanki i instrument – Machine tools and tools*, 312, 12-13 [in Russian].
4. Savinskaya, V. G. (1995). Kachestvo poverkhnostnogo sloia diskov treniia pri tortsovom dvustoronnem shlifovanii [The quality of the surface layer of friction disks during end-face grinding]. In *Progressivnye tekhnologii chistovoi i odelochnoi obrabotki – Advanced finishing and finishing technologies* (pp. 102-106). Chelyabinsk [in Russian].
5. Gurianikhin, V. F., Ievstigneev, A. D. (2006). Povysheniye effektivnosti dvustoronnego tortsevogo shlifovaniya tonkostennykh zagotovok [Improving the efficiency of bilateral face grinding of thin-walled workpieces]. *STIN – STIN*, 3, 34-35 [in Russian].
6. Andrianova, I. A., Shakhnovskiy S. S. (1982). Vliianie teplovykh deformatsii na polozhenie shlifovalnykh krugov tortseshlifovalnogo stanka [The influence of thermal deformation on the position of the grinding wheels of the end grinding machine]. *Stanki i instrument – Machine tools and tools*, 9, 6-7 [in Russian].
7. Salhe, E., Rohde G. (1882). Plan- und Planprofil schleifmaschinen. *VDI-Z*, 124 (№ 23/24), 129-137 [in English].
8. Vayner, L. G. (2012). *Sposob dvustoronnego tortsevogo shlifovaniya tsilindricheskikh detaley [The method of two-side face grinding of cylindrical parts]*. Patent № 2455142. RF, MPK V24V7/17.
9. Vayner, L. G. (2012). *Sposob dvustoronnego tortsevogo shlifovaniya tsilindricheskikh detaley [The method of two-side face grinding of cylindrical parts]*. Patent № 2463150, RF, MPK V24V7/17.
10. Vayner, L. G. (2010). Issledovaniye kharaktera dvizheniya tsilindricheskikh rolkov pri obrabotke na dvustoronnykh tortseshlifovalnykh stankakh [Investigation of the nature of the movement of cylindrical rollers during processing on two-sided end grinding machines]. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii – Fundamental and applied problems of engineering and technology*, 4 (282), 49-54 [in Russian].
11. Stepanov, Yu. S., Vainer L. G. (2013). Analiz sistem i protsessov real'nogo formoobrazovaniya oppozitnykh tortsevykh poverkhnostey pri dvustoronnem shlifovanii [Analysis of systems and processes of real shaping of opposed end surfaces during double-sided grinding]. In A. V. Kiricheko (Ed.), *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoy obrabotki i sborki – Modeling of technological processes of machining and assembly* (pp. 227-277). Moscow: Spektr [in Russian].
12. Vayner, L. G., Bogachev, A. P., Flusov, N. I. (2013). *Ustroystvo dlya pravki tortsevykh poverkhnostey shlifoval'nykh krugov [Device for dressing the end surfaces of grinding wheels]*. Patent № 126980 RF, MPK V24V7/17 [in Russian].
13. Vayner, L. G. (2014). *Ustroystvo dlya pravki tortsevykh poverkhnostey shlifovalnykh krugov [Device for dressing the end surfaces of grinding wheels]*. Patent № 136381 RF, MPK V24V53/02 [in Russian].
14. Vayner, L. G., Nosenko, V. A., Safronov, A. E. (2013). Analiz zakonornostey iznashivaniya shlifoval'nykh krugov pri dvustoronney obrabotke tortsev kolets podshipnikov [Analysis of patterns of wear of grinding wheels during double-sided machining of the ends of bearing rings]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of the Pacific State University*, 3(30), 111-118 [in Russian].
15. Vayner, L. G. (2012). *Ustroystvo dlia dvustoronnego shlifovaniia tortsov detalei [Device for double-sided grinding of ends of parts]*. Patent № 121465 RF, MPK V24V7/17 [in Russian].
16. Vayner, L. G., Rivkin, V. A. (2011). Vibroakusticheskiy kontrol' dvustoronego tortseshlifo-vaniya v proizvodstvennykh usloviyakh [Vibro-acoustic control of two-face grinding in a production environment]. *Vestnik mashinostroeniia – Engineering Bulletin*, 7, 60-64 [in Russian].
17. Venzhega, V. I. (2009). Підвищення ефективності шліфування торсів при схрещених осях деталей та круга з калібрувальною ділянкою [Improving the efficiency of grinding end faces

with crossed axes of the workpiece and circle with a calibration section]. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv [in Ukrainian].

UDC 621.923.42

Volodymyr Kalchenko, Dmytro Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Sergiy Ryabov

INCREASING THE ACCURACY AND PRODUCTIVITY OF THE MOVING OF THE ROLLING BEARINGS OF THE ROLLING BEARINGS

Urgency of the research. High-precision and productive machining of the ends of the rollers of the roller bearings is an urgent and important scientific and practical task, the solution of which will allow both to prolong the life of the bearings and to reduce their production, and therefore to increase the level of competitiveness of production.

Target setting. The main requirements relating to the rollers of the rolling bearings are to ensure the high accuracy of size, shape, quality of end surfaces with high productivity of the machining process.

Actual scientific researches and issues analysis. The main directions of improving the accuracy and productivity of two-sided grinding are to increase the rigidity of the machine-tool-tool-part system, to reduce the thermal impact, to improve the kinematic characteristics of the workpiece movement in the treatment area, to optimize the design and characteristics of grinding wheels.

Uninvestigated parts of general matters defining. One of the most promising areas for improving the accuracy and productivity of the double-sided grinding process is to use the effect of crossing axes of grinding wheels and billets with special tool profiling.

The purpose of the article. To analyze the factors that affect the accuracy and productivity of machining the end surfaces of parts on two-sided grinding machines and to develop a new high-performance method of processing the end surfaces of the rollers of the roller bearings, which would provide the possibility of assembly between the rolling bodies and the rings, not by a selective method.

The presentation of the main material. The combined editing of the two planes of grinding wheels on two-sided grinding machines enables to obtain a larger diameter of the calibration section. In this case, the entire allowance is cut off in the area adjacent to the gauge. The calibration section at the inlet of the parts in the treatment area does not participate in cutting off the seam allowance, has high stability and at the outlet forms the final accuracy of the end surfaces.

Conclusions and suggestions. The paper proposes a new high-performance method of single-pass machining of the end surfaces of the rollers of the roller bearings on two-sided grinding machines with oriented grinding wheels, which have a calibration section, which ensures high accuracy of processing. This method allows to reduce the scattering range of sizes and to go to the method of complete interchangeability when assembling the bearing units.

Keywords: double-sided grinding; grinding wheels with calibration section; roller bearings; precision machining of the end surfaces of the roller bearings; processing performance.

Fig.: 5. References: 17.

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

Researcher ID: G-6752-2014

Кальченко Дмитро Володимирович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Dmytro – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Venzhega Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vivenzhega@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

Researcher ID: H-3560-2014

Рябов Сергій Ігорович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Ryabov Sergiy – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: doctorthomases@gmail.com