

Мішурр "Очерки 2020"

**Спеціальність: «Галузеве машинобудування»**

**Напрямок досліджень: «Технології машинобудування»**

**УДК 621.923. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ  
ОБРОБКИ ТОРЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОЛИКІВ ПІДШИПНИКІВ  
КОЧЕННЯ**

**2020**

## АНОТАЦІЯ

Підшипники кочення є найбільш розповсюдженими стандартними складальними одиницями, які виготовляють на спеціалізованих заводах. Їх широко застосовують для рухомих з'єднань, особливо у механізмах з 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, так як кільця та тіла кочення складають селективним методом. Тому дуже важливо забезпечити точність обробки кілець та тіл кочення з мінімальним розсіюванням розмірів оброблених поверхонь для зменшення трудомісткості складання.

Метою даною роботи є дослідження та розробка високопродуктивного способу обробки торців циліндричних роликів підшипників кочення на двосторонніх тоцешліфувальних верстатах, який би забезпечував більш високу точність розмірів оброблених поверхонь і, як наслідок, дозволив би перейти від селективного методу збирання підшипників до повної взаємозамінності.

В роботі проведено аналіз факторів, що впливають на точність та продуктивність обробки та запропоновано новий спосіб шліфування торців роликів підшипників на двосторонніх тоцешліфувальних верстатах орієнтованими у двох площинах шліфувальними кругами з калібрувальними ділянками конічної форми. Їх отримують спеціальною правкою алмазним інструментом з плоскою поверхнею, що зводить до нуля геометричну похибку обробки, притаманну існуючим способам обробки. При цьому весь припуск зрізується на ділянці, прилеглій до калібрувальної. Калібрувальна ділянка на вході деталей в зону обробки не приймає участь у зрізуванні припуску, має високу стійкість і на виході формує остаточну точність торцевих поверхонь.

## ЗМІСТ

1. Вступ.....	3
2. Основні напрямки і результати підвищення ефективності процесу двосторонньої торцешліфувальної обробки (ДТШО).....	4
3. Існуюча правка шліфувальних кругів на горизонтальних торцешліфувальних верстатах .....	8
4. Правка шліфувальних кругів для отримання калібрувальної ділянки алмазом в оправі.....	12
5. Правка шліфувальних кругів для отримання калібрувальної ділянки правлячим алмазним інструментом з плоскою поверхнею.....	17
6. Висновки.....	21
7.Список використаної літератури.....	22

## ВСТУП

Підвищення якості та конкурентоспроможності виробів, що випускаються - одна з основних задач, що стоять перед народним господарством нашої країни. Вирішення цього завдання багато в чому залежить від технічного прогресу в машинобудуванні, необхідною умовою якого є розробка нових і систематичне вдосконалення існуючих технологічних операцій, що забезпечить підвищення точності і продуктивності обробки. Особливо важливими являються операції фінішної обробки, серед яких абразивна обробка займає одне з провідних місць.

На машинобудівних підприємствах параметри точності і якості обробки деталей машин традиційно формуються при остаточному шліфуванні. У повній мірі це стосується шліфування відповідальних деталей з торцевими робочими поверхнями, таких як ролики підшипників кочення.

Парк верстатів для абразивної обробки досягає 20% загального верстатного парку, а в підшипниковій і деяких інших галузях промисловості - 60% і більше. Розвитку абразивної обробки посприяла розробка нових абразивних матеріалів і зв'язок, вдосконалення технології отримання абразивних матеріалів та інструментів із них, створення нових методів обробки.

ГОСТ 25255-82 «Підшипники кочення. Ролики циліндричні довгі. Технічні умови» 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 30мм верхній граничний відхил  $e_s = +1,5\text{мкм}$ , нижній  $e_i = -7,5\text{мкм}$ , випуклість торця до 2мкм. Увігнутість торців роликів не допускається. Ролики повинні бути термічно оброблені до твердості 60...65 HRC, не мати тріщин, раковин, корозії, слідів припалів.

Це викликає значні складнощі їх обробки, як з точки зору забезпечення стабільної точності та якості, так і досягнення необхідної продуктивності обробки.

## 2. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ І РЕЗУЛЬТАТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОЇ ТОРЦЕШЛІФУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Конструкція і схема шліфування сучасних плоскошліфувальних верстатів обмежує подальше підвищення їх продуктивності. Навіть при шліфуванні на плоскошліфувальних верстатах з двома вертикально розташованими шпинделями шліфується одна сторона деталей за один оберт столу. Потім деталі знову укладають на завантажувальний стіл верстата, і процес після відповідного підналагодження повторюється. Такий метод шліфування паралельних сторін деталей (роликів, кілець, дисків, втулок і т. п.) обмежує можливості підвищення ефективності плоского шліфування. Крім того, плоскошліфувальні верстати мають деякі конструктивні недоліки, що знижують їх продуктивність і точність обробки. До таких недоліків відносяться: ручна укладка деталей на завантажувальний стіл, необхідність намагнічування і розмагнічування деталей, частий вихід з ладу електромагнітних котушок і простої, пов'язані з їх заміною, нагрів електромагнітної плити в період експлуатації, недостатнє намагнічування електромагнітної плити і викликані цим підриви деталей.

Удосконалення операції плоского шліфування в великосерійному виробництві привело до створення двосторонніх торцешліфувальних верстатів, які дозволяють підвищити продуктивність шліфування завдяки одночасній обробці двох паралельних площин (торців) деталей, а також підвищити точність обробки по непаралельності і неплоскостності. Простота схеми двостороннього шліфування дає можливість при необхідності легко вбудовувати двосторонні верстати в автоматичні лінії, а можливість швидкого переналагодження їх на обробку деталей в досить широких діапазонах розмірів дозволяє застосовувати двосторонні торцешліфувальні автомати не тільки в великосерійному виробництві, але і в серійному виробництві.

Тому в масовому і великосерійному виробництві замість плоского шліфування все ширше починає застосовуватися однопрохідне двостороннє шліфування торців деталей на двосторонніх торцешліфовальних верстатах.

Існують конструкції верстатів з вертикальним і горизонтальним розташуванням шпинделів. Верстати з вертикальним розташуванням шпинделя частіше використовуються на операціях чистового шліфування. Вони мають жорстку загальну конструкцію, потужні шліфувальні шпинделі. Точність конструктивних елементів забезпечує високу продуктивність обробки. Гнучкість верстатів цієї серії полягає у застосуванні як безперервно-наскрізного, так і врізного способу шліфування. Верстат може мати як ручне завантаження заготовок, так і автоматизоване. В порівнянні з верстатами з горизонтальним розташуванням шпинделя вони складніші в обслуговуванні та експлуатації.

Більш поширені верстати з горизонтальним розташуванням шпинделів. Вони, як правило, складаються з литої чавунної станини, на якій кріпляться дві шліфувальні бабки з незалежними електроприводами, механізму подачі виробів в зону обробки і механізму правки шліфувальних кругів. Крім цих вузлів, є допоміжні прилади та пристрої: пристрій повороту шліфувальних бабок у вертикальній і горизонтальній площинах, система подачі мастильно-охолоджувальної рідини, пристрій компенсації зносу шліфувального круга і інші.

В даний час серед основних напрямків і результатів підвищення ефективності процесу двосторонньої торцешліфувальної обробки (ДТШО) можна виділити наступні.

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

В роботі [1] вирішується 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.

В роботі [2] визначені теоретичні умови, при яких похибка форми деталей наближається до нуля. Ці умови зводяться до певного місця розташування так званого «полюса повороту» круга (точки, щодо якої круг повертається під дією сил різання). Поліус повороту повинен знаходитися в зоні калібрування.

2. Зниження негативного впливу теплових факторів і деформацій верстатів.

Негативний вплив теплових процесів розглядається в двох аспектах:

1) вплив високотемпературних процесів в контакті шліфувального круга (ШК) і заготовок на стан поверхневого шару і появу припалів;

2) вплив тепловиділення в вузлах тертя і надлишкової температури охолоджувальної рідини (ОР) на температурні зміщення елементів несівної системи, що призводить до зміни відносного положення заготовки і ШК.

Практичним результатом рішення першої теплофізичної проблеми в роботах [3] і [4] явилось вдосконалення конструкції і робочого профілю ШК. В [3] запропоновано ШК з отворами для підводу ОР в зону контакту, що розташовані по концентричним колам; вони ж виконують функцію додаткових тепловідводів. В [4] для уникнення припалів пропонується використовувати переривчасті круги з пазами різної конфігурації. Для цього розроблені відповідні пристрої правки шліфувальних кругів.

Оскільки зміщення ШК в основному пов'язані з тепловими деформаціями станини через її нагрів відпрацьованою ОР в центральній верхній частині, одним з радикальних і технічно простих заходів по їх мінімізації є вдосконалення системи відводу ОР в поєднанні з раціональним розподілом теплових потоків в верстаті. В роботі [5] 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 [6-8].

Для забезпечення заданого закону зміни кутової швидкості вільної заготовки в гнізді диска-сепаратора автором проведені спеціальні розрахунково-експериментальні дослідження. Запропоновано методику визначення сукупності технологічних параметрів (кути нахилу ШК, швидкість подачі і припуск на обробку), що забезпечує реалізацію оптимальної характеристики обертання заготовки, при якій забезпечується необхідна точність обробки [9].

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

В результаті моделювання процесу формоутворення оброблених торців і виробничих випробувань встановлено позитивний вплив на точність геометричної модифікації торцевих поверхонь ШК у вигляді параболоїдів обертання [10]. Для формування профілю ШК з параболічною модифікацією запропоновані відповідні пристрої правки [11-12].

Дослідження форми ШК показали, що найбільш інтенсивному зносу піддається центральна кільцева область ШК [13]. Запропонована і прийнята до впровадження оригінальна конструкція двохзонного ШК з гетерогенними властивостями [14]. Застосування геометрично модифікованого і двохзонного інструменту призводить до підвищення точності обробки та періоду часу 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 [15].

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



### 3. ІСНУЮЧА ПРАВКА ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ДВОСТОРОННІХ ТОРЦЕШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Як показує досвід проектування, виготовлення і експлуатації двосторонніх торцешліфувальних верстатів, підвищення їх геометричної точності, жорсткості і інших показників не завжди дає ефект зниження похибки оброблених торців. Тому більш ефективним напрямком являється підвищення технологічних можливостей процесу ДТШО, правильний вибір раціональних режимів шліфування, оптимізація характеристик інструментів і параметрів наладки [16].

Найчастіше верстатах горизонтального компонування вітчизняного та зарубіжного виробництва (наприклад німецьких фірм «Junker», «Diskus Werke») для обробки деталей типа роликів, пальців, втулок використовується роторна схема подачі заготовок в зону обробки (рис 1), де 1 – заготовка, 2 – диск подачі виробів в зону обробки, 3 – шліфувальні круги.

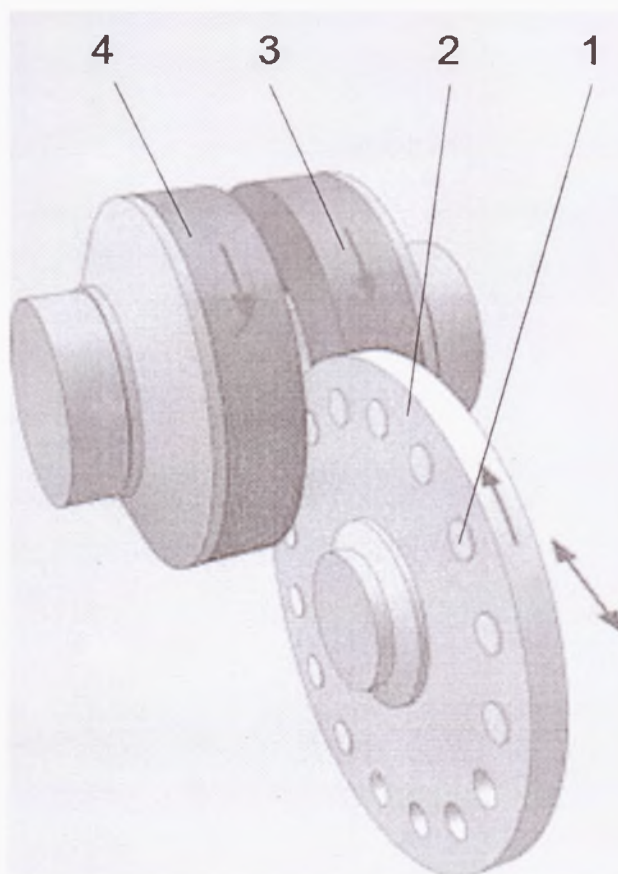


Рис.1. Роторна схема подачі заготовок в зону обробки

При цьому правка абразивних кругів здійснюється пристроєм правки 3 шліфувальних кругів 2, який монтується на корпусі шліфувальної бабки. На важелях приладу правки встановлені державки алмазів 1. Рух важелів здійснюється перпендикулярно до осі обертання шпинделя, незалежно від кутової орієнтації шліфувальних бабок щодо диску подачі виробів 4 (рис. 2).

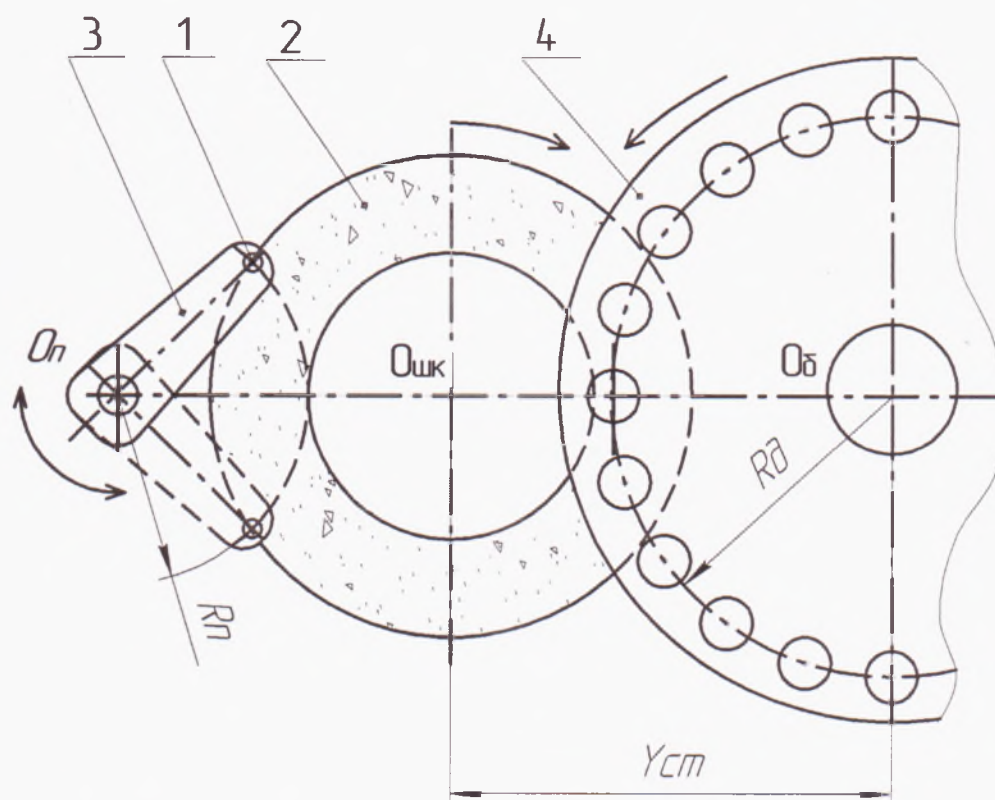
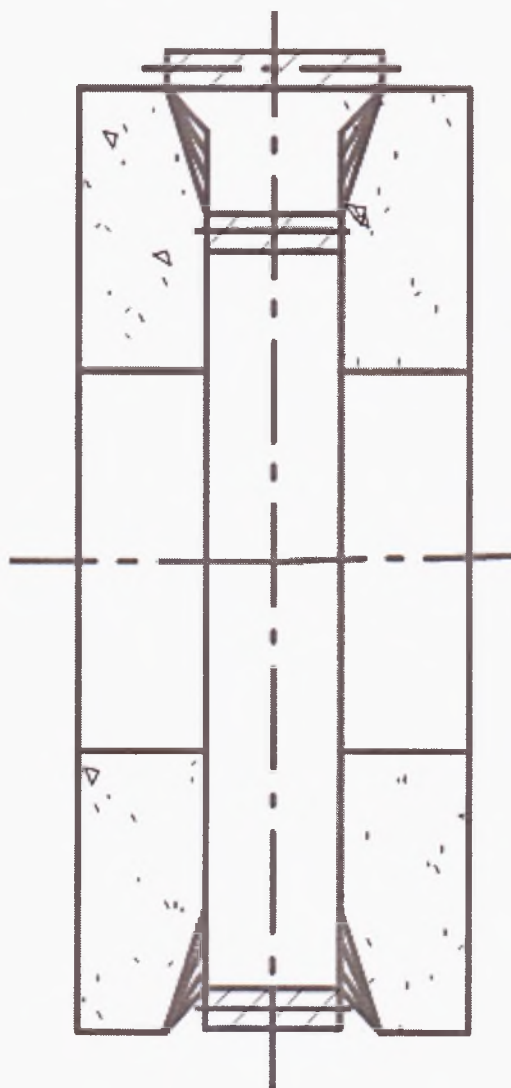


Рис. 2. Правка шліфувальних кругів за допомогою пристрою правки

Традиційно обробка здійснюється або при співвісному розташуванні кругів (круги паралельні) (рис. 3) або при розвороті їх у вертикальній площині (рис.4) чи вертикальній і горизонтальній одночасно.

При співвісному розташуванні кругів зрізання припуску з заготовок відбувається тільки на вході в зону обробки. При цьому вхідна ділянка буде швидко зношуватись, не матиме стабільного положення і зміщуватиметься до центру круга. На заготовці можливі припали торцевих поверхонь за рахунок короткої дуги контакту заготовки з інструментом і інтенсивного зняття припуску. Після проходження цієї ділянки зняття припуску практично відсутнє,

а на виході деталь може переміщуватись між кругами вздовж осі, що при наявності зазорів в отворах завантажувального диску викликає зрізи на торцевих поверхнях. Цей спосіб можна використовувати тільки при невеликих припусках на обробку.



*Рис.3. Схема обробки заготовок при паралельних шліфувальних кругах*

Схема з розворотом кругів у вертикальній площині, чи вертикальній і горизонтальній одночасно дозволяє проводити шліфування заготовок зі значно більшими припусками, але остаточний розмір формується різальною кромкою інструмента на виході із зони обробки. Ця ж різальна кромка приймає участь у зрізуванні припуску при вході в зону обробки, тому піддається інтенсивному

зносу, не має стабільного положення, а отже необхідна часта підналадка верстату на потрібний розмір. Окрім того в самій схемі закладена геометрична похибка обробки, що буде залежати від кутів розвороту кругів та їх діаметрів. Тому вона не підходить для обробки високоточних деталей, а якщо є така потреба, то виникає необхідність застосовувати багатопрохідне шліфування, що знижує продуктивність обробки.



*Рис.4. Схема обробки при повороті шліфувальних кругів у вертикальній площині на кут  $\nu$*

#### 4 ПРАВКА ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ АЛМАЗОМ В ОПРАВІ

Для підвищення ефективності шліфування, зменшення теплового впливу необхідна профільна правка круга. Найбільш раціональним є комбінований спосіб правки, представлений на рис.5 та досліджений в роботі [17].

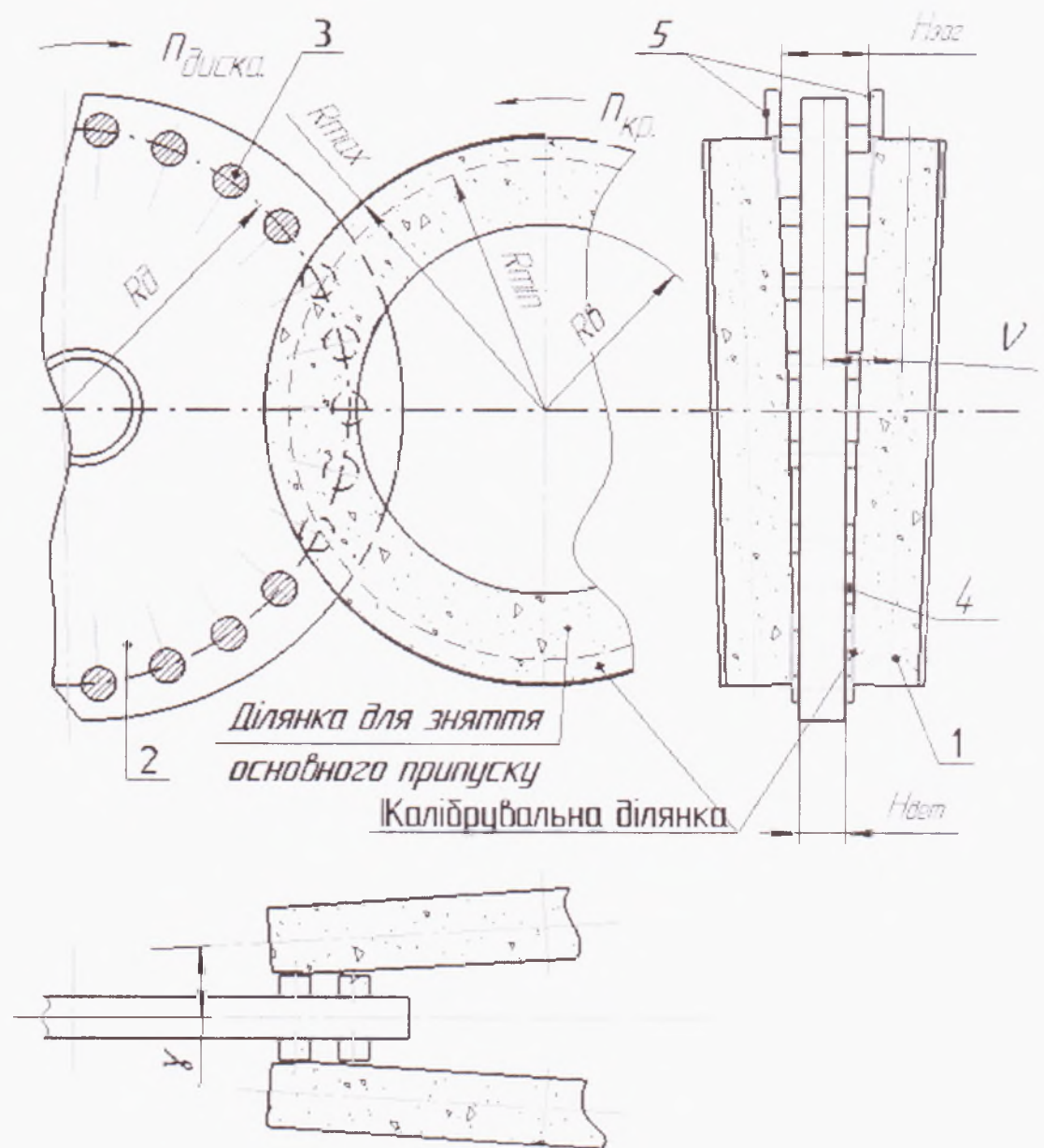


Рис . 5 . Комбінований спосіб правки

Для цього круги 1, орієнтують в горизонтальній площині на кут  $\gamma$  і у вертикальній - на кут  $\nu$  з метою зняття припуску за один прохід. Спочатку вся

торцева поверхня правиться в площині, перпендикулярній осі обертання круга за допомогою стаціонарного пристрою правки, розташованого на шліфувальній бабці. Після цього, алмазними олівцями 4 (використовують алмаз в оправі за ГОСТ 22908-78 типу 1, 2, або 3 з кутом при вершині  $90^0$  чи  $120^0$ ), закріпленими на диску подачі виробів 2, правлять ділянки, прилеглі до зовнішніх діаметрів кругів. При цьому величина радіуса правки, по якому переміщається вершина алмазного олівця, вибирається в залежності від розмірів оброблюваної деталі 3.

На розгортці дуги  $L$  (рис.6) показано калібрувальну ділянку 1 на вході в зону обробки, яка не приймає участь у знятті припуску  $\delta$ . Потім в робочому циклі бере участь плоский торець круга 2, де і знімається чорновий припуск. Остаточне формоутворення здійснюється калібрувальною ділянкою 3 на виході із зони обробки, де скалярний добуток векторів відносної швидкості і одиничного вектора нормалі до поверхні інструменту дорівнює нулю.

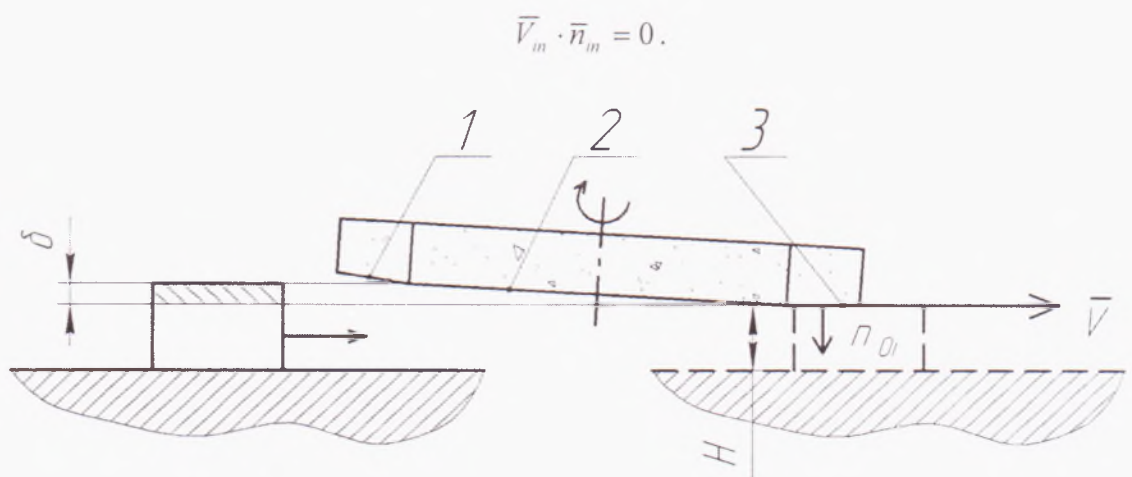


Рис.6. Розгортка дуги контакту

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

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

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

$$\begin{aligned} \bar{R}_l(\theta_b, \theta) = & A^6(\theta) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^5(\nu) \cdot A^4(\gamma) \cdot A^2(Y_c) \cdot \\ & A^1(X_c) \cdot A^3(Z_c) \cdot A^6(-\theta_b) \cdot A^1(R_b) \cdot \vec{e}^4, \end{aligned} \quad (1)$$

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

$\theta, \theta_b$  – параметри поверхні різального інструменту, які відповідають за кутове і радіальне положення точки робочої поверхні круга;

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

$\gamma, \nu$  – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній і вертикальній площинах;

$R_b$  – радіальний розмір розташування осей заготовок в барабані подачі;

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

Рівняння 1 описує калібрувальну ділянку торця інструмента при його профілюванні на верстаті, яка наведена на рис. 7.

Формотвірна модель верстату описує сімейство інструментальних поверхонь в системі координат деталі

$$\begin{aligned} \bar{R}_o(\theta_o, \theta_b, \theta) = & A^1(-R_b) \cdot A^6(\theta_o) \cdot A^3(-Z_c) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^2(-Y_c) \cdot A^4(-\gamma) \cdot \\ & \cdot A^5(-\nu) \cdot A^1(X_c) \cdot \bar{R}_l(\theta_b, \theta), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\theta_o$  – кутова координата положення центра заготовки відносно системи координат круга.

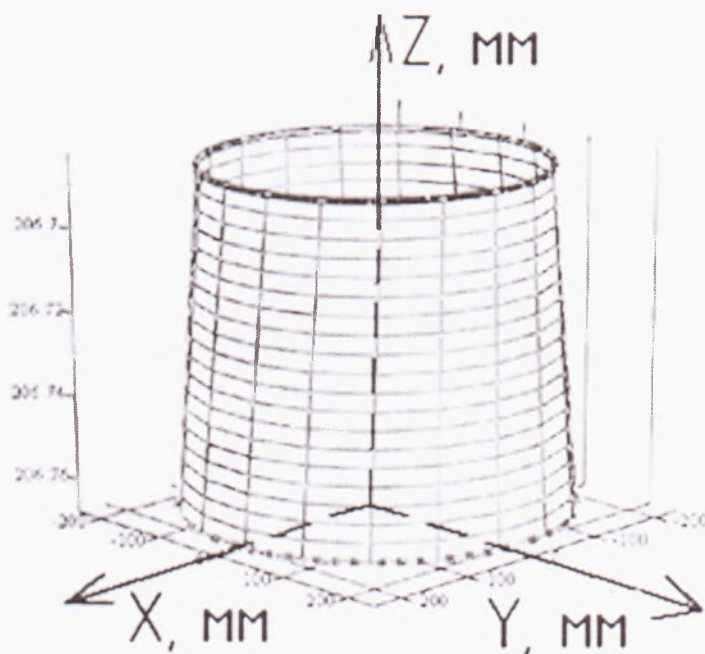


Рис. 7. Калібрувальна ділянка круга при збільшенні розмірів вздовж вісі Z в 1000 разів

При комбінованому способі правки в формоутворенні торця заготовки приймає 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.8).

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

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

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.

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

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



показали наступні 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 обернулась на калібрувальній ділянці не менше одного разу.

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

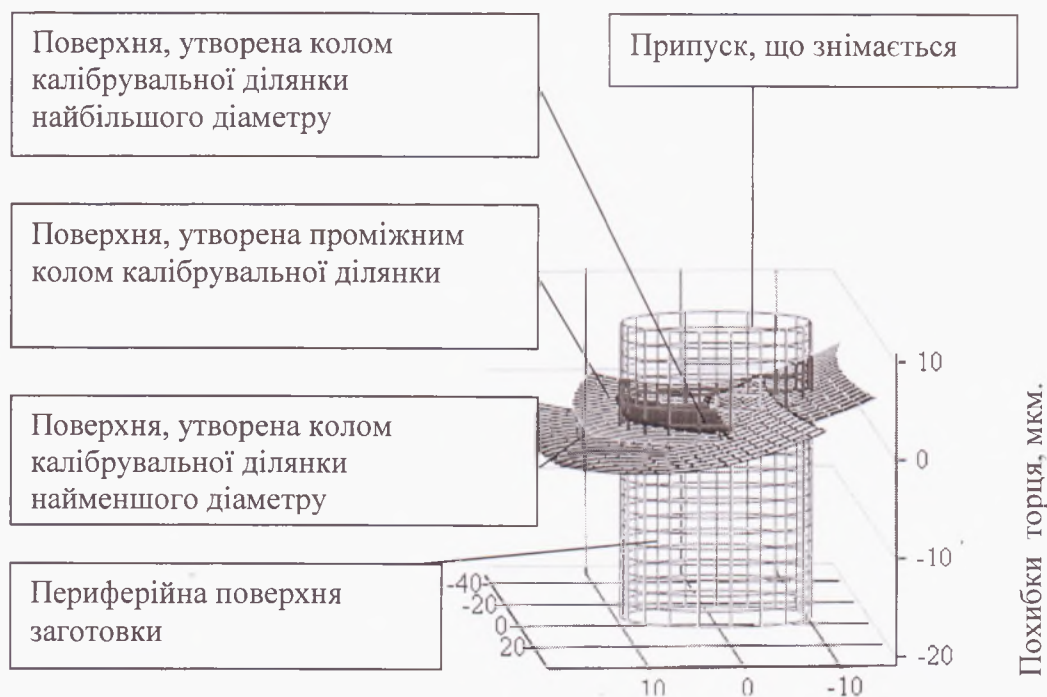


Рис. 8. - Формоутворення торця заготовки

Експериментальні значення відхилень, виміряні приладом „TALYROUND” при обробці циліндричних роликів  $\varnothing 20$  мм на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО кругами I-450×305×63-25A40СТ1Б8 з довжиною калібрувальної ділянки 20мм, співвідношенням кутів орієнтації  $\gamma = 1,57 \cdot \nu$ , обертанням заготовок, припуском 0,5мм становили: відхилення від площинності – 3 мкм; відхилення від паралельності торцевих поверхонь – 5 мкм.

## 5 ПРАВКА ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ПРАВЛЯЧИМ АЛМАЗНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З ПЛОСКОЮ ПОВЕРХНЕЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ КОНІЧНОЇ ФОРМИ

Подальші дослідження калібрувальних ділянок отриманих при правці шліфувальних кругів алмазом в оправі показали, що профіль отриманої калібрувальної ділянки має форму кривої четвертого порядку [18]. Тому шліфування проводиться кругами з ввігнутою калібрувальною ділянкою, при цьому формоутворення торцевої поверхні деталі здійснюється найбільшим та найменшим діаметрами, що збільшує похибку формоутворення. Запропонований спосіб правки підвищує точність оброблених деталей в порівнянні з існуючими вітчизняними і зарубіжними, але все рівно дає похибку обробки. На рис. 9 показано профіль шліфувального круга 1 та його знос 2. Як видно з рис. 9 максимальний та мінімальний діаметри зношуються, при цьому точність торцевої поверхні деталі 3, номінальна довжина якої  $l$ , зменшується.

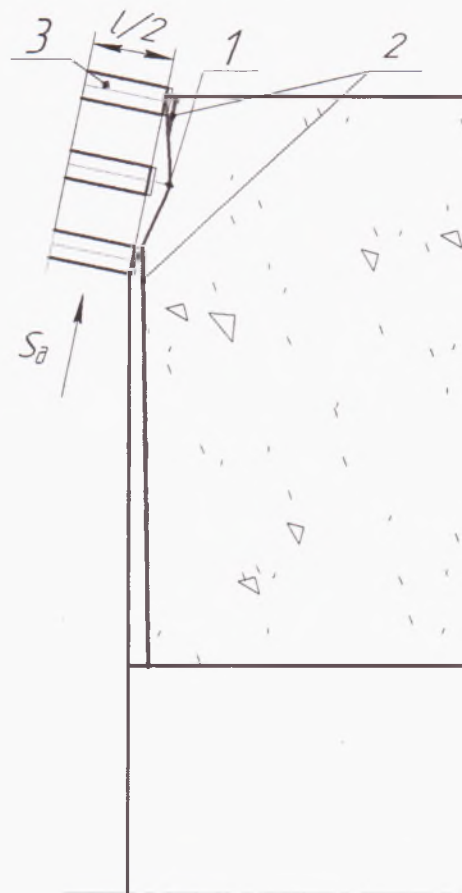


Рис.9. Профілі шліфувальних кругів

Для підвищення точності обробки необхідно, щоб калібрувальна ділянка мала не увігнуту, а прямолінійну форму і була розташована в площині формоутворення, тоді геометрична похибка обробки дорівнюватиме нулю.

Для цього калібрувальні ділянки шліфувальних кругів для верстатів без ЧПК пропонується правити алмазним інструментом з круглим плоским торцем, закріпленим в барабані подачі виробів (рис.10) а для верстатів з ЧПК можлива правка і алмазом в оправі але зі скоординованим осьовим переміщенням бабок для компенсації увігнутості.

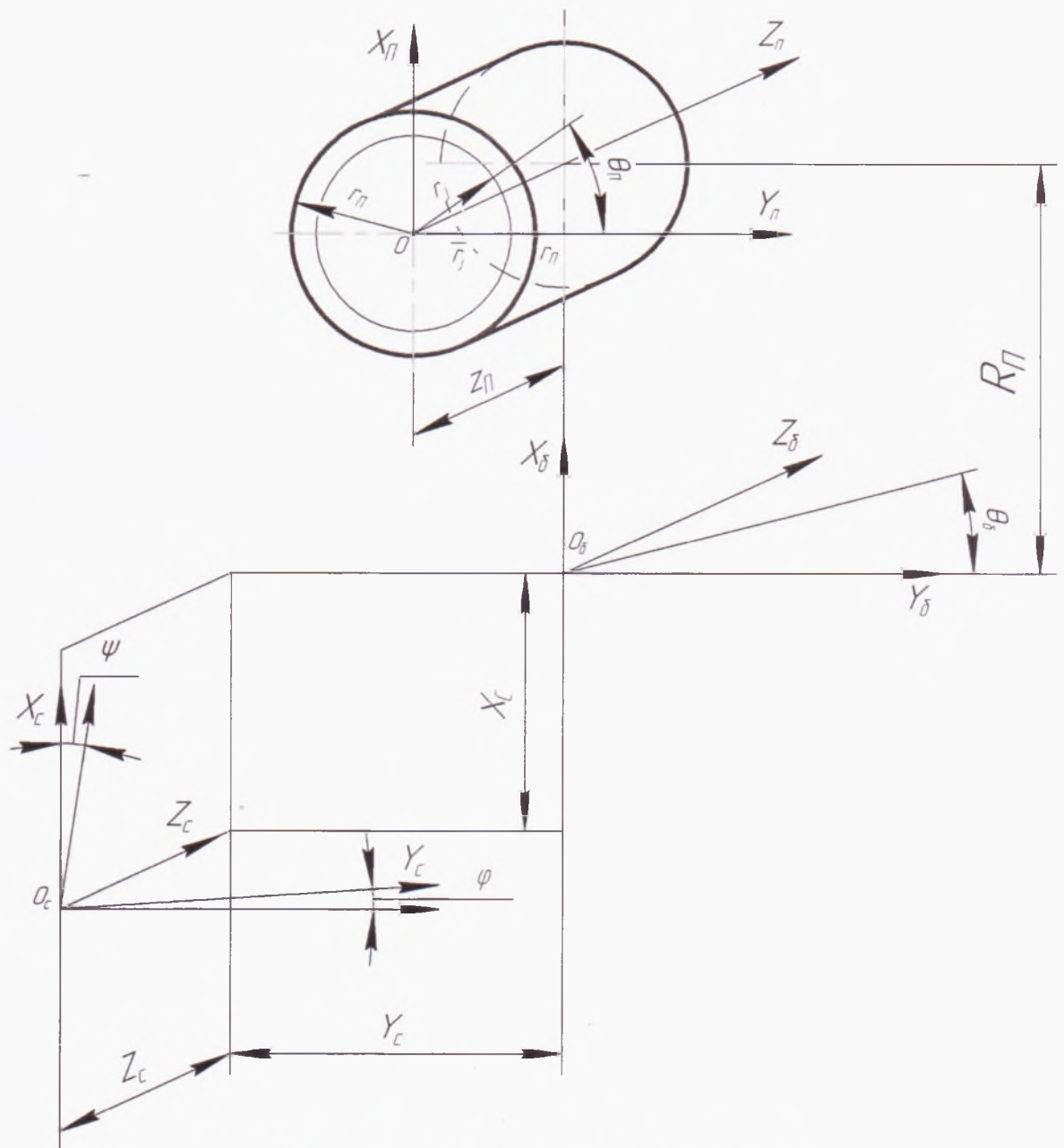


Рис. 10. Алмазний правлячий інструмент

Площина торця рухається по дузі кола радіуса  $R_n$  і є дотичною до прямолінійної твірної калібрувальної ділянки шліфувального круга. При правці алмазні правлячі інструменти виставляються на розмір довжини деталей, а для компенсації зносу шліфувальних кругів їх переміщують в осьовому напрямку. При цьому чорнову ділянку правлять з більшим значенням величини подачі, забезпечуючи високу ріжучу здатність шліфувального круга, а чистову – з меншим, що забезпечує меншу шорсткість оброблених торцевих поверхонь. Така правка забезпечує постійність розміру деталі при її виході з зони обробки конічними ділянками кругів та підвищує точність в порівнянні з розглянутим раніше способом [19].

Радіус-вектор круглої торцевої поверхні правлячого алмазного інструмента з плоским торцем, можна описати циліндричним модулем:

$$\vec{r}_{pr}(\theta_n, r_j) = C_{z_n, \theta_n, r_j}^{Pu} \cdot \vec{e}_4,$$

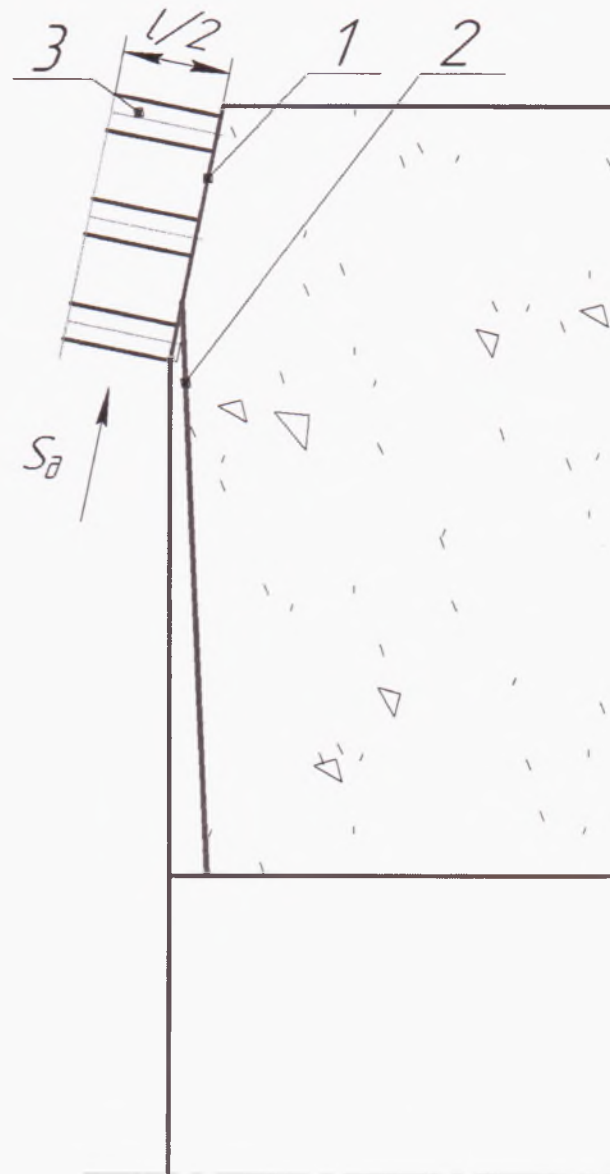
де  $C_{\theta_n, z_n, r_j}^{Pu}$  – циліндричний модуль поверхні алмазного інструмента:  $r_j$ ,  $z_n$ ,  $\theta_n$  – радіус, довжина та кутова координата поверхні алмазного правлячого інструмента;  $\vec{e}_4$  – радіус-вектор початку системи координат.

Запишемо циліндричний модуль поверхні алмазного інструмента через однокоординатні матриці четвертого порядку :

$$C_{\theta_n, z_n, r_j}^{Pu}(\theta_n, r_j) = M3(-z_n) \cdot M6(\theta_n) \cdot M2(r_j),$$

де  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$ ,  $M4$ ,  $M5$ ,  $M6$  – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух та повороти навколо відповідних осей.

На рис. 11 зображено отриманий профіль 1 шліфувального круга з конічною калібрувальною ділянкою та його знос 2, який не впливає на точність обробки, оскільки прямолінійна твірна при шліфуванні суміщається з торцем оброблюваної деталі 3.



*Рис. 11. Профілі шліфувальних кругів з кінцевою калібрувальною ділянкою*

Схема обробки торцевої поверхні циліндричних роликів підшипників кочення зображена на рис.12, а. Чорнова обробка відбувається торцевою ділянкою 1 шліфувального круга. Формоутворення торця деталі 4, закріпленої в барабані подачі деталей 3, відбувається методом копіювання. При цьому деталь 4 повинна зробити не менше одного оберту. На рис. 12, б показано початкове  $4^1$  та кінцеве  $4^2$  положення, а також точки контакту 1-8 деталі з твірною під час формоутворення на калібрувальній ділянці.

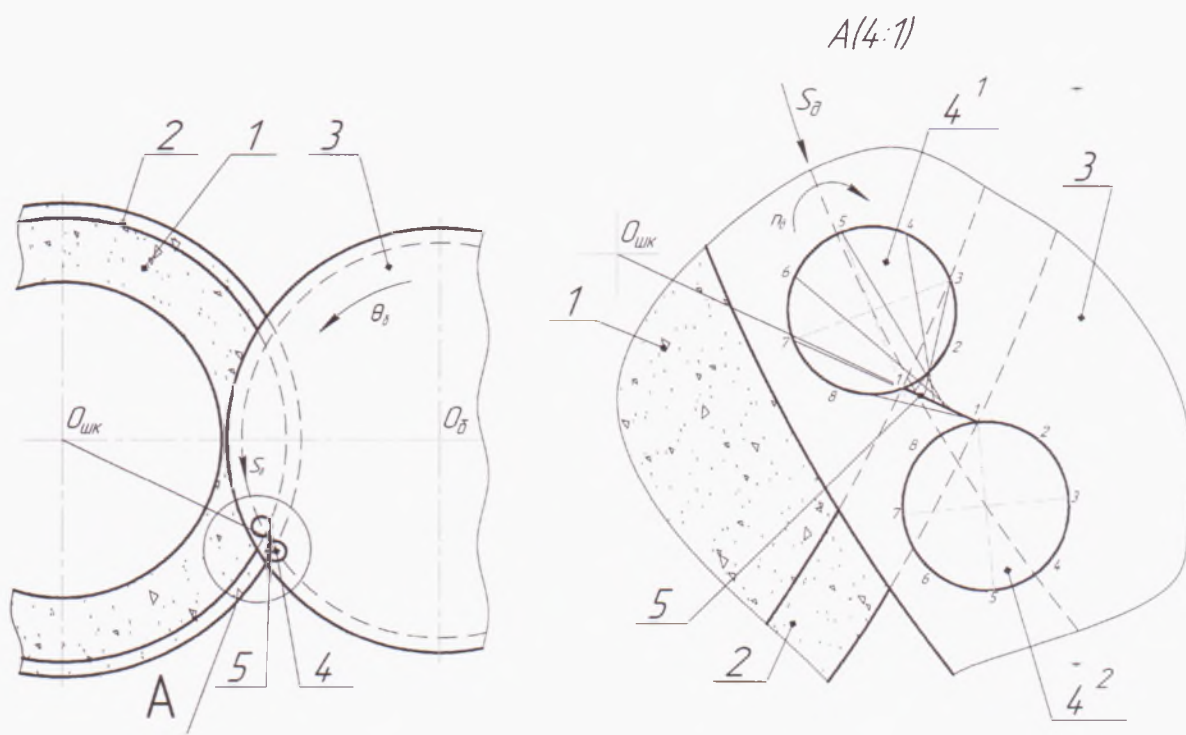


Рис. 12. Схема процесу обробки торців роликів підшипника

На рис. 13 показана геометрична похибка формоутворення торцевих поверхонь роликів підшипників кочення при правці існуючими способами без калібрувальної ділянки (крива 1), з калібрувальною ділянкою, отриманою правлячим алмазом в оправі (крива 2) та запропонованим способом з конічною калібрувальною ділянкою, отриманою плоским правлячим інструментом (пряма 3). Геометрична похибка формоутворення новим способом зводиться до нуля.

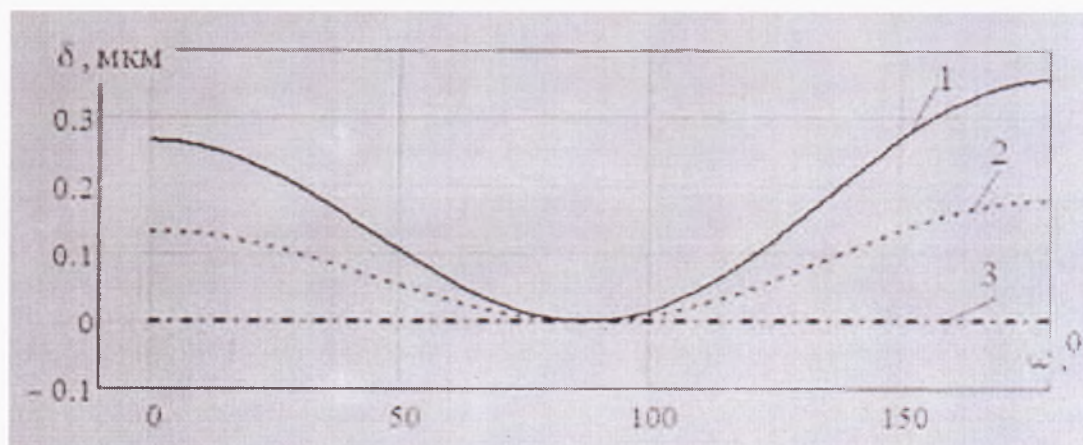


Рис.13. Геометрична похибка формоутворення

## 6 ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано високопродуктивний спосіб обробки торцевих поверхонь роликів підшипників всіх видів на двосторонніх тоцешліфувальних верстатах орієнтованими і спеціально профільованими абразивними кругами з калібрувальними ділянками. У робочому циклі шліфування це дає можливість розподілити весь припуск між чорною і чистою ділянками, збільшити робочу довжину дуги контакту деталей з кругом, що підвищує продуктивність обробки, знижує температуру в зоні обробки. Висока точність форми торця деталі забезпечується на калібрувальній ділянці, прилеглій до зовнішнього діаметру круга, при виході із зони обробки. При цьому калібрувальна ділянка при вході в зону шліфування не приймає участь у зніманні припуску і має високу стійкість.

Калібрувальні ділянки шліфувальних кругів правляться алмазним інструментом з круглим плоским торцем, закріпленим в диску подачі виробів. Площина торця рухається по дузі кола радіуса і є дотичною до прямолінійної твірної калібрувальної ділянки шліфувального круга. При цьому чорнову ділянку правлять з більшим значенням величини подачі, забезпечуючи високу ріжучу здатність шліфувального круга, а чистову – з меншим, що забезпечує меншу шорсткість оброблених торцевих поверхонь (на 1-2 класи). Така правка забезпечує постійність розміру деталі при її виході з зони обробки кінчними ділянками кругів та зводить до нуля геометричну похибку обробки.

Якість обробленої поверхні покращується за рахунок зменшення теплонапруженості процесу при переході з торцевої поверхні, де площа контакту дорівнює площі торців оброблюваної деталі до калібрувальної ділянки, де обробка приближається до режимів круглого шліфування з лінійним контактом при обертанні заготовок. Запропонований спосіб обробки торців роликів дозволяє проводити комплектування підшипників без сортування на розмірні групи - методом повної взаємозамінності. Це також сприяє збільшенню терміну довговічності підшипників, оскільки осьове навантаження розподіляється по торцям рівномірно.

## 7 СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуревич А.Л., Каминская В.В. Автоматизированный расчет жесткости торцешлифовальных станков. *Станки и инструмент*. 1983. №12. С.4-6.
2. Байор Б.Н., Шахновский С.С. Повышение точности обработки на двустороннем торцешлифовальном станке. *Станки и инструмент*. 1974. №7. С.12-13.
3. Савинская В.Г. Качество поверхностного слоя дисков трения при торцовом двустороннем шлифовании. *Прогрессивные технологии чистовой и отделочной обработки*. 1995. №12. С. 102-106.
4. Гурьянихин В.Ф., Евстигнеев А.Д. Повышение эффективности двустороннего торцевого шлифования тонкостенных заготовок. *СТИН*. 2006. №3. С. 34-35.
5. Андрианова И.А., Шахновский С.С. Влияние тепловых деформаций на положение шлифовальных кругов торцешлифовального станка. *Станки и инструмент*. 1982. №9. С. 6-7.
6. Salhe E., Rohde G. *Plan- und Planprofilschleifmaschinen*. VDI-Z.1882 v.124, № 23/24. P.129-137.
7. Вайнер Л.Г. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей. Патент №2455142 РФ. МПК В24В7/17 / №2010153645. Заявл. 27.12.2010. Оpubл. 10.07.2012. Бюл. №19. 4с.
8. Вайнер Л.Г. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей. Патент №2463150 РФ. МПК В24В7/17/ №2010153444/02. Заявл.27.12.2010. Оpubл. 10.10.2012. Бюл.№28,-4 с.
9. 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.
10. Степанов Ю.С., Вайнер Л.Г., Ю.А. Албагачиев, А.Ю. Албагачиев, А.В. Балыков и др. Анализ систем и процессов реального формообразования оппозитных торцевых поверхностей при двустороннем шлифовании.



Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки: коллективная монография. Москва. Изд. дом «Спектр». 2013. С.227-277.

11. Вайнер Л.Г., Богачев А.П., Флусов Н.И. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов. Патент № 126980 РФ. МПК В24В7/17. Заявл. 03.08.2012. Оpubл. 20.04.2013. Бюл. №11.

12. Вайнер Л.Г. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов. Патент № 136381 РФ. МПК В24В53/02. Заявл. 14.06.2013. Оpubл. 10.01.2014. Бюл. №1.

13. Вайнер Л.Г., Носенко В.А., Сафронов А.Э. Анализ закономерностей изнашивания шлифовальных кругов при двусторонней обработке торцев колес подшипников. *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2013. №3(30). С. 111-118.

14. Вайнер Л.Г. Устройство для двустороннего шлифования торцов деталей. Патент № 121465 РФ. МПК В24В7/17 / №2011153276/02. Заявл. 26.12.2011. Оpubл. 27.10.2012. Бюл. №30. 3с.

15. Вайнер Л.Г., Ривкин В.А. Виброакустический контроль двустороннего торцешлифования в производственных условиях . *Вестник машиностроения*. 2011. №7. С.60-64.

16. 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.

17. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: дис. канд. техн. наук 05.03.01. Харків. 2009. 214с.

18. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Следнікова О.С. Модульне 3D моделювання процесу двостороннього шліфування торців кругами з кінчними калібруючими ділянками. *Вісник ТНТУ*. 2016. №4. С. 82-93.