

УДК 621

В.І. Марчук, д-р техн. наук, І.В. Марчук, канд. техн. наук,  
Ю.А. Лук'ячук, канд. техн. наук, Луцьк, Україна

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ РОЛИКІВ ПІДШИПНИКІВ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ ПЕРЕРИВЧАСТИМ ШЛІФУВАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

*Вдосконалення процесу виготовлення конічних роликів за допомогою використання прогресивного, переривчастого, шліфувального інструмента (кругів) на операціях чорнового та викінчувального шліфування роликів після їх термічного оброблення, внаслідок чого покращились умови тепло- та стружковидведення від зони різання, що, в свою чергу, дозволило підвищити точність і якість шліфованих поверхонь, знизити температуру різання та збільшити технологічну продуктивність шліфувальних операцій.*

*Совершенствование процесса изготовления конических роликов с помощью использования прогрессивного, прерывистого, шлифовального инструмента (кругов) на операциях чернового и окончательного шлифования роликов после их термической обработки, в результате чего улучшились условия тепло- и стружковидведения от зоны резания, что в свою очередь, позволило повысить точность и качество шлифованных поверхностей, снизить температуру резания и увеличить технологическую производительность шлифовальных операций.*

*Improving the process of manufacturing tapered roller through the use of progressive, intermittent polishing tools (wheels) on operations and vykinchuvальноho rough grinding rollers after thermal treatment, resulting in improved conditions of heat and struzhkovidvedennya from the cutting area, which, in turn, has allowed to increase the accuracy and quality of polished surfaces, lower cutting temperature and increase technological efficiency grinding operations.*

У практиці світового машинобудування відбувається постійне підвищення вимог до якості та конкурентоспроможності виробів.

Оскільки, надійність та довговічність машин і механізмів багато в чому визначається надійністю опор кочення, то проблема підвищення експлуатаційних характеристик підшипників кочення, які вирішальним чином залежать від точності геометричної форми і якості робочих поверхонь їх деталей є актуальною і надзвичайно важливою.

Мікро- та макрогеометричні параметри робочих поверхонь роликів підшипників формуються на шліфувальних операціях, число яких складає: три операції до термічного оброблення і сім операцій після загартування. 80% з загального числа шліфувальних операцій оброблення роликів займають безцентрово-шліфувальні операції попереднього та викінчувального шліфування поверхонь обертання. Від рівня вдосконалення цих операцій у великій мірі залежить якість виробів та ефективність підшипникового виробництва [1].

В технологічному циклі виготовлення підшипників провідне місце займають шліфувальні операції оброблення поверхонь кілець та роликів. Якщо процеси виготовлення кілець складаються з операцій лезового та абразивного оброблення, то технологічний процес виготовлення роликів (рис.1) складатиметься з заготівельних операцій та операцій чорнового і чистового шліфування, які виконуються до та після термічного оброблення.

Розробка		КАРТА ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСУ												10100.00152					
Перевірка														Аркуші: 1					
Погодів		РОЛИК КОНІЧНИЙ												RT-30222 X/IIIDB225/VU1006					
Н.контр.																			
Затвердив																			
Операція	Назва	Під-матеріал	Штанування	Гальмування	Великошліфувальна чорнова	Великошліфувальна чорнова	Торце-шліфування	Торцева робота	Великошліфувальна чорнова	Великошліфувальна чорнова	Середньошліфувальна чорнова	Великошліфувальна чорнова	Середньошліфувальна чорнова	Великошліфувальна чорнова	Середньошліфувальна чорнова	Великошліфувальна чорнова	Суперфініш	Сортування	Візуальна перевірка
Обладнання	№	A3723A	HO-103	160 SASL 200x500	165 SASL 200x300	3343 A40	190 CH3AE.40 1/3-BA	215 SASL K2	225 SWAKM 25/1A	235 SWAKM 25/1A	240 SWAKM 25/1A	245 SWAKM 25/1A	255 SWAKM 25/1A	265 SZK 2	300				
Код підприємства		1500																	
Класи характеристик		SC	SC	SC	SC	SC; CC	SC	SC	SC	SC	SC; CC	SC; CC	SC; CC	SC	SC; CC				
Блок - схема перебігу процесу																			
Схема обробки																			
Умовні позначення		<p>○ - операція    □ - контроль оператором    L - контроль в лабораторії    S - сортування    → - транспортні зв'язки в автоматичній лінії    ⇨ - транспортування    ▷ - збирання</p>																	

Рисунок 1 – Технологічний процес виготовлення роликів

Важливою проблемою, що має місце під час безцентрового шліфування поверхонь обертання роликів з підшипникової сталі ШХ15 є забезпечення мікрогеометричних та фізико-механічних параметрів якості шліфованих поверхонь. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах часто переналагоджувального підшипникового виробництва. Традиційні підходи до виконання безцентрово-шліфувальних операцій в багатьох випадках не забезпечують потрібних показників якості шліфованих поверхонь та ефективності технологічних операцій. Безцентрове шліфування суцільними абразивними кругами супроводжується виникненням температурних дефектів (припалювань) на шліфованих поверхнях, невідповідності параметрів шорсткості та хвилястості поверхонь обертання внаслідок погіршених умов стружко- та тепловідведення в зоні шліфування [2].

Різноманітні деформаційні і термічні процеси, які характерні для процесу шліфування, вимагають створення відповідних механічних і теплофізичних моделей і оптимізацію конструкцій існуючого інструменту або діючого устаткування. Це є обов'язковою умовою досягнення вищої ефективності процесу шліфування.

Застосування переривчастого спеціального абразивного оброблення створення й удосконалення інструменту є одним з напрямків розширення технологічних можливостей процесу шліфування. Це вимагає призначення таких режимних параметрів, при яких якість оброблюваної поверхні відповідатиме технічним вимогам і при цьому буде забезпечуватись висока продуктивність процесу при мінімальній її собівартості. У цьому зв'язку, для

круглого шліфування є актуальною задачею розроблення інструмента з переривчастою ріжучою поверхнею для оброблення поверхонь обертання.

Як показали дослідження Якімова А.В., Сипайлова В.А. для сталей 45, У8А, Х12М та ін. час теплового насичення, при якому температура, досягнувши максимуму, не піддається подальшій зміні, складає за результатами досліджень приблизно  $T_{нас} \approx 0,01 - 0,02$  с. Це такий проміжок часу, протягом якого температура зростає до максимального значення, порівняємо з періодом обертання шліфувального круга. Якщо на крузі нарізати певне число канавок визначеної протяжності, то час роботи одного ріжучого виступу, буде меншим, ніж час теплового насичення. За цих умов шліфування температура в зоні контакту через переривчастість процесу різання знижується до 30%. Наприклад, якщо період теплового насичення дорівнює періоду обертання круга, то процес шліфування здійснюється з максимальною тепловою напруженістю. Нанесення, наприклад, двадцяти канавок на робочу поверхню круга призводить до пропорційного зменшення цього числа часу роботи одного ріжучого виступу [3]. Температура за цей період, не досягнувши максимальної величини в інтервалі проходження канавки, знижується.

Встановлено [4, 5], що якщо час роботи одного ріжучого виступу є меншим від часу теплового насичення, то незалежно від схеми шліфування й оброблюваного матеріалу переривчастість процесу у всіх випадках забезпечує зменшення температури в зоні контакту.

Однаковий ступінь зниження температури може бути отриманий при різних поєднаннях довжин ріжучих виступів і впадин. Це дозволяє здійснювати вибір геометричних параметрів кругів з переривчастою поверхнею для круглого шліфування не лише з врахуванням теплонапруженості процесу, але й їх зносостійкості.

Температура в зоні контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею суттєво залежить від швидкості деталі, ширини ріжучого виступу та співвідношення ширини впадини і виступу та повинно бути не більше 0,5 [4]. Для чорнових режимів шліфування рекомендується вибирати круги з мінімальним відношенням  $l_1/l_2$ . Вони забезпечують рівномірне самозаточування і максимальне зниження температури. Для чистового шліфування доцільно вибирати круги з мінімальним відношенням. Кромкостійкість таких кругів не поступається суцільним.

Тому, остаточний вибір геометричних параметрів кругів з переривчастою поверхнею повинен уточнюватися з температурою і вимогами до якості обробленої поверхні.

Ефективність процесу шліфування багато в чому визначається правильністю вибору характеристики інструменту, а це залежить від технологічних вимог, які висуваються до оброблюваних деталей і умов експлуатації інструменту. Тому вибір характеристик інструменту, режимів і

параметрів оброблення проводиться з урахуванням факторів, що впливають на якість та продуктивність процесу шліфування.

Впровадження способів без центрового шліфування роликів переривчастими шліфувальними кругами дало змогу вдосконалити та підвищити ефективність технологічного процесу виготовлення тіл кочення.

Процес шліфування проводився на безцентрово шліфувальному верстаті SWaAKM 25/1A (рис. 2), робочу зону якого представлено на рис. 3.



Рисунок 2 – Безцентрово-шліфувальний верстат SWaAKM25/1A для оброблення кінцевих роликів.



Рисунок 3 – Робоча зона безцентрово-шліфувального верстату SWaAKM25/1A.

Застосування переривчастих шліфувальних кругів в технологічному циклі оброблення роликів підшипників є високопродуктивним методом вдосконалення технології. Це пояснюється тим, що такі шліфувальні круги можуть працювати при підвищених швидкостях, що дає змогу зменшити силу різання яка припадає на одиничне зерно абразиву та підвищити зносостійкість такого шліфувального круга, зменшити теплонапруженість процесу різання та уникнути появи припалювань поверхонь, що обробляються, забезпечити задані параметри мікрогеометрії, значно зменшити використання змащувально-охолоджуючої рідини.

Переривчасті шліфувальні круги характеризуються рядом геометричних та конструктивних параметрів, від величини значень яких залежатиме теплонапруженість процесу різання. До основних геометричних параметрів переривчастого круга можна віднести: кількість пазів, довжина ріжучого виступу та впадини. Конструктивні параметри визначаються формою впадин між ріжучими частинами, наявністю демпфуючих елементів та ін.

В роботі було проведено розрахунок переривчастого шліфувального круга для шліфування поверхні кочення ролика підшипника при режимах:  $v_{кр} = 35\text{ м/с}$ ,  $t = 0,02\text{ мм}$ ,  $a = 0,0625\text{ см}^2/\text{с}$ . Оброблювана деталь: ролик роликотідшипника, матеріал – сталь ШХ15.

Абразивний інструмент: шліфувальний круг 14A8ПСМ7В (500-305-305).

Розміри пазів  $l_1$  та  $l_2$  шліфувального круга підібрано в залежності від необхідного рівня зниження температури в зоні контакту. Для обґрунтування конструктивних параметрів переривчастих шліфувальних кругів визначали співвідношенням довжини виступів з довжиною впадин переривчастих канавок. Рекомендоване значення відношення  $v=l_2/l_1=(0,6\dots 1)$ . Крім цього, бажано, рекомендується вибирати парне число пазів.

Перш за все необхідно визначити відносну напівширину  $H$  заготовки. Для цього необхідно знати розмірну напівширину  $h$  зони контакту яка для ролика довжиною  $l=27\text{мм}$  становить  $13,5\text{ мм}$ .

Тоді:

$$H = \frac{v_{кр} h}{2a} = \frac{35 \cdot 0,135}{2 \cdot 0,0625} = \frac{4,725}{0,125} = 37,8 \text{ мм} \quad (1)$$

По графіку знаходимо значення комплексу  $\frac{v\sqrt{t}}{2\sqrt{a}}$ , яке відповідає  $H=37,8$  і 30% зниженню максимальної температури. Як видно з графіка (рис. 4)  $\frac{v\sqrt{t}}{2\sqrt{a}}=2,7$ .

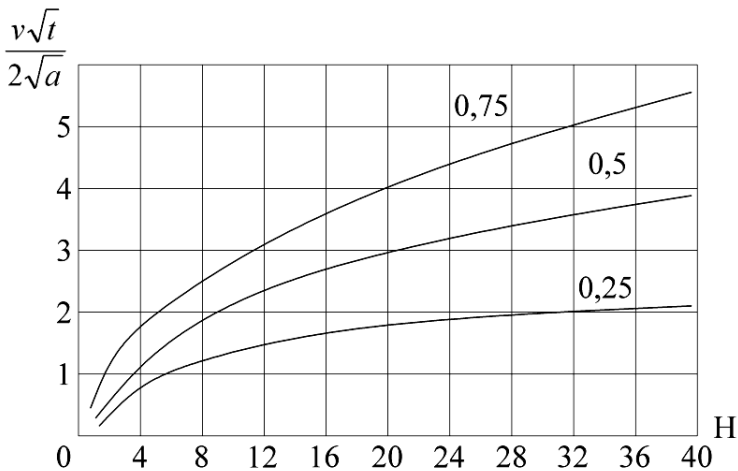


Рисунок 4 – Графік залежності комплексу  $\frac{v\sqrt{t}}{2\sqrt{a}}$  від напівширини теплового джерела  $H$

З умови:  $\frac{v^2 t}{4a} = 7,3$  знаходимо час, для досягнення вказаної температури

$$t = \frac{14,44 \cdot 4 \cdot a}{v^2} = \frac{7,3 \cdot 4 \cdot 0,0625}{4489} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ c} . \quad (2)$$

Знаходимо відповідну довжину ріжучого виступу та впадини:

$$l_1 = v_{кр} \cdot t = 45000 \cdot 4,1 \cdot 10^{-3} = 186 \text{ мм} , \quad (3)$$

$$l_2 = v l_1 = 0,067 \cdot 186 = 10 \text{ мм} . \quad (4)$$

Розрахунок числа пазів проводимо за наступною залежністю:

$$n = \frac{\pi D_{кр}}{l_1 + l_2} = \frac{3,14 \cdot 500}{186 + 10} = 8 \quad (5)$$

Визначаємо час циклу нагрів-охолодження:

$$t_{H-o} = \frac{l_1 + l_2}{v_{кр}} = \frac{(186 + 10) \cdot 10^{-3}}{35} = 0,0056 \text{ c} \quad (6)$$

Визначаємо час контакту (нагріву):

$$t_H = \frac{l_2}{v_{кр}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{35} = 0,00028 \text{ c} \quad (7)$$

Визначаємо кут нахилу канавок шліфувального круга:

$$tg \beta = \frac{(l_1 + l_2) \cdot z}{\pi \cdot D_{кр}} = \frac{(186 + 10) \cdot 8}{3,14 \cdot 500} \approx 1 \quad \beta = 45^\circ \quad (8)$$

Шліфувальні круги з переривчастою ріжучою поверхнею можна розділити на переривчасті, композиційні та комбіновані. Робоча поверхня переривчастих шліфувальних кругів, розроблених в роботі [5], виконана у вигляді ріжучих виступів і впадин, що чергуються. У композиційних шліфувальних кругах впадини на робочій поверхні круга заповнені твердим мастилом. Комбіновані шліфувальні круги, являють собою поєднання переривчастих і композиційних кругів. У змащувально-охолоджуючих елементах (ЗОЕ) цих кругів перед ріжучими виступами виконані впадини. Змащувально-охолоджуючі елементи композиційних і комбінованих кругів найчастіше виготовляються з графіту марок ГЛ-І,

ГЛ-Н або суміші графіту і дисульфиду молібдену ( $\text{MoS}_2$ ). В якості зв'язки в обох випадках використовуються фенол формальдегідні смоли. Дослідженнями встановлено, що найбільшу міцність (5,5-6 МПа) мають ЗОЕ, що складаються з 75% графіту і 25% зв'язуючого матеріалу або 70% графіту, 10%  $\text{MoS}_2$  і 20% зв'язки та отримані пресуванням при тиску 150 МПа.

Шліфувальні круги з переривчастою ріжучою поверхнею діляться на суцільні – з нероз'ємними з'єднаннями його частин і збірні – з роз'ємними з'єднаннями.

Наявність вирізів на шліфувальному крузі, утворених під кутом  $\beta$  до осі його обертання сприяють подачі в зону різання потоку повітря під підвищеним тиском. Потужний струмінь повітря видуває стружку із зони різання, пришвидшує процес її окислення та згорання. Окислена стружка стає ламкою, набуває округлену форму, не налипає на поверхню зерен і не проникає в пори круга. Переривчасті шліфувальні круги з похилими ріжучими виступами забезпечують прокачування ЗОР і повітря через прорізи, що дозволяє зменшити теплонапруженість процесу різання. Шліфувальні переривчасті круги можливо виготовляти і з прямими ріжучими виступами в такому випадку для видалення стружки через шпindel верстата в зону різання подається ЗОР під тиском, яка під дією відцентрової сили разом зі стружкою потрапляє в очисні резервуари.

Для дослідження в безцентрово шліфувальному верстаті SWaAKM25/1A було замінено абразивний інструмент на переривчастий шліфувальний круг, в якому прорізано 8 канавок під кутом  $45^\circ$  на спеціальному обладнанні, ведучий барабан виконано у вигляді шнека, та обрховано оптимальний кут нахилу опорного ножа, який становить  $27 \pm 1^\circ$  (рис. 5).

Для дослідження й аналізу геометричної структури поверхонь, а також для визначення параметрів мікрорельєфу формоутворених поверхонь використовувалось сучасне метрологічне устаткування – MEF100C для знаходження профілю доріжки кочення та торця ролика, Surtronic для вимірювання шорсткості доріжки кочення та торця ролика, MWA100C (рис. 6) для вимірювання мікрогеометрії доріжки кочення та торця ролика. Температурні показники досліджувались за допомогою використання датчиків температури (термопари типу XA) та знімались самописцем H115.

Використання переривчастих кругів в процесі шліфування, у порівнянні із використанням суцільного круга, дає змогу покращити шорсткість поверхні  $Ra = 0,64-0,8$  мкм, збільшити кромкостійкість шліфувальних кругів у 3-4 рази та знизити температуру в зоні оброблення на 30% в залежності від числа ріжучих виступів.

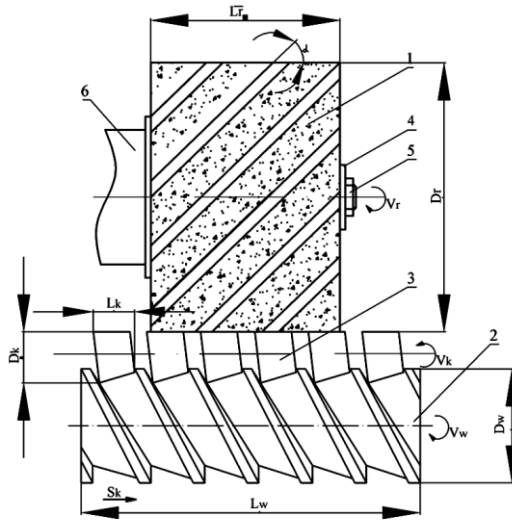


Рисунок 5 – Схема оброблення поверхні переривчастим кругом  
1-шліфувальний круг з похилими канавками; 2- ведучий барабан;  
3 – ролики, що оброблюються; 4,5,6 – елементи шпинделя верстата;  
 $S_k$  – подача;  $D_k$  – діаметр ролика;  
 $D_r$  - діаметр шліфувального круга,  $D_w$  – діаметр ведучого круга

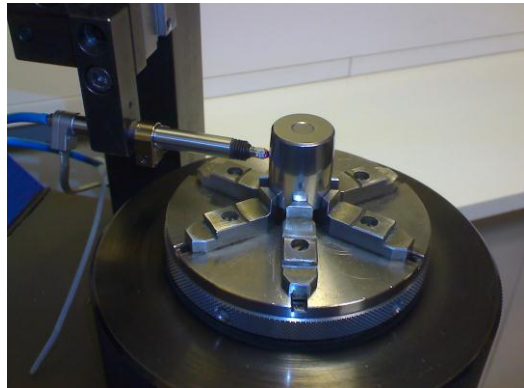
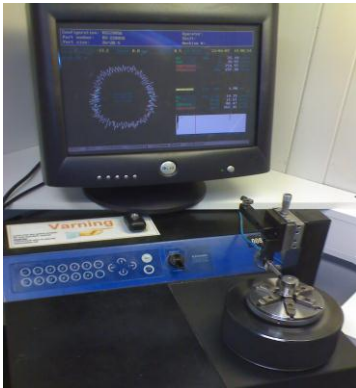


Рисунок 6 – Прилад MWA100C  
для вимірювання мікрогеометрії доріжки кочення та торця ролика



Причинами виникнення температурних дефектів, таких як зниження мікротвердості та утворення мікротріщин на шліфованих поверхнях під час безцентрового абразивного оброблення, є високі температури в зоні різання (1000°-1200°С). За рахунок впровадження в технологічний процес виготовлення конічних роликів переривчастого шліфування, температура в зоні різання зменшилась на 30 % і становить 700-900°С.

Для забезпечення шорсткості поверхні  $Ra=0,64-0,8$  мкм та кроку нерівностей 1-1,2 мкм рекомендується використання переривчастих, шліфувальних кругів з числом канавок  $z=8$  і їх шириною 7-10 мм та зернистістю круга 14, оброблення проходило на режимах  $v_b=67$  м/хв,  $S=20$  мм/хід,  $t=0,04$  мм. Температура шліфування переривчастим кругом не перевищує температури фазових перетворень, стійкість круга збільшилась в два рази, а число правок на зміну зменшилось з 4 до 1.

Дослідження показали, що під час переривчастого шліфування стабілізується значення мікротвердості, що знаходилась в межах  $Hv=60$  Н/мм<sup>2</sup>. Глибина зміненої структури не перевищувала 20 мкм.

Впровадження високопродуктивного бездефектного переривчастого шліфування дало змогу поєднати чорнову і попередню операції в одну напівчистому операцію і тим самим скоротити енерговитрати на 20-25 %, зменшити собівартість операцій шліфування на 35 %.

**Список використаних джерел:** 1 *Рыжов Э.В.* Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В.П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с. 2 *Марчук В.І.* Вплив параметра хвилястості доріжки кочення на віброакустичні характеристики конічних роликопідшипників / В.І. Марчук, В.Ю. Зabloцький, О.Л. Кайдик // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Випуск 13. – С. 112-116. 3 *Якимов О.В.* Високопродуктивне шліфування / О.В. Якимов, Ф.В. Новиков. – К.: ІНТМ, 1995. – 180с. 4 *Сипайлов В.А.* Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с. 5 *Якимов А.В.* Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Ryzhov Je.V. Tehnologicheskoe obespechenie jekspluatacionnyh svojstv detalej mashin / Je.V. Ryzhov, A.G. Suslov, V.P. Fedorov. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 176 s. 2. Marchuk V.I. Vpliv parametra hviljastosti dorizhki kochenja na vibroakustichni harakteristiki konichnih rolikopidshipnikov / V.I. Marchuk, V.Ju. Zablock'ij, O.L. Kajdik // Tehnika v sil'skogospodars'komu virobnic'tvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija : zbirnik naukovih prac' Kirovograds'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. – Kirovograd: KDTU, 2003. – Vipusk 13. – S. 112-116. 3. Jakimov O.V. Visokoproduktivne shlifuvannja / O.V. Jakimov, F.V. Novikov. – K.: INTM, 1995. – 180s. 4. Sipajlov V.A. Teplovyje processy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverhnosti / V.A. Sipajlov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 167s. 5. Jakimov A.V. Abrazivno-almaznaja obrabotka fasonnyh poverhnostej / A.V. Jakimov. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 312 s.

*Надійшла до редколегії 18.07.2014*