

УДК 621.822

**В.Ю. Денисюк**, канд. техн. наук, доц., **Ю.А. Лук'янчук**, канд. техн. наук,  
**В.Т. Михалевич**, канд. техн. наук, доц., **О.Л. Кайдик**, канд. техн. наук, доц.  
Луцький національний технічний університет, Україна  
Тел./Факс: +38 099 114-25-19; e-mail: pb@lntu.edu.ua

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ РОЛИКІВ ПІДШИПНИКІВ ПЕРЕРИВЧАСТИМ ШЛІФУВАННЯМ

*В статті розглянуто можливість застосування переривчастого шліфування робочих поверхонь роликів підшипників кочення. Виконано порівняльний аналіз використання суцільних та переривчастих шліфувальних кругів. Встановлено взаємозв'язок макро- та мікрогеометрії робочої поверхні з видом застосовуваного абразивного інструменту, виявлено причини виникнення поверхневих дефектів від режимів оброблення. Теоретично доведено та експериментально підтверджено ефективність застосування кругів з переривчастою шліфувальною поверхнею на операціях безцентрового абразивного оброблення. Намічено перспективи застосування переривчастого шліфування в технологічних процесах оброблення деталей підшипників в умовах частопереналагоджувального виробництва.*

**Ключові слова:** ролик, шліфування, переривчаста поверхня, абразивний круг, підшипник, мікрогеометрія.

### Вступ

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 [1]. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах частопереналагоджувального підшипникового виробництва, яким є виробництво підшипників кочення на АТ «СКФ Україна» (публічне), м. Луцьк.

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 складається з заготівельних операцій та операцій чорнового і чистового шліфування, які виконуються до та після термічного оброблення. Мікро- та макрогеометричні параметри робочих поверхонь роликів 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 технологічності цих операцій у великій мірі залежить якість виробів та їх експлуатаційні показники. Традиційні підходи до виконання безцентрово-шліфувальних операцій в багатьох випадках не забезпечують потрібних показників якості шліфованих поверхонь роликів та ефективності технологічних операцій [2, 4, 5]. Безцентрове шліфування суцільними абразивними кругами супроводжується виникненням температурних дефектів (припалювань) на шліфованих поверхнях, невідповідністю параметрів шорсткості та хвилястості поверхонь обертання внаслідок складних умов стружко- та тепловідведення із зони шліфування.

### **Мета досліджень**

Зниження температури в зоні різання дає можливість позитивно вплинути на забезпечення необхідних параметрів якості робочих поверхонь роликів. Ця актуальна проблема, значною мірою може бути вирішена на основі комплексного підходу до дослідження й моделювання зв'язків технологічних чинників у процесі оброблення з показниками якості поверхонь на операціях чорнового та чистового шліфування. Це й визначило основний напрям досліджень, спрямованих на вдосконалення технології механічного оброблення роликів для забезпечення необхідних параметрів якості поверхонь кочення.

Метою досліджень є підвищення ефективності шліфувальних операцій та стабілізації параметрів якості робочих поверхонь роликів підшипників кочення на операціях безцентрового абразивного оброблення. Це пропонується досягти шляхом створення науково-практичних рекомендацій для вдосконалення технологічного процесу, і практичного впровадження технології високопродуктивного безцентрового шліфування в умовах серійного переналагоджувального підшипникового виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести наступні дослідження:

1. Виявити закономірності та причини утворення похибок форми поверхонь кочення роликів на операціях безцентрового шліфування.
2. Визначити технологічні особливості формування мікро- та макрогеометрії поверхонь кочення роликів на безцентрово-шліфувальних операціях для умов шліфування переривчастими та суцільними шліфувальними кругами та визначити стратегію технологічного забезпечення й стабілізації геометричних показників якості роликів роликотримачів та підвищення ефективності шліфувальних операцій.

3. Розробити практичні рекомендації щодо вибору геометричних параметрів переривчастих кругів та режимів переривчастого шліфування для досягнення необхідної якості шліфованих деталей та продуктивності процесу шліфування.

### **Основний зміст і результати роботи**

Теплонапруженість і стійкість круга є одними із основних показників процесу шліфування, особливо при обробленні високолегованих сталей і жароміцних сплавів, коли період стійкості круга між правками рівний всього декільком хвилинам, що в 15–20 разів менше, ніж під час шліфування звичайних сталей. Від стійкості круга залежить продуктивність роботи і витрата абразивного інструменту, оскільки більша частина зносу (до 90%) припадає на правку. При малій стійкості час, що витрачається на правку круга, складає значний відсоток від штучного часу на оброблення деталі.

Для вирішення задачі збільшення стійкості шліфувальних кругів і раціонального керування процесом шліфування потрібно знати, що відбувається з кругом в процесі шліфування, чому погіршуються його різальні властивості, які динамічні процеси відбуваються при цьому [3, 6, 8].

Відомо, що шліфувальний круг втрачає свою різальну здатність внаслідок зносу абразивних зерен, налипання металу на ріжучі зерна, заповнення пор зрізаною стружкою, зміни правильної геометричної форми периферії шліфувального круга. В процесі шліфування з'являється змінна складова сили різання, яка створює негативний вплив на всю технологічну систему і на сам інструмент. Виникнення змінної складової під час шліфування призводить до нерівномірного зносу круга і на його робочій поверхні утворюються хвилі, величина яких зростає зі збільшенням тривалості шліфування. Поява хвиль скорочує кількість робочих зерен по периферії круга, підвищує навантаження на зерна, виникають автоколивання в технологічній системі

ВПД і аварійний знос круга. Утворенню хвиль на крузі можуть сприяти його нерівномірність, твердість і дисбаланс [7].

З метою дослідження утворення хвилястості на робочій поверхні суцільного і переривчастого кругів у часі виконано спеціальну серію експериментів.

На рис. 1 показано результати експериментального вимірювання зносу переривчастого круга (кількість виступів  $z = 12$ , довжина ріжучого виступу  $l_1 = 186$  мм) від часу шліфування:  $v_g = 53$  м/хв,  $t = 0,03$  мм,  $S = 20$  мм/хід. Шліфувався зразок зі сталі ШХ15, гартований до твердості HRC 61 – 63. Аналіз отриманих результатів показав, що на поверхні суцільного шліфувального круга з плином часу виникає хвилястість, що зростає зі збільшенням тривалості роботи.

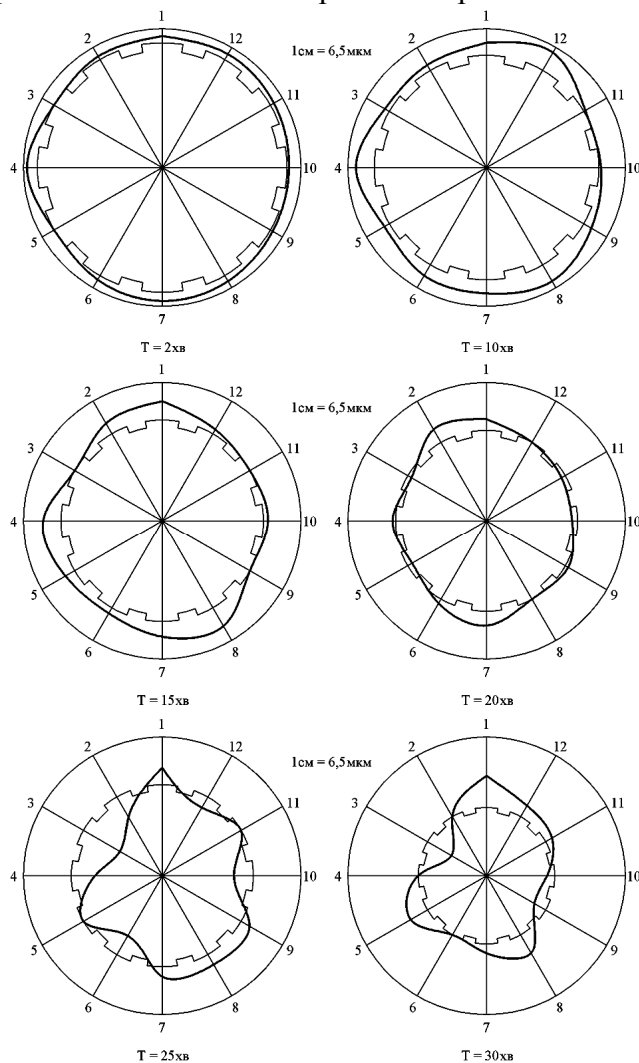


Рис. 1. Формування хвилястості на робочій поверхні переривчастого круга в середньому перерізі від часу шліфування

обертання шпинделя шліфувального круга (47,6 Гц).

Далі в процесі шліфування утворена хвилястість є джерелом вимушених коливань і пружна система безцентрово-шліфувального верстату починає працювати в резонансному режимі. Зростає амплітуда коливань, сила і глибина різання, знос і затуплення круга, що має вплив на якість шліфованої поверхні. Переміщення хвиль на

У формуванні хвилястості можна спостерігати наступну закономірність. На поверхні шліфувального круга утворюються дві великі хвилі, на які накладені чотири хвилі меншої амплітуди. З часом шліфування це поєднання хвиль макрорельєфу поверхні круга зберігається, лише з тією різницею, що відбувається їхнє переміщення по периферії від початкового стану утвореної хвилястості (після 2годин шліфування).

Після правки поверхні круга при першому проході пружна система отримує імпульсну дію, що зумовлена силою різання, і протягом контакту круга з роликом здійснює затухаючі коливання, викликані імпульсною дією. Це призводить до миттєвої зміни глибини різання, збільшення сил різання і нерівномірного зносу круга по периферії. Причому затухаючі коливання проходять на власних частотах пружної системи (110 Гц, 330 Гц), в результаті утворюються дві великі хвилі з більшою амплітудою (від частоти 100 Гц) і чотири – меншої амплітуди (від частоти 330 Гц) задійсної циклічної частоти

поверхні шліфувального круга можна пояснити зміною точок на його периферії, які контактують з оброблюваною деталлю. Це призводить до зміщення вершин утворених хвиль на периферії круга. Інтенсивне зростання хвилястості спостерігається в кінці періоду стійкості круга (6–7 год), тому його правку краще проводити раніше, не очікуючи великих (за висотою) хвиль. Це дозволить встановити ріжучу здатність круга і покращити якість обробленої поверхні.

Вимірювання зносу протягом досліджуваного періоду часу (0–30 хв) за кожним ріжучим виступом не показало утворення хвилястості на поверхні переривчастого круга. Протягом вказаного періоду шліфування зареєстровано однаковий радіальний знос по всьому ріжучому виступу. Цей факт є конкретним підтвердженням високої стійкості переривчастого шліфувального круга у порівнянні з суцільним, довготривалим зберіганням його ріжучої здатності. Переривчастість процесу шліфування усуває коливання пружної системи на її власних частотах, задане коливання на високій частоті, зумовленими геометричними параметрами переривчастого круга, що забезпечують рівномірний знос всіх ріжучих виступів.

Аналіз радіального зносу суцільного і переривчастого кругів в різні періоди шліфування показує, що в деяких точках периферії шліфувального круга знос його в 1,7 – 2 рази більший, ніж суцільного. В інших точках зношування їх рівні, а в період шліфування 25 – 30 хв в деяких точках периферії знос переривчастого круга на 10–20% більший радіального зносу суцільного круга. Аналогічні експерименти були проведені на переривчастих шліфувальних кругах з числом ріжучих виступів 8, 10, 14. Результати вимірювання зносу співпадають з невеликими відхиленнями з результатом вимірювання зносу круга з  $z = 12$ .

Розглянемо зміну якості поверхневого шару зразків за часом шліфування. На рис.2 показано графік зміни мікротвердості поверхневого шару за глибиною під час шліфування суцільним і переривчастим кругами у фіксовані моменти часу. Після 10 хв шліфування температура в зоні різання зростає настільки, що починаються фазові перетворення, що призводять до виникнення повторно загартованого шару, який лежить на шарі відпущеного матеріалу, який по мірі заглиблення поступово переходить через всі стадії відпуску в початкову структуру. Відбувається зміцнення поверхневого шару до мікротвердості  $Hv_{100} = 60 \text{ Н/мм}^2$  (при вихідній  $Hv_{100} = 50 \text{ Н/мм}^2$ ), за яким розміщується шар максимально відпущеної структури з  $Hv_{100} = 42 \text{ Н/мм}^2$ . Глибина шару зміненої структури складає 20 мкм. Аналогічно спостерігається після 15 і 25 хв шліфування.

Протягом 30 хв шліфування зареєстровано періодичні зміни ріжучої здатності суцільного круга, самозаточування окремих ділянок. Це призводить до зміни його правильної геометричної форми, до зниження температур шліфування. В результаті у поверхневому шарі зразків відмічено зменшення мікротвердості до  $Hv_{100} = 42\text{--}45 \text{ Н/мм}^2$  (відповідно через 20 і 30 хв шліфування). Це підтверджується характером зміни сил різання і шорсткості поверхні від часу в процесі суцільного шліфування.

Утворення шару повторно загартованої структури є не бажаним, оскільки вона має підвищену крихкість, високу напруженість і меншу міцність, ніж структура вихідного матеріалу після гартування. У зв'язку з цим практично через 10–15 хв роботи суцільний круг втрачає ріжучі властивості, що проявляється в суттєвій зміні фізико-механічного стану поверхневого шару, і потребує правки.

Характер зміни мікротвердості під час шліфування переривчастим кругом показує, що круг протягом 30 хв роботи не дає суттєвої зміни мікротвердості поверхневого шару. Спостерігається зниження мікротвердості  $Hv_{100} = 60 \text{ Н/мм}^2$ .

Максимальна глибина залягання зміненої структури не перевищує 30мкм. Це показує, що температура шліфування переривчастим кругом не перевищує температури фазових перетворень, круг зберігає довгий час хорошу різальну здатність і стійкість його зростає в 2 рази.

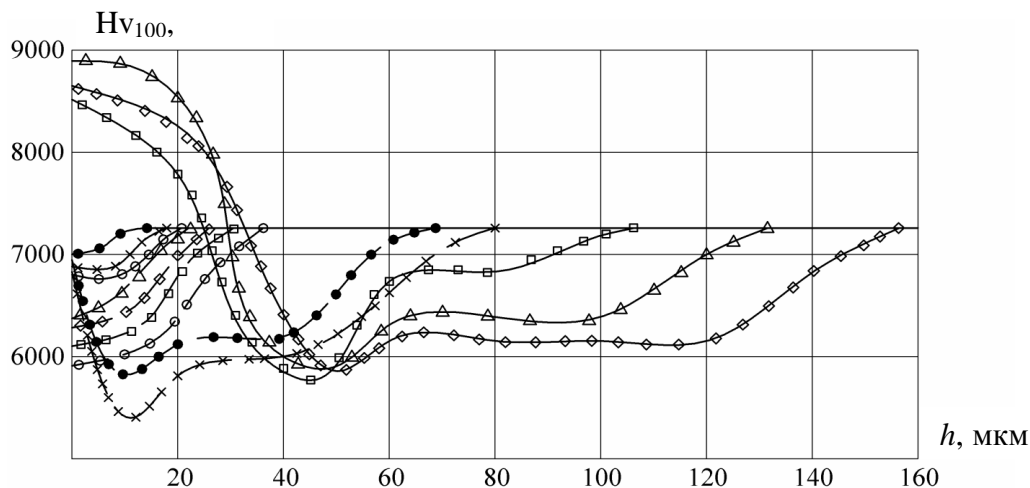


Рис. 2. Зміна мікротвердості поверхневого шару сталі ШХ15 після шліфування суцільним і переривчастим кругами: \_\_\_\_\_ – суцільний круг; ----- – переривчастий круг ( $z = 12, l_1 = 186$  мм);  $O$  – ( $T = 10c$ ),  $X$  – ( $T = 20c$ ),  $\square$  – ( $T = 30c$ ),  $\Delta$  – ( $T = 40c$ ),  $\diamond$  – ( $T = 50c$ ),  $\bullet$  – ( $T = 60c$ )

### Висновки

На поверхні суцільного круга в процесі шліфування утворюється хвилястість, яка зростає зі збільшенням тривалості шліфування. Поява хвилястості служить джерелом збурення пружної системи. На поверхні переривчастого шліфувального круга при аналогічних режимах шліфування не зареєстровано утворення хвилястості. Це є конкретним підтвердженням високої стійкості переривчастого круга, по відношенню до суцільного, і тривалим збереженням його різальної здатності.

На легких режимах шліфування суцільні і переривчасті круги працюють в режимі інтенсивного самозаточування (значення питомого об'ємного зносу круга в залежності від режиму роботи ( $g > 0,25$ )) в різні періоди шліфування. На важких режимах переривчасті круги працюють в умовах часткового самозаточування. Особливо інтенсивно процес самозагострювання протікає при великому часі шліфування ( $T = 25\text{--}30$  хв). При звичайному шліфуванні на важких режимах суцільні круги в різні періоди працюють із затупленням ( $g < 0,1$ ), що призводить до появи на шліфованій поверхні припалювань і тріщин.

При шліфуванні переривчастими кругами в режимі самозагострення на важких режимах важливе практичне значення має довготривале зберігання різальної здатності переривчастого круга, що забезпечує хорошу якість поверхневого шару деталей, високу продуктивність оброблення.

Впровадження бездефектного високопродуктивного переривчастого шліфування роликів після їх термічного оброблення дозволило вилучити з технологічного маршруту операцію чорнового шліфування поверхні кочення ролика, що дозволило скоротити собівартість операцій шліфування на 8-10% та зменшити собівартість

підшипника на 2-3% за одночасного покращення якості та стабілізації шліфувальних операцій в умовах переналагоджувального виробництва.

#### Список літератури:

1. Вплив режимів механічного оброблення на фізико-механічний стан поверхонь обертання роликотітшипників / Марчук В.І., Лук'янчук Ю.А., Марчук І.В., Мережа В.В. // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – №713. – С. 179–181.
2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
3. Свирщев В.И. Некоторые вопросы аналитического исследования процесса прерывистого шлифования / В.И. Свирщев, В.И. Потемкин // Технологические методы повышения качества и долговечности деталей машин. – 1975. – №165. – С. 163-168.
4. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – Киев: Наук. думка, 1994. – 181 с.
5. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1970. – 318 с.
6. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов : изд-во Саратовского университета, 1979. – 232 с.
7. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / В.А. Прилуцкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 136 с.
8. Якимов А.А. Основы теории обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при прерывистом шлифовании зубчатых колес / А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 212 с.

Надійшла до редакції 07.02.2014

**В.Ю. Денисюк, Ю.А. Лук'янчук, В.Т. Михалевич, О.Л. Кайдик**

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РОЛИКОВ ПОДШИПНИКОВ ПРЕРЫВИСТЫМ ШЛИФОВАНИЕМ

*В статье рассмотрена возможность применения прерывистого шлифования рабочих поверхностей роликов подшипников качения. Выполнен сравнительный анализ использования сплошных и прерывистых шлифовальных кругов. Установлена взаимосвязь макро- и микрогеометрии рабочей поверхности с видом применяемого абразивного инструмента, выявлены причины возникновения поверхностных дефектов от режимов обработки. Теоретически доказана и экспериментально подтверждена эффективность применения кругов с прерывистой шлифовальной поверхностью на операциях бесцентровой абразивной обработки. Намечены перспективы применения прерывистого шлифования в технологических процессах обработки деталей подшипников в условиях частопереналаживаемого производства.*

**Ключевые слова:** ролик, шлифовка, прерывистая поверхность, абразивный круг, подшипник, микрогеометрия.

**V.Yu. Denysiuk, Yu.A. Lukyanchuk, V.T. Mykhalevytch, O.L. Kaidyk**

#### TECHNOLOGICAL SUPPORT OF QUALITY PARAMETERS OF WORK SURFACES OF ROLLER BEARINGS

*The paper considers the possibility of using intermittent grinding for work surfaces of rolling bearings. Comparative analysis of the use of continuous and intermittent grinding wheels was made. We considered the interrelation of macro- and microgeometry of the work surface and the type of the applied abrasive tool and revealed the causes of surface defects. We theoretically proved and experimentally verified the effectiveness of the use of intermittent grinding wheels for centreless treatment.*

**Keywords:** roller, grinding, intermittent surface, abrasive wheel, bearing, microgeometry.