

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЖУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПЕРЕРИВЧАСТИХ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ НА ОПЕРАЦІЯХ ШЛІФУВАННЯ РОЛИКІВ

*В статті розглядається проблематика забезпечення закономірностей зміни ріжучої здатності шліфувальних кругів в часі, що дозволяє керувати процесом шліфування, призначати оптимальні режими різання і вибирати характеристики круга в залежності від умов оброблення. Встановлено, що під час звичайного шліфування на важких режимах суцільні круги в різні періоди працюють із затупленням, що призводить до появи на шліфованій поверхні припалювань і тріщин. В процесі шліфування переривчастими кругами в режимі самозагострення на важких режимах важливе практичне значення має довготривале зберігання ріжучої здатності переривчастого круга, що забезпечує хорошу якість поверхневого шару деталей, високу продуктивність оброблення.*

**Ключові слова:** знос, продуктивність, ролик, точність, шліфування, абразивний круг, ріжуча здатність.

**Вступ.** 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 чорного 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 вдосконалення цих операцій у великій мірі залежить якість виробів та ефективність підшипникового виробництва.

Аналіз виробничих дефектів [1, 2] показав, що причинами виникнення похибок форми під час безцентрового шліфування роликів є вібрації елементів технологічної системи ВПД, що виникають під час шліфування. Попередні дослідження [3, 4] показали, що рівень вібрації і шуму роликотростарів знижується з покращенням (до певної межі) шорсткості.

Зниження температури в зоні різання та забезпечення необхідних параметрів шорсткості роликів залишається на даний час актуальною проблемою, яка може бути вирішена на основі комплексного підходу до дослідження й моделювання зв'язків технологічних чинників формоутворення з показниками якості поверхонь на формоутворюючих операціях чорного та напівчистового шліфування. Це дало змогу окреслити основний напрям дослідження, що спрямований на вдосконалення технології механічного оброблення роликів для досягнення необхідних параметрів якості поверхонь кочення.

**Постановка проблеми.** Актуальною в даний час є проблема забезпечення заданої якості і високої продуктивності шліфування заготовок з підшипникових сталей, які характеризуються високою твердістю та схильні до виникнення теплових дефектів. Недоліками традиційних методів шліфування при обробленні таких матеріалів є складність одержання поверхонь необхідної точності за геометричними, та якості за фізико-механічними характеристиками. Тому створення процесів інтенсивного бездефектного шліфування на базі нових конструктивних і технологічних рішень являє собою складну наукову проблему. Одним з таких рішень є розроблення і дослідження процесу шліфування деталей роликотростарів переривчастим абразивним інструментом, що дозволить знизити температуру в зоні різання, забезпечить необхідну якість поверхонь деталей, інтенсифікує режимні параметри, підвищить стійкість інструменту та продуктивність процесу.

**Постановка завдань.** Вивчення закономірностей зміни ріжучої здатності шліфувальних кругів в часі дозволяє керувати процесом, призначати оптимальні режими різання і вибирати характеристики круга в залежності від умов оброблення.

У виробничій практиці шліфувальні круги експлуатуються в режимах:

- затуплення, коли основна частина зерен працює на стирання з утворенням зношених ділянок;
- часткового самозагострення, при якому, окрім стирання, частина зерен має поверхневе викришування і об'ємне руйнування;

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- самозагострення, коли більшість зерен підлягає об'ємному руйнуванню, а частина – випадає із зв'язки;
- аварійних, при яких, крім об'ємного руйнування, спостерігається підвищене викришування зерен із зв'язки чи блоку зерен зі зв'язкою.

**Викладення основного матеріалу.** Процес шліфування характеризується складними явищами взаємодії абразивного зерна і зв'язки з оброблюваним матеріалом. Для оцінки різальної здатності кругів з переривчастою робочою поверхнею необхідно знати кількість абразивних зерен, характер їхнього розташування і різновисотність, умови закріплення на робочій поверхні круга, геометрію і форму абразивного зерна, довжину контакту зерна з заготовкою, знаючи які, можна визначити об'єм шару, що знімається за одиницю часу, якість оброблюваної поверхні, зношення інструменту тощо.

Зерна на поверхні абразивного інструменту розташовані стохастично за законами теорії ймовірності. Тому зерна, що беруть участь у роботі, видаляють оброблюваний матеріал не всією поверхнею, а одним або декількома ділянками. Різні відстані між зернами, викликані відсутністю закономірності в їх розташуванні, створюють умови для зняття шару стружки різної форми, що ускладнює вивчення цього процесу. У зв'язку з цим, геометричні характеристики круга як різального інструменту можуть бути визначені з урахуванням особливостей розташування одиничних різальних елементів на робочій поверхні круга.

Тому ця особливість процесу дозволяє при описі орієнтуватися на визначену схематизацію. Схематизація стосується форми та розмірів зерен і закону розподілу різальних елементів стосовно зв'язки.

Визначенню числа зерен, що активно приймають участь в знятті матеріалу у процесі шліфування, присвячено багато теоретичних і експериментальних робіт дослідників. При цьому існують різні думки щодо законів розподілу абразивних зерен на поверхні круга. Деякі дослідники приймають закон рівномірного розподілу [1], інші – нормальний закон розподілу [4, 5, 6], треті – складні композиції законів [2]. Така різниця у визначенні законів розподілу викликана, з одного боку, похибками методик і засобів вимірювання рельєфу круга, а з іншого боку, деякою формалізацією при статичному описі рельєфу та параметрів процесу шліфування. Як показують результати експериментальних досліджень, найоптимальнішим є закон нормального розподілу [5, 6].

Необхідно також відмітити, що результати розрахунку в значній мірі залежать від вибору форми зерна та розмірів тіл – моделей, якими апроксимуються зерна. Як правило, спочатку вибирають форму, а потім розміри тіл – моделей, ґрунтуючись на результатах вивчення зерен під мікроскопом. Очевидно, виходити необхідно з фактичних лінійних розмірів зерен, а потім уже приймати ту або іншу розрахункову схему.

Якщо розміри зерен  $\chi$  круга розподілені за нормальним законом, а форма зерна приблизно описується еліпсоїдом обертання, то об'єм зерна, як об'єм еліпсоїда обертання навколо осі може бути представлено як на рис. 1:

$$W = \iiint_V dx \cdot dy \cdot dz = \left| \begin{matrix} x = \rho \cos \varphi \\ z = \rho \sin \varphi \end{matrix} \right| = \iiint_V \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi \cdot dy. \quad (1)$$

Зерновий склад круга описується законом нормального розподілу:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \frac{-(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}. \quad (2)$$

причому середній розмір зерна  $\bar{x}$  і середнє квадратичне відхилення  $\bar{\sigma}$  зерна за їх кількістю виражено через масу зерна  $\bar{x}_m$  і  $\bar{\sigma}_m$  за залежностями:

$$\bar{x} = 0,96\bar{x}_m; \quad \bar{\sigma} \approx \bar{\sigma}_m. \quad (3)$$

Середній розмір зерен шліфпорошків за їх масою, як показує ряд досліджень [6], визначається за залежністю:

$$\bar{x}_m = \sqrt{x_{нб} \cdot x_{нм}}, \quad (4)$$

де  $x_{нб}$ ,  $x_{нм}$  – відповідно найбільші і найменші розміри зерна основної фракції.

Середній ймовірний розмір об'єму зерна розраховується за формулою:

$$\omega_g = \int_{x_{нм}}^{x_{нб}} W(x) \cdot \varphi(x) \cdot dx, \quad (5)$$

де  $W(x)$  – об'єм одного зерна.

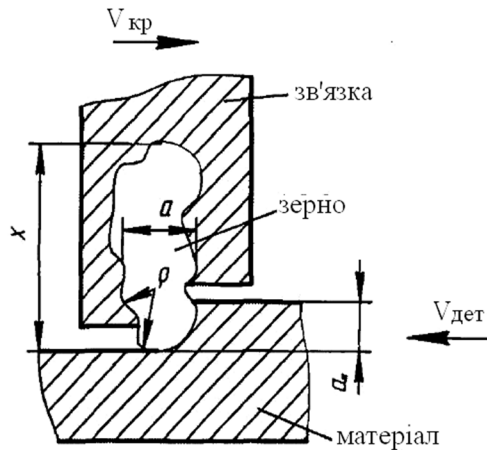


Рис. 1. Форма зерна для визначення кількості абразивних зерен в одиниці об'єму

Приймаючи  $\bar{x} - \Delta x = x_{\text{нм}}$ ,  $\bar{x} + \Delta x = x_{\text{нб}}$  отримано:

$$\omega_g = \frac{\pi \cdot \alpha' \cdot \bar{x}}{6} \cdot \left( 3\sigma^{-2} + \bar{x}^{-2} \right), \quad (6)$$

де  $\alpha' = \frac{\alpha}{x}$  – коефіцієнт форми зерна.

Тоді середня ймовірна кількість зерен, що утримуються в одиниці об'єму абразивного круга, дорівнює:

$$m_g = \frac{B}{\omega_g} = \frac{3K_1}{200\pi \cdot \alpha' \cdot \bar{x} \cdot \left( 3\sigma^{-2} + \bar{x}^{-2} \right)}, \quad (7)$$

де  $B = \frac{K_1}{40}$  – частка, зайнята шліфувальним матеріалом в одиниці об'єму круга;  $K_1$  – концентрація, %.

Кількість зерен на одиниці робочої поверхні круга (мм<sup>2</sup>) визначено за залежністю:

$$m_n = \sqrt[3]{m^2}. \quad (8)$$

В силу того, що зерна над рівнем зв'язки виступають на різну висоту, дійсне число абразивних зерен  $m_p$  буде істотно відрізнитися від числа зерен  $m_n$ , які знаходяться на робочій поверхні круга. З врахуванням об'ємного розміщення зерен прийнято наступні припущення:

1. Положення центра ваги зерна однозначно визначає положення зерна в зв'язці.
2. Центри ваги зерен лежать у шарі зв'язки висотою  $h$ , що забезпечує утримання зерен.

Кожен режим роботи круга має свої переваги і недоліки і відповідно раціональну область використання. У зв'язку з цим не можна переходити від одного режиму роботи до іншого, не вирішивши комплекс питань, що виникають при введенні нового режиму.

Під час роботи круга в режимі самозагострення за рахунок зколювання і руйнування зерен зменшується площа контакту, знижуються сили різання, потужність шліфування, ймовірність злипання стружки з зерном, що сприяє покращенню умов шліфування без припалювань, у порівнянні з роботою абразивного інструменту в режимах затуплення і часткового самозагострення. Щоб усунути появу припалювань, в ряді випадків навіть передбачається аварійний знос круга.

По мірі збільшення тривалості шліфування круг може змінювати характер зносу, що визначає ріжучу здатність. Наприклад: спочатку працювати в режимі затуплення, потім – самозагострення, потім – в аварійному.

Поверхневе і об'ємне руйнування абразивних зерен визначається температурними явищами, динамічними навантаженнями і перевищенням критичних навантажень, що утримують зерна.

Ріжуча здатність абразивних кругів оцінюється в абсолютних і відносних одиницях. Під абсолютними одиницями розуміється знос, що виражений в об'ємних або вагових величинах, віднесених до визначеної тривалості робіт в одиницях часу ( $Q_a$  мм<sup>3</sup>/хв). Під відносними

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

одинацями розуміється об'ємний або ваговий знос круга ( $Q_a$  мм<sup>3</sup>/хв), за який-небудь проміжок часу, віднесений до об'єму або ваги металу ( $Q_M$  мм<sup>3</sup>/хв), зшліфованого кругом з обробленої поверхні за той же проміжок часу:

$$g = \frac{Q_a}{Q_M}$$

Це відношення називають питомим об'ємним зносом круга. З практики експлуатації шліфувальних кругів визначені числові значення питомого об'ємного зносу круга в залежності від режиму роботи, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення питомого об'ємного зносу круга в залежності від режиму роботи

Режим роботи круга	Питомий об'ємний знос абразивного інструменту без врахування правки $g = \frac{Q_a}{Q_M}$
Затуплення	0,1-0,02
Часткове самозаточування	0,25-0,1
Самозаточування	1-0,33
Аварійний знос	4-1,6

Від питомого об'ємного зносу круга ( $g$ ), тобто від інтенсивності його зносу, залежать точність і продуктивність оброблення. В дослідженнях ріжуча здатність переривчастих кругів оцінювалась по питомому об'ємному зносу ( $g$ ).

Розрахунок рівнянь регресії зносу абразиву і зняття матеріалу на ЕОМ для різних можливих поєднань режимів шліфування ( $v_s$ ,  $t$ ,  $S$ ), дозволив побудувати графіки залежності питомого об'ємного зносу переривчастого круга ( $g$ ) при різних можливих поєднаннях режимів шліфування, при фіксованому значенні числа ріжучих виступів і часу шліфування (рис. 2-4). Варто зазначити, що залежність  $g$  від режимів шліфування має складний характер, зумовлений ступенем температурних і силових факторів, які присутні в кожному конкретному випадку і визначають динаміку зносу переривчастого абразивного круга.

Не дивлячись на це, варто зазначити наступні закономірності зміни ріжучої здатності переривчастих кругів:

а) на легких режимах (рис. 2) переривчасті круги працюють в режимі інтенсивного самозаточування ( $g > 0,25$ ) в різні періоди шліфування. Аналогічно і під час шліфування суцільними кругами;

б) на середніх режимах (рис. 3) в початкові моменти шліфування переривчасті круги працюють в режимі часткового самозаточування, що переходить в режим затуплення з часом (більше 10хв). Суцільні круги працюють в режимі затуплення, особливо протягом великого часу шліфування (більше 10хв);

в) на важких режимах (рис. 4) переривчасті круги працюють в режимі часткового самозаточування. Особливо інтенсивно відбувається цей процес протягом довгого часу шліфування ( $T = 25-30$ хв). На важких режимах суцільні круги в різні періоди працюють з переважаючим затупленням ( $g < 0,1$ ), що призводить до появи на шліфованій поверхні припалювань і тріщин.

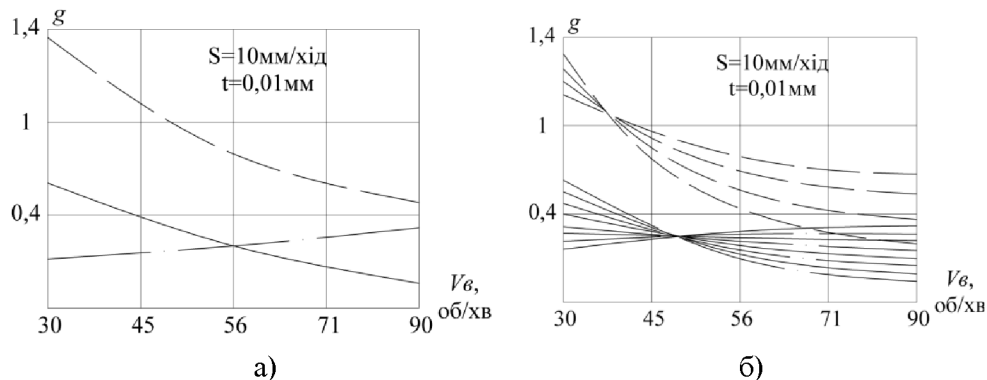


Рис. 2. Залежність питомого об'ємного зносу суцільного а) і переривчастого б) абразивного круга ( $g$ ) від режимів шліфування. Круг 14А8-ПСМ7В. Матеріал: сталь ШХ15, HRC 61-63 од.  $Z=8, 10, 12, 14$ .

----- -  $T = 10$ с, \_\_\_\_\_ -  $T = 30$ с, - · - · - · - -  $T = 60$ с

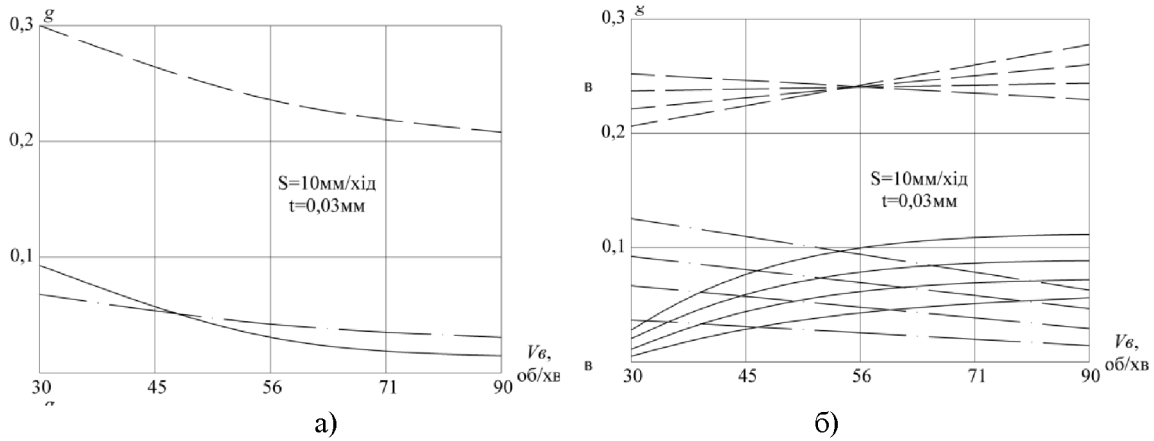


Рис. 3. Залежність питомого об'ємного зносу суцільного а) і переривчастого б) абразивного круга ( $g$ ) від режимів шліфування. Круг 14А8-ПСМ7В. Матеріал: сталь ШХ15, HRC 61-63 од.  $Z=8, 10, 12, 14$ .  
 -----  $T = 10с$ , \_\_\_\_\_  $T = 30с$ , - · - · - · -  $T = 60с$

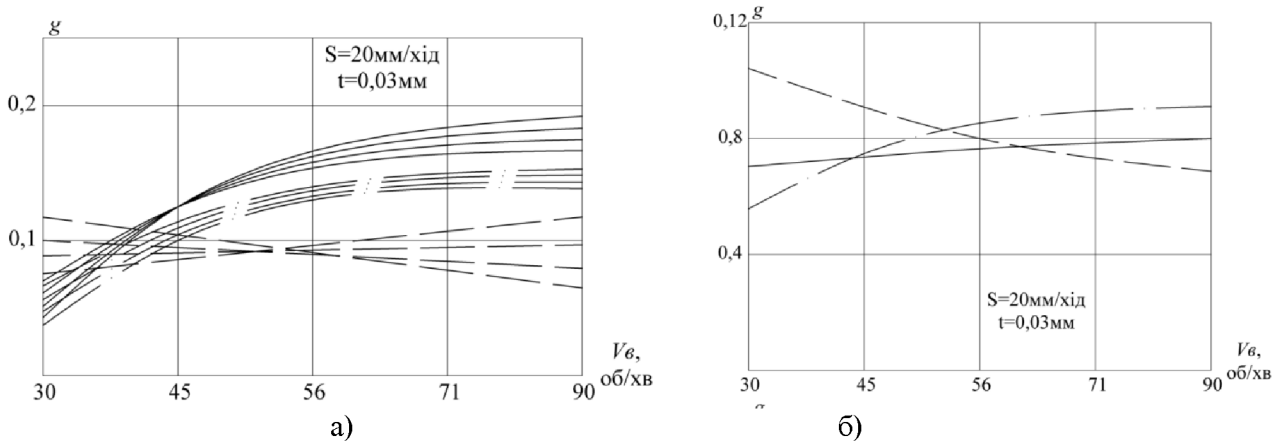


Рис. 4. Залежність питомого об'ємного зносу суцільного а) і переривчастого б) абразивного круга ( $g$ ) від режимів шліфування. Круг 14А8-ПСМ7В. Матеріал: сталь ШХ15, HRC 61-63 од.  $Z=8, 10, 12, 14$ .  
 -----  $T = 10с$ , \_\_\_\_\_  $T = 30с$ , - · - · - · -  $T = 60с$

**Висновки.** Робота переривчастих кругів в режимі самозаточування на важких режимах шліфування має важливе практичне значення для довготривалого зберігання ріжучої здатності переривчастого круга, для забезпечення хорошої якості поверхневого шару деталей і високої продуктивності оброблення. На легких режимах шліфування суцільні і переривчасті круги працюють в режимі інтенсивного самозаточування ( $g > 0,25$ ) в різні періоди шліфування. На важких режимах переривчасті круги працюють в умовах часткового самозаточування. Особливо інтенсивно процес самогострювання протікає при великому часі шліфування ( $T = 25-30хв$ ). 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 самогострення на важких режимах важливе практичне значення має довготривале зберігання ріжучої здатності переривчастого круга, що забезпечує хорошу якість поверхневого шару деталей, високу продуктивність оброблення.

#### Інформаційні джерела

1. Полянчиков Ю. Н. Анализ и оптимизация операции шлифования / Ю. Н. Полянчиков, А. Н. Воронцова, Н. А. Чернышев и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 270 с.
2. Попов С. А. Шлифовальные работы / С. А. Попов. – М.: Высшая школа, 1999. – 383 с.
3. Якимов А. В. Прерывистое шлифование / А. В. Якимов // Киев-Одесса: Вища школа, 1986. – 174 с.

4. Якимов А. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / А.В. Якимов, В. П. Ларшин, А. А. Якимов // Учебное пособие. – К.1995. – 105 с.
5. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
6. Якимов А. А. Основы теории обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при прерывистом шлифовании зубчатых колес. / А. Якимов. Харьков, 1997. – 210с.

**Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Пташенчук В.В.**

Луцкий национальный технический университет

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
ПРЕРЫВИСТЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ НА ОПЕРАЦИИ ШЛИФОВАНИЯ  
РОЛИКОВ**

*В статье рассматривается проблематика обеспечения закономерностей изменения режущей способности шлифовальных кругов во времени, что позволяет управлять процессом шлифовки, назначать оптимальные режимы резания и выбирать характеристики круга в зависимости от условий обработки. Установлено, что при обычном шлифовании на тяжелых режимах сплошные круги в разные периоды работают с затуплением, что приводит к появлению на шлифованной поверхности прижиганий и трещин. При шлифовке прерывистыми кругами в режиме самозагострения на тяжелых режимах важное практическое значение имеет долговременное хранение режущей способности прерывистого круга, обеспечивает хорошее качество поверхностного слоя деталей, высокую производительность обработки.*

**Ключевые слова:** износ, производительность, ролик, точность, шлифовка, абразивный круг, режущая способность.

**V. Denysiuk, V. Symonyuk, V. Ptashenchuk**

Lutsk National Technical University

**TECHNOLOGICAL SUPPORT THE INTERMITTENT CUTTING ABILITY OF  
ABRASIVE WHEELS ON THE GRINDING OPERATIONS OF ROLLERS**

*In the article the problems of software patterns change cutting capacity grinding wheels of time, allowing you to manage the process of grinding, appoint optimum cutting wheel and choose properties depending on the conditions of treatment. Established that the ordinary grinding to heavy duty solid circles in different periods of work with blunt, leading to the appearance of the ground surface burnt and cracks. In the grinding wheel in intermittent mode self-sharpening heavy modes of practical importance is long-term storage capacity of intermittent cutting wheel, providing good quality surface layer of parts, high performance processing.*

**Keywords:** wear, performance, roller, precision, grinding, grinding wheel, cutting ability.