

**С.В. Рябченко**, канд. техн. наук<sup>1</sup>; **В.М. Дергоусов**, **В.В. Нежебовський**;  
**Р.А. Бережний**, канд. техн. наук<sup>2</sup>, **О.А. Пермяков**,  
**О.О. Клочко**, д-р. техн. наук; **О.В. Устиненко**, канд. техн. наук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,  
04074 м. Київ, e-mail: s.riabchenko@ukr.net

<sup>2</sup>АТ «Світло Шахтаря», м. Харків, e-mail: berezhnoy.roman@corum.com

<sup>3</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: ukrstanko21@ukr.net

## ШЛІФУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ ОЧИСНИХ КОМБАЙНІВ

Розглядається питання підвищення ефективності профільного шліфування зубчастих коліс, заснованого на використанні інструменту з монокорунду різного типу. Експериментальні дослідження процесу шліфування зубчастих коліс проводилися на зубошліфувальному верстаті «HÖFLER RAPID 1250». Оцінку працездатності шліфувальних кругів проводили відносно потужності шліфування і точності обробки зубчастих коліс.

Аналіз результатів шліфування показав, що ефективна потужність шліфування зубчастих коліс при обробці кругами з монокорунду в 2 рази нижче, ніж кругами з білого електрокорунду і в 1,5 рази нижче, ніж кругами з хромистого електрокорунду.

Встановлено, що зубошліфування кругами з монокорунда забезпечує 2 клас точності зубчастих коліс.

**Ключові слова:** шліфування, зубчасті колеса, профільні круги, монокорунд, точність обробки

### Вступ

Редуктори очисних комбайнів мають дуже важливе значення для надійності роботи усього комплексу гірничодобувного обладнання. При виготовленні редукторів шахтних комбайнів виникають проблеми технологічного забезпечення якості обробки зубчастих коліс на фінішних операціях. У значній мірі це обумовлено утворенням на операціях зубошліфування температурних дефектів на оброблюваних поверхнях, а також відносно низькими показниками точності й шорсткості їх обробки [1].

Шліфування зубчастих коліс проводиться методом обкатки з неперервним або періодичним діленням і методом копіювання з періодичним діленням (профільне зубошліфування) [2]. Аналізуючи різноманітні методи шліфування зубчастих коліс, можна відмітити, що метод профільного зубошліфування забезпечує 2 клас точності і шорсткість поверхні зубчастих коліс до  $Ra\ 0,32$ , а також високу продуктивність обробки.

При сучасному розвитку технології можливе створення алмазно-абразивного інструменту з показниками, необхідними для забезпечення обробки деталей з найвищою ефективністю щодо заданих вимог якості і точності розмірів. При розробці нового абразивного інструменту важлива роль належить абразивним матеріалам і зв'язкам шліфувальних кругів [3].

У виробництві шліфувальних кругів для обробки зубчастих коліс використовують різні електрокорунди, зокрема хромистий монокорунд, який за його червоний колір називають рубін-корунд, а також КНБ [4]. Перспективним напрямком шліфування зубчастих коліс є використання високопористих абразивних кругів. Високопористі шліфувальні круги мають

гарну самозаточуваність та технологічні переваги з точки зору профілювання і правки, що дозволяє шліфувати деталі з меншим виділенням тепла в зоні різання в порівнянні зі звичайними кругами. Останнім часом з'явилися ефективні рецептури і технології виготовлення високопористого абразивного інструменту з сучасних монокристалічних електрокорундів. Особливо це відноситься до зубошліфування, коли інструмент безпосередньо впливає на формування складу поверхневого шару зубчастих коліс [5].

Мета роботи даної роботи полягає в розробці технології шліфування зубчастих коліс редукторів, як важливої частини вугільних комбайнів, з використанням алмазно-абразивного інструменту. Така технологія дозволяє порівняно з іншими методами обробки суттєво підвищити зносостійкість, знизити коефіцієнт тертя, підвищити точність обробки та знизити висотні параметри шорсткості зубчастих коліс і, тим самим, підвищити надійність і ресурс редукторів.

### Методика проведення роботи

Випробування процесу шліфування зубчастих коліс проводили на ПАТ «ХМЗ «Світло шахтаря» (м. Харків) на зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. «HÖFLER RAPID 1250» (рис. 1).



Рис. 1. Зона обробки зубчастого колеса на шліфувальному верстаті

При дослідженні процесу фіксували потужність зубошліфування та параметри точності оброблених зубчастих коліс [6].

Шліфували зубчасті колеса однакового типорозміру із загартованих сталей твердістю до 60 HRC. Зовнішній діаметр зубчастого колеса  $d = 233,4$  мм; число зубів  $z = 29$ ; модуль  $m = 7$ ; кут нахилу зубів  $\beta = -18^\circ$ ; ширина вінця  $B = 60$  мм.

Були використані

наступні абразивні високопористі круги:

- 400×32×127 WG946 Hs12 VS – монокорунд,
  - 400×32×127 3SG46Hs 12 VS – золь-гелієвий монокорунд,
  - 400×32×127 A9946Hs 12 VS – електрокорунд,
- круги зі звичайною пористістю:
- 400×32×127 A8960K9V – хромистий корунд (рубін-корунд),
  - 400×32×127 25AF46L6V – звичайний білий корунд.

### Результати дослідження

Результати випробувань шліфувальних кругів з монокристалічного і золь-гелієвого корунду показали їх високу ефективність у порівнянні з кругами зі звичайного білого електрокорунду. Ці круги забезпечують зменшення потужності шліфування і кращі показники за точністю та якістю обробки.

Наприклад, дослідження процесу зубошліфування високопористими кругами із золь-гелієвого монокорунду 3SG46Hs12VS проводили при шліфуванні двох зубчастих коліс (далі ЗК №1 і ЗК №2) одного і того ж типорозміру. Припуск на обробку  $t = 0,51$  мм. Число етапів обробки – 3 (чорнової  $t = 0,24$  мм, напівчистої  $t = 0,24$  мм, чистої  $t = 0,03$  мм).

**Чорновий (1) та напівчистовий (2) етапи.** Число робочих ходів  $i = 16$ . Глибина різання (по нормалі до профілю)  $t = 0,015$  мм. Радіальна подача (вертикальна глибина шліфування)  $S_{\text{рад}} = 0,032$  мм. Осьова подача (швидкість деталі) на перший робочий хід  $V = 500$  мм/хв, на наступні робочі ходи  $V = 5000$  мм/хв.

**Чистовий (3) етап.** Число робочих ходів  $i = 4$ . Глибини різання (по нормалі до профілю і вертикальні) на перший і другий робочі ходи  $t = 0,010$  мм;  $S_{\text{рад}} = 0,022$  мм. Осьова подача на перший і другий робочі ходи  $V = 2000$  мм/хв. Для третього і четвертого робочих ходів:  $t = 0,005$  мм;  $S_{\text{рад}} = 0,011$  мм;  $V = 2000$  мм/хв;  $V = 1500$  мм/хв.

Результати дослідження процесу шліфування зубчастих коліс приведені в табл. 1 та 2.

Таблиця 1. Потужність шліфування кругами з білого та золь-гелієвого корунду

2 і 3 етап зубошліфування	Шліфувальний круг	
	25AF46L6V (білий корунд)	3SG46Hs12VS (золь-гелієвий корунд)
Етап 2 (правка через 6 западин)	$P_{\text{ср}} = 1811,15$ Вт Інтервал змін $P$ (2411,15 – 600) Вт	$P_{\text{ср}} = 566,5$ Вт Інтервал змін $P$ (1166,5 – 600) Вт
Етап 3 (правка через 10 западин)	$P_{\text{ср}} = 1333,3$ Вт Інтервал змін $P$ (1933,3 – 600) Вт	$P_{\text{ср}} = 400$ Вт Інтервал змін $P$ (1000 – 600) Вт

Примітка:  $P$ ,  $P_{\text{ср}}$  – поточне і середнє значення потужності приводу верстату при потужності холостого ходу  $P_{\text{хх}} = 600$  Вт.

Таблиця 2. Результати вимірювань параметрів точності зубчастих коліс

Контрольовані параметри	Шліфувальний круг			
	25AF46L6V (білий корунд)		3SG46Hs12VS (золь-гелієвий корунд)	
	ЗК №1		ЗК №2	
	ліва сторона	права сторона	ліва сторона	права сторона
Параметри профілю				
$F_{\alpha}$ , МКМ	2,8	4,0	3,5	2,5
$f_{f\alpha}$ , МКМ	2,2	2,5	2,0	2,7
$f_{H\alpha}$ , МКМ	-2,7	2,8	-3,5	-1,2
Параметри лінії зуба				
$F_{\beta}$ , МКМ	5,3	8,5	5,0	3,5
$f_{f\beta}$ , МКМ	1,8	3,7	1,3	0,8
$f_{H\beta}$ , МКМ	5,7	-8,7	5,3	-4,7
$f_p$ , МКМ	3,0	4,0	3	5
$F_p$ , МКМ	13,0	12,5	6,5	10,5
$F_r$ , МКМ	9,5		7,5	

Примітка. 1. Параметри профілю і параметри лінії зуба вимірювали на 3-х западинах, рівномірно розташованих по колу (западини № 1, 10, 20).

2.  $F_{\alpha}$  – повна похибка профілю,  $f_{f\alpha}$  – похибка форми профілю;  $f_{H\alpha}$  – похибка кута профілю;  $F_{\beta}$  – повна похибка лінії зуба;  $f_{f\beta}$  – похибка форми лінії зуба;  $f_{H\beta}$  – похибка кута нахилу зуба;  $f_p$  – похибка шагу;  $F_p$  – накопичена похибка шагу;  $F_r$  – радіальне биття.

Результати процесу шліфування кругом з золь-гелієвого монокорунду 400x32x127 3SG46Hs12VS показали, що потужність зубошліфування складає в середньому  $P_{cp} = 566,5$  Вт при напівчистовому (2) етапі і  $P_{cp} = 400$  Вт при чистовому (3) етапі. Точність обробки зубчастого колеса відповідає 2 ступені точності (по DIN 3962).

Аналогічні дослідження процесу зубошліфування були проведені при використанні високопористих шліфувальних кругів 400x32x127 з монокорунду WG946Hs12VS. При випробуванні фіксували потужність зубошліфування та виміри параметрів точності оброблених зубчастих коліс.

Результати дослідження процесу шліфування зубчастих коліс кругом з монокорунду WG946Hs12VS показали, що потужність зубошліфування складає в середньому  $P_{cp} = 900$  Вт при напівчистовому (2) етапі і  $P_{cp} = 800$  Вт при чистовому (3) етапі. Точність обробки зубчастого колеса відповідає 2 ступені точності (по DIN 3962).

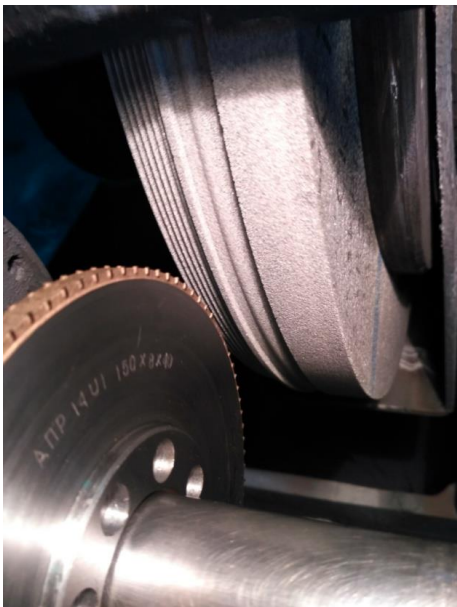


Рис. 2. Правка шліфувального круга роликком з CVD-алмазу

Результати дослідження процесу шліфування зубчастих коліс кругом 400x32x127 з хромистого монокорунду A8960K9V показали, що потужність зубошліфування складає в середньому значенні  $P_{cp} = 1100$  Вт при напівчистовому (2) етапі і  $P_{cp} = 900$  Вт при чистовому (3) етапі. Точність обробки зубчастого колеса також відповідає 2 ступені точності.

Окремо розглядалась проблема правки абразивних кругів для зубошліфування [7]. Вирішення згаданої проблеми полягає у створенніправлячих інструментів з комбінованою робочою поверхнею з використанням елементів (вставок) з CVD-алмазу (рис. 2). Це є доцільним в зв'язку з його надзвичайно високою стійкістю до ерозійного впливу шламу в зоні правки та з виключними трибологічними характеристиками в контактї з основними складовими абразивних кругів. Останнє забезпечує стабільний режим вібрацій в процесі правки, тобто – відтворюваність й стабільність параметрів ріжучого профілю абразивного

інструменту, з одного боку, та геометричних параметрів і структури обробленої деталі – з іншого. Проблема полягає в тому, щоправлячий інструмент з CVD-алмазу ніколи не розроблявся та не виготовлявся в Україні. Тому вирішення цього науково-технічного завдання для потреб вітчизняного машинобудування є доцільним та актуальним.

Проведені випробування показали, що використання елементів (вставок) з CVD-алмазу виявилось доцільним в зв'язку з його надзвичайно високою стійкістю до ерозійного впливу шламу в зоні правки та з виключними трибологічними характеристиками в контактї з основними складовими абразивних кругів.

## Висновки

Використання високопористих шліфувальних кругів з монокристалічного корунду (монокорунду WG9 та золь-гелієвого корунду 3SG) дозволяє зменшити ефективну потужність зубошліфування в 3 рази порівняно з шліфуванням кругами з білого електрокорунду і в 1,5 рази порівняно з шліфуванням кругами з хромистого електрокорунду. Правку кругів з

монокорунду та рубін-корунду проводили через 7–8 западин заготовки, в той час як для звичайного круга з білого корунду правка проводиться через 4–5 западини. Зменшення частоти правки для одного і того ж типорозміру монокорундових кругів або не впливає на точність обробки, або пов'язане з її збільшенням. Наприклад, в результаті збільшення часу між правками на етапах 2 і 3 похибки обробки практично не змінюються. Похибки лінії зуба ( $F_\beta$ ,  $f_{\beta}$ ,  $f_{H\beta}$ ), а також індивідуальної ( $f_p$ ) і накопиченої ( $F_p$ ) похибки кроків в цілому зменшуються. Радіальне биття ( $F_r$ ) трохи вище, але за всіма параметрами в допуску і по DIN 3962 зубчасті колеса (ЗК № 1 і ЗК № 2) відповідають 2 ступені точності.

Застосування високопористих шліфувальних кругів з монокорунду та рубін-корунду на машинобудівних підприємствах України показали високу ефективність інструментів з даних абразивних матеріалів в процесах шліфування зубчастих коліс високої якості.

S. Riabchenko<sup>1</sup>, V. Dergousov<sup>2</sup>, V. Nezhebovskiy<sup>2</sup>, R.A. Berezhnyi<sup>2</sup>,  
A. Permiakov<sup>3</sup>, A. Klochko<sup>3</sup>, A. Ustynenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>V.N. Bakul Institute for Super hard Materials NAS of Ukraine

<sup>2</sup>"Kharkiv Machine Building Plant "SVITLO SHAHTARYA"

<sup>3</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic University"

#### GRINDING OF DETAILS OF REDUCTION GEARS FOR MINING SHEARERS

*The article considers the issues of increasing the efficiency of profile grinding of gears based on the use of tools made of mono-corundum of various types. Experimental studies of the gear grinding process were carried out on a HÖFLER RAPID 1250 gear grinding machine. Evaluation of the performance of grinding wheels was carried out according to the power of grinding and the accuracy of processing gears.*

*The analysis of the grinding results showed that the effective grinding power of gears when machining with mono-corundum wheels is 2 times lower than with white electrocorundum wheels and 1.5 times lower than with chromium electrocorundum wheels.*

*It was found that after gear grinding with mono-corundum wheels, gears corresponding to the 2nd class of accuracy are obtained.*

**Key words:** grinding, gears, profile wheels, mono-corundum, processing accuracy

#### Література

1. Нежебовський В. В., Рябченко С. В. Профільне шліфування зубчатих коліс вугледобувних комбайнів. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і транспорті: матеріали 21-ого Міжнародного науково-технічного семінару, Львів, 15–19 березня 2021 р.* Київ: АТМ України, 2021. С. 139–141.
2. Калашников А. С. Современные методы чистовой обработки зубьев цилиндрических колес. *Металлообработка*. 009. № 6. С. 38–42.
3. Рябченко С. В., Серета Г. В. Абразивные круги для шлифования зубчатых колес. *Оборудование и инструмент для профессионалов*. 2011. № 6 (142). С. 54–56.
4. Рябченко С. В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ. *Сверхтвердые материалы*. 2014. № 6. С. 81–89.
5. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.
6. Ларшин В. П., Лищенко Н. В., Рябченко С. В., Нежебовський В. В., Серета Г. В. Профільне шліфування зубчатих коліс високопористими абразивними кругами. *Оборудование и инструмент для профессионалов*. 2016. № 5 (190). С. 20–23.

7. Пашченко Є. О., Рябченко С. В., Шатохін В. В., Кухаренко С. А. Правлячі інструменти з CVD-алмазу для абразивного шліфування зубчастих коліс. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 19-го Международного научно-технического семинара, Кошице, 18–22 февраля 2019 г.* Киев: АТМ України, 2019. С. 145–147.

Надійшла 09.10.24

## References

1. Nezhebovskiy V. V., Riabchenko S. V. (2021). Profilne shlifuvannya zubchatykh kolis vuhledobuvnykh kombayniv [Profilne shlifuvannya zubchatykh kolis vuhledobuvnykh kombainiv]. *Suchasni pytannya vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i transporti*. (s. 139–141). АТМ Ukraine [in Ukrainian].
2. Kalashnikov, A. S. (2009). Sovremennye metody chistovoi obrabotki zubev tsilindricheskikh koles [Modern methods of finishing machining of spur wheel teeth]. *Metalloobrabotka – Metalworking*, 6, 38–42. [in Russian].
3. Riabchenko, S. V., & Sereda, G.V. (2011). Abrazivnye kruhi dlia shlifovaniia zubchatykh koles [Abrasive wheels for grinding gears]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov – Equipment and tools for professionals*, 6 (142), 54–56. [in Russian].
4. Riabchenko, S. V. (2014). Shlifovanie zubchatykh koles tarelchatymi kruhami iz STM [Gear grinding with SHM disc wheels]. *Sverkhtverdye materialy – Super hard materials*. 6. 81–89. [in Russian].
5. Starkov, V. K. (2007). *Shlifovanie vysokoporistymi kruhami [Grinding with high porosity wheels]*. Mashinostroenie. [in Russian].
6. Larshin, V. P., Lishchenko, N. V., & Riabchenko, S. V., et al. (2016). Profilnoe shlifovanie zubchatykh koles vysokoporistymi abrazivnymi kruhami [Profile grinding of gears with highly porous abrasive wheels]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov – Equipment and tools for professionals*, 5 (190), 20–23. [in Russian].
7. Pashchenko, E. O., Riabchenko, S. V., Shatokhin, V. V., & Kukhareno, S. A. (2019). Pravliachi instrumenty z CVD-almazu dlia abrazivnogo shlifuvannya zubchastykh kolis. *Sovremennye voprosy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte*. (s. 145–147). АТМ Ukraine [in Ukrainian].

УДК 621.62-4

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-342-346

**А. О. Лямцева**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, Україна, e-mail: an.lyamtseva@gmail.com*

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛМАЗНОГО ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ. ОГЛЯД**

*В статті розглянуто застосування різальних інструментів з полікристалічного алмазу. Проаналізовано літературні джерела, в яких описано дослідження їхнього використання для різання важкооброблюваних матеріалів. Описано напрямки досліджень та тенденції застосування різальних інструментів, виготовлених з полікристалічних алмазних матеріалів.*

**Ключові слова:** полікристалічний алмаз, титанові сплави, нітридні покриття.