



original article | UDC 621.923 | doi: 10.31210/visnyk2022.03.26

JUSTIFICATION FOR CHOOSING OF GRINDING WHEEL OPTIONS AND GRINDING MODES

H. Lapenko

S. Yakhin

T. Lapenko

O. Pavlyk *

ORCID  [0000-0003-1435-5307](https://orcid.org/0000-0003-1435-5307)

ORCID  [0000-0002-0042-0844](https://orcid.org/0000-0002-0042-0844)

ORCID  [0000-0001-8055-6698](https://orcid.org/0000-0001-8055-6698)

Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: Rindoul448@gmail.com

How to Cite

Lapenko, H., Yakhin, S., Lapenko, T., & Pavlyk, O. (2022). Justification for choosing of grinding wheel options and grinding modes. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 205–212. doi: 10.31210/visnyk2022.03.26

Grinding is one of the final types of processing, which provides high quality of the treated surface (accuracy and roughness) at high productivity of the process. Ensuring the properties of the surface depends largely on the correct choice of the working tool – the grinding wheel, and the parameters of the grinding mode. The main characteristics of the grinding wheel are its geometric parameters (diameter, width) and the characteristics of the material of the wheel (grain size, binder type, diamond concentration and thickness of the diamond layer). The parameters of the grinding mode include the speed of rotation of the wheel and the depth of grinding and feed. Premium and CBN grinder wheels on the organic connection of the production of PJSC “Poltava Diamond Tool” are used in the study. The parameters for the grinding round as well as the grinding modes have been chosen based on DSTU (ISO), which regulates the nomenclature of grinding round and requirements of how they should operate: the roughness of a finished surface – Ra and the coefficient of grinding. We considered and analysed constant parameters, like the brand of grinding circle, the type of grinding operation (flat) and the use of lubricating and cooling technical means, as well as variable parameters of grinding mode. The parameters of the grinding mode are the main control factors of the grinding process and are set for the grinding machine by the operator directly. PJSC “Poltava Diamond Tool” is the company that specialises in the production of a wide range of diamond and CBN tools for grinding and polishing hard alloys, as well as heat-resistant, alloyed and stainless types of steel and other materials. The specialists of the factory together with scientists have carried out multiple works on optimising the method of choosing the grinding parameters and the grinding mode depending on the processing material, the specified accuracy and roughness of the surface and working capacity. The recommended range of grinding wheel grain and relative concentration of diamond powder in the diamond layer has been developed to achieve the specified roughness of the treated surface at different types of grinding. The recommended grinding modes are presented for different types of grinding with circles from cubic boron nitride CBN.

Keywords: grinding, synthetic diamonds, diamond grinding wheel, grinding mode.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ТА РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ

Г. О. Лапенко, С. В. Яхін, Т. Г. Лапенко, О. Г. Павлик

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Шліфування є одним із завершальних видів обробки, який забезпечує високу якість обробленої поверхні (точність та шорсткість) при високій продуктивності процесу. Забезпечення

властивостей поверхні залежить в значній мірі від правильного вибору робочого інструменту – шліфувального круга, та параметрів режиму шліфування. Основними характеристиками шліфувального круга є його геометричні параметри (діаметр, ширина) та характеристики матеріалу круга (зернистість, тип зв'язки, концентрація алмазу та товщина алмазного шару). До параметрів режиму шліфування відносять швидкість обертання круга, глибину шліфування та подачу. В дослідженні використовуються Premium та CBN шліфувальні круги на органічній зв'язці виробництва ПАТ «Полтавський алмазний інструмент». Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування приводили виходячи із, ДСТУ ISO 603-4:2019, що регламентує номенклатуру шліфувальних кругів та вимоги до їх роботи: шорсткість обробленої поверхні Ra, коефіцієнт шліфування. Нами розглянуті і проаналізовані як постійні параметри шліфувального круга: марка шліфувального круга, зернистість, тип зв'язки, так і змінні параметри режиму шліфування: швидкість круга, глибина та подача. Параметри режиму шліфування являються основними факторами управління процесом шліфування і встановлюються безпосередньо на шліфувальному верстаті оператором. ПАТ «Полтавський алмазний інструмент» підприємство яке спеціалізується на випуску широкого асортименту алмазного і CBN інструменту для шліфування і полірування деталей із твердих сплавів, жаростійких, легованих і нержавіючих сталей та інших матеріалів. Спеціалістами підприємства разом з науковцями проведені роботи по оптимізації методики вибору параметрів шліфувальних кругів та параметрів режиму шліфування в залежності від оброблюваного матеріалу, заданої точності та шорсткості поверхні і працездатності. Розроблено рекомендований діапазон зернистості шліфувального круга та відносної концентрації алмазного порошку в алмазозносному шарі для забезпечення заданої шорсткості обробленої поверхні при різних видах шліфування. Представлені рекомендовані режими шліфування кругами із кубічного нітриду бора CBN для різних видів шліфування.

Ключові слова: шліфування, синтетичні алмази, алмазний шліфувальний круг, режим шліфування.

Вступ

Проблема правильного вибору параметрів шліфувального алмазного круга та параметрів режиму шліфування являється актуальною як з точки зору забезпечення якості виконання операції шліфування (точність та шорсткість), так і забезпечення високої продуктивності процесу та працездатності ШК.

Аналіз вивченості даної проблеми в світовій науковій літературі [1, 3–6, 15, 19] показав, що відсутня загальна методика вибору параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування для різних видів шліфування та для обробки різних матеріалів.

Існує велика кількість вітчизняних та зарубіжних фірм, що виробляють абразивний інструмент. Їх каталоги, в кращому випадку, дають загальні рекомендації по використанню кругів для обробки деталей з певних матеріалів, та відповідні таблиці вибору геометричних та конструктивних характеристик ШК. При цьому, як правило, відсутні рекомендації для визначення параметрів режиму шліфування [2, 16].

Світові лідери абразивної промисловості ToolGal (США), Gleason (США), Pferd (Німеччина), Sia Abrasive (Швейцарія), VSM (Німеччина), Abrasive Technologies (США), Swatycomet (Словенія), Saint-Gobain Abrasives (Франція) пропонують дуже загальні рекомендації по вибору шліфувальних кругів. Каталоги цих компаній рекомендують визначатись із розміром необхідного інструменту, а потім, виходячи із геометричних і цінових параметрів, вибрати позицію запропонованого шліфувального круга [5, 14].

На інформаційних сайтах вітчизняних абразивних підприємств Запорізький абразивний комбінат та Полтавський алмазний інструмент в залежності від умов роботи інструмента рекомендується вибрати його зв'язки, марку абразиву, зернистість та твердість. Разом з тим приведені рекомендації носять загальний характер і не дають конкретних параметрів виконання операцій шліфування.

Підприємства намагаються максимально використовувати ресурс працездатності кожного шліфувального круга. При цьому працездатність ШК повинна розглядатися з врахуванням часу роботи інструмента.

Мета даного дослідження: виявити взаємозв'язок конструктивних параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування на якість обробленої поверхні (точність, шорсткість Ra), та працездатність шліфувального круга.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Виявити вплив параметрів шліфувального круга (тип, розмір зерна, зв'язка, концентрація алмазоносного шару) на якість обробленої поверхні Ra.
2. Виявити вплив параметрів режиму шліфування (швидкість, подача, глибинне шліфування) на якість обробленої поверхні Ra.

Матеріали і методи досліджень

Методикою дослідження передбачалося обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування при різних видах шліфування для забезпечення заданої точності обробітку та працездатності круга.

В ході досліджень використовувалися Premium та CBN шліфувальні круги на органічній зв'язці виробництва ПАТ “Полтавський алмазний інструмент”. Були проаналізовані основні характеристики шліфувальних кругів: тип, діаметр, ширина та характеристика матеріалу круга: величина зерна, тип зв'язки, концентрація алмазу в алмазоносному шарі.

Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування проводили виходячи з ДСТУ ISO 603-4:2019, що регламентує номенклатуру шліфувальних кругів та вимоги до їх роботи: шорсткість обробленої поверхні Ra та коефіцієнт шліфування.

Досліджено вплив зернистості круга та типу зв'язки на шорсткість оброблюваної поверхні Ra при різних видах шліфування.

Встановлено рекомендовані режими шліфування для Premium та CBN шліфувальних кругів для різних видів шліфування (плоского, попереднього та завершального) шліфування направляючих верстатів.

Змінними параметрами шліфування взяті швидкість круга м/хв, швидкість виробу м/хв, повздовжня подача мм/под.хід, глибина шліфування мм/под.хід.

Результати досліджень та їх обговорення

Основним документом, що регламентує номенклатуру шліфувальних кругів, що випускає промисловість є ДСТУ 3292-95, який визначає вимоги по маркуванню інструмента, його геометричні форми та розміри ШК, матеріал зерна, його розмір, кількість, ступень твердості круга, конструктивні параметри круга. Крім цього, даний стандарт регламентує допуски на розміри інструмента, величини радіального та торцевого биття круга, класи їх невірноваженості та ін. параметри. В якості додатку до стандарту приведені показники надійності ШК: шорсткість обробленої поверхні Ra(Rz), коефіцієнт шліфування K , що визначається за формулою:

$$K = \frac{Q_m}{Q_a},$$

де Q_m – об'єм знятого металу, мм³;

Q_a – об'єм зношеної чистими кругами (з врахування втрат на правку), мм³.

Вказані параметри приведені для чотирьох видів шліфування: круглого зовнішнього врізного, безцентрового, внутрішнього врізного і плоского.

Розглянемо методи формування показників працездатності шліфувальних кругів. Будь який шліфувальний круг призначений для успішного виконання операцій шліфування, повинен забезпечити отримання деталі, що відповідає всім вимогам щодо кресленника. З цієї точки зору, найбільш важливими показниками працездатності ШК є величини параметрів, обумовлені конструктором на кресленнику деталі, основними з яких є:

- точність формованого розміру;
- шорсткість шліфованої поверхні Ra;
- відсутність припіку.

Приведені показники являються результатом роботи шліфувального круга і досягнення їх певного рівня являється основною задачею експлуатації інструменту, основними вихідними параметрами якого є:

- марка шліфувального матеріалу;
- вид операції шліфування;
- застосування мастильно-охолоджувального технічного засобу МОТЗ.

Від марки шліфувального матеріалу залежать силові та температурні характеристики процесу шліфування. Дослідженнями встановлені залежності оброблюваності матеріалів шліфуванням від технологічних умов реалізації операції шліфування, включаючи схему шліфування та марки МОТЗ і способу його подачі в зону шліфування.

Перераховані параметри експлуатації круга являються квазіпостійними та повинні бути враховані при прогнозуванні працездатності ШК.

Що стосується режимів шліфування, то вони являються перемінними на протязі всього часу експлуатації ШК і являються фактором управління процесом шліфування. Саме за рахунок зміни режимів шліфування досягається рівень експлуатаційних показників, а також параметрів експлуатації інструменту, яке необхідно враховувати при комплексній оцінці експлуатаційних властивостей шліфувального круга, який виглядає наступним чином:

Експлуатаційні показники:

- Точність формованого розміру, мм;
- Шорсткість шліфованої поверхні – R_a , мм;
- Відсутність припіку

Параметри експлуатації квазіпостійні:

- Марка шліфувального матеріалу;
- Вид операції шліфування;
- МОТЗ, які використовуються

Параметри експлуатації змінні:

Режими шліфування

Для безпосереднього визначення величини експлуатаційних показників необхідно виконати їх формалізацію, тобто зіставити кожний експлуатаційний показник з параметром процесу шліфування.

Так точність сформованого розміру залежить від величини сили шліфування, а оцінка точності розміру сформованої шліфувальним кругом поверхні залежить від величини складової сили шліфування – P_y .

Шорсткість шліфувальної поверхні, яка закладається конструктором, являється прямим параметром, що характеризує якість шліфованої поверхні деталі і позначається шорсткістю R_a .

Відсутність припіку на шліфувальній поверхні також характеризує якість її обробки. При комплексній оцінці працездатності ШК дана обставина може бути врахована параметрами режиму шліфування, перевищення яких призводить до виникнення припіку. Граничною умовою виникнення припіку є температура 600°C в заготовці на глибині 0,02 мм. [4].

Слід зазначити, що забезпечення необхідного рівня експлуатаційних показників, розглянутих вище, можливо в разі створення нормальних умов роботи абразивних зерен шліфувального круга, зокрема відсутності інтенсивного “засалювання” робочої поверхні. Обмеження по засалюванні для експлуатаційних кругів може бути враховано виразом [19]:

$$U(x) < K_n \cdot T_n.$$

де K_n – коефіцієнт, який залежить від матеріалу зерна і заготовки

$$K_n = (0,80 \dots 0,85);$$

T_n – температура плавлення матеріалу.

Виходячи із розглянутого вище, в комплексні показники працездатності шліфувального круга входять наступні показники:

- P_y – радіальна сила шліфування;
- R_a – шорсткість поверхні;
- $U(x)$ – температура в зоні контакту ШК з заготовкою.

Постійна складова параметрів експлуатації ШК повинна бути врахована у виді константи – які виходять з умов роботи ШК, в яких оцінюється працездатність. Змінні параметри експлуатації – режим шліфування – являється основним фактором управління процесом та встановлюється безпосередньо на верстаті шліфувальником чи оператором і є вихідним параметром при проектуванні операції шліфування.

Розглянуті питання обґрунтування та вибору типу шліфувальних кругів та параметрів режиму шліфування з врахуванням виду оброблюваного матеріалу, характеристики шліфувальних кругів та якості поверхні обробленої деталі, [6] дозволили застосувати їх при обґрунтуванні параметрів та режимів роботи Premium алмазних та CBN кругів виробництва ПАТ «Полтавський алмазний інструмент».

В 1966 році був побудований Полтавський завод по виготовленню штучних алмазів та алмазного інструменту. Українські вчені академії наук України, провідних наукових інститутів розробили унікальну технологію отримання штучних алмазів та виготовлення широкого спектру алмазного інструменту, продукція якого користується попитом, як на внутрішньому ринку, так і за кордоном. На сьогодні ПАТ «Полтавський алмазний інструмент» підприємство, яке спеціалізується на випуску широкого асортименту алмазного і CBN інструменту для шліфування і полірування деталей із твердих сплавів, жаростійких, легованих і нержавіючих сталей, скла, кераміки, кремнію, вогнетривких матеріалів, дорогоцінних каменів та інших матеріалів. Підприємство має сучасну виробничу базу з повним спектром виробництва, якісні компоненти, висококваліфіковані кадри, що забезпечує випуск високопродуктивного шліфувального інструменту, як масового виробництва, так і у відповідності з індивідуальними вимогами замовника.

Шліфувальні круги серії Premium призначені для роботи на універсальних шліфувальних верстатах та обробних центрах фірм Vollmer, Walter, Anca, Michael Deckel та ін.

В останні роки набули популярності шліфувальні інструменти із кубічного нітриду бору на органічній зв'язці CBN (CBN – від англійського Cubic Boron Nitride).

Спеціалісти товариства разом з науковцями та по оптимізували методику вибору параметрів шліфувальних кругів та параметрів режимів їх роботи в залежності від оброблюваного матеріалу, заданої точності та шорсткості поверхні і максимальної продуктивності роботи.

Була проведена робота по встановленню відповідності алмазних порошків за ДСТУ 3292-95 зарубіжним стандартам та їх використання для відповідних видів обробітку (табл. 1).

1. Відповідність зернистості алмазних порошків по ДСТУ 3292-95 зарубіжними стандартами та їх використання по видах робіт

Вид обробітку	Стандарт України ДСТУ 3292-95, мкм	Позначення по міжнародному стандарту FEPA	Міжнародний стандарт ISO 565, мкм	Стандарт США ANSI B 74.16, мкм
Чорнове шліфування	400/315	Д 426	425/355	40/45
	315/250	Д 301	400/250	50/60
	250/200	Д 251	250/212	60/70
	200/160	Д 231	212/180	70/80
	160/125	Д 151	150/125	100/120
Тонке шліфування	80/63	Д 91	90/75	170/200
	63/50	Д 76	75/63	200/230
	50/40	Д 64	63/53	230/270
		Д 54	53/45	270/325
		Д 46	45/38	325/400
Чистове шліфування	125/100	Д 126	125/106	120/140
	100/80	Д 107	106/90	140/170
Тонке шліфування, полірування	60/40	М 63		500
	40/28	М 40		550
	28/20	М 25		650
	20/14	М 16		1110
	14/10	М 16		1500
	10/7	М 10		1700
	7/5	М 6.3		3000
	5/3	М 4.0		4000

Зернистість шліфувального круга вибираємо в залежності від типу зв'язки та заданої шорсткості обробленої поверхні Ra.

Рекомендовані зернистості круга для різних видів шліфування представлені в таблиці 2.

2. Вибір зернистості круга при шліфуванні твердосплавних матеріалів

Тип зв'язки	Рекомендований діапазон зернистості	Шорсткість обробленої поверхні Ra, мкм		
		При торцевому шліфуванні	При плоскому шліфуванні	При круглому шліфуванні
Органічна	Д 213 - Д 107 Д 91 - Д 46	0,63...0,16 0,32...0,16	1,0...0,32 0,63...0,16	1,0...0,32 0,63...0,20
Органічна(алмази з покриттям)	Д 126...Д 46	0,32...0,16	0,63...0,16	0,80...0,20
Органічна(алмази без покриття)	Д 126...Д 16	0,32...0,05	0,5...0,10	0,63...0,12
Металічна	Д 213...Д 126 Д 107...Д 91 Д 64...Д 46	1,0...0,32 0,50...0,16 0,32...0,16	1,25...0,63 1,00...0,32 0,63...0,16	1,25...0,63 1,25...0,40 0,63...0,32

Враховуючи основні характеристики шліфувальних Premium алмазних та CBN кругів і вид обробки розроблені режими шліфування, представлені в табл. 3.

3. Рекомендовані режими роботи шліфувальними кругами із кубічного нітриду бору CBN

Вид обробки	Швидкість круга м/хв	Швидкість виробу м/хв	Повздовжня подача м/хв	Поперечна подача мм/под..хв	Глибинне шліфування мм/под..хід
<i>Плоске шліфування</i>					
Попереднє	20...35	-	5,0...7,0	1/5...1/3	0,03...0,05
Завершальне	20...35	-	3,0...5,0	Ширина шару	0,02
Виглажування	20...35	-	1,0...1,5	Ширина шару	Без подачі
Шліфування направляючих верстатів	20...35	-	2,0...6,0	-	0,005...0,010
<i>Кругле шліфування</i>					
Попереднє	20...35	10...20	0,5...1,0	-	0,002...0,010
Завершальне	20...35	8...10	0,5...1,0	-	0,002...0,005

Важливим фактором забезпечення працездатності шліфувальних кругів є концентрація алмазного порошку в алмазозноному шарі. Відносна концентрація алмазу являється однією із важливих характеристик алмазного інструменту, яка забезпечує його ріжучу здатність, продуктивність, термін роботи. Вибір концентрації залежить від типу шліфувального круга, форми і розмірів робочої поверхні, зернистості алмазного порошку, стійкості, зв'язки та режимів обробітку. Як правило, шліфувальні круги випускаються з відносною концентрацією 25 %, 50 %, 75 %, 100 %, 150 %. Об'єм, який займає алмазний порошок в алмазозноному шарі складає від 6,25 % для відносної концентрації 25 % до 25 % при відносній концентрації 100 %.

Режими різання вказані в таблиці 3 підбираються з врахуванням марки зв'язки, відносної концентрації алмазу, наявності МОТЗ, заданої шорсткості поверхні та продуктивності обробітку.

Висновки

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Встановлені граничні умови можливості виникнення явища припіку оброблюваної поверхні та засалювання шліфувального круга. Граничною умовою виникнення припіку є температура 600 °С на глибині 0,02 мм.

2. Встановлений рекомендований діапазон зернистості для забезпечення заданої шорсткості Ra при різних видах шліфування та при різних типах зв'язки круга. Так мінімальна шорсткість

обробленої поверхні Ra 0,10 досягнута при плоскому шліфуванні алмазними кругами з діапазоном зернистості Д 126...Д 16 на органічній зв'язці.

3. Вибраний оптимальний режим роботи шліфувального круга із кубічного нітриду бора CBN для різних видів обробітку та забезпечення оптимальної шорсткості обробленої поверхні. При цьому швидкість круга складає 20...25 м/с, глибина шліфування від 0,03 мм при попередньому шліфуванні до 0,02 мм при завершальному шліфуванні, повздовжня подача від 7,0 м/хв., при попередньому плоскому шліфуванні до 3,0 м/хв. при завершальному плоскому шліфуванні.

Перспективи подальших досліджень. Являється доцільним продовжити дослідження впливу параметрів режиму шліфування на якість(шорсткість) поверхні для конкретних типів шліфувальних кругів при обробці різних сталей. Спільна робота науковців Полтавського державного аграрного університету з провідними технологами ПАТ «Полтавський алмазний інструмент» забезпечить оптимізацію вибору параметрів режиму різання шліфувальних кругів заводу виробника та їх успішне використання в галузевому машинобудуванні.

References

1. Ardashev, D. V. (2010). Kompleks pokazatelej ocenki ekspluatatsionnykh svoystv shlifovalnykh krugov. *Tehnologiya Mashinostroeniya*, 9 30–33. [In Russian].
2. Boldyrev, I. S., & Ardashev, D. V. (2013). Opredelenie prochnostnykh harakteristik abrazivnogo zerna v processah shlifovaniya. *Tehnologicheskoe obespechenie mashinostroitelnykh proizvodstv: sbornik trudov I Mezhdunarodnoy zaochnoy Nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [In Russian].
3. Kovtun, V. A., Pavlyk, O. H., & Lapenko, H. O. Vykorystannia shtuchnykh almaziv dlia obrobky metaliv i vykorystannia instrumentiv z shtuchnykh almaziv dlia obrobky detalei silskohospodarskykh mashyn. *Materialy studentskoi naukovoï konferentsii* 16-17 kvitnia 2020 rik. Poltava. [In Ukrainian].
4. Lavrinenko, V. I., Leshuk, I. V., Smokvina, V. V., Solod, V. Yu., Muzychka, D. G., & Orlenko, S. A. (2012). Osobennosti formirovaniya sherohovatosti obrabotanoj poverhnosti pri mnogoprohodnom i glubinnom shlifovanii krugami iz STM s ispolzovaniem opornih elementov v vide kompaktoy iz KNB. *Sovremennye problemy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte: Materialy 12-go Mezhdunarodnogo Nauchno-tehnicheskogo seminar (20-24 fevralya 2012 g., Svalyava)*. Kiev: ATM Ukrainy [In Russian].
5. Lapenko, H. O., Horbenko, O. V., Lapenko, T. H., & Kovtun, V. A. (2020). Optimization of paramaters of grinding with diamond wheels made of nickel-coated diamond powders. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 267-272. doi: 10.31210/visnyk2020.04.34
6. Lapenko, T. H., Lapenko, H. O., & Kovtun, V. A. (2020). Pidvyshchennia stiikosti ta produktyvnosti almaznykh shlifovalnykh kruhiv. *Innovatsiini aspekty systemy bezpeky pratsi, zakhystu intelektualnoi vlasnosti: materialy V Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii*. (m. Poltava, 26-27 bereznia 2020 r.). Poltava: PDAA [In Ukrainian].
7. Slavin, A. V., & Shumyacher, V. M. (2008). Mehanohimicheskie processy vzaimodejstviya abrazivnogo instrumenta i zagotovki pri shlifovanii metalla. *Tehnologiya Mashinostroeniya*, 1, 29–32. [In Russian].
8. Soler, Ya. I., Strelkov, A. B., & Repej, E. O. (2013). Mnogokriterialnaya optimizaciya strategii ploskogo shlifovaniya detalej iz korrozionnostojkih stalej krugami iz kubicheskogo nitrida bora. *Innovatsionnye tehnologicheskie processy izgotovleniya detalej mashin: sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Innovatsii v mashinostroenii»*. Kemerovo [In Russian].
9. Hudobin, L. V., & Unyanin, A. N. (2007). *Minimizaciya zasalivaniya shlifovalnykh krugov*. Ulyanovsk : UIGTU [In Russian].
10. Badger, J. A., & Torrance, A. A. (2000). A comparison of two models to predict grinding forces from wheel surface topography. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40 (8), 1099–1120. doi: 10.1016/s0890-6955(99)00116-9
11. Chonggao, B., Yiqiao, S., Shuzeng, H., Xinghua, Y., Jianfeng, Y., & Wenjing, Y. (2015). Effect of the CBN grit surface oxidation on grinding performance of the vitrified CBN tool[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 49 (02), 124–129. doi: 10.7652/xjtub201502021
12. Bohm, C. (2002). Entwicklung und erprobung sensorintegrierter schleifwerkzeuge. *Doctor's thesis*. Bremen.
13. Brinksmeier, E., Heinzl, C., & Meyer, L. (2005). Development and Application of a Wheel Based Process Monitoring System in Grinding. *CIRP Annals*, 54 (1), 301–304. doi: 10.1016/s0007-8506(07)60108-5

14. Ding, K., Fu, Y., Su, H., Gong, X., & Wu, K. (2014). Wear of diamond grinding wheel in ultrasonic vibration-assisted grinding of silicon carbide. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71 (9–12), 1929–1938. doi: 10.1007/s00170-014-5625-x
15. Patnaik Durgumahanti, U. S., Singh, V., & Venkateswara Rao, P. (2010). A New Model for Grinding Force Prediction and Analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50 (3), 231–240. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2009.12.004
16. Dyakonov, A. A. (2014). Simulated stochastic thermo-physical model of grinding process. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2, 914–917.
17. Fritsche, A., & Bleicher, F. (2015). Experimental Investigation of the Heat Flux Distribution in Grinding of Titanium Alloy. *Procedia Engineering*, 100, 987–993. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.458
18. García, E., Sánchez, J. A., Méresse, D., Pombo, I., & Dubar, L. (2014). Complementary tribometers for the analysis of contact phenomena in grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (9), 1787–1797. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2014.03.026
19. Wegener, K., Hoffmeister, H.-W., Karpuschewski, B., Kuster, F., Hahmann, W.-C., & Rabiey, M. (2011). Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Annals*, 60(2), 757–777. doi: 10.1016/j.cirp.2011.05.003
20. Xing, H. L., Mora, P., & Makinouchi, A. (2003). Finite Element Simulation of Stress Evolution in a Frictional Contact System. *Computational Science — ICCS 2003*, 798–806. doi: 10.1007/3-540-44863-2_78
21. DSTU 3292-95 Poroshky almazni syntetychni. Zahalni tekhnichni umovy. Zi zminamy ta popravkami. [Chynnyi vid 01.01.1997] [In Ukrainian].
22. DSTU ISO 603-4:2019 Abrazyvy zi zviazkoiu. Rozmiry. Chastyna 4. Shlifovalni kruhy dlja ploskoho shlifuvannia, shlifuvannia peryferiieiu kruha (ISO 603-4:1999, IDT) [Chynnyi vid 01.12.2019] [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 04.06.2022 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Лапенко Г. О., Яхін С. В., Лапенко Т. Г., Павлик О. Г. Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування. *Вісник ПДАА*. 2022. № 3. С. 205–212.

© Лапенко Григорій Олександрович, Яхін Сергій Валерійович, Лапенко Тарас Григорович,
Павлик Олексій Григорович, 2022