

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Ю.Ю. Віцюк

ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ КОМПЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ ЗА УМОВИ ТОНКОГО КУБАНІТОВОГО ШЛІФУВАННЯ

The research results of sliding bearings' roughness formation and which were manufactured from new composite materials on the base of stamp steels wastes for high-speed printing machines friction units were presented in the article. It was shown that high quality parameters of working surfaces, for example, roughness and other quality parameters are formed as a result of interaction between parameters of cutting by cubonit tools such as granulosity and properties of abrasive tools for the fine grinding technology. It was defined that the dependence of the roughness parameters of surfaces sliding bearings on composition of cubonit tool, its granulosity, bond type of grinding disc, parameters of grinding: application of lubricating and cooling liquid, depth of grinding, rotation speed of the disc and line speed. The practical recommendations for choice of cubonit grinding tools and cutting parameters for industrial purposes for machinebuilding plants were presented in the paper. These recommendations satisfy the requirements of working surfaces quality of high-speed sliding bearings for rotation printing machines.

Keywords: high-speed sliding bearings, surface roughness, cubonit grinding, cutting conditions.

Вступ

Вимоги до якості поверхонь деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношення, постійно зростають, що зумовлюється безперервним підвищенням важливих експлуатаційних параметрів поліграфічної техніки і насамперед зростанням строків служби деталей, механізмів і в цілому машин.

Останнім часом для істотного збільшення строків експлуатації підшипників ковзання високошвидкісних поліграфічних машин були синтезовані та впроваджені у виробництво нові композиційні матеріали, які створені на основі відходів легованих інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ та 86Х6НФТ і які здатні успішно експлуатуватись за швидкостей обертання до 400 об/хв і питомих тисків 2–4 МПа [1–4].

У виготовленні вузлів тертя друкарських машин КВА "Rapida-105", "STAR BINDER 1509" та інших застосовані підшипники ковзання, технологія механічної обробки яких була побудована таким чином, що на фінішних операціях технологічного процесу використовують абразивне шліфування та надтонке магнітно-абразивне оброблення (МАО) [4].

З точки зору оптимізації параметрів якості поверхонь оброблення досить детально було досліджено процеси МАО, тонкого абразивного шліфування [4–9] та створено відповідні технологічні рекомендації.

На жаль, процеси тонкого кубанітового шліфування нових композиційних деталей тертя, виготовлених на основі вторинної сировини, зокрема на основі шліфувальних відходів

сталей 7ХГ2ВМФ і 86Х6НФТ, досліджені недостатньо, хоча вони, внаслідок дії відомого [3] принципу технологічної спадкоємності, на 80–90 % формують умови отримання найякісніших поверхонь тертя композитних підшипників. На сьогодні в науково-технічній літературі є достатньо літературних джерел із застосування тонкого шліфування спеціальних важкооброблюваних матеріалів з використанням шліфувальних інструментів на основі кубічного нітриду бору (КНБ – кубаніт) [10–16] та отримання високих параметрів якості поверхонь оброблення завдяки притаманним кубаніту ріжучим властивостям [10, 13–15].

Науковцями та практиками провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування кубанітового інструмента дає змогу отримати показники параметрів якості поверхні обробки, які (у низці випадків) не поступаються результатам, зокрема по шорсткості оброблення отворів методами хонінгування.

Відсутність же чітких рекомендацій по тонкому кубанітовому шліфуванню важкооброблюваних та високолегованих композитних сплавів веде до зростання на практиці різних технологічних схем шліфування, не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто суттєво різних, які здебільшого створені відповідно до можливостей того чи іншого підприємства.

Усе це вимагає від науковців і практиків всебічно дослідити процеси тонкого кубанітового шліфування підшипників ковзання з нових композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей та

на цій основі створити типові технологічні процеси для галузі поліграфічного машинобудування, що ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхонь за умови тонкого кубанітового шліфування нових композитних підшипників на основі шліфувальних відходів сталей 7ХГ2ВМФ і 86Х6НФТ з домішками твердого мастила CaF_2 та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки інструмента й основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення підшипників ковзання.

Матеріали і результати досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної проблеми виконувались згідно з методикою, наведеною у працях [3–9]. Їх результати подані в табл. 1.

Таблиця 1. Параметр шорсткості R_a при тонкому кубанітовому шліфуванні підшипникового композитного сплаву [1]

Поперечна подача S_p , мм/подв. хід	Швидкість виробу V_B (поздовжня подача), м/хв	Глибина шліфування t , мм		
		0,002	0,01	0,05
		R_a , мкм		
0,1	2	0,270	0,352	0,685
	5	0,321	0,400	0,719
	10	0,330	0,423	0,865
0,2	2	0,351	0,430	0,934
	5	0,410	0,419	1,058
	10	0,414	0,512	1,212
0,5	2	0,541	0,792	1,575
	5	0,626	0,879	1,798
	10	0,650	0,955	1,020
1,0	2	0,821	0,954	2,100
	5	0,927	1,075	2,410
	10	1,033	1,155	2,620

Примітка. Верстат – FF-350 “Abawerek” (ФН), абразив – КНБМ14Бр на бакелітно-гумовій зв'язці, швидкість круга – 22 м/с, обробка – без охолодження.

Аналіз даних табл. 1 показує, що параметр шорсткості R_a змінюється зі зміною режимних факторів оброблення – глибини шліфування, поперечної та поздовжньої подач.

Обробка експериментів за допомогою статистичних методів, зокрема із застосуванням методу Ст'юдента для випадку залежних змінних оброблених зразків за фіксованих значень двох варіюючих величин (наприклад, V_B , t) та при змінній третій величині (наприклад, S_p), показала, що досліджені сукупності суттєво різні.

Аналогічні результати отримані при порівнянні будь-яких вибірок для подач 0,1–1,0 мм/подв. хід та швидкостей 2–10 м/хв. До речі, зі збільшення різниці між подачами порівнюваних вибірок і різниці між швидкостями відмінності між табличним і розрахунковим розподілом Ст'юдента зростають. Це дає змогу зробити висновок, що при тонкому кубанітовому шліфуванні існує зв'язок між параметром шорсткості поверхні R_a та глибиною різання t :

$$R_a = f(t), S_p = \text{const}, V_B = \text{const}.$$

Використовуючи методи математичної статистики, неважко показати, що існує зв'язок між R_a і поперечною подачею S_p : $R_a = f(S_p)$, $t = \text{const}$, $V_B = \text{const}$.

Аналогічний статистичний зв'язок існує між R_a та швидкістю V_B : $R_a = f(V_B)$, $S_p = \text{const}$, $t = \text{const}$.

Дослідження фактичного зв'язку між шорсткістю поверхні та режимними факторами кубанітового шліфування методами кореляційного аналізу дало можливість встановити кількісні співвідношення між досліджуваними факторами: R_a-t ; R_a-S_p ; R_a-V_B ; S_p-t ; $t-V_B$, S_p-V_B .

Проведені розрахунки показують, що між факторами R_a , S_p , V_B , t існує тісний лінійний зв'язок. Формальний математичний аналіз показує, що між факторами S_p-t ; $t-V_B$, S_p-V_B зв'язок відсутній, хоча це видно із загальних технічних міркувань. Отримані коефіцієнти кореляції r_k далекі від 1. Це свідчить про те, що, крім цього фактору (для якого визначено r_k), на R_a впливають й інші фактори. Значення коефіцієнтів кореляції вказує на ступінь впливу на шорсткість поверхні досліджуваних факторів.

Найбільший вплив на параметр шорсткості чинять глибина різання та поперечна подача, найменший – швидкість виробу.

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд:

$$R_a = 0,2595 \cdot S_p + 5,2 \cdot t + 0,0051 \cdot V_B - 0,0047. \quad (1)$$

Аналіз формули (1) показує, що найбільше на параметр шорсткості R_a впливають глибина шліфування t та поперечна подача S_n , а найменше – швидкість виробу V_b .

Точність цієї моделі можна підвищити, якщо поділити весь діапазон режимів плоского шліфування на дві групи:

I-ша група: $S_n = 0,01-0,04$ мм/подв. хід; $t = 0,002-0,01$ мм; $V_b = 2-5$ м/хв.

II-га група: $S_n = 0,5-1,0$ мм/подв. хід; $t = 0,02-0,05$ мм; $V_b = 6-17$ м/хв.

Після деяких перетворень рівняння (1) може бути трансформоване і набуде вигляду:

I-ша група:

$$R_a = 0,2593 \cdot S_n + 5,22 \cdot t + 0,0051 \cdot V_b - 0,0037; (2)$$

II-га група:

$$R_a = 0,2593 \cdot S_n + 5,22 \cdot t + 0,0052 \cdot V_b - 0,054. (3)$$

Розраховані за формулами (2), (3) значення R_a відрізняються від експериментальних на 12–15 %, що дає змогу використовувати формули для практичних розрахунків. Наприклад, знаючи конкретні значення S_n , t , V_b , для алмазного інструмента можна орієнтовно визначити, яким буде параметр R_a та оцінити (з точки зору вимог, що ставляться до підшипників) прийнятність вибраних режимів кубанітового шліфування.

Слід зазначити, що отримані висновки підтверджуються при тонкому кубанітовому шліфуванні кругами різної зернистості – M50, M28, M14 і M7. Відповідні експериментальні дані наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 дає змогу зробити суттєві практичні висновки: найменшу шорсткість поверхні в досліджуваному діапазоні зернистості інструмента (7–100 мкм) забезпечують кубанітові круги із зернистістю 7 мкм. Ці результати можуть бути пояснені загальним положенням теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхні зі зростанням зернистості обумовлюється збільшенням перерізу a_z зрізу шару металу. Покращення шорсткості також пояснюється і тим, що зерна кубаніту мають достатньо гостру форму (досить гострий кут загострення при вершині зерна) та найменший (порівняно з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення поодинокого зерна (табл. 3).

Таблиця 2. Вплив зернистості інструмента на R_a при тонкому плоскому кубанітовому шліфуванні заготовок композитних підшипників на основі відходів інструментальних сталей [6–9]

Характеристики абразивного круга	Матеріал зразків		
	86Х6НФТ + 5 % CaF ₂	4ХМНФС + 5 % CaF ₂	5ХЗВЗМФС + 5 % CaF ₂
	R_a , мкм		
КНБ10Бр1	0,900	0,910	0,927
КНБ5Бр1	0,850	0,875	0,895
КНБМ28Бр1	0,245	0,783	0,269
КНБМ20Бр1	0,210	0,652	0,224
КНБМ14Бр1	0,195	0,203	0,210
КНБМ10Бр1	0,175	0,181	0,200
КНБМ7Бр1	0,157	0,165	0,182
63СМ14Гл	0,621	0,673	0,681
63СМ7Гл	0,358	0,367	0,384

Примітка. Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режим шліфування: швидкість круга – 22 м/с; поздовжня подача (швидкість виробу) – 2 м/хв; поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід; глибина різання – 0,002 мм; обробка – без охолодження.

Таблиця 3. Середні значення геометрії кута ріжучих зерен із різних абразивних матеріалів [10, 14, 15].

Абразивний матеріал	Зернистість	Геометрія вершини зерна	
		Радіус заокруглення ρ , мкм	Кут при вершині, град
Алмази природні А	A10/8	2,8	78,1
	A6/5	2,3	73,3
	AM14/10	1,6	70,2
Алмази синтетичні АС	АС10/8	2,2	57,4
	АС6/5	1,1	52,2
	АСМ 14/10	0,7–0,8	49,5
Кубічний нітрид бору	КНБ 10/8	2,5	59
	КНБ 6/5	1,3	54
	КНБ М14/10	0,9–1,1	51
Карбід кремнію зелений	63С10	7,5	95,1
	63СМ28	2,3	920,1
	63СМ14	2,0	90,6
Електрокорунд білий	23А10	9,5	98,3
	23АМ28	2,7	94,7
	23АМ14	2,4	92,5

У результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметра шорсткості R_a

із зернистістю A інструмента з кубаніту, що має вигляд

$$R_a = 0,0053A - 0,0071. \quad (4)$$

Таким чином, знаючи зернистість кубанітного круга A , можна розрахувати R_a і впевнитись у тому, що вибраний інструмент забезпечить вимоги до якості робочих поверхонь підшипників ковзання. Це значно спрощує зусилля технологів-практиків при раціональному виборі шліфувального інструмента під час проектування технологічних процесів.

Суттєвим питанням є і те, як впливає склад зв'язки алмазного круга на параметр шорсткості поверхні, результати дослідження якого наведені в табл. 4.

Слід зауважити, що основні експерименти проводились на зразках композитів, отриманих на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі 86Х6НФТ з домішками твердого мастила CaF_2 , і дещо обмежена кількість дослідів виконувалась на зразках композитів з інших сталей, зокрема 4ХМНФС, 7ХГ2ВМФ і 5ХЗВ3МФС, для встановлення загальних закономірностей.

Таблиця 4. Вплив матеріалу зв'язки кубанітового круга на параметр шорсткості обробленої поверхні зразків із композитів на основі відходів сталі 86Х6НФТ при плоскому шліфуванні

Характеристика абразивного інструмента	Матеріал зв'язки круга	R_a , мкм
КНБ5Б1	Бакелітна Б1	0,918
КНБ5Бр1	Бакелітно-гумова Бр1	0,850
КНБ5К1	Керамічна К1	1,201
КНБ5М1	Металева М1	1,179
КНБМ28Б1	Бакелітна Б1	0,289
КНБМ28Бр1	Бакелітно-гумова Бр1	0,245
КНБМ28К1	Керамічна К1	0,485
КНБМ14Б1	Бакелітна Б1	0,225
КНБМ14Бр1	Бакелітно-гумова Бр1	0,195
КНБМ14К1	Керамічна К1	0,370
КНБМ10Бр1	Бакелітно-гумова Бр1	0,175
КНБМ7Бр1	Бакелітно-гумова Бр1	0,157

Примітка. Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режим різання: швидкість круга – 22 м/с; поздовжня подача (швидкість виробу) – 2 м/хв; поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід; глибина різання – 0,002 мм; шліфування – без охолодження.

Аналізуючи дані табл. 4, необхідно зазначити, що найкращі значення параметра шорсткості поверхонь оброблення деталей із нових

композитних сплавів на основі інструментальних сталей забезпечують кубанітові круги на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1. Це може бути пояснено її більшою еластичною здатністю, і, отже, при шліфуванні (під час врізання ріжучого зерна в метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки. Це зумовлює фактичне зменшення глибини різання. Отже, змінюються умови формування шорсткості поверхні оброблення і, як наслідок, зменшується параметр шорсткості, який є одним із найголовніших факторів, що характеризують якість поверхні після тонкого кубанітового шліфування та сприяють у подальшому істотному підвищенню зносостійкості та надійності пар тертя [3–5].

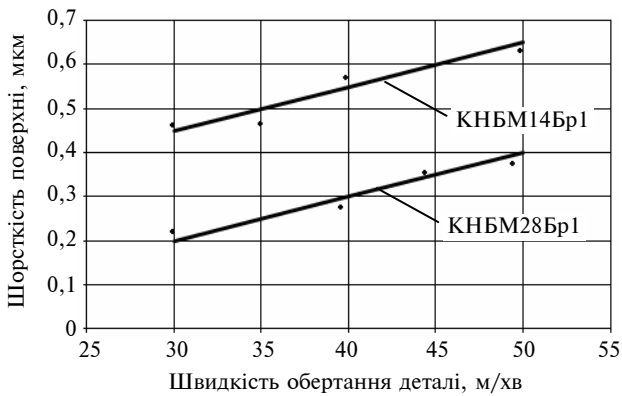
Слід зауважити, що ці висновки зроблені на підставі аналізу фактичних даних, отриманих під час експериментального дослідження із застосуванням широкої гами зв'язок (бакелітної, керамічної, металевої, бакелітно-гумової) та зернистостей кубанітового круга (100, 28, 10 і 7 кмк).

Беручи до уваги те, що фізичні явища в процесі різання металів принципово подібні для плоского, зовнішнього круглого та внутрішнього шліфування, експериментальне дослідження процесів тонкого зовнішнього круглого і внутрішнього кубанітового шліфування композитних підшипникових сплавів на основі відходів інструментальних сталей виконувалось з урахуванням наведених вище результатів. Зокрема, для дослідів використовувались тільки кубанітові інструменти зернистістю 14–28 мкм, які сформовані у шліфувальні круги бакелітно-гумовою зв'язкою (Бр1).

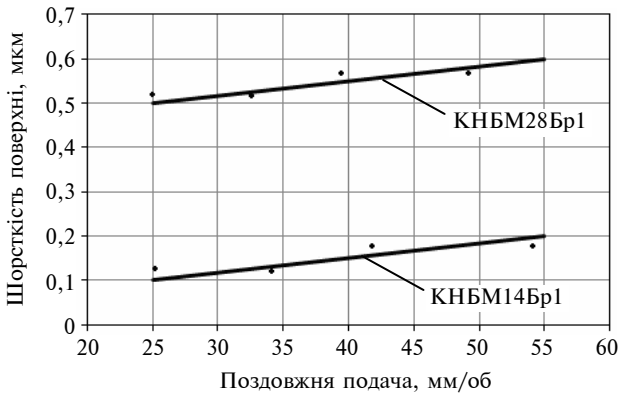
Зазначимо, що зовнішнє тонке кругле шліфування виконувалось на прецизійному верстаті AS-250 “Werkzajt” (ФРН), а для внутрішнього шліфування застосовувався прецизійний внутрішньошліфувальний верстат надвисокої точності SS-125 “Studder” (Швейцарія).

Основні результати дослідження наведені на рис. 1, 2.

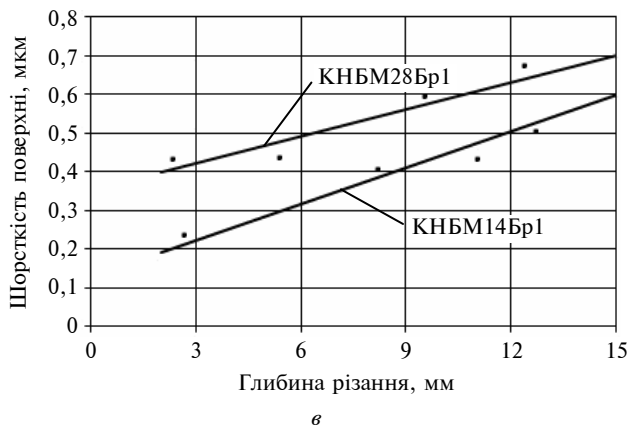
Аналіз експериментів (рис. 1) показує, що на шорсткість поверхонь деталей із нових композитних матеріалів при тонкому зовнішньому круглому кубанітовому шліфуванні (як і при плоскому шліфуванні) істотно впливають режими різання: швидкість виробу, поздовжня подача та глибина різання, а також розмір зерна абразиву і склад зв'язки кубанітового інструмента.



а



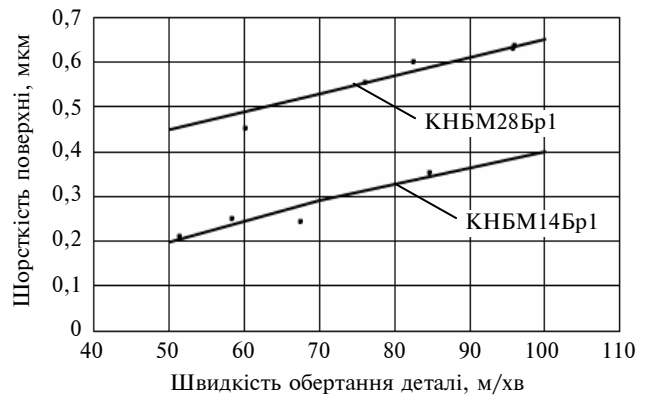
б



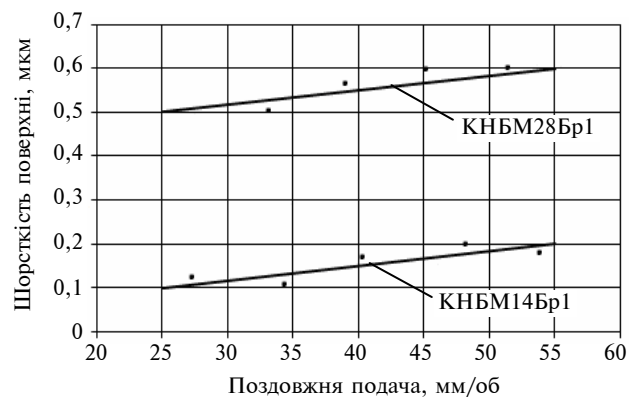
в

Рис. 1. Залежність параметра шорсткості поверхні R_a від режимів тонкого кубанітового шліфування V_B , S_n , t при зовнішньому круглому шліфуванні (кубанітового круга – $V_{кр} = 35$ м/с): а – $S = 5$ мм/об; $t = 2$ мкм; б – $V_B = 30$ м/хв; $t = 2$ мкм; в – $V_B = 30$ м/хв; $S = 5$ м/об

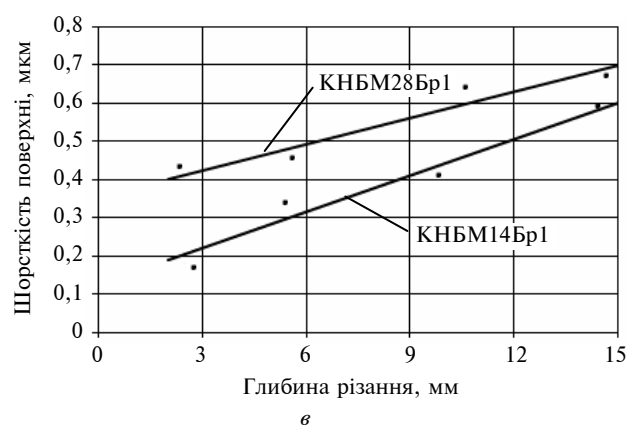
Аналогічно до плоского кубанітового шліфування найкращу якість оброблених зовнішніх поверхонь композитних циліндричних деталей (за параметром шорсткості R_a) тонким круглим зовнішнім кубанітовим шліфуванням забезпечує застосування інструментів на основі кубаніту на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) зер-



а



б



в

Рис. 2. Залежність параметрів шорсткості поверхні R_a від режимів тонкого кубанітового шліфування V_B , S_n , t при тонкому круглому внутрішньому шліфуванні (швидкість алмазного круга $V_{кр} = 50$ м/с): а – $S_n = 30$ мм/об; $t = 2$ мкм; б – $V_B = 50$ м/хв; $t = 2$ мкм; в – $V_B = 50$ м/хв; $S_n = 30$ м/об. Матеріал оброблення – 86Х6НФТ

нистістю 14–28 мкм (Б14–Б28) та застосування тонких режимів шліфування ($V_B \rightarrow \min$; $S_n \rightarrow \min$; $t \rightarrow \min$).

Схожі результати отримані при тонкому круглому внутрішньому кубанітовому шліфу-

ванні робочих поверхонь тертя підшипників ковзання з нових композитних сплавів на основі відходів інструментальних сталей.

Результати експериментів наведені на графіках (рис. 2).

Аналіз рис. 2 показує, що при застосуванні для прецизійного внутрішнього кубанітового шліфування деталей із нових композиційних сплавів на основі відходів інструментальних сталей з використанням для оброблення кубанітових кругів зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці на параметр шорсткості поверхні оброблення найбільше впливають глибина різання, поздовжня подача та швидкість обертання деталі. Найкращі результати за параметром якості R_a (тобто отримання мінімальної шорсткості поверхні) забезпечують тонкі режими кубанітового шліфування, а саме мінімально можливі (з точки зору технічних можливостей верстата) режими різання: глибина шліфування, поздовжня подача та швидкість обертання деталі.

Доцільно зазначити, що наведені результати тісно корельовані з отриманими авторами статті даними про залежність витрат кубаніту від поперечної подачі при круглому шліфуванні сплавів 4ХМНФС, 7ХГ2ВМФ, 5ХЗВЗМФС, 86Х6НФТ (рис. 3) й одержаними даними працездатності кубанітових кругів на еластичних зв'язках при тонкому шліфуванні композитного матеріалу 86Х6НФТ (табл. 5).

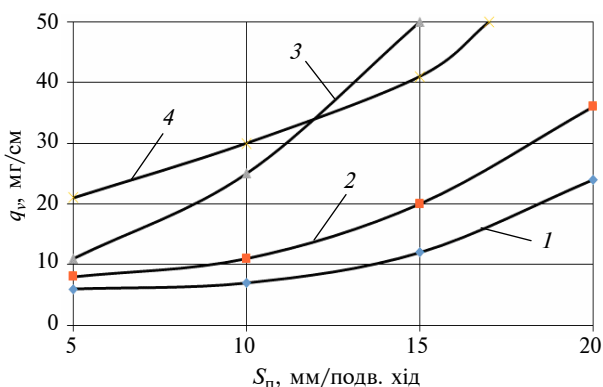


Рис. 3. Залежність витрат кубаніту від поздовжньої подачі при круглому внутрішньому шліфуванні композитних сплавів: 1 – 86Х6НФТ; 2 – 4ХМНФС; 3 – 7ХГ2ВМФ; 4 – 5ХЗВЗМФС. Режим різання: швидкість круга – 50 м/с, швидкість виробу – 50 м/хв, поздовжня подача – 20 мм/подв. хід, глибина різання – 2 мкм. Шліфувальний інструмент – круг КНБМ14Бр1 100 %

Розрахунки витрат q_v (мг/см) кубанітових шліфувальних кругів важкооброблюваних висо-

колегованих композиційних матеріалів типу 86Х6НФТ можливо досить точно вести згідно з формулою

$$q_v = 3,4 \cdot 10^3 (P_z / P_p n_p F_k), \quad (5)$$

де P_z – сила різання, Н, P_p – оптимальний інтервал показника міцності кубанітових зерен [14], n_p – кількість працюючих зерен кубаніту на одиницю поверхні шліфувального круга (шт/мм²), [15], F_k – контурна площа контакту системи інструмент–деталь [10].

Результати досліджень дають змогу прогнозувати основні показники оброблення (для умов застосування кубанітових шліфувальних кругів під час фінішної обробки високолегованих композитів із відходів інструментальних сталей), а саме – очікуваних параметрів шорсткості поверхонь деталей і ступеня зношування кубанітових інструментів.

Так, для тонкого кубанітового шліфування важкооброблюваних композитних сплавів типу 7ХГ2ВМФ і 86Х6НФТ (саме властивості цих матеріалів спонукають використовувати для тонкого шліфування кубанітові круги) зношування кругів з КНБ більш ніж у п'ять разів перевищує витрати алмазних кругів. Аналіз робочої поверхні кругів показує, що на поверхні кубанітових кругів до 90 % зерен залишаються гострими чи мають площадки зношення, тоді як на робочій поверхні алмазних кругів до 80 % зерен зруйновані, гострих – немає, і тільки приблизно 10 % зерен мають площадки зношення.

Як видно з рис. 3, кубанітові круги мають мінімальне зношення при обробці композитних сплавів 86Х6НФТ, дещо більше – при шліфуванні сплаву 4ХМНФС. За малих значень S_n витрати кругів при шліфуванні композиту 7ХГ2ВМФ у результаті більш високої міцності та твердості за низьких температур вищі, ніж при обробці сплаву 86Х6НФТ. З підвищенням S_n витрати кубаніту при обробці зростають інтенсивніше і при поперечних подачах більше 0,01 мм/подв. хід вже перевищують витрати при обробці інших високолегованих композитів.

На продуктивність фінішного кубанітового шліфування істотно впливає початкова шорсткість поверхні. При першому проході круг дотикається до вершин мікронерівностей, питомий тиск досягає високих значень і знімається більший шар металу. При наступних проходах шорсткість поверхні деталі менша, тому реаль-

на площа контакту круга з оброблюваною поверхнею збільшується, а питомий нормальний тиск і величина зніманого шару металу знижуються. Зі збільшенням швидкості різання та повздовжньої подачі зняття металу підвищується майже пропорційно. Це можна пояснити збільшенням кількості зустрічей з оброблюваною поверхнею за одиницю часу.

У табл. 5 наведені деякі дані працездатності кубанітових кругів на еластичних зв'язках при шліфуванні деталей із композитного сплаву 86Х6НФТ, синтезованого з відходів інструментальних сталей.

Відомо [10, 15], що до зв'язки шліфувальних кругів ставляться суперечливі вимоги: з одного боку, зв'язка забезпечує міцність утримання абразивних зерен, і тому для підвищення ефективності шліфування її міцність та твердість повинні бути якомога вищими; з іншого — зв'язка значною мірою визначає режим роботи круга (самозагострення чи затуплення) і температуру в зоні шліфування, отже, для забезпечення мінімальної роботи зовнішнього тертя бажано, щоб міцність та твердість зв'язки були якомога нижчими. У зв'язку з цим інтенсифікація процесу шліфування досягається впорядкуванням структури робочого шару кругів агрегуванням абразивних зерен.

Таблиця 5. Дані працездатності кубанітових кругів на еластичних зв'язках [15] при фінішному круглому внутрішньому шліфуванні композиту 86Х6НФТ

Тип зв'язки	Зняття металу Q_v , мм/хв	Витрати круга q_v , мг/см ³	Параметр шорсткості R_a , мкм
Б3	100	67	0,76
Б2	61	140	0,69
Бр4	48	230	0,57
Бр3	88	60	0,45
Бр2	13	331	0,40
Бр1	15	50	0,18

Примітка. Режим різання: $V_{кр} = 50$ м/с; $V_b = 50$ м/хв; $S_n = 30$ мм/подв. хід; $t = 2$ мкм; шліфувальне зерно круга — КНБМ14.

У цьому випадку шліфувальні круги складаються ніби з двох зв'язок. Одна, яка з'єднує ріжучі зерна й агрегати, має більш високі порівняно з існуючими зв'язками властивості і забезпечує більш міцне утримання зерен, друга утримує такі агрегати в кругах.

Вибір зв'язки кругів проводиться порівнянням працездатності Q_v кругів на органічних

зв'язках Б1, Б4, Б8, Б11 і Бр1 зі звичайних агрегативних абразивів.

Таблиця 6. Результати випробувань кругів із кубаніту зернистістю 28/14 при внутрішньому шліфуванні композитного сплаву 7ХГ2ВМФ + 5 % СаF₂

Зв'язка круга	Кубаніт	Витрати круга q_v , мг/см ³ , при продуктивності Q_v , мм ³ /хв		
		130	260	400
Бр1	Звичайний	13,0	24,5	50,2
	Агрегативний	6,0	15,5	31,1
Б1	Звичайний	13,2	24,1	70,2
	Агрегативний	6,2	15,7	29,6
Б4	Звичайний	7,0	101,4	210,6
	Агрегативний	5,4	20,3	42,9
Б8	Звичайний	—	—	—
	Агрегативний	5,4	15,6	58,5
Б11	Звичайний	6,8	21,0	38,4
	Агрегативний	4,2	10,2	21,4

Примітка. Режим різання: $V_{кр} = 50$ м/с; $V_b = 50$ м/хв; $S_n = 30$ мм/подв. хід; $t = 2$ мкм; шліфування з охолодженням мастильно-охолоджувальною рідиною.

Випробування показали, що при шліфуванні з продуктивністю 130 мм³/хв питомі витрати кубаніту на різних органічних зв'язках становлять від 7 до 13 мг/см³.

Подальше збільшення продуктивності шліфування призведе до різкого підвищення питомих витрат кубаніту, в той час як ці показники для агрегативних кругів підвищуються значно менше (найвірогідніше — це результат дії температурних явищ у зоні різання). При продуктивності 400 мм³/хв питомі витрати кругів з агрегативного кубаніту менші за витрати кругів звичайного складу в 2,5–7 разів. Враховуючи увесь достатньо широкий діапазон продуктивності внутрішнього кубанітового шліфування (130–400 мм³/хв) для виробничої практики слід рекомендувати кубанітові інструменти на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1.

Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

Вперше досліджено питання тонкого кубанітового оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих і регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей.

Показано, що основні закономірності тонкого прецизійного кубанітового шліфування нових композиційних сплавів збігаються при пло-

скому, круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні.

Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення істотно впливають зернистість, матеріал кубанітового круга та режим тонкого кубанітового шліфування.

Найкращі показники параметру R_a , які задовольняють вимоги до поверхонь тертя деталей поліграфічних машин, забезпечують шліфувальні круги з кубаніту зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці та тонкі режими різання, а саме:

– для плоского кубанітового шліфування: швидкість круга – 22 м/с, поздовжня подача – 2 м/хв, поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід, глибина різання – 2 мкм;

– для зовнішнього круглого кубанітового шліфування: швидкість круга – 30–45 м/с, швидкість виробу – 30 м/хв, поздовжня подача – 30 мм/об, поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід, глибина різання – 2 мкм;

– для круглого внутрішнього кубанітового шліфування: швидкість круга – 40–45 м/с, поздовжня подача – 50 м/хв, поперечна подача – 30 мм/об., глибина різання – 2 мкм.

У подальшому є доцільним виконання досліджень з покращення якості поверхонь оброблення деталей поліграфічних машин, зокрема параметрів шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару оброблення, застосуванням найновітніших шліфувальних інструментів – кругів з ельбору та боразону.

Список літератури

1. *Антифрикційний* композиційний матеріал на основі інструментальної сталі: Пат. України № 102299; МПК С22С33/02 / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш та ін. – Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 13.
2. *Підшипниковий* антифрикційний матеріал на основі інструментальної сталі: Пат. України № 60522, МПК С22С 33/02 (2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
3. *Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.
4. *Новітні* технології виробництва стандартизованих виробів: Монографія / О.А. Гавриш, Ю.Ю. Віщок, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 204 с.
5. *Новітні* технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації: Монографія / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 196 с.
6. *Вплив* абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / А.П. Гавриш, А.В. Шевчук, Т.А. Роїк та ін. // *Технологія і техніка друкарства*. – 2013. – № 3. – С. 119–127.
7. *Аналіз* параметрів якості поверхонь підшипників ковзання з композиційних сплавів для друкарських машин при абразивному шліфуванні / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок // *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. – 2013. – № 1. – С. 63–67.
8. *Силове* поле при тонкому шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської техніки / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок // *Прогресивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов.* – ДонНУ, 2013. – Вып. 1-2 (45). – С. 85–90.
9. *Дослідження* температур при тонкому абразивному шліфуванні деталей з композитів на основі відходів інструментальних сталей / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок // *Вісник Тернопіль. нац. техн. ун-ту*. – 2013. – № 1 (69). – С. 125–130.
10. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.
11. *Грабченко А.И.* Расширение возможностей алмазного шлифования: Монография. – Харьков: Высшая школа, 1985. – 298 с.
12. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
13. *Ящерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Мн.: Беларусь, 1989. – 312 с.
14. *Рабочие* процессы высоких технологий в машиностроении: Учеб. пособие / Под. ред. А.И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 436 с.
15. *Сверхтвердые* материалы. Получение и применение: Монография в 6 т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ, 2007. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / Под ред. А.А. Шепелева. – 340 с.
16. *Основи* теорії різання матеріалів: Підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок та ін.; за заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ-2000, 2010. – 423 с.