

## ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 621.923.6: 621.318.4: 621.002.3

Гавриш А.П., д.т.н., Роїк Т.А., д.т.н., Гавриш О.А., д.т.н., Віцюк Ю.Ю., к.т.н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ШВИДКІСНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ З НОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ПРИ БОРОЗОНОВОМУ ШЛІФУВАННІ

*Наведено результати експериментального дослідження тонкого боронозового шліфування високолегованих композитних сплавів синтезованих з відходів інструментального виробництва для обробки поверхонь підшипників ковзання технологічних комплексів. Показано переваги обробки боронозовими кругами. Розроблені рекомендації по вибору режимів різання для тонкого боронозового шліфування підшипників ковзання з нових композитних сплавів для високошвидкісних ротаційних поліграфічних машин та компресорних станцій газогонів, які забезпечують вимоги отримання відповідних параметрів шорсткості поверхонь.*

Швидкісні підшипники ковзання, шорсткість поверхонь, боронозове шліфування, режими різання.

**Вступ.** Вимоги до якості поверхонь деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають, що обумовлюється безперервним підвищенням важливих експлуатаційних параметрів сучасної техніки і, в першу чергу, зростанням термінів служби деталей, механізмів і у цілому машин.

Останнім часом для суттєвого збільшення термінів експлуатації підшипників ковзання технологічних систем були синтезовані та впроваджені у виробництво нові самозмащувальні підшипники ковзання з композиційних матеріалів, створених на основі регенованих шліфувальних відходів інструментальних легованих сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ , і які здатні успішно функціонувати при швидкостях обертання 600–800 об./хв. і питомих тисках 2,0–4,0 МПа багатьох друкарських машин [1–5].

При виготовленні деталей вузлів тертя друкарських машин КВА «Rapida–105», «STAR BINDER 1509» та ін. застосовуються підшипники ковзання, технологія механічної обробки яких побудована таким чином, що на фінішних операціях технологічного процесу використовують абразивне шліфування та надтонке магніто-абразивне (МАО) оброблення [3].

З точки зору оптимізації параметрів якості поверхонь оброблення достатньо детально було досліджено процеси тонкого абразивного шліфування та МАО [6–10] та створені відповідні технологічні рекомендації.

На жаль, процеси тонкого шліфування з використанням найсучасніших інструментів на базі кубічного нітриду бора (кубаніт, ельбор, бороноз) нових високолегованих композиційних деталей тертя, виготовлених на основі вторинної сировини, зокрема, на основі шліфувальних відходів сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС, залишились взагалі не дослідженими, хоча вони, внаслідок дії відомого [2] принципу технологічної спадкоємності, на 80–90% формують умови отримання найякісніших поверхонь тертя композитних підшипників друкарських машин. В науково-технічній літературі є багато публікацій із застосування інструментів з надтвердих синтетичних матеріалів для обробки деталей різних галузей виробництва [11–21]. Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування боронозового шліфування (перш за все, завдяки особливостям інструменту) дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Втім відсутність технологічних рекомендацій з боронозового шліфування високолегованих та важкооброблюваних композитних сплавів призводить до застосування на практиці різних технологічних схем шліфування, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає

поширення різних технологій, часто суттєво різних, і які здебільшого створені відповідно до можливостей того чи іншого підприємства.

Усе це вимагає від науковців і практиків всебічно дослідити процеси тонкого боразонового шліфування підшипників ковзання з нових композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей та на цій основі створити типові технологічні процеси для технологічних комплексів, що ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

**Мета і завдання досліджень.** Метою даної роботи було дослідження параметрів шорсткості поверхонь при тонкому боразоновому шліфуванні нових композитних підшипників на основі шліфувальних відходів сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$  та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки інструменту і основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення досліджуваних деталей.

**Результати досліджень.** Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною у роботах [2-4, 9, 10, 14]. Їх результати наведені у табл. 1.

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

Таблиця 1.

Параметр шорсткості  $R_a$  при тонкому плоскому шліфуванні підшипникового композитного сплаву [1]

Поперечна подача $S_{\text{поп}}$ , мм/подв. хід	Швидкість виробу (поздовжня подача) $V_B$ , м/хв.	Глибина шліфування $t$ , мм		
		0,002	0,01	0,05
		$R_a$ , мкм		
0,1	2	0,205	0,275	0,315
	5	0,257	0,284	0,337
	10	0,273	0,321	0,391
0,2	2	0,305	0,348	0,405
	5	0,337	0,373	0,485
	10	0,350	0,403	0,517
0,5	2	0,380	0,426	0,579
	5	0,407	0,480	0,629
	10	0,415	0,500	0,672
1,0	2	0,438	0,527	0,721
	5	0,473	0,545	0,773
	10	0,525	0,607	0,838

Примітки: Верстат – FF-350 «Abawerk» (ФРН), абразив – боразон (Вo), зернистістю 14 мкм (M14) на гумово-бакелітній зв'язці GB1, швидкість круга – 22 м/с, обробка – без охолодження.

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

Аналогічні результати отримані при порівнянні вибірок для подач 0,1–1,0 мм/подв. хід та швидкостей 2–10 м/хв. Слід зауважити, що зі збільшенням різниці між подачами порівнюваних вибірок і різниці між швидкостями відмінності між табличним та розрахунковим розподілом Ст'юдента зростають. Це дозволяє зробити висновок, що існує зв'язок між параметром шорсткості поверхні  $R_a$  та глибиною різання  $t$ :  $R_a = f(t)$ ,  $S_{\text{поп}} = \text{const}$ ,  $V_B = \text{const}$ .

Використовуючи методи математичної статистики, неважко показати, що існує зв'язок між параметром  $R_a$  та поперечною подачею  $S_{\text{поп}}$ :

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

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

Дослідження фактичного зв'язку між шорсткістю поверхні та режимними факторами шліфування методами кореляційного аналізу дозволило встановити кількісні співвідношення між досліджуваними факторами.

Для отримання рівняння множинної кореляції на основі наведених експериментальних даних були знайдені коефіцієнти кореляції парних залежностей  $R_a - t$ ;  $R_a - S_{\text{п.}}$ ;  $R_a - V_{\text{в.}}$ ;  $S_{\text{п.}} - V_{\text{в.}}$ ;  $S_{\text{п.}} - t$ ;  $t - V_{\text{в.}}$ .

Проведені розрахунки показують, що між факторами  $R_a$ ,  $S_{\text{п.}}$ ,  $V_{\text{в.}}$ ,  $t$  існує щільний лінійний зв'язок. Формальний математичний аналіз показує, що між факторами  $S_{\text{п.}} - t$ ;  $t - V_{\text{в.}}$  та  $S_{\text{п.}} - V_{\text{в.}}$  зв'язок відсутній, хоча це видно із загальних технічних міркувань. Отримані коефіцієнти кореляції  $r_k$  далекі від 1. Це свідчить про те, що крім даного фактору (для якого визначено  $r_k$ ), на параметр шорсткості  $R_a$  впливають й інші фактори. Значення коефіцієнтів кореляції вказує на ступінь впливу на шорсткість поверхні досліджуваних факторів.

Найбільший вплив на параметр шорсткості  $R_a$  чинять глибина різання  $t$  та поперечна подача  $S_{\text{п.}}$ , найменше – швидкість випробу  $V_{\text{в.}}$ .

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд:

$$R_a = 0,253S_{\text{п.}} + 5,21t + 0,0053 V_{\text{в.}} - 0,0437 \quad (1)$$

Аналіз формули (1) показує, що на параметр шорсткості  $R_a$  чинять найбільший вплив глибина шліфування  $t$  та поперечна подача  $S_{\text{п.}}$ , а найменший – швидкість виробу  $V_{\text{в.}}$ .

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

I-а група:

- Поперечна подача  $S_{\text{п.}} = 0,01-0,02$  мм/подв.хід;
- Глибина шліфування  $t = 0,002-0,100$  мм;
- Швидкість виробу  $V_{\text{в.}} = 2,0-4,0$  м/хв.

II-а група:

- Поперечна подача  $S_{\text{п.}} = 0,5-1,0$  мм/подв.хід;
- Глибина шліфування  $t = 0,02-0,05$  мм;
- Швидкість виробу  $V_{\text{в.}} = 5,0-15,0$  м/хв.

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

I-а група:

$$R_a = 0,2551S_{\text{п.}} + 5,21t + 0,0049 V_{\text{в.}} - 0,0038 \quad (2)$$

II-а група:

$$R_a = 0,2551S_{\text{п.}} + 5,21t + 0,0049 V_{\text{в.}} - 0,0533 \quad (3)$$

Розраховані за формулами (2) та (3) значення  $R_a$  відрізняються від експериментальних на 12 – 15%, що дозволяє використовувати дані формули для практичних розрахунків. Наприклад, знаючи конкретні значення  $S_{\text{п.}}$ ,  $t$ ,  $V_{\text{в.}}$  для даного боразонового інструменту, можна орієнтовно визначити яким буде параметр  $R_a$  та оцінити (з точки зору вимог, що висуваються до підшипників) прийнятність вибраних режимів шліфування.

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

Таблиця 2.

Вплив зернистості інструменту на параметр шорсткості поверхні  $R_a$  при тонкому плоскому боразоному шліфуванні заготовок композитних підшипників на основі відходів інструментальних сталей [6–9]

Характеристика боразонового (ЛО) інструменту	Матеріал зразків		
	86Х6НФТ+5%CaF <sub>2</sub>	4ХМНФС+5%CaF <sub>2</sub>	5Х3В3МФС+5%CaF <sub>2</sub>
	R <sub>a</sub> , мкм		
Bo10 GB1	0,907	0,924	0,941
Bo5 GB1	0,869	0,897	0,900
BoM28 GB1	0,261	0,270	0,277
BoM20 GB1	0,219	0,235	0,286
BoM14 GB1	0,205	0,221	0,225
BoM10 GB1	0,195	0,210	0,217
BoM7 GB1	0,163	0,179	0,183
63СМ14Гл	0,621	0,673	0,681
63СМ7Гл	0,358	0,367	0,384

Примітки: Верстат – FF-350 «Аbawerk» (ФРН); режими 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.

Аналіз даних табл. 2 дозволяє зробити суттєві практичні висновки: найменшу шорсткість поверхні у досліджуваному діапазоні зернистості інструменту (7 – 100 мкм) забезпечують боразонові круги з зернистістю 7 мкм. Ці результати можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхонь зі зростанням зернистості обумовлюється збільшенням перерізу  $a_z$  зрізу шару металу. Покращення шорсткості також пояснюється і тим, що зерна синтетичного алмазу мають достатньо гостру форму (невеликий кут загострення при вершині зерна) та мінімальний (у порівнянні з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення одиночного зерна (табл. 3).

Таблиця 3

Середні значення геометрії кута ріжучих зерен у різних абразивних матеріалів

Абразивний матеріал	Зернистість	Геометрія вершини зерна	
		Радіус заокруглення $\rho$ , мкм	Кут при вершині, град.
Алмази природні	A10/8	2,8	78,1
	A6/5	2,3	73,3
	AM14/10	1,6	70,2
Алмази синтетичні	AC10/8	2,2	57,4
	AC6/5	1,1	52,2
	ACM14/10	0,7-0,8	49,5
Боразон	Bo10/8	2,21	57,0
	Bo6/5	1,13	52,0
	BoM14/10	0,8-0,82	50,0
Карбід кремнію зелений	63C10	7,5	95,1
	63CM28	2,3	92,1
	63CM14	2,0	90,6
Електрокорунд білий	23A10	9,5	98,3
	23AM28	2,7	94,7
	23AM14	2,4	92,5

В результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметру шорсткості  $R_a$  з зернистістю  $A$  боразонового інструменту, що має вигляд:

$$R_a = 0,0052A - 0,0069 \quad (4)$$

Таким чином, знаючи зернистість боразонового шліфувального круга  $A$  можна розрахувати параметр шорсткості  $R_a$  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 інструменту під час проектування технологічних процесів.

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

Слід зауважити, що основні експерименти проводились на зразках композитів, отриманих на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі 86Х6НФ з домішками твердого мастила  $CaF_2$ , і дещо обмежена кількість дослідів виконувалась на зразках композитів з інших сталей, зокрема 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС (для встановлення загальних закономірностей).

Аналізуючи дані табл. 4, необхідно зазначити, що найкращі значення параметрів шорсткості  $R_a$  поверхонь оброблення деталей з нових композитних сплавів на основі інструментальних сталей забезпечують боразонові круги на бакелітно-гумовій зв'язці GB1. Це може бути пояснено її більш еластичною здатністю і, таким чином, при шліфуванні (під час врізання зерна, що ріже, у метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки. Це обумовлює фактичне зменшення глибини різання. Отже, змінюються умови формування шорсткості поверхні оброблення і, як наслідок, зменшується параметр шорсткості  $R_a$ , який є одним із найголовніших факторів, що характеризує якість поверхні після тонкого боразонового шліфування.

Слід зауважити, що ці висновки зроблені на підставі аналізу фактичних даних, отриманих під час експериментального дослідження із застосуванням широкої гама зв'язок (бакелітна,

керамічна, металева, бакелітно-гумова) та зернистостей боразонового круга (100, 28, 14, 10 та 7 мкм).

Таблиця 4

Вплив матеріалу зв'язки боразонового круга на параметр шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  зразків з композитів на основі відходів сталі 86Х6НФТ при плоскому шліфуванні

Характеристика абразивного інструменту	Матеріал зв'язки круга	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм
Bo5GB1	Гумово-бакелітна GB1	0,269
Bo5B1	Бакелітна B1	0,311
Bo5K1	Керамічна K1	0,407
Bo5M1	Металева M1	0,415
BoM28B1	Бакелітна B1	0,278
BoM28GB1	Гумово-бакелітна GB1	0,261
BoM28K1	Керамічна K1	0,298
BoM14B1	Бакелітна B1	0,217
BoM14GB1	Гумово-бакелітна GB1	0,205
BoM14K1	Керамічна K1	0,300
BoM10GB1	Гумово-бакелітна GB1	0,195
BoM7GB1	Гумово-бакелітна GB1	0,163

Примітки: Верстат – FF-350 «Abawerk» (ФРН); режими 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.

Приймаючи до уваги те, що фізичні явища у процесі різання металів принципово подібні для плоского, зовнішнього круглого та внутрішнього шліфування, експериментальне дослідження процесів тонкого зовнішнього круглого і внутрішнього боразонового шліфування композитних підшипникових сплавів на основі відходів інструментальних сталей виконувалось з урахуванням вищенаведених результатів. Зокрема, для дослідів використовувались боразонові інструменти з боразону Bo зернистістю 14–28 мкм, які сформовані у шліфувальні круги гумово-бакелітною зв'язкою (GB1).

Зазначимо, що зовнішнє тонке боразонове 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 досліджень наведені на рис. 1, 2.

Аналіз експериментів (рис.1) показує, що на шорсткість поверхонь деталей з нових композитних матеріалів при тонкому зовнішньому круглому боразоновому шліфуванні (як і при плоскому боразоновому шліфуванні) суттєво впливають режими різання: швидкість виробу  $V_v$ , поздовжня подача  $S_n$  та глибина різання  $t$ , а також розмір зерна та матеріал зв'язки боразонового інструменту.

Аналогічно з плоским боразоновим шліфуванням найкращу якість оброблених зовнішніх поверхонь композитних циліндричних деталей (за параметром шорсткості  $R_a$ ) тонким боразоновим круглим зовнішнім шліфуванням забезпечує застосування інструментів на основі боразону (Bo) на гумово-бакелітній зв'язці (GB1), зернистістю 14–28 мкм (M14–M28) та застосування тонких режимів шліфування ( $V_v \rightarrow \min$ ;  $S_n \rightarrow \min$ ;  $t \rightarrow \min$ ).

Схожі результати отримані при тонкому круглому внутрішньому боразоновому шліфуванні робочих поверхонь тертя підшипників ковзання з нових композитних сплавів на основі відходів інструментальних сталей.

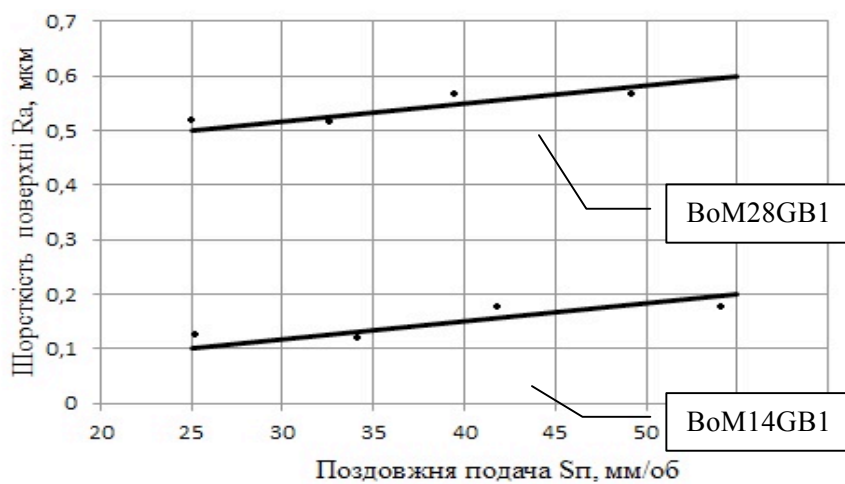
Результати експериментів наведені на графіках (рис. 2).

Аналіз рис. 2 показує, що при застосуванні для прецизійного внутрішнього боразонового шліфування деталей з нових композиційних сплавів на основі відходів інструментальних сталей з використанням для оброблення боразонової кругів на основі боразону Bo зернистістю 14-28 мкм на гумово-бакелітній зв'язці, на параметр шорсткості поверхні оброблення  $R_a$  найбільше впливають глибина різання  $t$ , поздовжня подача  $S_n$  та швидкість обертання деталі  $V_v$ . Найкращі результати за параметром якості  $R_a$  (тобто отримання мінімальної шорсткості

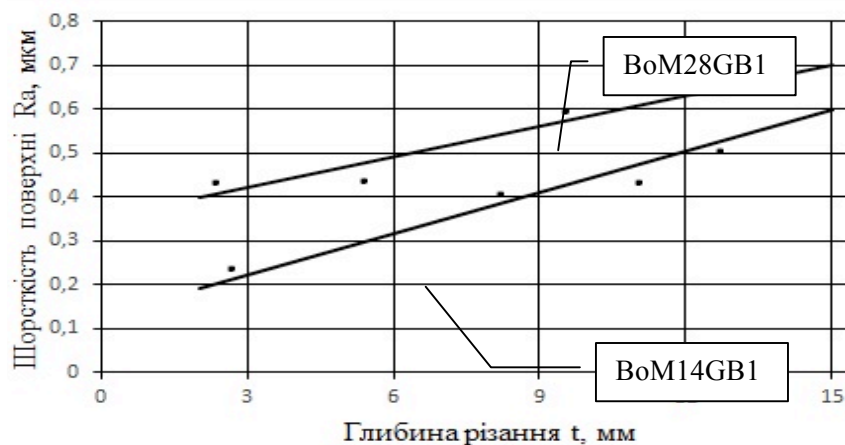
поверхні) забезпечують тонкі режими боразонового шліфування, а саме, мінімальні можливі (з точки зору технічних можливостей верстата) режими різання – глибина шліфування, поздовжня подача та швидкість обертання деталі.



а)

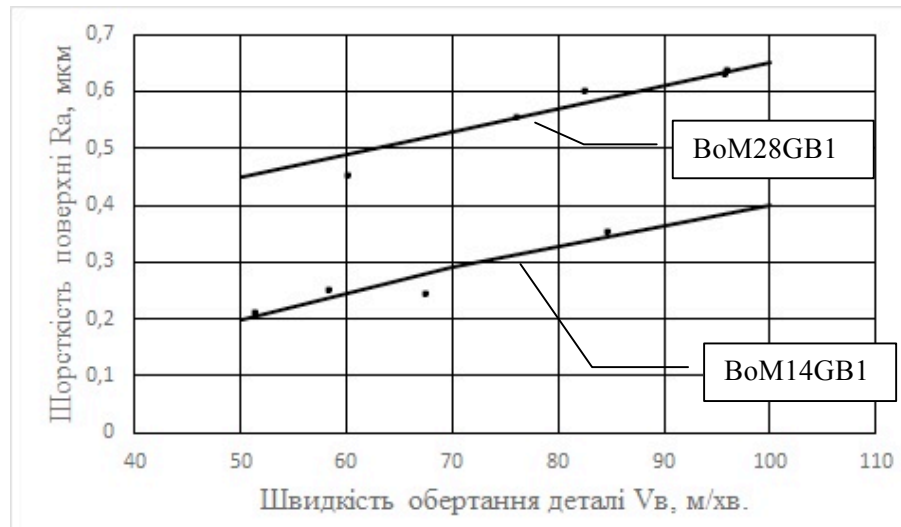


б)

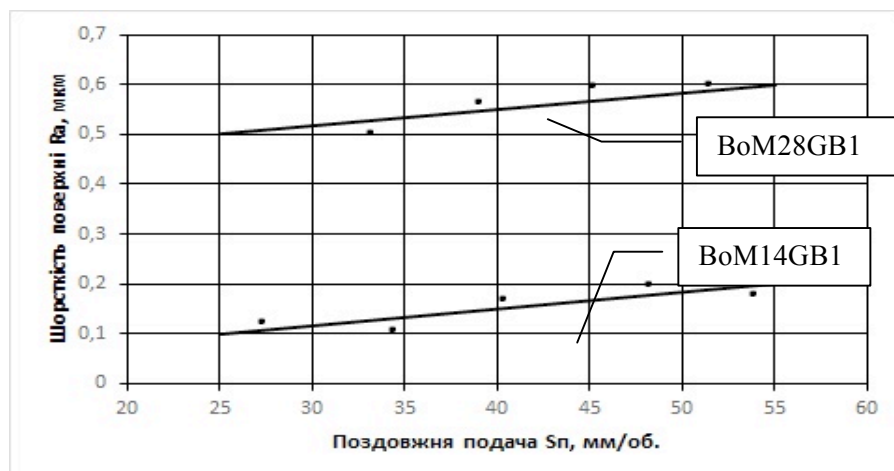


в)

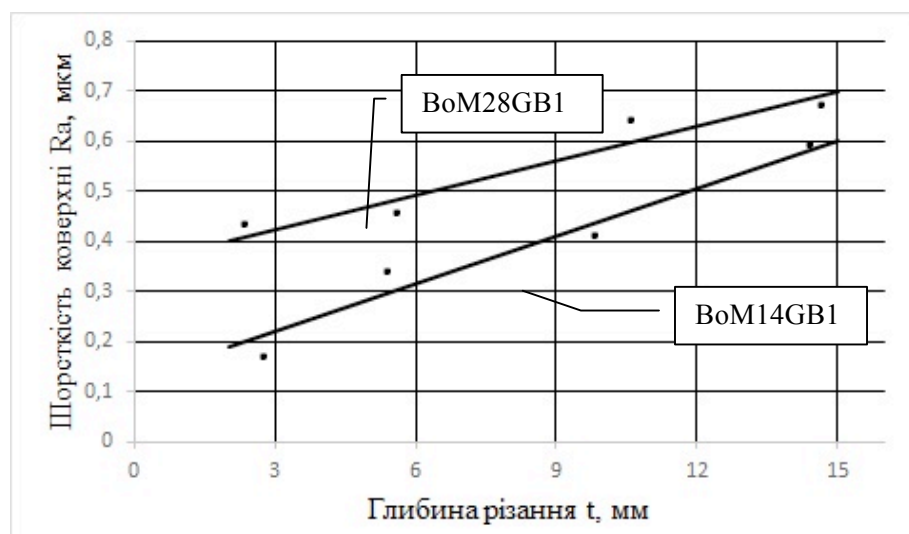
Рис. 1. Залежність параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  від режимів тонкого боразонового шліфування  $V_b$ ,  $S_p$ ,  $t$  при зовнішньому круглому шліфуванні (швидкість боразонового круга –  $V_{кр} = 30$  м/с): а)  $S = 5$  мм/об.;  $t = 2$  мкм; б)  $V_b = 30$  м/хв.;  $t = 2$  мкм; в)  $V_b =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



а)



б)



в)

Рис. 2. Залежність параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  від режимів тонкого боразонового шліфування  $V_b$ ,  $S_p$ ,  $t$  при тонкому круглому внутрішньому шліфуванні (швидкість боразонового круга –  $V_{кр.} = 40$  м/с): а)  $S_p = 30$  мм/об.;  $t = 2$  мкм; б)  $V_b = 50$  м/хв.;  $t = 2$  мкм; в)  $V_b = 50$  м/хв.;  $S_p = 30$  мм/об.

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

1. Вперше досліджено процеси тонкого бразонового оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей, що відкриває можливості одержання високоякісних деталей тертя з нових композитів для широкої гами технологічних комплексів.

2. Показано, що основні закономірності тонкого прецизійного бразонового шліфування нових композиційних сплавів співпадають при плоскому, круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні.

3. Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення  $R_a$  суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки бразонового круга та режими тонкого бразонового шліфування.

4. Найкращі показники параметру  $R_a$ , які задовольняють високі вимоги до поверхонь тертя деталей поліграфічних машин, забезпечують шліфувальні круги з бразону  $B_0$  зернистістю 14–28 мкм на гумово-бакелітній зв'язці та тонкі режими різання, а саме:

- для **плоского бразонового 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 бразонового шліфування**: швидкість абразивного круга – 30 м/с, швидкість виробу (деталі) – 30 м/хв., поздовжня подача – 30 мм/об., глибина різання – 2 мкм;

- для **круглого внутрішнього бразонового шліфування**: швидкість круга – 40 м/с, швидкість виробу – 50 м/хв., поздовжня подача – 30 мм/об., глибина різання – 2 мкм.

5. Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів та встановлення закономірностей формування параметрів якості поверхонь оброблення нових композитних деталей тертя систем машин, зокрема, параметрів шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару оброблення при тонкому шліфуванні із застосуванням найновітніших шліфувальних інструментів – кругів на основі синтетичного алмазу, бразону, ельбору та кубоніту що обумовить реалізацію подальших кроків для підвищення зносостійкості деталей такого типу та машинобудівних комплексів у цілому.

1. Патент України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01). Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П.О., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., Мельник О. О. опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.

2. Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.

3. Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., Роїк Т.А., Гавриш А.П., Войтко С.В. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів: Монографія. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2012.-204 с.

4. Патент України № 59768 А, МКИ С22С33/02 Антифрикційний композиційний матеріал на основі сталі / Роїк Т. А., опубл. 15.09.2003, Бюл. №

5. Роик Т.А. Подшипниковые высокотемпературные материалы на основе металлических порошков-отходов//Сб. науч. статей «Техніка майбутнього». – Одеса: Вид-во Одеського морського університету. – №1, 1999. – С. 3-7.

6. Новітні технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації/А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк, М.Г. Аскеров, О.А. Гавриш. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012. – 196 с.

7. Мельник О.О., Віцюк Ю.Ю., Гавриш А.П., Роїк Т.А. Вплив технології виготовлення та магнітно-абразивної обробки на властивості високошвидкісних підшипників//Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.- Серія машинобудування. - №59.- К.:НТУУ”КПІ”. – 2010. – С.75- 78.

8. Роїк Т.А., Гавриш А.П., Киричок П.О., Віцюк Ю.Ю., Мельник О.О., Холявко В.В. Принципи одержання композиційних зносостійких матеріалів на основі відходів інструментального виробництва/ Междунар. сб.науч.трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонНТУ, 2012. – Вып. 1,2 (43) . – С. 261-265.

9. Гавриш А.П., Шевчук А.В., Роїк Т.А., Ковальов В.А., Віцюк Ю.Ю., Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні//Технологія і техніка друкарства. – №3 (37). – 2012. – С. 119-127.

10. Гавриш А.П., Киричок П.О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. Силове поле при тонкому абразивному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської



техніки// Междунар. сб.науч.трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Вып. 1,2 (45). – С.35-41.

11. Ардамацкий А.Л. Борозоновая обработка оптических деталей. – Л.: Машиностроение, 1989. – 287 с.

12. Бакуль В.Н., Захаренко Н.П. Справочник по борозоновой обработке металлорежущего инструмента.- К.: Техника, 1971. – 312 с.

13. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.

14. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Фінішна борозоново-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: Вид-во ЖДТУ, 2004. – 551 с.

15. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей борозонового шлифования. – Харьков: Вища школа, 1985. – 298 с.

16. Захаренко Н.П. Борозоновые инструменты и процессы обработки. – К.: 1980. – 216 с.

17. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

18. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. – К.: Техника, 1971. – 144 с.

19. Резников А.Н. Краткий справочник по борозоновой обработке. – Куйбышев: Машиностроение, 1987. – 312 с.

20. Чеповецкий И.Х. Основы финишной борозоновой обработки.- К.: Наукова думка, 1980. – 312 с.

21. Ящерицын П.И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Минск: Беларусь, 1989. – 312 с.