

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

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

ВПЛИВ СКЛАДУ ІНСТРУМЕНТА І РЕЖИМІВ ТОНКОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

The article presents research results on the influence of tool composition and fine diamond grinding parameters on surface roughness of new composite sliding bearings for printing machines. We determine main regularities of surface roughness formation and their dependence on cutting parameters. We discover that granulosity, vehicle material of the diamond disc essentially influence surface roughness parameter Ra. We also determine that the highest values of roughness parameters are ensured at using grinding discs of the synthetic diamond with granulosity of 14–28 μm on the hard-rubber vehicle. We show that main regularities of fine precision diamond grinding of new composite materials conform at plane, round external and internal grinding. Technological parameters for plane diamond grinding, as well as for round external and internal diamond grinding of new composite friction parts are presented. We make technological recommendations for industry on choosing the grinding tool and cutting parameters. The grinding tool and technological cutting parameters can satisfy high requests for surfaces quality of new composite bearings for printing machines.

Вступ

Вимоги до якості поверхонь деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, 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 поліграфічних машин були синтезовані та впроваджені у виробництво нові самозмащувальні підшипники ковзання з композиційних матеріалів, створених на основі регенерованих шліфувальних відходів інструментальних легированих сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС і 5Х3В3МФС з домішками твердого мастила CaF_2 . Ці підшипники здатні успішно функціонувати за швидкостей обертання 600–800 об/хв і питомих тисків 2,0–4,0 МПа багатьох друкарських машин [1–5].

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

З точки зору оптимізації параметрів якості поверхонь оброблення достатньо детально було досліджено процеси тонкого абразивного шлі-

фування і МАО [6–10] та дано відповідні технологічні рекомендації.

На жаль, процеси тонкого алмазного шліфування нових високолегованих композиційних деталей тертя, виготовлених на основі вторинної сировини, зокрема на основі шліфувальних відходів сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС і 5Х3В3МФС, 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. У науково-технічній літературі є багато публікацій із застосування алмазно-абразивної обробки деталей для різних галузей виробництва [11–21]. Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування алмазного шліфування (перш за все завдяки особливостям інструмента) дає можливість отримати найкращі показники якості оброблених поверхонь.

Утім відсутність технологічних рекомендацій з алмазного шліфування високолегованих і важкооброблених композитних сплавів призводить до застосування на практиці різних технологічних схем шліфування, далеко не завжди оптимальних. Це 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 алмазного шліфування підшипників ковзання з нових

композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей та на цій основі розробити типові технологічні процеси для галузі поліграфічного машинобудування, що ілюструє актуальність вибраної теми досліджень.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхонь при тонкому алмазному шліфуванні нових композитних підшипників на основі шліфувальних відходів сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС і 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила CaF_2 та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, матеріалу зерна абразиву, типу зв'язки інструмента й основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення досліджуваних деталей тертя друкарських машин.

Матеріали і результати досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною у працях [2–4, 9, 10, 14]. Їх результати подані в 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 на основі 5ХЗВЗМФС [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	0,201	0,273	0,310
	5	0,253	0,285	0,331
	10	0,270	0,317	0,387
0,2	2	0,300	0,341	0,401
	5	0,330	0,370	0,482
	10	0,341	0,395	0,511
0,5	2	0,375	0,421	0,574
	5	0,400	0,477	0,623
	10	0,410	0,495	0,647
1,0	2	0,433	0,523	0,715
	5	0,471	0,541	0,766
	10	0,520	0,601	0,830

Примітки. Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН), абразив – АСМ14Бр1 100 % на бакелітно-гумовій зв'язці, 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) і при змінній третій величині (наприклад, $S_{\text{поп}}$), показала, що досліджені сукупності суттєво різні.

Аналогічні результати отримані при порівнянні будь-яких вибірок для подач 0,1–1,0 мм/подв. хід і швидкостей 2–10 м/хв. Слід зауважити, що зі збільшенням різниці між подачами порівнюваних вибірок та різниці між швидкостями відмінності між табличним і розрахунковим розподілами Ст'юдента зростають. Це дає змогу 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 і 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 дало змогу встановити кількісні співвідношення між досліджуваними факторами.

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

Проведені розрахунки показують, що між факторами R_a , $S_{\text{поп}}$, V_B , t існує щільний лінійний зв'язок. Формальний математичний аналіз показує, що між факторами $S_{\text{поп}} - t$; $t - V_B$ і $S_{\text{поп}} - V_B$ 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 фактора (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 $S_{\text{поп}}$, найменший – швидкість виробу V_B .

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд

$$R_a = 0,252S_{\text{поп}} + 5,2t + 0,0049V_B - 0,0430. \quad (1)$$

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

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

I-ша група:

$S_{\text{поп}} = 0,01\text{--}0,02$ мм/подв. хід; $t = 0,002\text{--}0,100$ мм; $V_B = 2,0\text{--}4,0$ м/хв;

II-га група:

$S_{\text{поп}} = 0,5\text{--}1,0$ мм/подв. хід; $t = 0,02\text{--}0,05$ мм; $V_B = 5,0\text{--}15,0$ м/хв.

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

I-ша група:

$$R_a = 0,2523S_{\text{поп}} + 5,2t + 0,0049V_B - 0,0031. \quad (2)$$

II-га група:

$$R_a = 0,2523S_{\text{поп}} + 5,2t + 0,0049V_B - 0,0530. \quad (3)$$

Розраховані за формулами (2) і (3) значення R_a відрізняються від експериментальних на 12–15 %, що дає змогу використовувати ці формули для практичних розрахунків. Наприклад, знаючи конкретні значення $S_{\text{поп}}$, t , V_B для ал-

мазного інструмента, 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 алмазному шліфуванні кругами різної зернистості – М50, М28, М14 і М7. 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 алмазні круги із зернистістю 7 мкм. Ці результати можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхонь зі зростанням зернистості зумовлюється збільшенням перерізу a_z зрізу шару металу. Покращення шорсткості також пояснюється і тим, що зерна синтетичного алмазу мають найгострішу форму (мінімальний кут загострення при вершині зерна) та найменший (порівняно з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення одиночного зерна (табл. 3).

У результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметра шорсткості R_a із зернистістю A алмазного інструмента із синтетичних алмазів (АС), що має вигляд

$$R_a = 0,0051A - 0,0068. \quad (4)$$

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

Характеристика абразивного інструмента	Матеріал зразків		
	86Х6НФТ + 5 % CaF ₂	4ХМНФС + 5 % CaF ₂	5Х3В3МФС + 5 % CaF ₂
	R_a , мкм		
АС10Бр1 100 %	0,914	0,927	0,943
АС5Бр1 100 %	0,875	0,895	0,900
АСМ28Бр1 100%	0,263	0,267	0,279
АСМ20Бр1 100%	0,220	0,224	0,287
АСМ14Бр1 100 %	0,201	0,210	0,216
АСМ10Бр1 100 %	0,183	0,200	0,207
АСМ7Бр1 100 %	0,162	0,175	0,182
63СМ14Гл	0,621	0,673	0,681
63СМ7Гл	0,358	0,367	0,384

Примітки. Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 22 м/с; $S_{\text{п}}$ – поздовжня подача – 2 м/хв; $S_{\text{поп}}$ – 0,1 мм/подв. хід; t – 0,002 мм; обробка – без охолодження.

Таблиця 3. Середні значення геометрії кута ріжучих зерен у різних абразивних матеріалів

Абразивний матеріал	Зернистість	Геометрія вершини зерна	
		Радіус заокруглення ρ , 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
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

Таким чином, знаючи зернистість алмазного 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 інструмента під час проектування технологічних процесів.

Суттєвим питанням є і те, як впливає склад зв'язки алмазного круга на параметр шорсткості поверхні R_a . Результати дослідження з цього питання наведені в 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 і 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 алмазні круги на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1. Це може бути пояснено її більшою еластичністю: при шліфуванні (під час врізання абразивного зерна в метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки. Це зумов-

лює 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 абразивного шліфування.

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

Характеристика абразивного інструмента	Матеріал зв'язки круга	Параметр шорсткості R_a , мкм
AC5B1 100 %	Бакелітна Б1	0,931
AC5Br1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,875
AC5K1 100 %	Керамічна К1	1,215
AC5M1 100 %	Металева М1	1,195
ACM28B1 100 %	Бакелітна Б1	0,315
ACM28Br1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,263
ACM28K1 100 %	Керамічна К1	0,511
ACM14B1 100 %	Бакелітна Б1	0,253
ACM14Br1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,201
ACM14K1 100 %	Керамічна К1	0,395
ACM10Br1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,183
ACM7Br1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,162

Примітки. Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими різання: швидкість круга – 22 м/с; S_n – поздовжня подача (швидкість виробу) – 2 м/хв; $S_{\text{пов}}$ – 0,1 мм/подв. хід; t – 0,002 мм; шліфування – без охолодження.

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 алмазного круга (100, 28, 14, 10 і 7 мкм).

Беручи 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 алмазного шліфування композитних підшипникових сплавів на основі відходів інструментальних сталей виконували з урахуванням наведених вище результатів. Зокрема, для дослідів використовувались алмазні інструменти із синтетичного алмазу (АС) зернистістю 14–28 мкм, які сформовані у шліфувальні круги бакелітно-гумовою зв'язкою (Бр1).

Зазначимо, що зовнішнє тонке алмазне кругле шліфування виконувалося 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 і 2.

Аналіз експериментів (рис. 1) показує, що на шорсткість поверхонь деталей з нових композитних матеріалів при тонкому зовнішньому круглому алмазному шліфуванні (як і при плоскому алмазному шліфуванні) істотно впливають режими різання: швидкість виробу V_B , поздовжня подача S_n і глибина різання t , а також розмір зерна абразиву і склад зв'язки алмазного інструмента.

Аналогічно з плоским алмазним шліфуванням найкращу якість оброблених зовнішніх поверхонь композитних циліндричних деталей (за параметром шорсткості R_a) тонким алмазним круглим зовнішнім шліфуванням забезпечує застосування інструментів на основі АС на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1), зернистістю 14–28 мкм (М14–М28) та застосування тонких режимів шліфування ($V_B \rightarrow \min$; $S_n \rightarrow \min$; $t \rightarrow \min$).

Схожі результати отримані при тонкому круглому внутрішньому алмазному 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 алмазного шліфування деталей з нових композиційних сплавів на основі відходів інструментальних сталей з використанням для оброблення алмазних кругів на основі алмазу синтетичного зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці на параметр шорсткості поверхні оброблення R_a найбільше впливають глибина різання t , поздовжня подача S_n та швидкість обертання деталі V_B . Найкращі результати за параметром якості R_a (тобто отримання мінімальної шорсткості поверхні) забезпечують тонкі режими алмазного шліфування, а саме мінімально можливі (з точки зору технічних можливостей верстата) режими різання – глибина шліфування, поздовжня подача та швидкість обертання деталі.

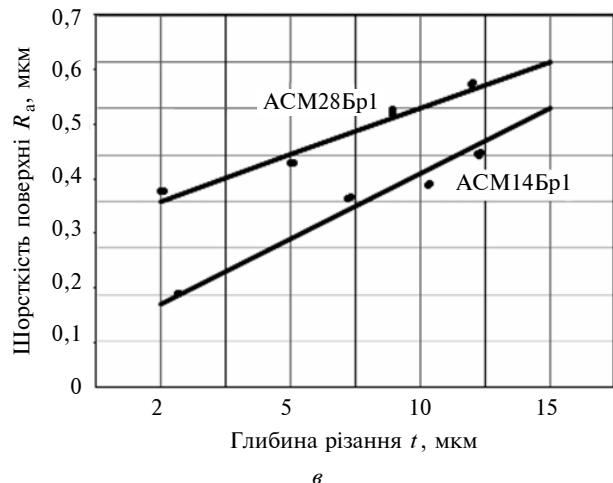
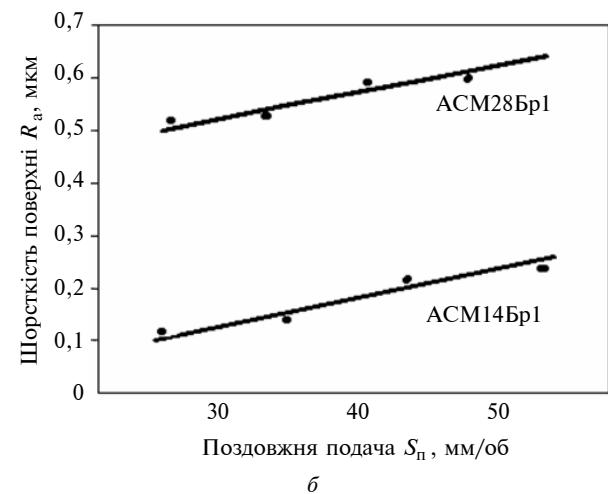
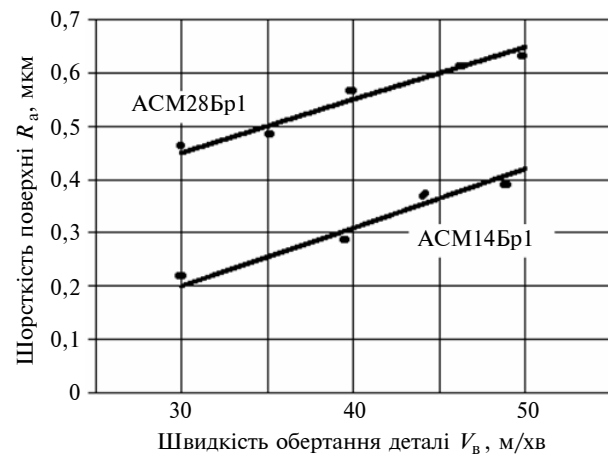


Рис. 1. Залежність параметрів шорсткості поверхні R_a від режимів тонкого алмазного шліфування V_B , S_n , t при зовнішньому круглому шліфуванні (швидкість алмазного круга – $V_{кр} = 30$ м/с): а – $S = 5$ мм/об; $t = 2$ мкм; б – $V_B = 30$ м/хв; $t = 2$ мкм; в – $V_B = 30$ м/хв; $S_n = 5$ м/об

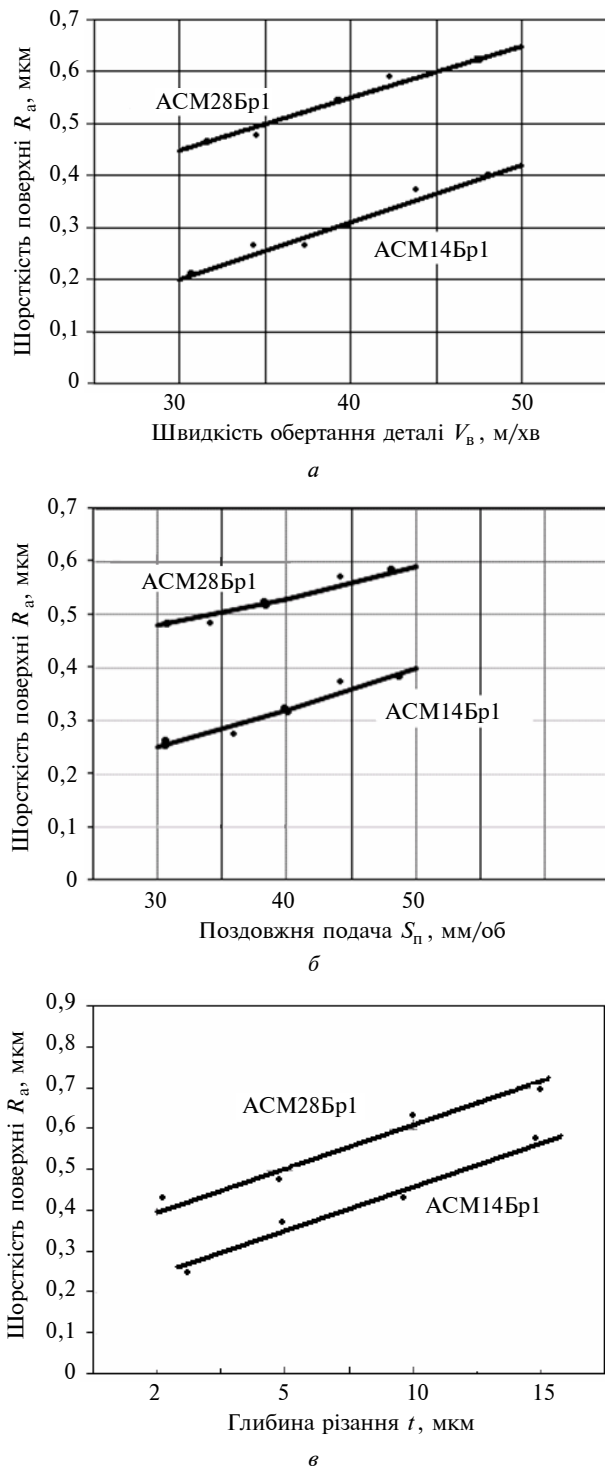


Рис. 2. Залежність параметрів шорсткості поверхні R_a від режимів тонкого алмазного шліфування V_B , S_n , t при тонкому круглому внутрішньому шліфуванні (швидкість алмазного круга – $V_{кр.} = 40$ м/с): а – $S_n = 30$ мм/об; $t = 2$ мкм; б – $V_B = 50$ м/хв; $t = 2$ мкм; в – $V_B = 50$ м/хв; $S_n =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

Висновки

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

Вперше досліджено процеси тонкого алмазного оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих і регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей, що відкриває можливості одержання високоякісних деталей тертя з нових композитів для поліграфічних машин.

Показано, що основні закономірності тонкого прецизійного алмазного шліфування нових композиційних сплавів збігаються при плоскому, круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні.

Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення R_a істотно впливають зернистість, матеріал зв'язки алмазного круга та режими тонкого алмазного шліфування.

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

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

Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів і встановлення закономірностей формування параметрів якості поверхонь оброблення нових композитних деталей тертя поліграфічних машин, зокрема параметрів шорсткості, та фізичних властивостей поверхневого шару оброблення при тонкому шліфуванні із застосуванням найновітніх шліфувальних інструментів – кругів на основі кубічного нітриду бору й борозону, що обумовить реалізацію подальших кроків для підвищення зносостійкості деталей такого типу та поліграфічної машини в цілому.

1. *Підшипниковий* композиційний матеріал на основі інструментальної сталі: Пат. України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – 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. *Новітні* технології виробництва стандартизованих виробів: Монографія / О.А. Гавриш, Ю.Ю. Віцюк, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2012. – 204 с.
4. *Антифрикційний* композиційний матеріал на основі сталі: Пат. України № 59768 А, МКИ С22С33/02 / Т.А. Роїк. – Опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.
5. *Роїк Т.А.* Подшипниковые высокотемпературные материалы на основе металлических порошков-отходов // 36. наук. статей “Техніка майбутнього”. – Одеса: Вид-во Одеського морського ун-ту. – 1999. – № 1. – С. 3–7.
6. *Новітні* технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2012. – 196 с.
7. *Вплив* технології виготовлення та магнітно-абразивної обробки на властивості високошвидкісних підшипників / О.О. Мельник, Ю.Ю. Віцюк, А.П. Гавриш, Т.А. Роїк // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Машинобудування. – 2010. – № 59. – С.75–78.
8. *Принципи* одержання композиційних зносостійких матеріалів на основі відходів інструментального виробництва / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. // Междунар. сб. науч. трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – Вып. 1-2 (43). – С. 261–265.
9. *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. – 2012. – № 3 (37). – С. 119–127.
10. *Силове* поле при тонкому абразивному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської техніки / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // Междунар. сб. науч. трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Вып. 1-2 (45). – С. 35–41.
11. *Ардамацкий А.Л.* Алмазная обработка оптических деталей. – Л.: Машиностроение, 1989. – 287 с.
12. *Бакуль В.Н., Захаренко Н.П.* Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. – К.: Техніка, 1971. – 312 с.
13. *Байкалов А.К.* Введение в теорию шлифования. – К.: Наук. думка, 1978. – 207 с.
14. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: Вид-во ЖДТУ, 2004. – 551 с.
15. *Гребченко А.И.* Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища школа, 1985. – 298 с.
16. *Захаренко Н.П.* Алмазные инструменты и процессы обработки. – К.: Техніка, 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.: Техніка, 1971. – 144 с.
19. *Резников А.Н.* Краткий справочник по алмазной обработке. – Куйбышев: Машиностроение, 1987. – 312 с.
20. *Чеповецкий И.Х.* Основы финишной алмазной обработки. – К.: Наук. думка, 1980. – 312 с.
21. *Ящерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Минск: Беларусь, 1989. – 312 с.

Рекомендована Радою
Видавничо-поліграфічного інституту
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
19 квітня 2013 року