

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1

DOI: 10.20535/2077-7264.4(74).2021.253914

© Т. А. Роїк, д-р техн. наук, проф., О. А. Гавриш,
д-р техн. наук, проф., Ю. Ю. Віцюк, канд. техн. наук, доц.,
А. О. Бровкин, асп., КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ САМОЗМАЩУВАЛЬНИХ КОМПОЗИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ДРУКАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ТОНКИМ ЕЛЬБОРОВИМ ШЛІФУВАННЯМ

Стаття присвячена встановленню впливу технологічних режимів ельборового шліфування на параметри якості циліндричних контактних поверхонь самозмащувальних антифрикційних композитних деталей на основі відновлених промислових шліфувальних відходів високолегованої сталі 8Х4В2МФС2 з домішками твердого мастила СаF₂, що призначені для оснащення вузлів офсетних, друкарських, формних циліндрів друкарської техніки.

Ключові слова: композитна самозмащувальна деталь; відновлені металеві відходи; тонке ельборове шліфування; схема оброблення; шорсткість; вузли поліграфічних машин.

Постановка проблеми

На сучасному етапі стрімкого розвитку техніки висуваються жорсткі вимоги до якості деталей, які забезпечують стабільну роботу устаткування різних галузей.

Це у повній мірі стосується поліграфічного обладнання різних моделей і призначення, що обумовлено безперервним зростанням важливих експлуатаційних параметрів такої техніки і, в першу чергу, вимог до підвищення термінів служби деталей, механізмів, вузлів і машин у цілому.

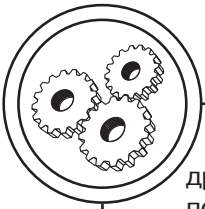
Від стабільної роботи як окремих деталей, вузлів, так і всього друкарського устаткування у ці-

лому безпосередньо залежить якість найрізноманітніших видів друкарської продукції.

Окремі деталі, що становлять «первинну» одиницю будь-якого поліграфічного обладнання, перебирають на себе найвідповідальну функцію забезпечення надійності і довговічності того чи іншого вузла, а відтак, і всієї машини.

Тому питанням забезпечення якості деталей, у тому числі друкарського устаткування, приділяється велика увага науковців і практиків поліграфічної галузі.

В останні роки для збільшення термінів безперебійної роботи антифрикційних деталей тертя, якими оснащені вузли офсетних,



друкарських, формних циліндрів поліграфічних машин, розроблено нові самозмащувальні деталі з композиційних матеріалів. Ці деталі створено на основі цінної вторинної сировини — відновлених шліфувальних відходів низки високолегованих сталей 5Х3В3МФС, 7ХГ2ВМФ, Р5М5К5, 86Х6НФТ та деяких інших з домішками твердого мастила CaF_2 , які здатні успішно функціонувати при високих швидкостях обертання (500 об./хв і вище) і підвищених тисках (2,0 МПа і вище) без змащування рідким мастилом [1–4].

В умовах дії важких навантажуючих факторів, розроблені композитні деталі демонстрували високі фізико-механічні і триботехнічні властивості порівняно з литими деталями, якими були традиційно оснащені вузли тертя друкарських машин, що працюють в умовах інтенсивного зношування.

Окрім технологічних заходів задля підвищення об'ємних властивостей розроблених композитних деталей не менша увага приділялась технологічному забезпеченню параметрів якості їх робочих поверхонь, що безпосередньо впливає на зносостійкість і довговічність вузла тертя [1–3, 5–7].

Як відомо [1–3, 8], високі параметри якості поверхонь формуються застосуванням надтонких методів фінішного абразивного оброблення (тонке шліфування із застосуванням алмазного та різних типів абразивного інструменту, магнітно-абразивна обробка, суперфінішування, хонінгування).

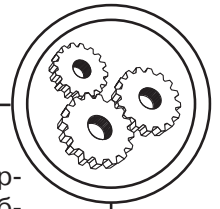
В роботах [9–16] досить детально досліджено процеси тон-

кого абразивного шліфування та технологічні особливості магнітно-абразивної обробки, у тому числі і деяких нових композитів, та узагальнено практичні рекомендації.

Протягом останніх років виконано дослідження впливу складу абразивного, алмазного інструменту та режимів різання при тонкому шліфуванні на параметри шорсткості R_a поверхонь оброблення композитів на основі відходів інструментальних та легованих сталей Р6М5К5, 05Х12Н6Д2МФСГТ, 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5Х3В3МФС [1–3, 17, 18].

Слід зазначити, що в дослідженнях [1, 2, 7, 18, 19] показано, що застосування тонкого шліфування ельборовим інструментом, насамперед, завдяки його особливостям, дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь. Такі дослідження виконувались на заготовках з деяких нових композитів на основі відновлених шліфувальних відходів, таких як, порошки-відходи сталей 05Х12Н6Д2МФСГТ, 86Х6НФТ, 4ХМНФС, 5Х3В3МФС та деяких інших.

Проте, на сьогодні ще не достатньо інформації з особливостей тонкого ельборового шліфування самозмащувальних композитних деталей з більш широкої номенклатури шліфувальних відходів, зокрема, більш широкою гамою цінних сталевих відходів, що відрізняються вмістом і набором хімічних елементів, коли залишаються не відпрацьованими конкретні технологічні режими такої тонкої обробки інших марок сталевих композитів.



Це не дозволяє зробити узагальнених технологічних рекомендацій із застосування тонкого ельборового шліфування для стабільного одержання високих параметрів якості контактних робочих поверхонь композитних деталей на основі відновлених металевих шліфувальних відходів для вузлів офсетних, друкарських, формних циліндрів друкарських машин, де означені антифрикційні деталі працюють в схожих умовах.

Окрім цього, обмеженість або у багатьох випадках повна відсутність технологічних рекомендацій з ельборового шліфування високолегованих та важкооброблюваних композитних деталей змушує практиків вдаватися до застосування різних технологічних схем шліфування, їх комбінацій, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто істотно різних, і які, здебільшого, створені для вирішення окремого вузького завдання, що не дозволяє аргументовано поширювати такі технологічні напрацювання. Це свідчить про важливість, затребуваність і актуальність обраної теми досліджень.

Вищенаведене стало підставою для розширення досліджень, спрямованих на встановлення впливу технології тонкого ельборового шліфування на параметри якості робочих поверхонь самозмащувальних композитних деталей на основі цінних відходів інших марок сталей, зокрема, високолегованої сталі 8Х4В2МФС2.

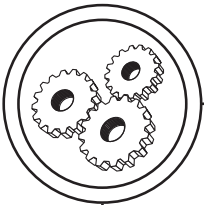
Це дозволить сформулювати важливі попередні технологічні рекомендації для виконання фінішної обробки контактних поверхонь

нових композитних деталей тертя, виготовлених на основі подібних за хімічним складом шліфувальних відходів, що сприятиме не тільки підвищенню зносостійкості і тривалості роботи вузлів офсетних, друкарських, формних циліндрів поліграфічних машин, але й дозволить оперативно виконувати встановлення за необхідності взаємозамінних композитних деталей при виконанні ремонтних або профілактичних робіт.

Мета роботи

Визначення впливу технологічних режимів ельборового шліфування на параметри якості циліндричних контактних поверхонь самозмащувальних композитних деталей на основі відновлених промислових шліфувальних відходів високолегованої сталі 8Х4В2МФС2 з домішками твердого мастила CaF₂, що призначені для оснащення вузлів офсетних, друкарських, формних циліндрів друкарської техніки.

Реалізація поставленої мети надасть можливість зробити узагальнення із використання технологічної схеми ельборового шліфування для фінішної обробки взаємозамінних, близьких за хімічним складом композитів зі сталевих промислових шліфвідходів, які можуть бути ефективно застосовані для виготовлення нових самозмащувальних деталей для оснащення вузлів поліграфічних машин. Це сприятиме збільшенню надійності означеної техніки, що, у свою чергу, впливатиме на стабільність відтворення показників якості друкарської продукції.



Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних зразків, мас. %

C	Mo	Cr	W	V	Si	Mn	S; P	CaF ₂	Fe
0,8–0,9	0,80–1,10	4,55–5,10	1,80–2,30	1,10–1,40	1,70–1,20	0,20–0,50	≤ 0,03 кожно- го	5,0–8,0	решта

Результати проведених досліджень

У дослідженнях використовувались зразки з нових самозмащувальних композитних матеріалів на основі шліфувальних відходів легованої інструментальної сталі 8Х4В2МФС2, до якої на етапі синтезу додано порошки твердого мастила фториду кальцію CaF₂, що є ефективною змащувальною речовиною за важких умов експлуатації.

Операції виготовлення складались з підготовки вихідної шихти, що включала комплексну технологію регенерації промислових металевих шліфувальних відходів, змішування відновлених сталевих порошоків-відходів з неметалевими порошками твер-

дого мастила CaF₂, пресування і спікання заготовок [4, 5, 17, 20].

Таким чином, в роботі досліджувались зразки системи шліф-відходи сталі 8Х4В2МФС2–CaF₂; хімічний склад наведено у табл. 1.

Параметри шорсткості поверхонь Ra вимірювались з використанням оптичного профілометра ProfilControl 7S (Pixargus GmbH), ельборове шліфування зразків виконувались при глибині шліфування t у діапазоні 0,002–0,015 мм.

В експериментальних дослідженнях з тонкого шліфування використовувались шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю М7–М28 на керамічній, металевій, бакелітовій, та бакелітно-гумовій зв'язці.

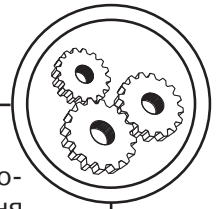
У вузлах тертя формних, друкарських та офсетних циліндрів встановлено опорні антифрикційні втулки, що сприймають на себе як зовнішнє навантаження (2,0–5,0 МПа), так і піддаються високим швидкостям обертання (від 500 об./хв). Зображення опорної втулки наведено на рис. 1.

Такі деталі мають циліндричні робочі поверхні (рис. 1), тому ряд досліджень було зосереджено на визначенні параметрів шорсткості поверхонь Ra при круглому зовнішньому і внутрішньому ельборовому шліфуванні.

Менше з тим, початкові експерименти з визначення характеру зміни параметрів шорсткості



Рис. 1. Зовнішній вигляд антифрикційної опорної втулки офсетного циліндра



Ra залежно від зернистості і матеріалу зв'язки круга виконували при плоскому ельборовому шліфуванні зразків, оскільки, виходячи з основних засад теорії різання, закономірності утворення мікрогеометрії поверхні не залежать від схеми шліфування.

Технологічні режими різання при плоскому ельборовому шліфуванні були наступні: поперечна подача (S_p) — 0,1; 0,2; 0,5 та 1,0 мм/подв. хід; швидкість виробу (поздовжня подача), V_B — 2, 5, 10 м/хв; швидкість круга 22 м/с.

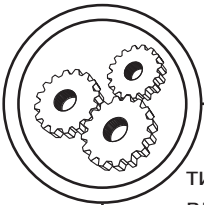
Вибір вказаних режимів різання був обумовлений декількома факторами. По-перше, виконані

авторами попередні аналітико-експериментальні дослідження з ельборового шліфування деталей, виготовлених з інших марок сталевих шліфувальних відходів, дозволили визначити конкретні діапазони режимів різання, за яких досягаються найвищі параметри якості оброблюваних поверхонь для деяких композитів на основі шліф-відходів таких марок сталей, як 4ХМНФС, 05Х12Н6Д2МФСГТ, Р6М5К5 та 86Х6НФТ [1, 2, 7, 18, 19]. По-друге, це викликано намаганням застосувати саме такі режими тонкої обробки для нових композитів задля коректного порівняння отриманих характерис-

Таблиця 2
Параметри шорсткості Ra при тонкому плоскому шліфуванні композиту 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF₂

Поперечна подача, S_p , мм/подв. хід	Швидкість виробу (поздовжня подача), V_B , м/хв	Глибина шліфування t , мм		
		0,002	0,010	0,015
		Ra, мкм		
0,1	2	0,214	0,278	0,301
	5	0,257	0,290	0,316
	10	0,270	0,325	0,375
0,2	2	0,300	0,347	0,400
	5	0,334	0,377	0,482
	10	0,343	0,402	0,510
0,5	2	0,379	0,428	0,574
	5	0,396	0,482	0,611
	10	0,407	0,503	0,637
1,0	2	0,437	0,528	0,714
	5	0,480	0,551	0,775
	10	0,529	0,612	0,840

Примітки: Верстат — FF-350 «Abawerk» (Німеччина), абразив — ельбор ЛОМ14Бр1 100 % на бакелітно-гумовій зв'язці БР1, швидкість круга — 22 м/с, обробка — без охолодження.



тик поверхонь оброблення нових композитів системи сталь 8Х4В2МФС2–CaF₂ та результатів, одержаних за попередніх досліджень при ельборовому шліфуванні інших композитів [1, 2, 7, 18, 19].

Плоске шліфування виконувалось на прецизійному верстаті FF-350 «Abawerk» (Німеччина), зовнішнє кругле ельборове шліфування виконувалось на прецизійному верстаті AS-250 «Werkzajt» (Німеччина), а внутрішнє кругле шліфування — на прецизійному внутрішньо-шліфувальному верстаті високої точності SS-125 «Studder» (Швейцарія); коректність порівняльних даних забезпечувалась застосуванням однакового верстатного обладнання, як і при дослідях

за схемою ельборової обробки раніш досліджених композитів [1, 2, 7, 18, 19].

У табл. 2 представлено результати досліджень, що ілюструють характер зміни поверхневої геометрії оброблюваної композитної деталі складу 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF₂ залежно від технологічних режимів обробки при плоскому ельборовому шліфуванні.

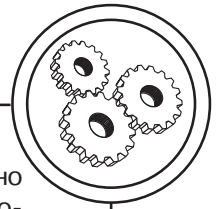
На основі попередніх теоретико-експериментальних досліджень авторів [1–3, 7] було встановлено, що найбільший вплив на параметр шорсткості Ra чинять глибина різання t та поперечна подача $S_{\text{поп.}}$, а щонайменше впливає швидкість випробу V_B , що було підтверджено дослідями із застосування кругів різної зернистості у порівняльній табл. 3.

Таблиця 3

Вплив зернистості інструменту на параметр шорсткості Ra при тонкому плоскому ельборовому шліфуванні зразків з композиту 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF₂ порівняно з відомими [2, 7, 18]

Характеристика ельборового (ЛО) круга	Матеріал зразків, мас. %		
	8Х4В2МФС2 + 5 % CaF ₂	4ХМНФС + 5 % CaF ₂ [2, 7]	05Х12Н6Д2МФСГТ + 5 % CaF ₂ [18]
	Шорсткість, Ra, мкм		
ЛО5Бр1 100 %	0,909	0,919	0,911
ЛОМ28Бр1 100 %	0,281	0,275	0,288
ЛОМ20Бр1 100 %	0,243	0,231	0,297
ЛОМ14Бр1 100 %	0,212	0,217	0,227
ЛОМ10Бр1 100 %	0,209	0,207	0,214
ЛОМ7Бр1 100 %	0,184	0,182	0,179

Примітки: 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.



При цьому найбільш раціональними режимами (табл. 2) тонкої обробки при плоскому ельборовому шліфуванні, які забезпечують мінімальні величини параметру шорсткості Ra, є наступні: швидкість круга — 22 м/с, поздовжня подача — 2 м/хв, поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибини різання — 2 мкм.

У табл. 3, 4 наведено результати експериментів з дослідження впливу зернистості інструменту та матеріалу зв'язки на параметр шорсткості поверхні Ra при тонкому плоскому ельборовому шліфуванні зразків з композиту

8Х4В2МФС2 + 5 % CaF₂ порівняно з відомими даними з ельборового шліфування інших композитів.

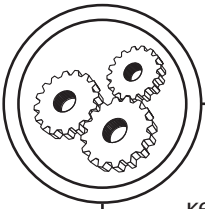
Як видно з табл. 3, найкращі параметри шорсткості Ra досягаються при використанні ельборових кругів із зернистістю М7–М28 не залежно від типу композиту, що підтверджує встановлені раніш аналітичні залежності між параметрами шорсткості поверхні Ra та розміром зерна ельборового круга, і котрі можна ефективно використовувати для оцінки параметру шорсткості Ra та раціонального обирання ріжучого інструменту [1–3].

Таблиця 4

Вплив матеріалу зв'язки на параметр шорсткості Ra при тонкому плоскому ельборовому шліфуванні зразків з композиту 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF₂ порівняно з відомими [2, 7, 18, 19]

Характеристика абразивного інструменту	Матеріал зв'язки круга	Шорсткість Ra, мкм		
		8Х4В2МФС2 + 5 % CaF ₂	Р6М5К5 + 5 % CaF ₂ [19]	86Х6НФТ + 5 % CaF ₂ [2, 7]
ЛО5К1 100 %	Керамічна К1	1,272	1,268	1,270
ЛО5М1 100 %	Металева М1	1,215	1,212	1,210
ЛОМ28Б1 100 %	Бакелітна Б1	0,315	0,321	0,317
ЛОМ28Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,270	0,266	0,271
ЛОМ28К1 100 %	Керамічна К1	0,546	0,534	0,523
ЛОМ14Б1 100 %	Бакелітна Б1	0,240	0,233	0,243
ЛОМ14Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,217	0,210	0,210
ЛОМ14К1 100 %	Керамічна К1	0,428	0,419	0,415
ЛОМ10Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,202	0,205	0,200
ЛОМ7Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,170	0,173	0,167

Примітки: Верстат — 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.



Аналіз табл. 4 показав, що бакелітна та бакелітно-гумова зв'язки є найбільш преференційними для забезпечення найкращих параметрів якості при ельборовому зовнішньому шліфуванні поверхонь композитів.

Застосування саме еластичних зв'язок Б1 та Бр1 ельборового інструменту сприяло одержанню мінімальних величин Ra для досліджуваного композиту 8X4B2МФС2 + 5 % CaF₂, що підтвердило доцільність застосування бакелітної або бакелітно-гумової зв'язки. Одержані при цьому значення параметру шорсткості Ra є цілком співставними з даними, що були визначені при ельборовому шліфуванні відомих композитних деталей [1, 2, 7, 19].

Узагальнення даних табл. 3, 4 свідчить, що початково визначені технологічні режими тонкого плоского ельборового шліфування для відомих композитних деталей на основі відновлених шліфувальних відходів деяких марок легованих сталей [1, 2, 7, 19] цілком можливо застосовувати для прецизійної обробки поверхонь нових композитів системи 8X4B2МФС2–CaF₂. Це підтверджено отриманими величинами параметру шорсткості поверхонь Ra, які мають співставні значення з одержаними раніш результатами як при експериментах з визначення впливу зв'язки, так і зернистості ельборового круга при плоскому шліфуванні поверхонь (табл. 3, 4).

Оскільки, як відомо [1, 2, 21–23], фізичні явища, що відбуваються у поверхневих шарах деталі в процесі різання, принципово подібні для плоского, зовнішнього круглого та внутрішнього круглого

шліфування, дослідження особливостей тонкого зовнішнього круглого і внутрішнього ельборового шліфування нових композитних деталей виконувалось з урахуванням отриманих при плоскому шліфуванні результатів. Так, у процесі дослідів використовувались шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1).

Таким чином, наступним кроком досліджень було визначення впливу технологічних параметрів тонкої обробки робочих поверхонь при внутрішньому та зовнішньому круглому ельборовому шліфуванні самозмащувальних композитних деталей системи 8X4B2 МФС2–CaF₂ з порівнянням отриманих даних для круглого ельборового шліфування раніш досліджених антифрикційних композитів зі сталевих відходів.

Результати досліджень зміни параметрів шорсткості Ra нового антифрикційного композиту 8X4B2МФС2 + 5 % CaF₂ залежно від режимів тонкого внутрішнього ельборового шліфування наведено на рис. 2.

Як показує рис. 2, при круглому внутрішньому ельборовому шліфуванні характер зміни параметру шорсткості Ra в умовах змінних технологічних режимів різання (поздовжня подача 25–55 мм/об., швидкість обертання деталі 50–100 м/хв, глибина шліфування 0,002–0,015 мм) дозволяє дійти висновку, що застосування кругів на основі ельбору ЛО зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці та дотримання ощадних режимів ельборового шліфування, таких як мінімальна поздовжня подача —

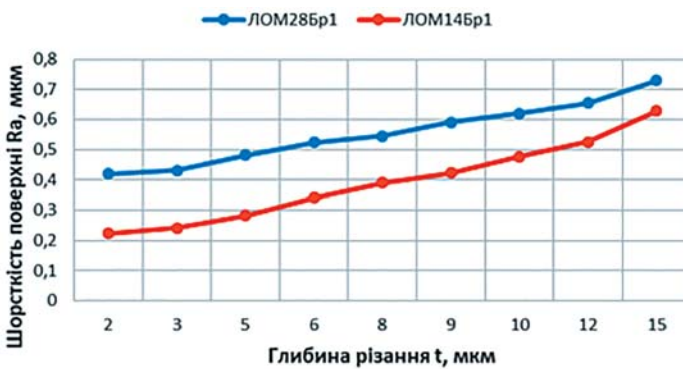
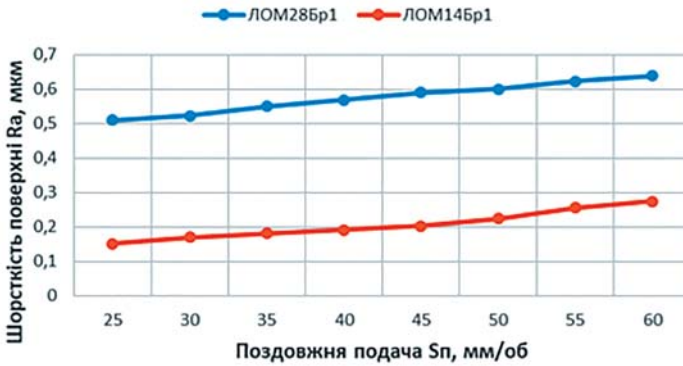
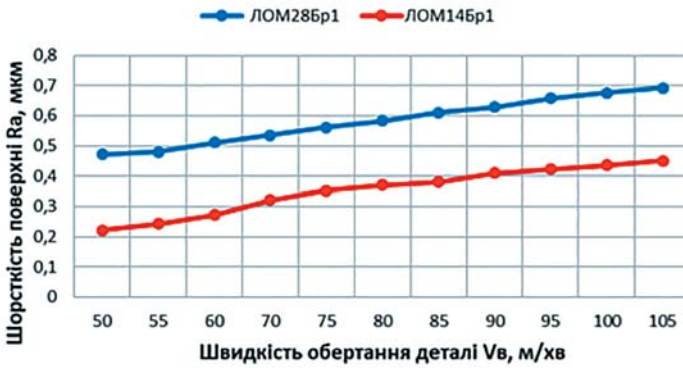
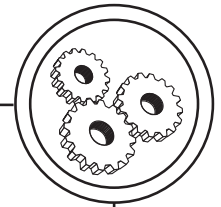
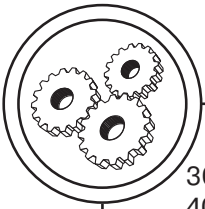


Рис. 2. Параметри шорсткості поверхні R_a композиту 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF_2 залежно від режимів тонкого внутрішнього ельборового шліфування (швидкість круга — $V_{кр.} = 40$ м/с): а: $S_p = 30$ мм/об.; $t = 2$ мкм; б: $V_b = 50$ м/хв; $t = 2$ мкм; в: $V_b = 50$ м/хв; $S_p = 30$ мм/об.



30 мм/об., швидкість круга — 40 м/с, швидкість обертання деталі — 50 м/хв і глибина різання — 2 мкм дає змогу стабільно отримувати найкращі результати за параметром якості R_a .

Величини параметру шорсткості R_a при круглому внутрішньому ельборовому шліфуванні інших досліджених композитів [1, 2, 7, 19] із застосуванням аналогічних ельборових кругів і рекомендованих тонких режимів шліфування становили в середньому від 0,230 до 0,510 мкм, що є співставним з результатами, отриманими для нового композита на основі шліфувальних відходів сталі 8X4B2 МФС2 + 5 % CaF_2 .

Слід зазначити, що експериментальні дослідження з круглого зовнішнього ельборового шліфування показали принципово аналогічні результати з формування мікрогеометрії поверхні оброблення композиту 8X4B2 МФС2 + 5 % CaF_2 із застосуванням мінімальних за величиною режимів різання.

А саме, у процесі круглого зовнішнього ельборового шліфування із застосуванням інструменту ЛОМ28Бр1 параметр шорсткості R_a перебував у діапазоні 0,430–0,500 мкм, а при використанні кругів ЛОМ14Бр1 параметр R_a був у інтервалі 0,197–0,300 мкм за дотримання наступних щадних режимів різання: швидкість круга 40 м/с, швидкість обертання деталі 30–40 м/хв, поздовжня подача 25–35 мм/об. та глибина різання 2 мкм.

Такі результати, що одержані при обробленні зовнішньої поверхні циліндричної деталі з композиту 8X4B2МФС2 + 5 % CaF_2 , виявились повністю співставни-

ми з результатами, отриманими за аналогічних умов тонкої обробки ельборовими кругами раніш досліджених композитів [1, 2, 7, 19].

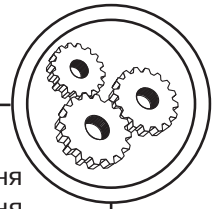
При цьому для всіх випадків круглого шліфування найбільший вплив на мінімізацію параметру R_a чинять поздовжня подача S_p , швидкість обертання деталі V_B та глибина різання, мінімальних величин яких доцільно чітко дотримуватись.

Таким чином, як підсумок, можна стверджувати, що отримання мінімальних величин параметру шорсткості поверхонь R_a композитних деталей на основі близьких за хімічним складом сталевих шліфувальних відходів цілком можна забезпечити із застосуванням технологічної схеми шліфування ельборовим інструментом ЛО з дрібнозернистим ріжучим зерном, на еластичних зв'язках, використовуючи при цьому щадні режими обробки незалежно від схеми ельорової обробки (пласке, зовнішнє чи внутрішнє кругле шліфування).

Отримані результати дозволяють застосовувати розроблені та механічно оброблені за технологією тонкого ельборового шліфування самозмащувальні антифрикційні композитні деталі на основі відновлених шліфувальних відходів за принципом взаємозамінності матеріалів, що є важливим фактором в умовах виконання ремонтних або налагоджувальних робіт друкарського обладнання.

Висновки

Результати досліджень показали, що при пласкому, круглому внутрішньому та зовнішньому



ельборовому шліфуванні поверхонь нових самозмащувальних антифрикційних композитів на основі системи шліфувальні відходи сталі 8Х4В2МФС2–СаF₂ на такий важливий показник якості поверхні, як параметр шорсткості Ra, чинять суттєвий вплив зернистість круга та матеріал зв'язки.

Водночас забезпечення мінімальних величин параметру Ra робочих поверхонь досягається із застосуванням дрібнозернистого (М7–М28) інструменту на еластичних зв'язках (бакелітна, бакелітно-гумова).

Порівняння значень Ra, одержаних при застосуванні аналогічного ельборового інструменту для обробки відомих композитів, проілюструвало повну їх співставність, що свідчить про доцільність застосування означених ельборових кругів для обробки близьких за хімічним складом антифрикційних композитних деталей.

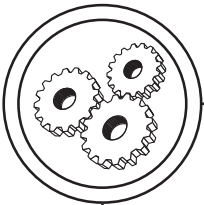
Дослідження впливу технологічних параметрів тонкої обробки робочих поверхонь при круглому ельборовому шліфуванні (внутрішньому і зовнішньому) нових самозмащувальних композитних деталей системи 8Х4 В2МФС2–СаF₂ показали, що дотримання щадних технологічних режимів різання здатне забезпечити найвищі характеристики обробленої поверхні, що підтверджено профілометричним аналізом.

Такі режими становлять: для плоского ельборового шліфування: швидкість круга — 22 м/с, поздовжня подача — 2 м/хв, поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибина різання — 2 мкм; для круглого зовнішнього ельборового шліфування — швидкість кру-

гу 40 м/с, швидкість обертання деталі 30–40 м/хв, поздовжня подача 25–35 мм/об. та глибина різання 2 мкм; для круглого внутрішнього ельборового шліфування: поздовжня подача — 30 мм/об., швидкість круга — 40 м/с, швидкість обертання деталі — 50 м/хв і глибина різання — 2 мкм.

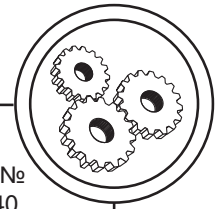
Визначені діапазони технологічних режимів тонкого ельборового шліфування для нових антифрикційних композитів системи шліфувальні відходи сталі 8Х4В2МФС2–СаF₂ цілком можна застосовувати для прецизійної обробки поверхонь деталей, виготовлених з шліфувальних відходів сталей, близьких за набором і вмістом хімічних елементів. Це підтверджено отриманими величинами параметру шорсткості поверхонь Ra, які мають співставні значення з одержаними раніш результатами як при експериментах з визначення впливу зв'язки, зернистості ельборового круга, так і при експериментах з тонкого ельборового шліфування поверхонь за різними схемами.

Наступні дослідження будуть спрямовані на визначення особливостей формування фізичних властивостей поверхневих шарів композитних деталей зі сталевих відходів у процесі тонкої обробки з використанням ельборового інструменту задля отримання реальної можливості цілеспрямованого керування утворенням високих параметрів якості робочих контактних поверхонь композитних деталей для вузлів тертя офсетних, друкарських та формних циліндрів друкарського обладнання.



Список використаної літератури

1. Шліфування і доводка зносостійких антифрикційних композитних деталей друкарських машин: монографія / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк, В. Г. Олійник. ч. 2. К.: Видавничий дім «АртЕк», 2019. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42300>.
2. Шліфування і доводка зносостійких антифрикційних композитних деталей друкарських машин: монографія / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк, В. Г. Олійник. ч. 3. К.: Видавничий дім «АртЕк», 2021. 202 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909>.
3. Scientific Foundations of Solving Engineering Tasks and Problems: Collective monograph / Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M., Hladyshch D., Babyak V. etc. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, USA, 2021. 758 p. Chapter 'Mechanical Engineering and Mechanical Engineering' / Roik T., Gavrysh O., Gavrysh Ju. Surfaces' roughness of composite bearings based on grinding waste for printing machines units at fine cubonite grinding, International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, USA, 2021. pp. 565–576, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II. URL: <https://isg-konf.com>, <https://isg-konf.com/uk/scientific-foundations-of-solving-engineering-tasks-and-problems-technical-sciences-ua/>.
4. Roik T., Rashedi A., Khanam T., Chaubey A., Balaganesan G., Ali S. Structure and properties of new antifriction composites based on tool steel grinding waste // Journal 'Sustainability' MDPI Open Access Publishing, 2021, Volume 13, Issue 16, No 8823, pp. 1–10, published 6th August 2021, Basel, Switzerland, ISSN 2071-1050, <https://doi.org/10.3390/su13168823>. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/8823/pdf>.
5. Роїк Т. А. Антифрикційний композиційний матеріал на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі для деталей друкарських машин / Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2019. Вип. 68. С. 79–85. DOI: 10.36910/6775.24153966.2019.68.12. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/article/view/254/238.
6. Роїк Т. А. Вплив абразивного інструменту та режимів шліфування на рівень контактних температур композиційних самозмащувальних деталей вузлів поліграфічних машин / Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Є. В. Штефан, О. П. Шостачук // Технологія і техніка друкарства. 2020. № 4(70). С. 53–64. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.239760](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.239760).
7. Гавриш А. П. Вплив складу інструменту і режимів тонкого ельборового шліфування на шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць. Житомир: ЖДТУ, 2013. Вип. 14. С. 16–32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pmom_2013_14_4.
8. Гавриш А. П. Вплив складу інструменту і режимів тонкого алмазного шліфування на шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». 2013. № 5. С. 80–86. URL: http://nbuv.gov.ua/ujrnl/nvkpi_2013_5_12.
9. Гавриш А. П. Швидкісне шліфування високолегованих композитів для деталей тертя друкарської техніки / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк, О. В. Зоренко, О. С. Хлус // Технологія і техніка друкарства. 2015. № 2(48). С. 15–37. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(48\).2015.48026](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(48).2015.48026).
10. Гавриш А. П. Технологічні та експлуатаційні рельєфи деталей тертя з нових композитів для поліграфічних машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок,



О. О. Мельник, Ю. Ю. Віцюк //Технологія і техніка друкарства. 2015. № 2(48). С. 83–96. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(48\).2015.48040](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(48).2015.48040).

11. Гавриш А. П. Якість робочих поверхонь композитних підшипників при магнітно-абразивному обробленні / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. О. Мельник, Ю. Ю. Віцюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2011. № 713. С. 149–154. URL: <https://vlp.com.ua/node/8146>.

12. Майборода В. С. Магнитно-абразивная обработка плоских поверхностей головками на постоянных магнитах / В. С. Майборода, И. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулий, А. И. Зелинко // Технічна інженерія. 2020. № 1(85). С. 60–65. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-60-65](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-60-65).

13. Xie Hu., Zou Ya. Investigation of the application of a magnetic abrasive finishing process using an alternating magnetic field for finishing micro-grooves // Nanotechnology and Precision Engineering. 2021. Vol. 4. Issue 3. URL: <http://doi.org/10.1063/10.0005015>.

14. Wang Y., Hu D. J. Study on the inner surface finishing of tubing by magnetic abrasive finishing // Int. J. Mach. Tools Manuf. 2005. № 45(1). pp. 43–49. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.06.014>.

15. Guo J., Jong H. J. H., Kang R., Guo D. Novel localized vibration-assisted magnetic abrasive polishing method using loose abrasives for V-groove and Fresnel optics finishing // Opt. Express. 2018. № 26(9). pp. 1608–11619. URL: <https://doi.org/10.1364/OE.26.011608>.

16. Xie H. J., Zou Y. H., Dong C. W., Wu J. Z. Study on the magnetic abrasive finishing process using alternating magnetic field: Investigation of mechanism and applied to aluminum alloy plate // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2019. № 102(5-8). pp. 1509–1520. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-03268-8>.

17. П. О. Киричок. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: монографія / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук та ін. К.: НТУУ КПІ. 2015. 428 с. URL: https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0.5&cluster=6673344392320605039.

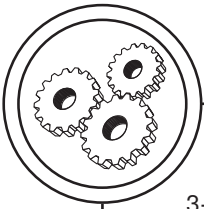
18. Роїк Т. А. Вплив режимів тонкого ельборового шліфування на шорсткість поверхонь самозмащувальних композитних деталей для друкарської техніки / Т. А. Роїк, А. О. Бровкин, О. П. Шостачук // Технологія і техніка друкарства. 2021. № 1(71). С. 51–61. URL: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.238995](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.238995).

19. Roik T., Brovkin A., Dubolazov A. Analysis of the parts' roughness parameters of high-speed printing equipment by optical profilometry // Proceeding SPIE 12126, Fifteenth International Conference on Correlation Optics, Vol. 12126, 1212617, 21st December, 2021, DOI: 10.1117/12.2615584. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2615584>.

20. Jamroziak K., Roik T. New Antifriction Composite Materials Based On Tool Steel Grinding Waste // WIT Transaction on Engineering Sciences, Volume 124, 2019: WIT-press, Material and Contact Characterisation IX, WIT PressAshurstLodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK, Computational Mechanics International Inc 25 Bridge Street, Billerica, MA 01821, USA. pp. 151–159. DOI: 10.2495/MC190151. URL: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-engineering-sciences/124/37197>.

21. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2014. 608 с. URL: <https://docplayer.ru/40252931-Instrumenty-iz-sverhtverdyh-materialov.html>.

22. Новиков М. В. Абразивні матеріали // Енциклопедія Сучасної України: електронна версія [веб-сайт] / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.: вид-во НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2006. URL: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=42203.



23. Основи теорії різання матеріалів / Мазур М. П. та ін.; за ред. М. П. Мазура. 3-е вид. перероб. і доп. Львів: Новий Світ, 2000, 2020. 471 с. URL: <http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizan.mater.pdf>.

References

1. Havrysh, A. P., Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Vitsiuk, Yu. Yu., & Oliinyk, V. H. (2019). *Shlifuvannia i dovodka znosostiikykh antyfryktsiinykh kompozytnykh detalei drukarskykh mashyn [Grinding and finishing of wear-resistant antifriction composite parts of printing machines]*. Part 2. Kyiv: Vydavnychiy dim 'ArtEk', 132. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42300> [in Ukrainian].

2. Havrysh, A. P., Roik, T. A., Havrysh, O. A., Kyrychok, P. O., Vitsiuk, Yu. Yu., & Oliinyk, V. H. (2021). *Shlifuvannia i dovodka znosostiikykh antyfryktsiinykh kompozytnykh detalei drukarskykh mashyn [Grinding and finishing of wear-resistant antifriction composite parts of printing machines]*. Part 3. Kyiv: Vydavnychiy dim 'ArtEk', 202. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909> [in Ukrainian].

3. Roik, T., Gavrysh, O., & Gavrysh, Ju. (2021). *Surfaces' roughness of composite bearings based on grinding waste for printing machines units at fine cubonite grinding. Chapter 'Mechanical Engineering and Mechanical Engineering'*. Boston: Primedia eLaunch, 565–576. DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II. Retrieved from <https://isg-konf.com>, <https://isg-konf.com/uk/scientific-foundations-of-solving-engineering-tasks-and-problems-technical-sciences-ua/> [in English].

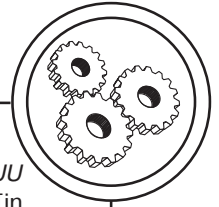
4. Roik, T., Rashedi, A., Khanam, T., Chaubey, A., Balaganesan, G., & Ali, S. (2021). Structure and properties of new antifriction composites based on tool steel grinding waste. *Journal 'Sustainability' MDPI Open Access Publishing*, Vol. 13, Issue 16, No 8823, 1–10. <https://doi.org/10.3390/su13168823>. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/8823/pdf> [in English].

5. Roik, T. A., & Vitsiuk, Yu. Yu. (2019). Antyfryktsiinyi kompozytsiinyi material na osnovi shlifovalnykh vidkhodiv instrumentalnoi stali dlia detalei drukarskykh mashyn [Antifriction composite material based on tool steel grinding waste for printing machines' parts]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk 'Naukovi notatky'*, 68, 79–85. DOI: 10.36910/6775.24153966.2019.68.12. Retrieved from https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/article/view/254/238 [in Ukrainian].

6. Roik, T. A., Havrysh, O. A., Shtefan, Ye. V., & Shostachuk, O. P. (2020). Vplyv abrazynnoho instrumentu ta rezhymiv shlifuvannia na riven kontaktnykh temperatur kompozytsiinykh samozmashchuvalnykh detalei vuzliv polihrafichnykh mashyn [Influence of abrasive tool and grinding modes on the level of contact temperatures of printing machines' composite self-lubricating parts]. *Tekhnolohiia i tekhnika druzarstva*, 4(70), 53–64. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.239760](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.239760) [in Ukrainian].

7. Havrysh, A. P., Roik, T. A., Kyrychok, P. O., Havrysh, O. A., & Vitsiuk, Yu. Yu. (2013). Vplyv skladu instrumentu i rezhymiv tonkoho elborovoho shlifuvannia na shorstkist poverkhon kompozytnykh pidshypanykiv kovzannia polihrafichnykh mashyn [Influence of tool composition and modes of fine elbor grinding on the surface roughness of composite plain bearings for printing machines]. *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, 14, 16–32. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pmom_2013_14_4 [in Ukrainian].

8. Havrysh, A. P., Kyrychok, P. O., Roik, T. A., & Vitsiuk, Yu. Yu. (2013). Vplyv skladu instrumentu i rezhymiv tonkoho almaznoho shlifuvannia na shorstkist poverkhon kompozytnykh pidshypanykiv kovzannia polihrafichnykh mashyn [Influence of tool composition and modes of fine diamond grinding on surface



roughness of printing machines' composite plain bearings]. *Naukovi Visti NTUU 'KPI'*, 5, 80–86. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/ujrn/nvkpi_2013_5_12 [in Ukrainian].

9. Havrysh, A. P., Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Zorenko, O. V., & Khlus, O. S. (2015). Shvydkisne shlifuvannya vysokolehovanykh kompozytiv dlia detalei tertia drukarskoi tekhniki [High-speed grinding of high-alloy composites for printing equipment's friction parts]. *Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva*, 2(48), 15–37. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(48\).2015.48026](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(48).2015.48026) [in Ukrainian].

10. Havrysh, A. P., Roik, T. A., Kyrychok, P. O., Melnyk, O. O., & Vitsiuk, Yu. Yu. (2015). Tekhnolohichni ta ekspluatatsiini reliefy detalei tertia z novykh kompozytiv dlia polihrafichnykh mashyn [Technological and operational reliefs of friction parts from new composites for printing machines]. *Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva*, 2(48), 83–96. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(48\).2015.48040](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(48).2015.48040) [in Ukrainian].

11. Havrysh, A. P., Roik, T. A., Melnyk, O. O., & Vitsiuk, Yu. Yu. (2011). Yakist robochykh poverkhon kompozytnykh pidshypanykiv pry mahnitno-abrazyvnomu obrobenni [Working surfaces quality of composite bearings during magnetic abrasive processing]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu 'Lvivska politekhnika'*, 713, 149–154. Retrieved from <https://vlp.com.ua/node/8146> [in Ukrainian].

12. Mayboroda, V. S., Slobodyanyuk, I. V., Dzhuliy, D. Yu., & Zelinko, A. I. (2020). Magnitno-abrazyvnyia obrabotka ploskikh poverkhnostey golovkami na postoyannykh magnitakh. *Tekhnichna inzheneriia*, № 1(85), 60–65. Retrieved from [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-60-65](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-60-65).

13. Xie, Hu., & Zou, Ya. (2021). Investigation of the application of a magnetic abrasive finishing process using an alternating magnetic field for finishing micro-grooves. *Nanotechnology and Precision Engineering*, Vol. 4, Issue 3. Retrieved from <http://doi.org/10.1063/10.0005015> [in English].

14. Wang, Y., & Hu, D. J. (2005). Study on the inner surface finishing of tubing by magnetic abrasive finishing. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 45(1), 43–49. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2004.06.014> [in English].

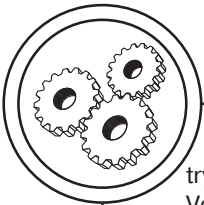
15. Guo, J., Jong, H. J. H., Kang, R., & Guo, D. (2018). Novel localized vibration-assisted magnetic abrasive polishing method using loose abrasives for V-groove and Fresnel optics finishing. *Opt. Express.*, 26(9), 1608–11619. Retrieved from <https://doi.org/10.1364/OE.26.011608> [in English].

16. Xie, H. J., Zou, Y. H., Dong, C. W., & Wu, J. Z. (2019). Study on the magnetic abrasive finishing process using alternating magnetic field: Investigation of mechanism and applied to aluminum alloy plate. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 102(5-8), 1509–1520. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00170-018-03268-8> [in English].

17. Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Havrysh, A. P., Shevchuk, A. V., & others (2015). *Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn [The newest composite materials for friction parts of printing machines]*. Kyiv: NTUU KPI, 428. Retrieved from https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0.5&cluster=6673344392320605039 [in Ukrainian].

18. Roik, T. A., Brovkyn, A. O., & Shostachuk, O. P. (2021). Vplyv rezhymiv tonkoho elborovoho shlifuvannya na shorstkist poverkhon samozmashchuvannykh kompozytnykh detalei dlia drukarskoi tekhniki [Influence of fine elbor grinding modes on surface roughness of self-lubricating composite parts for printing equipment]. *Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva*, 1(71), 51–61. Retrieved from [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.238995](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.238995) [in Ukrainian].

19. Roik, T., Brovkyn, A., & Dubolazov, A. (2021). Analysis of the parts' roughness parameters of high-speed printing equipment by optical profilome-



try. *Proc. SPIE 12126, Fifteenth International Conference on Correlation Optics*, Vol. 12126, 1212617. DOI: 10.1117/12.2615584. Retrieved from <https://doi.org/10.1117/12.2615584> [in English].

20. Jamroziak, K., & Roik, T. (2019). New Antifriction Composite Materials Based On Tool Steel Grinding Waste. *WIT Transaction on Engineering Sciences*, Volume 124, 151–159. DOI: 10.2495/MC190151. Retrieved from <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-engineering-sciences/124/37197> [in English].

21. (2014). *Instrumenty iz sverkhhtverdykh materialov*. M.: Mashinostroenie, 608. Retrieved from <https://docplayer.ru/40252931-Instrumenty-iz-sverhtverdyh-materialov.html>.

22. Novykov, M. V. (2006). Abrazyvni materialy [Abrasive materials]. *Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy*. Retrieved from http://esu.com.ua/search_articles.php?id=42203 [in Ukrainian].

23. Mazur, M. P., & others (2020). *Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. Lviv: Novyi Svit, 2000, 471. Retrieved from <http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizani-mater.pdf> [in Ukrainian].

The article is devoted to establishing the influence of elbor grinding technological modes on the cylindrical contact surfaces' quality parameters of self-lubricating antifriction composite parts based on restored industrial grinding waste of high-alloy steel 8Kh4V2MFS2 with the CaF₂ solid lubricant additions, which are designed to equip units of offset, printing and plate cylinders in printing machines.

Keywords: composite self-lubricating part; recovered metal waste; fine elbor grinding; processing scheme; roughness; units of printing machines.

Надійшла до редакції 23.11.21