

© 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

ПАРАМЕТРИ НАКЛЕПУ ПОВЕРХОНЬ АНТИФРИКЦІЙНИХ КОМПОЗИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ФІНІШНОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ

Стаття присвячена визначенню фізичних властивостей тонкого поверхневого шару після фінішної кубонітової обробки робочих поверхонь нових самозмащувальних антифрикційних композитів на основі відновлених шліфувальних відходів сталей 8X4B2MFC2 та 05X12H6Д2MFCГТ з домішками твердого мастила СаF₂ для формування практичних рекомендацій з науково-обґрунтованих режимів тонкого кубонітового шліфування робочих поверхонь самозмащувальних деталей контактних пар друкарської техніки.

Ключові слова: антифрикційні композитні деталі; кубонітове шліфування; зернистість; зв'язка; режими різання; спотворення II-го роду; мікротвердість; ступінь наклепу; друкарське обладнання.

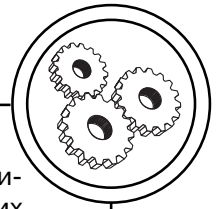
Постановка проблеми

Сучасне поліграфічне машинобудування характеризується підвищенням швидкостей та навантажень машин та механізмів за рахунок впровадження високо-ефективних технологічних процесів виготовлення нових матеріалів з наперед заданими властивостями та новітніх технологічних процесів їх фінішної обробки.

Надійність і ресурс друкарського устаткування значною мірою визначаються експлуатаційними характеристиками окремих деталей і вузлів, що з них складаються.

А це, у свою чергу, безпосередньо впливає на якість будь-якого з видів друкованої продукції.

Тому альтернативною відповіддю на нові технологічні виклики є використання принципово нових матеріалів, що виготовлені з ресурсоощадної і екологічної сировини, та широка імplementація нових методів їх механічної обробки. Тільки таке поєднання цих найважливіших технологічних опцій може забезпечити суттєве підвищення надійності та стабільності в роботі не лише окремого вузла, а й поліграфічного апарату загалом.



Експлуатація сучасних поліграфічних машин пов'язана з широким спектром навантажуючих факторів, у тому числі, швидкості обертання до 800 об./хв, тиску 3,0–8,0 МПа, за яких забезпечення високих параметрів надійності, працездатності та довговічності обладнання безпосередньо залежить від параметрів якості окремих деталей, особливо пар контактної взаємодії — сполучених пар, що піддаються тертю.

Зазначені умови експлуатації притаманні роботі сучасного друкарського обладнання, насамперед, високошвидкісних машин поліграфічної техніки, зокрема, ротаційних апаратів типів KBA Rapida-105, Heidelberg Speedmaster SM 102 FPL, Star Binder 1509, SITMA C80 750i тощо, у вузлах яких працюють деталі тертя антифрикційного призначення.

Зазвичай такі деталі традиційно виготовляються з литих кольорових сплавів — бронзи та латуні, функціональні характеристики яких є вкрай незадовільними, що дозволяє забезпечувати задовільну роботу вузла лише обмежений час [1–5].

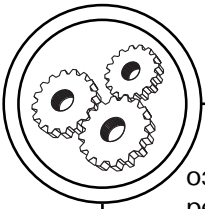
Водночас напрацювання авторів [1–5] переконливо довели ефективність використання принципово нових самозмащувальних композитів для означених антифрикційних деталей, виготовлених з цінної вторинної сировини — регенованих шліфувальних відходів легованих сталей, таких як 5ХЗВЗМФС, 7ХГ2ВМФ, Р5М5К5, 86Х6НФТ і деяких інших з твердим мастилом CaF_2 , робочі поверхні яких механічно оброблені за новими технологічними схемами [1–3, 6–9]. Такий комплекс технологічних заходів проілюстрував

наявність стабільно високих триботехнічних властивостей цих композитів в умовах дії високих швидкостей обертання і навантажень на контактну пару.

Інформація про технологічні заходи одержання та тонкої механічної обробки робочих поверхонь нових композитних деталей детально наведено у роботах [1–3, 6–9]. У цих працях показано, що на терміни служби антифрикційних деталей з нових композитів впливають показники якості поверхонь оброблення, а саме, параметри шорсткості поверхонь R_a та властивості поверхневого шару, з якого шліфувальним інструментом зрізається тонка стружка [1–3, 6–8]. За таких умов першочерговими завданнями було досягнення характеристик мінімальної шорсткості R_a поверхонь оброблення, яка є передумовою високих функціональних характеристик антифрикційних композитних деталей завдяки утворенню змащувальних антизадирих плівок.

Для реалізації поставлених завдань розроблено технологічні процеси, де фінішна абразивна обробка виконувалась із застосуванням методів тонкого кубонітового та ельборового шліфування, а також методів магнітно-абразивного оброблення [4–8, 10–17].

У машинобудівному виробництві широко застосовуються шліфувальні інструменти з кубонітів, що розроблені на основі кубічного нітриту бору (КНБ) [1–3, 5, 6] і рекомендовані для надтонкої фінішної обробки робочих поверхонь деталей тертя, що виготовлені з високолегованих композитів. Це дозволило одержати високі функціональні властивості



означених матеріалів на основі регенованих сталевих відходів завдяки застосуванню розробленої авторами комплексної технології виготовлення з наступною тонкою обробкою поверхонь [1–3, 5, 9]. Отримані результати забезпечили високі вимоги до зносостійкості нових антифрикційних деталей, що експлуатуються у важких умовах контактної взаємодії високошвидкісних друкарських машин [1–5].

Втім досліджень таких важливих характеристик якості поверхні оброблення, якими є фізичні властивості тонкого поверхневого шару після фінішного кубонітового шліфування практично не проводилось, а саме, інформація про знак і рівень залишкових напружень у зоні оброблення, глибину залягання та ступінь наклепу є вельми обмеженою і стосується тонкої обробки лише деяких марок нових композитних деталей [1–3, 18, 19] або взагалі відсутня для більшості розроблених антифрикційних композитів на основі відновлених шліфувальних відходів. Це не дозволяє зробити узагальнення і розгалужені практичні рекомендації з розробки технологічних регламентів для виробників.

Наведені аргументи стали підґрунтям для виконання досліджень з визначення фізичних властивостей тонкого поверхневого шару після фінішної кубонітової обробки робочих поверхонь нових самозмащувальних антифрикційних композитів на основі шліфувальних відходів сталей для оснащення контактних пар друкарської техніки.

Такий підхід надасть змогу реалізувати науково-обґрунтований

підхід до створення технологічних регламентів тонкого кубонітового шліфування означених деталей, а відтак, призначати оптимальні режими різання залежно від складу композитного матеріалу і його особливостей для забезпечення високих вимог зносостійкості антифрикційних деталей, окремих контактних з'єднань і друкарської машини у цілому.

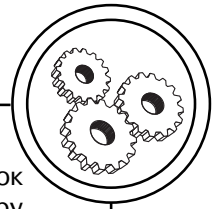
Мета роботи

Визначення фізичних властивостей тонкого поверхневого шару після фінішної кубонітової обробки робочих поверхонь нових самозмащувальних антифрикційних композитів на основі шліфувальних відходів сталей 8Х4В2МФС2 та 05Х12Н6Д2МФСГТ з домішками твердого мастила CaF_2 для формування практичних рекомендацій з науково-обґрунтованих режимів тонкого кубонітового шліфування робочих поверхонь самозмащувальних деталей контактних пар друкарської техніки.

Одержані режими різання дозволять отримати відповідні параметри якості шліфованих поверхонь та забезпечити високий рівень експлуатаційних властивостей композитних самозмащувальних деталей тертя високообертового друкарського обладнання, що сприятиме одержанню стабільно високої якості продукції друкарства.

Результати проведених досліджень

У всіх експериментах використовувались зразки з нових композитів середнього хімічного складу, мас. %: 8Х4В2МФС2 + 5 % CaF_2 , 05Х12Н6Д2МФСГТ + 5 % CaF_2 [7, 8].



Методика визначення фізичних властивостей поверхневого шару зразків представлена у роботах [1–4, 18, 19].

Фізичні властивості поверхневого шару деталей з нових композитів, а саме — глибина та ступінь наклепу, спотворення II-го роду, знак та величина залишкових напружень, цілком залежать від дії силового та температурного полів, що виникають при тонкому шліфуванні поверхонь [1–4, 18, 19].

У процесі виконання експериментів враховано попередньо отримані авторами результати досліджень впливу двох важливих факторів на структурні особливості поверхневого шару при шліфуванні — сил різання та миттєвих контактних температур [1–5, 18, 19], що виникають і одночасно діють на вершині кубонітового зерна шліфувального круга у процесі зрізання тонких стружок з поверхні зразка.

Дія сил різання спричинює деформаційні явища у тонкому поверхновому шарі, що призводить до зміни структури поверхні обробки, а саме, до виникнення і генерації нових дислокацій, зростання їх густини, а це, у свою чергу, збільшує міцність і мікротвердість обробленої поверхні.

Другий одночасно діючий фактор — це миттєві контактні температури, які сприяють відпочинку і релаксації зміцненої від дії сил різання структури поверхні оброблення.

Як наслідок одночасної дії цих двох факторів, формуються кінцеві значення параметрів якості поверхні оброблення. Роботи [1–3, 18, 19] показали, що при раціональному призначенні режимів шліфування можливо виконувати

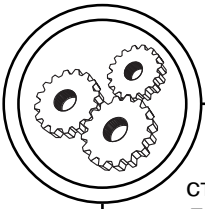
тонку обробку так, що відпочинок і релаксація поверхневого шару від дії миттєвих контактних температур будуть повністю компенсувати (усувати) небажане зміцнення поверхні від дії сил різання.

Тому постало завдання дослідити вплив режимів різання при тонкому кубонітовому шліфуванні на фізичні властивості поверхневого шару деталей з нових композитів для отримання практичних результатів, коли призначаючи відповідні режими різання, можна максимально зберегти вихідні властивості композиту, з якого виготовлено деталь.

Такі результати сприятимуть істотному зменшенню коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування антифрикційних деталей, а відтак, суттєвому збільшенню терміну служби як окремого контактного вузла, так і друкарського апарату у цілому.

Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому кубонітовому шліфуванні зразків з нових композитів наведено у табл. 1–5.

Виходячи з отриманих результатів, наведених у табл. 1–5, видно, що обробка поверхонь кубонітовими кругами на еластичних зв'язках забезпечує менший рівень наклепу, ніж обробка на жорстких керамічній (K1) та металевій (M1) зв'язках, а саме, спотворення II-го роду — $\Delta a/a$, мікротвердість H_D та ступінь наклепу K більші при застосуванні шліфувальних інструментів на вказаних жорстких зв'язках. Це є характерним для обох досліджуваних антифрикційних композитів, синтезованих на основі відновлених шліфувальних відходів високолегованих



сталей 8Х4В2МФС2 та 05Х12Н6 Д2МФСГТ, з домішками твердого мастила. Також спостерігається схожість цих залежностей для обох композитів як при застосуванні крупнозернистих, так і дрібнозернистих кубонітових шліфувальних кругів.

Такі явища обумовлені властивостями бакелітно-гумової зв'язки, а саме, її меншою жорсткістю, більшою еластичністю порівняно, наприклад, з бакелітно-гумової зв'язкою і тим більш порівняно з керамічною чи металевою зв'язками. Завдяки цьому під час зрізання стружки з поверхні досліджуваного зразка на ріжучому лезі кубонітового зерна утворюється відповідна сила різання, яка

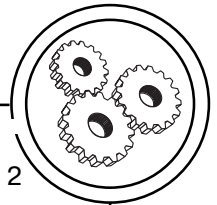
залежить від технологічних режимів різання [1–4, 7, 8].

Ця сила різання призводить до викривлення кристалічної структури поверхневого шару композиту через високу густину дислокацій, і викликає утворення у ньому різних дефектів, таких як наклеп, спотворення II-го роду, залишкові напруження. Але завдяки еластичності бакелітно-гумової зв'язки, сили різання перерозподіляються і амортизують ріжуче зерно в матеріал шліфувального круга. Це фактично зменшує глибину різання і, відповідно, зменшує складові сили шліфування, що, у свою чергу, сприяє зменшенню параметрів наклепу [18, 19].

Таблиця 1
Залежність наклепу від матеріалу зв'язки круга при кубонітовому шліфуванні зразків з композиту 8Х4В2МФС2 + 5 %CaF₂

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Зв'язка інструменту	Параметри наклепу		
			$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_d , МПа	К
КНБ5К1 100%	50	Керамічна	22–23	4185	1,16
КНБ 5М1 100 %	50	Металева	21–22	4288	1,19
КНБ 5Бр1 100 %	50	Бакелітно-гумова	20–21	4125	1,15
КНБ 5Бр2 100 %	50	Бакелітно-гумова	20–22	4205	1,17
КНБ М28К1 100 %	28	Керамічна	19–20	3910	1,08
КНБ М28Бр1 100 %	28	Бакелітно-гумова	17–18	3840	1,07
КНБ М14К1 100 %	14	Керамічна	14–16	3790	1,05
КНБ 5М14Бр1 100 %	14	Бакелітно-гумова	13–15	3700	1,03
КНБ М14М1 100 %	14	Металева	16–18	3740	1,04
КНБ М10К1 100 %	10	Керамічна	14–17	3710	1,03
КНБ М10Бр1 100 %	10	Бакелітно-гумова	11–13	3660	1,02

Примітки: 1. $\Delta a/a$ — спотворення II-го роду; 2. H_d — мікротвердість деталі після шліфування за Віккерсом; 3. К — ступінь наклепу (H_d/H_3); 4. Показники наклепу зразків без обробки: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, $H_3 = 3600$ МПа; 5. Шліфувальні круги з кубоніту (КНБ) на керамічній (К1), металевий (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100 %-ю концентрацією кубоніту; 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 «Аbawerk» (ФРН), швидкість круга $V_{кр} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_b = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження — 3-й % розчин содової емульсії.



Таблиця 2

Параметри наклепу при кубонітовому шліфуванні зразків з композииту 05X12H6Д2МФСГТ + 5 %CaF₂ крупнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
		$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_d , МПа	К	
КНБ10Бр1 100 %	100	22–23	4345	1,21	емульсія
КНБ 5Бр1 100 %	50	20–21	4115	1,14	емульсія
КНБ 5Бр1 100 %	50	19–20	4075	1,13	емульсія
КНБ 5М1 100 %	50	19–21	4115	1,14	емульсія
КНБ 5К1 100 %	50	19–19,5	4095	1,14	емульсія
КНБ 5К1 100 %	50	20–20,5	4205	1,17	без охолодження
КНБ 5М1 100 %	50	20–21	4265	1,18	без охолодження
63С10Гл	100	23,7–24,2	5410	1,50	емульсія

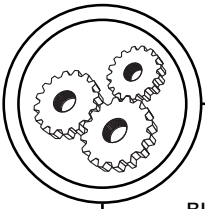
Примітки: 1. $\Delta a/a$ — спотворення II-го роду; 2. H_d — мікротвердість деталі після шліфування за Віккерсом; 3. К — ступінь наклепу (H_d/H_3); 4. Показники наклепу зразків без обробки: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, мікротвердість $H_3 = 3600$ МПа; 5. Шліфувальні круги з кубічного нітриту бору (КНБ) на керамічній (К1), металевій (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язках зі 100 %-ю концентрацією кубоніту. Для порівняння — круг 63С10Гл з карбіду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл); 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН), швидкість кругу $V_{кр} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_B = 2$ м/хв., глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження — 3-й % розчин содової емульсії.

Таблиця 3

Параметри наклепу при кубонітовому шліфуванні зразків з композииту 8Х4В2МФС2 + 5 %CaF₂ дрібнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_d , МПа	К	
КНБМ28БР1 100 %	16–17	3868	1,07	емульсія
КНБМ28БР1 100 %	17–18	3912	1,09	без охолодження
КНБМ20БР1 100 %	15,5–17	3800	1,06	емульсія
КНБМ14БР1 100 %	13–15	3700	1,03	емульсія
КНБМ10БР1 100 %	11–13	3670	1,02	емульсія
КНБМ10БР1 100 %	11,5–12,5	3730	1,04	без охолодження
КНБМ7БР1 100 %	10–11	3670	1,02	емульсія
КНБМ7БР1 100 %	11–12	3715	1,04	без охолодження
63СМ14Гл	22–23,5	4150	1,15	емульсія

Примітки: 1. $\Delta a/a$ — спотворення II-го роду; 2. H_d — мікротвердість деталі після шліфування за Віккерсом; 3. К — ступінь наклепу (H_d/H_3); 4. Показники наклепу зразків без обробки: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, мікротвердість $H_3 = 3600$ МПа; 5. Шліфувальні круги з кубічного нітриту бору (КНБ) на бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язках зі 100 % концентрацією кубоніту. Для порівняння — круг 63С10Гл з карбіду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл); 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН), швидкість кругу $V_{кр} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_B = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження — 3-й % розчин содової емульсії.



У процесі експериментів було виявлено, що при тонкому кубонітовому шліфуванні композитних деталей спостерігається залежність параметрів наклепу від морфологічних особливостей матеріалу і будови шліфувального інструменту, який застосовується при фінішній обробці. А саме, експериментально показано, що мінімальні спотворення II-го роду, мікротвердість, та ступінь наклепу обробленого поверхневого шару забезпечується із застосуванням шліфувальних кругів з мінімальною зерністю. Така закономірність зміни фізичних властивостей поверхневого шару оброблюваної композитної деталі залежно від морфології ріжучого інструменту спостерігається як при тонкому кубонітовому шліфуванні крупнозернистими інст-

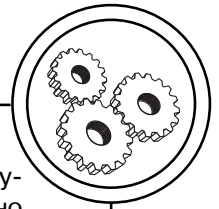
рументами (табл. 2), так і при шліфуванні дрібнозернистими кругами (табл. 3). При цьому характер цієї закономірності аналогічний для обох типів досліджуваних матеріалів — $8X4B2MFC2 + 5\%CaF_2$ і $05X12H6D2MFCGT + 5\%CaF_2$.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що зменшення параметрів наклепу досягається при застосуванні кубонітових кругів для тонкої фінішної обробки поверхонь на відміну від цих параметрів, що одержуються при використанні електрокорунду білого (23A) і карбїду кремнію зеленого (63C). Мінімізація параметрів наклепу при кубонітовому шліфуванні пояснюється більш твердими зернами і гострішою формою ріжучої кромки кожного кубонітового зерна, яке у процесі шліфування зазнає

Таблиця 4
Залежність ступеню наклепу від зерності круга на еластичній бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при кубонітовому шліфуванні зразків

Абразивний інструмент	Зерність круга, мм	Оброблюваний композит	
		$8X4B2MFC2 + 5\%CaF_2$	$05X12H6D2MFCGT + 5\%CaF_2$
		Ступінь наклепу, К	
КНБ10БР1 100 %	100	1,22	1,21
КНБ 5БР1 100 %	50	1,16	1,17
КНБМ28БР1 100 %	28	1,14	1,13
КНБМ20БР1 100 %	20	1,09	1,08
КНБМ14БР1 100 %	14	1,07	1,08
КНБМ7БР1 100 %	7	1,04	1,05

Примітки: 1. К — ступінь наклепу (H_d/H_3); 2. H_d — мікротвердість деталі після шліфування за Віккерсом; мікротвердість зразків без обробки $H_3 = 3600$ МПа; 3. Режим шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН), швидкість круга $V_{кр} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_v = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження — 3-й розчин содової емульсії.



і передає оброблюваній поверхні менші навантаження, а, відтак, і менші пластичні деформації, які набагато менше викривлюють структуру поверхнього шару порівняно з абразивним зерном електрокорунду білого або карбиду кремнію зеленого.

Результати табл. 4, 5 показують безпосередній зв'язок параметрів наклепу поверхонь оброб-

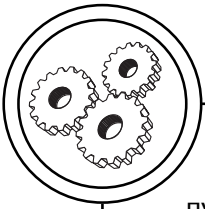
лення з величиною зерна ріжучого інструменту. Так, незалежно від типу кубонітового круга параметри наклепу зменшуються зі зменшенням зернистості від 100 до 7 мкм. Найменші параметри наклепу забезпечуються при кубонітовому шліфуванні кругами зернистістю 14 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) зі 100 % концентрацією кубоніту (КНБМ14 100 %).

Таблиця 5

Параметри наклепу по глибині наклепаної зони при кубонітовому шліфуванні зразків з композиту 8Х4В2МФС2 + 5 %CaF₂

Вид обробки, тип круга	Глибина шару вимірювання, мкм							
	1		3		5		10	
	Параметри наклепу							
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K
Без охолодження КНБ10БР1 100 %	22,5–23,5	1,20	22–23	1,21	21,5–22,5	1,20	10,5–21,5	1,16
З охолодженням КНБ 10БР1 100 %	22,5–23,5	1,21	22–23	1,20	21,5–22,5	1,19	19,9–20,2	1,15
З охолодженням КНБМ28БР1 100 %	17–18	1,08	17–18	1,07	16,5–17	1,06	14,5–16	1,03
Без охолодження КНБМ28БР1 100 %	17,5–18,5	1,09	17,5–18,5	1,08	17–18	1,07	14–16	1,04
З охолодженням КНБМ20БР1 100 %	16–17	1,06	15,5–16,5	1,05	15–17	1,05	14–14,5	1,03
З охолодженням АСМ14БР1 100 %	13–15	1,04	12,5–15,5	1,03	12–14	1,03	11,5–13,5	1,02
Без охолодження КНБМ14БР1 100 %	13–13,5	1,03	13–13,5	1,02	12–12,5	1,02	11–13	1,02
З охолодженням КНБМ10БР1 100 %	11–13	1,02	10–12	1,02	10–12	1,02	9–10,5	1,02
Без охолодження КНБМ10БР1 100 %	12–12,5	1,04	11–11,5	1,03	11–11,5	1,02	9–10,5	1,02
З охолодженням КНБМ7БР1 100 %	10,5–11,5	1,02	10–11	1,02	9,5–10,5	1,01	7,5–9	1,02

Примітки: 1. $\Delta a/a$ — спотворення II-го роду; 2. K — ступінь наклепу (H_d/H_3); H_d — мікротвердість деталі після шліфування за Віккерсом; H_3 — мікротвердість зразка без обробки за Віккерсом 3. Показники наклепу зразка: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, $H_3 = 3600$ МПа; 4. Шліфувальні круги: кубічний нітрит бору (КНБ) на бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язці зі 100 % концентрацією кубоніту; 5. Режим шліфування: однопрохідне плоске з виходженням, верстат FF-250 «Аbawer» (ФРН), швидкість круга $V_{кр} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_b = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження — 3-й % розчин содової емульсії.



Збільшення параметрів наклепу при збільшенні зернистості круга пов'язано з істотним зростанням силового впливу на поверхневі шари оброблюваної деталі, що викликає збільшення ступеню пластичної деформації, а, відтак, і зростання структурних спотворень [1–3].

При цьому глибина наклепаної зони (табл. 5) також безпосередньо залежить від величини зерна кубонітового круга, яка зменшується починаючи від 20 мкм (зерно 50–10 мкм) до 1 мкм (зерно 7–14 мкм) з означених вище причин.

Експериментальні результати було отримано при поєднанні сучасних методів досліджень, таких як металографічний, електронно-мікроскопічний та рентгеноструктурний аналізи, що підтверджує їх достовірність [1–5, 18, 19].

Окрім цього слід зазначити, що параметри наклепу є меншими при кубонітовому шліфуванні з охолодженням мастильно-охолоджуючою рідиною ніж при обробці без охолодження. Це можна пояснити більшим впливом миттєвих температур, що виникають через контакт ріжучого інструменту з оброблюваною поверхнею.

Узагальнюючи одержані результати досліджень, можна зазначити, що процес тонкого кубонітового шліфування нових самозмашувальних антифрикційних композитів на основі відновлених шліфувальних відходів супроводжується процесами зміцнення і відпочинку поверхневих шарів деталі, які впливають на зміну їх фізичних властивостей, що, у свою чергу, викликає зміну параметрів якості робочих поверхонь.

Тому, беручи до уваги закономірності утворення наклепу в зо-

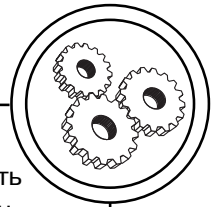
ні тонкої обробки, відкривається можливість розробляти такі технологічні процеси, які враховують вплив морфології і особливостей будови кубонітового інструменту на параметри якості поверхонь композитних антифрикційних деталей сполучених пар і вузлів друкарського обладнання.

Такий підхід дозволить істотно збільшити надійність роботи і довговічність означеного обладнання і стабілізує якість друкованої продукції.

Висновки

Результати виконаних досліджень показали, що на параметри наклепу поверхневих шарів нових самозмашувальних антифрикційних композитів на основі відновлених шліфувальних відходів сталей 8X4B2MFC2 і 05X12H6D2-MFCГТ істотно впливають, величина зерна кубонітового шліфувального інструменту, тип зв'язки кубонітового круга та застосування мастильно-охолоджуючої рідини у процесі тонкого шліфування.

Виявлено, що мінімальні спотворення II-го роду, мікротвердість, ступінь наклепу та глибина формування наклепу у поверхневому шарі забезпечуються застосуванням інструментів з кубічного нітриту бору (КНБ) зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при 100 % концентрації кубоніту. Це пов'язано зі зменшенням силового впливу на поверхневі шари оброблюваної деталі на відміну від крупнозернистого інструменту, що викликає зменшення ступеню пластичної деформації, а, відтак, і зменшення структурних спотворень. Внаслідок цього глибина форму-



вання наклепу у поверхневих шарах оброблюваної деталі також зменшується.

Показано, що мінімізація параметрів наклепу оброблюваної поверхні при фінішному кубонітовому шліфуванні досягається із застосуванням тонких режимів різання, а саме, для плоского однопрохідного шліфування: швидкість круга — 22 м/с, швидкість виробу (поздовжня подача) — 2 м/хв, глибина різання — 2 мкм з охолодженням розчином содової емульсії.

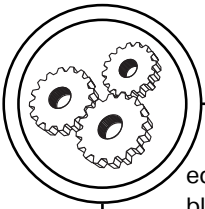
З огляду технологічних заходів досягнення високих параметрів якості оброблених поверхонь антифрикційних композитів та отримані мінімальні параметри наклепу свідчать про мінімізацію спотворень у поверхневих шарах, а, відтак, про збереження вихідних функціональних властивостей матеріалу внаслідок балансу дії силового і температурного полів при тонкій кубонітовій обробці та раціонального вибору ріжучо-го інструменту.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення номенклатури композитів, що піддаватимуться тонкій обробці, які виготовлені на основі широкої гами цінних шліфувальних відходів чорних і кольорових металів, з точки зору особливостей процесу тонкого кубонітового шліфування означених матеріалів, призначених для оснащення контактних пар друкарського і пост-друкарського обладнання.

Такий підхід надасть змогу не тільки виконувати комплексний аналіз фізичних властивостей робочих поверхонь деталі, а і повною мірою задовольняти високі вимоги подальшого підвищення терміну служби сполучених антифрикційних деталей та друкарських машин у цілому. Це відкриє можливості значно збільшити надійність роботи означеного обладнання і стабілізує якість друкарської продукції.

Список використаної літератури

1. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: монографія / [П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк]. К.: НТУУ КПІ, 2015. 428 с. Електронний ресурс [Режим доступу]: [URL:https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0,5&cluster=6673344392320605039;https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=kYNz4dwAAAAJ&citation_for_view=kYNz4dwAAAAJ:yB1At4FIUx8C](https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0,5&cluster=6673344392320605039;https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=kYNz4dwAAAAJ&citation_for_view=kYNz4dwAAAAJ:yB1At4FIUx8C).
2. 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. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42300>.
3. 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. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909>.
4. Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2022. 554 p. / [Т. А. Roik, О. А. Gavyrsh, І. І. Vitsiuk]. Modeling of the composite parts' surface microrelief for printing



equipment after magnetic abrasive processing. Riga, Latvia, Edition: «Baltija Publishing», Published: May 9, 2022, pp. 413–436. Електронний ресурс [Режим доступу]: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-207-4-15>.

5. Scientific Foundations of Solving Engineering Tasks and Problems: Collective monograph / [Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M., Hladyshev D., Babyak V.]. etc. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, USA, 2021. 758 p. / Chapter 'Mechanical Engineering And Mechanical Engineering'. [T. Roik, O. Gavrysh, Ju. Gavrysh]. 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. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://isg-konf.com>. <https://isg-konf.com/uk/scientific-foundations-of-solving-engineering-tasks-and-problems-technical-sciences-ua/>.

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).

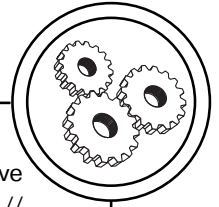
7. Роїк Т. А. Вплив режимів тонкого ельборового шліфування на шорсткість поверхонь самозмащувальних композитних деталей для друкарської техніки / Т. А. Роїк, А. О. Бровкин, О. П. Шостачук // Технологія і техніка друкарства. 2021. № 1(71). С. 51–61. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.238995](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.238995)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

8. Роїк Т. А. Підвищення якості робочих поверхонь самозмащувальних композитних деталей друкарської техніки тонким ельборовим шліфуванням / Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, А. О. Бровкин // Технологія і техніка друкарства. 2021. № 4(74). С. 63–78. Електронний ресурс [Режим доступу]: <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/253914/258520>.

9. Roik Tetiana, Gavrysh Oleg, Rashedi Ahmad, Khanam Taslima, Raza Ali, Jeong Byongug. New Antifriction Composites Based on Tool Steel Grinding Waste for Units of Printing Machines' Offset Cylinders // MDPI Journal 'Sustainability', Section 'Sustainable Materials' Special Issue 'Materials for Sustainability', Vol. 14, Issue 5, 27.02.2022, Website online, Sustainability 2022. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://doi.org/10.3390/su14052799>. https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/7f7f50a30d5ba6343ff4b07d8cae5382. Special Issue: https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/MfS.

10. 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». Львів: Вид-во Львівської політехніки. 2011. № 713. С. 149–154. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://vlp.com.ua/node/8146>.

11. 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. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-60-65](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-60-65).



12. 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. <https://doi.org/10.1063/10.0005015>.

13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2004.06.014>.

14. 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. 1608–1619. <https://doi.org/10.1364/OE.26.011608>.

15. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2014. 608 с.

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

17. 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, Chernivtsi, 21 December 2021. <https://doi.org/10.1117/12.2615584>.

18. Гавриш А. Аналіз параметрів наклепу поверхонь деталей тертя високошвидкісних машин при тонкому кубонітовому шліфуванні / А. Гавриш, Т. Роїк, П. Киричок, Ю. Віцюк, В. Олійник // Вісник ТНТУ. Тернопіль: ТНТУ, 2014. Том 73. № 1. С. 118–127. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://visnyk.tntu.edu.ua/?art=246>.

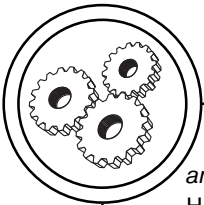
19. Гавриш А. П. Параметри наклепу поверхонь деталей тертя поліграфічних машин зі зносостійких композитів на основі нікелю при тонкому кубонітовому шліфуванні / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, О. І. Хмілярчук, О. С. Хлус // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». 2016. № 5(109). С. 54–61. Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://kpi.ua/nv-abstract-16-5>.

References

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

2. Gavrish, A. P., Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Vitsyuk, Yu. Yu., & Oliynyk, V. G. (2019). *Shlifuvannia i dovodka znosostiikykh antyfyryktsiinykh kompozytnykh detalei drukaskykh mashyn [Grinding and finishing of wear-resistant antifriction composite parts of printing machines]*, Part 2. Kyiv: ArtEk Publishing House, 132 p. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42300> [in Ukrainian].

3. Gavrish, A. P., Roik, T. A., Gavrish, O. A., Kyrychok, P. O., Vitsyuk, Yu. Yu., & Oliynyk, V. G. (2021). *Shlifuvannia i dovodka znosostiikykh antyfyryktsiinykh kompozytnykh detalei drukaskykh mashyn [Grinding and finishing of wear-resistant*



antifriction composite parts of printing machines], Part 3. Kyiv: ArtEk Publishing House, 202 p. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909> [in Ukrainian].

4. Roik, T. A., Gavrysh, O. A., & Vitsiuk, Iu. Iu. (May 9, 2022). *Findings of modern engineering research and developments*, 554 p. Modeling of the composite parts' surface microrelief for printing equipment after magnetic abrasive processing. Riga, Latvia, Edition: 'Baltija Publishing', 413–436 pp. Retrieved from <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>, <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-207-4-15>.

5. Demchyna, B., Vozniuk, L., Surmai, M., Hladyshch, D., & Babyak, V. (2021). Scientific Foundations of Solving Engineering Tasks and Problems. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, USA, 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, 565–576. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 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/>.

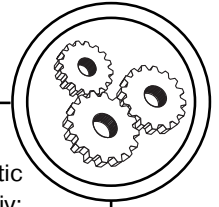
6. Roik, T. A., Gavrysh, O. A., Shtefan, E. V., & Shostachuk, O. P. (2020). Vplyv abrazynnoho instrumentu ta rezymiv shlifuvannya na riven kontaktnykh temperatur kompozytsiynykh samozmashchuvalnykh detalei vuzliv polihrafichnykh mashyn [Influence of abrasive tool and grinding modes on the level of contact temperatures of printing machines' composite self-lubricating parts]. *Technology and Technique of Typography*, (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. Roik, T. A., Brovyn, A. O., & Shostachuk, O. P. (2021). Vplyv rezhymiv tonkoho elborovoho shlifuvannya na shorstkist poverkhon samozmashchuvalnykh kompozytnykh detalei dlia drukarskoi tekhniki [Influence of fine elbor grinding modes on surface roughness of self-lubricating composite parts for printing equipment]. *Technology and Technique of Typography*, (1(71)), 51–61. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.238995](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.238995) [in Ukrainian].

8. Roik, T. A., Gavrysh, O. A., Vitsiuk, Iu. Iu., & Brovyn, A. O. (2021). [Improving the quality of working surfaces of printing equipment's self-lubricating composite parts by fine elbor grinding]. *Technology and Technique of Typography*, (4(74)), 63–78. Retrieved from <http://tdruk.vpi.kpi.ua/article/view/253914/258520> [in Ukrainian].

9. Roik, T., Gavrysh, O., Rashedi, A., Khanam, T., Raza, A., & Jeong B. (2022). New Antifriction Composites Based on Tool Steel Grinding Waste for Units of Printing Machines' Offset Cylinders. MDPI Journal 'Sustainability', Section 'Sustainable Materials'. *'Materials for Sustainability'*, Vol. 14, Issue 5, 27.02.2022, Website online, Sustainability, Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su14052799>, https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/7f7f50-a30d5ba6343ff4b07d8cae5382. Special Issue: Retrieved from https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/MfS.

10. Gavrysh, A. P., Roik, T. A., Melnik, O. O., & Vitsyuk, Yu. Yu. (2011). Yakist robochyh poverkhon kompozytnykh pidshypanykiv pry mahnitno-abrazynnomu



obroblenni [Working surfaces quality of composite bearings during magnetic abrasive processing]. *Bulletin of the National University 'Lviv Polytechnic'*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 713, 149–154. Retrieved from <https://vlp.com.ua/node/8146> [in Ukrainian].

11. Maiboroda, V. S., Slobodyanyuk, I. V., Dzhulii, D. Yu., & Zelinko, A. I. (2020). Magnetic abrasive machining of flat surfaces by permanent magnet heads. *Technical Engineering*, 1(85), 60–65. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-60-65](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-60-65).

12. 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. <https://doi.org/10.1063/10.0005015>.

13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2004.06.014>.

14. 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), 1608–1619. <https://doi.org/10.1364/OE.26.011608>.

15. (2014). *Instrumenty iz sverkhtverdykh materialov*. M.: Mechanical engineering, 608 p.

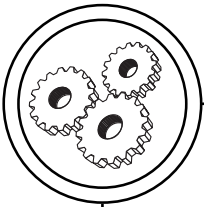
16. Mazur, M. P., and others (2020). *Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. Lviv: Novyi Svit, 2000, 471 p. Retrieved from <http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizan.mater.pdf> [in Ukrainian].

17. Roik, T., Brovyn, A., & Dubolazov, A. (21 December, 2021). 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. <https://doi.org/10.1117/12.2615584>.

18. Gavrysh, A., Roik, T., Kyrychok, P., Vitsyuk, Yu., & Olyinik, V. (2014). Analiz parametriv naklepu poverkhon detalei tertia vysokoshvydkisnykh mashyn pry tonkomu kubonitovomu shlifuvanni [Analysis of cool working parameters on friction parts surfaces for high-speed machines at fine cubonit grinding]. *Bulletin of TNTU*. Ternopil: TNTU, Volume 73, No 1, 118–127. Retrieved from <https://visnyk.tntu.edu.ua/?art=246>.

19. Gavrysh, A. P., Roik, T. A., Kyrychok, P.O., Khmiliarchuk, O. I., & Khlus, O. S. (2016). Parametry naklepu poverkhon detalei tertia polihrafichnykh mashyn zi znosostiikykh kompozytiv na osnovi nikeliu pry tonkomu kubonitovomu shlifuvanni [Cool working parameters of friction parts' surfaces of printing machines made from wear-resistant nickel-based composites at fine cubonite grinding]. *Scientific Bulletin of NTTU 'KPI'*, 5(109), 54–61. Retrieved from <https://kpi.ua/nv-abstract-16-5>.

The article is devoted to the physical properties determination of the thin surface layer after the final cubonite processing for the working surfaces of new self-lubricating antifriction composites



based on the recovered 8H4V2MFS2 and 05H12N6D2MFSGT steels grinding waste with the CaF_2 solid lubricant for formation the practical recommendations on scientifically based modes of fine cubonite grinding of the self-lubricating parts' working surfaces for printing equipment's contact pairs.

Keywords: antifriction composite parts; cubonite grinding; granularity; bond; cutting modes; distortions of the 2nd kind; microhardness; cool working degree; printing equipment.

Надійшла до редакції 09.09.22