

А.П. ГАВРИШ, Т.А. РОЇК, Ю.Ю. ВІЦЮК, Ю.О. ГАВРИШ  
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТИВ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ЕЛЬБОРОВОМУ ШЛІФУВАННІ

Наведено результати дослідження процесів утворення дефектних шарів на поверхнях швидкісних підшипників ковзання з нових високолегованих композитних матеріалів, які синтезовані з відходів інструментальних сталей, призначених для поліграфічних машин. Показано, що такий параметр якості поверхонь, як наклеп, глибина його залягання, ступінь наклепу та спотворення 2-го роду формуються в результаті взаємодії силового і температурного полів, які виникають на вершині ельборового зерна при тонкому ельборовому шліфуванні поверхонь тертя підшипників ковзання. Доведено, що кінцева якість поверхонь оброблення залежить від взаємодії одночасно виникаючих при ельборовому шліфуванні процесів зміцнення та спотворення 2-го роду та глибини наклепу від складу ельборового інструменту, його зернистості, типу зв'язки круга та режимів різання: швидкості круга, глибини шліфування, поздовжньої подачі та застосування змащувально-охолоджуючої рідини. Сформульовано рекомендації для промисловості по вибору шліфувальних інструментів з ельбору і режимів різання, які відповідають вимогам до якості поверхонь оброблення високошвидкісних підшипників ротаційних поліграфічних машин.

Ключові слова: нові композиційні сплави, силове поле, температури, складові сил різання, наклеп, деталі тертя поліграфічних машин, тонке ельборове шліфування.

A.P. GAVRISH, T.A. ROIK, YU.YU. VITSUK, YU.O. GAVRISH  
 National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

## QUALITY PARAMETERS OF SURFACES FRICTION WITH WEAR-RESISTANT COMPOSITE FOR PRINTING MACHINES GRINDING IN ELBOR

*Abstract - In the article the research results of defect layers formation on surface of high-speed sliding bearings made of new high-alloy composite materials from tool steels wastes and intended for printing machines have been presented. It was shown such quality parameters of surface like cold-work strengthening, depth of its bedding and range cold-work strengthening and distortions of the 2-nd type are formed as a result of interaction between force and temperature fields appearing on the top of elbor grain at fine elbor grinding of friction surfaces of sliding bearings. It was proved final quality of surface depends on interaction of simultaneously arising processes of strengthening and tempering of working surfaces of sliding bearings at elbor grinding. It was defined the dependences of cold-work strengthening degree, its depth and distortions of the 2-nd type from composition of elbor tool, its graininess, bond type of elbor disc, parameters of grinding: using lubricating and cooling liquid, depth of grinding, rotation speed of the disc and line feed. The practical recommendations were formulated for choice elbor grinding tools and cutting parameters which satisfy requirements of working surfaces quality of high-speed bearing for rotary printing machines.*

*Keywords: new composite alloys, force field, temperatures, cutting forces' components, cold-work strengthening, friction pieces of printing machines, fine elbor grinding.*

### Вступ

Розвиток сучасної техніки вимагає забезпечення високих параметрів надійності, працездатності та зносостійкості друкарських машин, їх вузлів і деталей тертя у широкому спектрі умов експлуатації від нормальних до екстремальних (швидкості обертання до 800 об./хв, тиски від 3 до 8 МПа). Одним із поширених видів деталей тертя, що експлуатуються у зазначених умовах, є підшипники ковзання високошвидкісних машин поліграфічної техніки, зокрема, ротаційних апаратів типу КВА «Rapid – 105», деталей вузлів тертя газоперекачувальних станцій, компресорів магістральних газогонів та інше.

Створення нових композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації [1–5], з широким використанням як основи для них утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей переконливо довело наявність стабільно високих триботехнічних властивостей цих композитів [6].

Відомості про технологічні засади виготовлення та прецизійної механічної обробки нових композитних підшипників детально наведені у роботах [5–8]. Цими дослідженнями було доведено, що на строки служби підшипників ковзання з нових композитів впливають показники якості поверхонь оброблення, а саме, параметри шорсткості поверхонь  $Ra$  та властивості поверхневого шару, з якого абразивним інструментом здійснюється зрізання тонких стружок. З цієї точки зору висувались задачі досягнення характеристик мінімальної шорсткості  $Ra$  поверхонь оброблення, яка є передумовою високих функціональних властивостей підшипників. З цією метою були створені технологічні процеси, де фінішна абразивна обробка здійснювалась із застосуванням методів тонкого абразивного та алмазного шліфування, а також методів магнітно-абразивного оброблення [7–9].

Технічний прогрес та безперервне зростання ефективності виробництва у сучасному машинобудуванні тісно пов'язані з широким застосуванням нових видів абразивних та інструментальних матеріалів і створенням з них сучасних інструментів. Одним з таких матеріалів є ельбор – синтетичний матеріал на основі кубічного нітриду бору.

Вперше синтез кубічного нітриду бору був здійснений в Інституті фізики високих тисків (ІФВТ) Академії наук СРСР [10, 11]. Дослідження властивостей кубічного нітриду бору показало, що він по твердості наближається до алмазу, значно випереджає його по теплостійкості, є хімічно інертним до заліза, що окреслює зону ефективного застосування інструментів цього класу. На основі теоретичних розробок ІФВТ АН СРСР вченими Всеросійського науково-дослідного інституту абразивів та шліфування ВНДІАШ (м. Санкт-Петербург) була створена промислова технологія виробництва матеріалів на основі кубічного нітриду бору та гами шліфувальних інструментів, що отримали торгову марку ельбор (ІО) [10].

Високі техніко-економічні показники застосування інструментів з ельбору при обробці високотвердих складнолегованих матеріалів обумовили бурхливі темпи розповсюдження в різних галузях машинобудування.

Зазначимо, що саме нові композиційні матеріали деталей тертя для друкарської техніки, які створені для суттєвого підвищення параметрів зносостійкості, є складно легованими сплавами [1–3]. Вони містять у своєму складі такі елементи як вольфрам, ванадій, титан, кобальт, ніобій, нікель та цирконій, що свідчить про їх важкооброблюваність методами механічного оброблення.

На жаль, спроб використати ельборові інструменти для тонкого шліфування поверхонь тертя деталей друкарських машин на сьогодні немає. Повністю відсутня інформація про дослідження одного з найважливіших параметрів якості обробленої поверхні, яким є фізичні властивості тонкого поверхневого шару після тонкого ельборового шліфування, а саме, знак і рівень залишкових напружень у зоні оброблення, відомостей про глибину та ступень наклепу практично немає.

Вказані обставини зумовили необхідність детального вивчення властивостей тонкого поверхневого шару після ельборової обробки поверхонь нових підшипників ковзання для друкарських машин. Виконання дослідів у цьому напрямку дає можливість науково-обґрунтовано підходити до створення технології тонкого ельборового шліфування, а відтак, призначати (залежно від складу того чи іншого композитного матеріалу) оптимальні режими різання.

### Постановка задачі

Метою досліджень, наведених у даній роботі, є встановлення науково-обґрунтованих режимів тонкого ельборового шліфування робочих поверхонь підшипників ковзання з нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей P2AM9K5, 7XГ2ВМФ та ХН55ВТКЮ. Ці режими різання повинні забезпечити відповідні параметри якості прошліфованих поверхонь та забезпечити необхідний рівень експлуатаційних властивостей вузлів тертя високообертового друкарського обладнання.

### Матеріали та результати досліджень

Методика вивчення фізичних властивостей поверхневого шару зразків наведена у роботах [4–9].

Слід підкреслити, що у всіх експериментах використовувались зразки з нових композитних матеріалів P2AM9K5+5%CaF<sub>2</sub>, 7XГ2ВМФ+5%CaF<sub>2</sub> та ХН55ВТКЮ+5%CaF<sub>2</sub> [1–4].

Для експериментальних досліджень використовувались ельборові порошки двох марок: ЛО – звичайної механічної міцності та ЛП – підвищеної механічної міцності. При цьому порошки марки ЛО застосовувалися при виготовленні шліфувальних інструментів на еластичних органічних зв'язках, а ельбор марки ЛП – для інструментів на керамічній та металевій зв'язках.

Зазначимо, що фізичні властивості поверхневого шару деталей з нових композитів, а саме – глибина та ступінь наклепу, спотворення II-го роду, знак та величина залишкових напружень, цілковито залежать від взаємодії силового та температурного полів [12–14].

Було враховано попередньо отримані авторами результати досліджень сил [11] та миттєвих контактних температур [11–16], що виникають і одночасно діють на вершині ріжучого зерна шліфувального круга при зрізанні тонких стружок з поверхні оброблення. При цьому сили різання спричинюють зміцнення тонкого поверхневого шару, у той час як миттєві контактні температури сприяють відпочинку зміцненої від дії сил різання поверхні. Як наслідок, формуються кінцеві значення параметрів якості поверхні оброблення.

У роботі [10] було спрогнозовано, що при раціональному підборі режимів шліфування у майбутньому можливо буде виконувати обробку так, що відпочинок поверхневого шару від дії температур буде здатен повністю усунути зміцнення від сил різання.

Отже, технологічні дослідження впливу режимів різання при тонкому ельборовому шліфуванні на фізичні властивості поверхневого шару деталей з нових композитів є актуальними, а отримані результати створюють умови, коли призначаючи відповідні режими різання, стане можливим максимально зберегти вихідні властивості матеріалу, з якого виготовлено деталі тертя. Це, в свою чергу, забезпечить відповідне зменшення зносу при терті поверхонь підшипників ковзання, значно підвищить строк служби деталі та друкарської машини у цілому, зокрема, офсетної друкарської машини КВА «Rapida - 105».

Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому ельборовому шліфуванні зразків з нових підшипникових матеріалів наведені у табл. 1–5.

Аналізуючи дані табл. 1 - 5, видно, що при визначенні залежностей утворення наклепу при тонкому шліфуванні деталей з нових композитних матеріалів виявлено наступні закономірності: обробка круглими на еластичних зв'язках забезпечує менший наклеп, ніж обробка на жорсткій керамічній (K1) та металевій (M1) зв'язках. Спотворення II роду  $\Delta a/a$ , мікротвердість  $H_d$  та ступінь наклепу  $K$  більші при застосуванні шліфувальних інструментів на жорстких зв'язках. Це є характерним для всіх досліджуваних складів композиційних сплавів, синтезованих з відходів інструментальних сталей. Також слід відзначити схожість цієї залежності як при застосуванні крупнозернистих, так і дрібнозернистих шліфувальних інструментів.

Пояснення цьому може бути надано з урахуванням властивостей бакелітно-гумової зв'язки, а саме, її меншою жорсткістю, більшою еластичністю у порівнянні, наприклад, з керамічною зв'язкою. Внаслідок цього під час зрізання стружки з поверхні зразка, що досліджується, на ріжучому лезі ельборового зерна утворюється відповідна сила різання, яка залежить від технологічних режимів різання [13]. Ця сила деформує шар матеріалу і обумовлює утворення у ньому різних дефектів (наклеп, спотворення II роду, залишкові напруження). При цьому, саме завдяки еластичності бакелітно-гумової зв'язки, сили різання перерозподіляються і демпфують ріжуче зерно у тіло шліфувального круга. Це зменшує фактичну глибину шліфування і відповідно, зменшує складові сили шліфування, які у свою чергу обумовлюють зменшення параметрів наклепу [6, 8, 11].

При тонкому ельборовому шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів виявлено залежність параметрів наклепу від матеріалу зерна ельбору, на основі якого формується шліфувальний інструмент.

Залежність наклепу від матеріалу зв'язки круга при ельборовому шліфуванні зразків із сплаву P2AM9K5+5%Ca F<sub>2</sub>

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Зв'язка інструменту	Параметри наклепу		
			$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_d$ , МПа	$K$
ЛП5К1 100%	50	Керамічна	21-22	4190	1,16
ЛП 5М1 100%	50	Металева	20-22	4290	1,19
ЛО5Бр1 100%	50	Бакелітно-гумова	19,5-20,5	4170	1,14
ЛО 5Бр2 100%	50	Бакелітно-гумова	20-21,7	4280	1,17
ЛП М28К1 100%	28	Керамічна	18-19	3900	1,08
ЛО М28Бр1 100%	28	Бакелітно-гумова	16,5-17,5	3950	1,07
ЛП М14К1 100%	14	Керамічна	13-15	3800	1,05
ЛО 5М14Бр1 100%	14	Бакелітно-гумова	13-14,3	3780	1,03
ЛП М14М1 100%	14	Металева	15-17	3750	1,04
ЛП М10К1 100%	10	Керамічна	14-16	3700	1,02
ЛО М10Бр1 100%	10	Бакелітно-гумова	11,5-12,7	3670	1,01

Примітка: 1.  $\Delta a/a$  – спотворення 2-го роду. 2.  $H_d$  – мікротвердість деталі за Віккерсом. 3.  $K$  – 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 ельбору (ЛО та ЛП) на керамічній (К1), металевій (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100-відсотковою концентрацією ельбору. 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 “Abawerk” (ФРН), швидкість круга  $V_{кр} = 22$  м/с, швидкість виробу  $V_b = 2$  м/хв, глибина різання  $t = 2$  мкм, охолодження – 3% розчин содової емульсії.

Таблиця 2

Залежність наклепу від матеріалу ельборового зерна при шліфуванні зразків зі сплаву P2AM9K5+5%CaF<sub>2</sub> крупнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
		$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_d$ , МПа	$K$	
ЛО10Бр1 100%	100	21,5-22,5	4350	1,20	емульсія
ЛП10Бр1 100%	100	21-22	4300	1,15	емульсія
ЛО5Бр1 100%	50	19-20	4120	1,14	емульсія
ЛП5Бр1 100%	50	18-19	4080	1,13	емульсія
ЛО5М1 100%	50	19,5-21	4120	1,14	емульсія
ЛП5К1 100%	50	19-19,5	4120	1,15	емульсія
ЛП5К1 100%	50	21-22	4190	1,16	без охолодження
ЛО5М1 100%	50	20,5-21	4170	1,17	без охолодження
63С10Гл	100	23,7-24	5400	1,50	емульсія

Примітка: 1.  $\Delta a/a$  – спотворення 2-го роду. 2.  $H_d$  – мікротвердість деталі за Віккерсом. 3.  $K$  – 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 ельбору звичайної міцності (ЛО) та підвищеної міцності (ЛП) на керамічній (К1), металевій (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язках зі 100-відсотковою концентрацією ельбору. Для порівняння – круг 63С10Гл з карбиду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл); 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF -250 “Abawerk” (ФРН), швидкість круга  $V_{кр} = 22$  м/с, швидкість виробу  $V_b = 2$  м/хв, глибина різання  $t = 2$  мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.

Таблиця 3

Залежність наклепу від матеріалу зерен при ельборовому шліфуванні зразків зі сплаву P2AM9K5+5%Ca F<sub>2</sub> дрібнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_d$ , МПа	$K$	
ЛОМ28Бр1 100%	16,6-17,6	3875	1,07	емульсія
ЛОМ28Бр1 100%	17,3-18,2	3917	1,08	без охолодження
ЛПМ28Бр1 100%	16,4-17,2	3859	1,06	емульсія
ЛПМ28Бр1 100%	17,2-17,9	3910	1,08	без охолодження
ЛОМ20Бр1 100%	15,5-16,7	3820	1,05	емульсія
ЛОМ14Бр1 100%	12,3-14,2	3730	1,03	емульсія
ЛПМ14Бр1 100%	12,1-12,4	3698	1,02	емульсія
ЛОМ10Бр1 100%	10,3-12,2	3657	1,01	емульсія
ЛПМ10Бр1 100%	11,2-11,8	3725	1,03	без охолодження
ЛОМ7Бр1 100%	10,7-11,3	3686	1,02	емульсія
ЛПМ7Бр1 100%	11,6-12,7	3704	1,03	без охолодження
63СМ14Гл	23-23,5	4140	1,15	емульсія

Примітка: 1.  $\Delta a/a$  – спотворення 2-го роду. 2.  $H_d$  – мікротвердість деталі за Віккерсом. 3.  $K$  – 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 ельбору звичайної міцності (ЛО) та підвищеної міцності (ЛП) на бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язках зі 100-відсотковою концентрацією ельбору. Для порівняння – круг 63С10Гл з карбиду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл); 6. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF -250 “Abawerk” (ФРН), швидкість круга  $V_{кр} = 22$  м/с, швидкість виробу  $V_b = 2$  м/хв., глибина різання  $t = 2$  мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.

Залежність ступеню наклепу  $K$  від зернистості при ельборовому шліфуванні зразків з досліджуваних сплавів шліфувальними кругами на еластичній бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1)

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Матеріал композитних зв'язків		
		P2AM9K5+5%CaF <sub>2</sub>	7XГ2ВМФ+5%CaF <sub>2</sub>	XH55ВТКЮ+5%CaF <sub>2</sub>
		Ступінь наклепу $K$		
ЛО10БР1 100%	100	1,20	1,23	1,26
ЛО 5БР1 100%	50	1,14	1,17	1,18
ЛО М28БР1 100%	28	1,07	1,12	1,13
ЛО М20БР1 100%	20	1,05	1,08	1,10
ЛО М14БР1 100%	14	1,03	1,05	1,07
ЛО М7БР1 100%	7	1,02	1,03	1,05

Примітки: 1.  $K$  – ступінь наклепу ( $H_d / H_3$ ). 2. Показник наклепу зразка  $H_3 = 3600$  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 % розчин содової емульсії.

Таблиця 5

Параметри наклепу на різних рівнях наклепаної зони при ельборовому шліфуванні зразків з композитного сплаву P2AM9K5+5%CaF<sub>2</sub>

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 ЛО10Бр1 100%	21,5-22,5	1,20	21-22	1,19	20,5-21,5	1,18	19,5-20,5	1,15
З охолодженням ЛО10Бр1 100%	21-22	1,19	20,5-21,5	1,18	20-21	1,17	19-20	1,13
З охолодженням ЛП10Бр1 100%	21,5-22,5	1,20	21-22	1,19	20,5-21,5	1,18	19,4-20,1	1,14
З охолодженням ЛОМ28Бр1 100%	16,5-17,5	1,07	16-17	1,06	15,5-16,5	1,05	14-15,55	1,01
Без охолодження ЛОМ28Бр1 100%	17-18	1,08	16,5-17,5	1,07	16-17	1,06	13-15	1,02
З охолодженням ЛОМ28Бр1 100%	16-17	1,06	15,5-16,5	1,05	15-16	1,04	12-14	1,01
З охолодженням ЛОМ20Бр1 100%	15-16,5	1,05	14,5-15,5	1,04	14-16	1,03	13-13,5	1,01
З охолодженням ЛОМ14Бр1 100%	12-14	1,03	11,5-13,5	1,02	11-13	1,01	10,-12,5	1,01
Без охолодження ЛОМ14Бр1 100%	12,5-13	1,02	12-12,5	1,01	11,5-12	1,01	10-12	1,01
З охолодженням ЛПМ14Бр1 100%	12-12,5	1,02	11,5-12	1,01	11-11,5	1,01	10,5-11	1,01
З охолодженням ЛОМ10Бр1 100%	10-12	1,01	9,5-11,5	1,01	9-11	1,01	8,5-10	1,01
Без охолодження ЛОМ10Бр1 100%	11-11,5	1,03	10,5-11	1,02	10-10,5	1,01	8-9,5	1,01
З охолодженням ЛОМ10Бр1 100%	10,5-11	1,02	10-10,5	1,01	9-10	1,01	7-9	1,01
З охолодженням ЛОМ7Бр1 100%	9,5-10,5	1,01	9-10	1,01	8,5-9,5	1,01	6,5-8	1,01

Примітки: 1.  $\Delta a/a$  – спотворення II-го роду. 2.  $K$  – ступінь наклепу ( $H_d / H_3$ );  $H_d$  – мікротвердість деталі за Віккерсом;  $H_3$  – мікротвердість зразка за Віккерсом. 3. Показники наклепу зразка:  $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$ ,  $H_3 = 3600$  МПа. 4. Шліфувальні круги: ельборовий з зернами ельбору звичайної міцності (ЛО) та ельборовий з зернами ельбору підвищеної міцності (ЛП) на бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язці зі 100 % концентрацією ельбору. 5. 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 % розчин содової емульсії.

Експериментально доведено, що мінімальні спотворення II роду, мікротвердість, ступінь наклепу та глибина залягання дефектів за товщиною поверхнього шару забезпечують застосування шліфувальних кругів на основі ельбору звичайної міцності (ЛО).

Найбільш чітко це проявляється при тонкому ельборовому шліфуванні крупнозернистими інструментами (табл. 2), хоча така ж залежність існує і для випадку шліфування дрібнозернистими кругами (табл. 3).

Узагальнюючи всю сукупність експериментальних даних як для крупнозернистих, так і дрібнозернистих інструментів, необхідно зробити загальний висновок про зменшення наклепу при тонкому шліфуванні ельборовими кругами для всієї гама досліджених нових композитних матеріалів. Зменшення наклепу можна пояснити достатньо гострою формою ріжучого леза кожного окремого зерна ельбору та більшою міцністю їх,

здатних при шліфуванні сприймати та передавати деформованим мікрооб'ємам металу (в процесі зрізання стружки) менші навантаження, ніж зерна електрокорунду білого (23А) і карбиду кремнію зеленого (63С). Ці висновки повністю співпадають з висновками, що отримані при дослідженні силового поля при тонкому абразивному шліфуванні нових композитних сплавів, зокрема, зі значеннями питомих складових сил шліфування ( $P_x, P_y, P_z$ ), які припадають на кожне поодинокі ріжуче зерно, що знаходиться у шарі оброблення і зрізує тонку стружку з перерізом  $a_z$  [15].

Аналіз даних табл. 4,5 показує, що існує фактичний зв'язок між параметрами наклепу та зернистістю інструменту. Незалежно від виду ельборового інструменту зі зменшенням його зернистості (у діапазоні від 100 до 7 мкм) параметри наклепу зменшуються. Мінімальний наклеп забезпечує шліфування кругами зернистістю 14 мкм на основі ельбору (ЛО) на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) зі 100 %-ю концентрацією ельбору (ЛОМ14БР1 100 %). Підвищення ступеню наклепу зі збільшенням розміру зерна пояснюється суттєвим збільшенням силової дії на мікрооб'єм металу [9, 13], у зв'язку з чим зростає ступінь пластичної деформації.

Необхідно зазначити, що отримані висновки про закономірності утворення наклепу підтверджуються різними фізичними методами вимірювання (рентгеноструктурний аналіз, металографія, індукційне зондування поверхні оброблення) [11, 15]. Це свідчить про наявність внутрішнього зв'язку між різними параметрами наклепу та підтверджує достовірність результатів досліджень.

У даній роботі не ставилась задача отримання кореляційних моделей зв'язку між різними досліджуваними параметрами. Проте, слід звернути увагу на те, що у більшості випадків параметри наклепу менші при шліфуванні з охолодженням змащувально-охолоджуючою рідиною, ніж при різанні без охолодження. Це пояснюється більшим впливом миттєвих контактних температур при зрізанні стружки [16]. Але питання застосування охолоджуючої рідини при тонкому шліфуванні нових композиційних сплавів повинно вирішуватись у комплексному поєднанні з призначенням режимів різання, які також повинні забезпечити мінімальну шорсткість поверхні оброблення нових високошвидкісних підшипників [12], що є важливим показником якості і суттєво впливає на параметри зношування при їх роботі і довговічності відповідних вузлів, зокрема, ротаційних поліграфічних машин типу КВА «Rapida - 105».

Аналіз табл. 5 показує, що глибина наклепаної зони залежність від зернистості інструменту, зменшуючись від 20 мкм (при розмірі зерна від 50 до 100 мкм) до 1 мкм (при розмірі зерна від 7 до 14 мкм).

Таким чином, на основі наведених експериментальних досліджень, можна дійти висновку, що при тонкому ельборовому шліфуванні нових композитних сплавів відбуваються складні процеси зміцнення та відпочинку тонкого шару поверхні тертя нових підшипників ковзання, які впливають на показники стійкості та довговічності.

Знання закономірностей утворення наклепу дозволяє технологам промислових підприємств створювати технологічні процеси, які враховують вплив складу ельборового інструменту на параметри якості деталей підшипників ковзання та інших деталей тертя друккарських машин і механізмів. Це дозволяє оптимізувати режими різання, створювати реальні технологічні процеси для виробництва.

### Висновки

Вперше досліджено питання ельборового оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей, з точки зору формування у поверхневих шарах прошліфованих поверхонь параметрів якості з мінімізацією спотворень вихідних властивостей металу внаслідок дії силового та температурного полів.

Показано, що на параметри наклепу поверхневого шару суттєво впливають матеріал зерна ельбору (звичайної ЛО чи підвищеної ЛП міцності), зернистість шліфувального круга та тип зв'язки ельборового інструменту, а також такий технологічний фактор, як застосування для оброблення змащувально-охолоджуючої рідини.

Найкращі показники параметрів наклепу, а саме мінімальні спотворення II-го роду, мінімальна мікротвердість та ступінь наклепу, а також мінімальна глибина утворення наклепу у шарі поверхні оброблення деталі забезпечують інструменти з ельбору звичайної міцності ЛО зернистістю від 14 до 20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при 100% концентрації ельбору.

Для забезпечення необхідних умов якості поверхневого шару (параметри наклепу, шорсткість поверхні оброблення) ельборове шліфування підшипників з нових композиційних матеріалів необхідно виконувати із застосуванням тонких режимів різання, а саме для плоского однопрохідного шліфування периферією круга: швидкість круга 22 м/с, швидкість виробу (поздовжня подача) – 2 м/хв, глибина різання – 2 мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.

Подальші дослідження процесу тонкого ельборового шліфування нових композитних деталей будуть спрямовані на всебічне вивчення характеру залишкових напружень у поверхневому шарі оброблення, зокрема, величини напружень, їх знаку (розтягу чи стиску) та глибини залягання. Це дасть можливість виконати комплексний аналіз властивостей поверхні деталі з урахуванням вимог подальшого підвищення строків служби деталей тертя та друккарських машин в цілому.

### Література

1. Патент України № 102299, МПК С22С33/02 Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок, О.А. Гавриш, Ю.Ю. Віцюк, О.О. Мельник (Україна) ; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 13.
2. Патент України № 41532, МПК С22С33/02 Підшипниковий композиційний матеріал / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш, Ю.Ю. Віцюк, В.В. Холявко, О.О. Мельник (Україна) ; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – Опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.
3. Патент України № 31545, МПК С22С33/02 Антифрикційний композиційний матеріал на основі нікелю / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш, В.В. Холявко, Ю.Ю. Віцюк (Україна) ; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – Опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.

4. Роїк Т.А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищення умов експлуатації : монографія / Т.А. Роїк, П.О. Киричок, А.П. Гавриш. – К.: НТУУ „КПІ”, 2007. – 404 с.
5. Роїк Т.А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.
6. Нові технології фінішного оброблення композиційних матеріалів з відходів швидкорізальних сталей на основі аналізу плівок тертя / [А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, та ін.] // Наукові Вісті НТУУ „КПІ”. – №2. – 2011. – С. 100–107.
7. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації : монографія / [А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін.]. – К.: НТУУ „КПІ”. 2012. – 196 с.
8. Вплив складу інструменту і режимів тонкого алмазного шліфування та шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / [А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, та ін.] // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – №5 – 2013. – С. 71–76.
9. Вплив технології виготовлення та магнітно-абразивної обробки на властивості високошвидкісних підшипників / [О.О. Мельник, Ю.Ю. Віщок, А.П. Гавриш, Т.А. Роїк] // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. – Серія машинобудування. – №59. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2010. – С. 75–78.
10. Эльбор в машиностроении : монография / [В.С. Лысанов, А.В. Букин, Б.А. Глаговский, З.И. Кремень]; Под ред. В.С. Лысанова. – Ленинград : Машиностроение. 1978. – 280 с.
11. Гавриш А.П. Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: монографія / А.П. Гавриш, П.П. Мельничук. – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 652с.
12. Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / [А.П. Гавриш, А.В. Шевчук, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок] // Технологія і техніка друкарства. – №3.-2012. – С. 65-77.
13. Вплив складу інструменту і режимів тонкого ельборового шліфування та шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / [А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок та ін.] // Вісник ЖДТУ. – №3. – 2012. – С. 112–120.
14. Обеспечение качества поверхностей деталей из магнитомягких сплавов прецизионной доводкой: монография / [Т.А. Роїк, П.О. Киричок, А.П. Гавриш и др.]. – К.: НТУУ „КПІ”, 2013.- 233 с.
15. Силове поле при тонкому шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської техніки / [А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок] // Прогресивные технологии и система машиностроения (Международный сборник научных трудов). – Донецк: ДонНТУ. – №2 (45). – 2013. – С. 85–90.
16. Дослідження температур при тонкому абразивному шліфуванні деталей з композитів на основі відходів інструментальних сталей / [А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщок] // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – №1 (69). – 2013. – С. 125–130.

## References

1. Patent Ukraini № 102299, МПК C22C33/02 Antifrikciyniy kompoziciyniy material na osnovi instrumentalnoi` stali / T.A. Roik, A.P. Gavrish, P.O. Kirichok, O.A. Gavrish, Y.Y. Vicyuk, O.O. Melnik (Ukraina); zayavnik i patentovlasnik NTUU «KPI». – Opubl. 25.06. 2013, Byul. № 13.
2. Patent Ukraini № 41532, МПК C22C33/02 Pidshpnikoviy kompoziciyniy material / T.A. Roik, A.P. Gavrish, O.A. Gavrish, Y.Y. Vicyuk, V.V. Holyavko, O.O. Melnik (Ukraina); zayavnik i patentovlasnik NTUU «KPI». – Opubl. 25.05. 2009, Byul. № 10.
3. Patent Ukraini № 31545, МПК C22C33/02 Antifrikciyniy kompoziciyniy material na osnovi nikelyu / T.A. Roik, A.P. Gavrish, O.A. Gavrish, V.V. Holyavko, Y.Y. Vicyuk (Ukraina); zayavnik i patentovlasnik NTUU «KPI». – Opubl. 10.04. 2008, Byul. № 7.
4. Roik T.A. Kompoziciyni pidshpnikoviy materialy dlya pidvischennya umov ekspluatatsii : monografiya / T.A. Roik, P.O. Kirichok A.P. Gavrish. – K.: NTUU „KPI”, 2007. – 404 p.
5. Roik T.A. Suchasni sistemi tehnologiy zagotivelnogo virobництва v mashinobuduvanni : monografiya / T.A. Roik, A.P. Gavrish, O.A. Gavrish. – K.: EKMO, 2010. – 212 p.
6. Novi tehnologii` finishnogo obrobлення kompoziciynih materialiv z vidhodiv shvidkori`zalnih staley na osnovi analizu plivok tertya / [A.P. Gavrish, T.A. Roik, P.O. Kirichok, ta in.] // Naukovi Visti NTUU „KPI”. – №2. – 2011. – pp. 100–107.
7. Novi tehnologii` finishnogo obrobлення kompoziciynih pidshpnikov kovzannya dlya jorstkih umov ekspluatatsii` : monografiya / [A.P. Gavrish, O.O. Melnik, T.A. Roik ta in.]. – K.: NTUU „KPI”. 2012. – 196 p.
8. Vpliv skladu instrumentu i rejimiv tonkogo almaznogo shlifuvannya ta shorstkist poverhon kompozitnih pidshpnikov kovzannya poligrafichnih mashin / [A.P. Gavrish, T.A. Roik, P.O. Kirichok, ta in.] // Naukovi vi`sti NTUU „KPI”. – №5 – 2013. – pp. 71–76.
9. Vpliv tehnologii` vigotvornennya ta magnitno-abrazivnoi obrobki na vlastivosti visokoshvidkisnih pidshpnikov / [O.O. Melnik, Y.Y. Vi`cyuk, A.P. Gavrish, T.A. Roik] // Visnik Nacionalnogo tehničnogo universitetu Ukraini „Kiivskiy politehničnij institut”. – Seriya mashinobuduvannya. – №59. – K.: NTUU „KPI”. – 2010. – pp.75–78.
10. E`lbor v mashinostroenii : monografiya / [V.S. Lysanov, A.V. Bukin, B.A. Glagovskiy, Z.I. Kremen]; Pod red. V.S. Lysanova. – Leningrad : Mashinostroenie. 1978. – 280 p.
11. Gavrish A.P. Almazno-abrazivna obrobka magnitnih materialiv: monografiya / A.P. Gavrish, P.P. Melnichuk. – Jitomir : JDТУ, 2003. – 652p.
12. Vpliv abrazivnogo instrumentu na shorstkist poverhon kompozitnih pidshpnikov poligrafichnoi` tehniki pri tonkomu shlifuvanni / [A.P. Gavrish, A.V. Shevchuk, T.A. Roik, Y.Y. Vicyuk] // Tehnologiya i tehnika druzkarstva. – №3.– 2012.– pp. 65–77.
13. Vpliv skladu instrumentu i rejimiv tonkogo elborovogo shlifuvannya ta shorstkist poverhon kompozitnih pidshpnikov kovzannya poligrafichnih mashin / [A.P. Gavrish, T.A. Roik, P.O. Kirichok ta in.] // Visnik JDТУ. – №3. – 2012. – pp. 112-120.
14. Obespechenie kachestva poverhnostey detaley iz magnitomyagkih splovov precizionnoy dovodkoy: monografiya / [T.A. Roik, P.O. Kirichok, A.P. Gavrish i dr.]. – K.: NTUU „KPI”, 2013. – 233 p.
15. Silove pole pri tonkomu shlifuvanni detaley tertya z novih kompoziciynih sploviv dlya drukarskoi tehniki / [A.P. Gavrish, P.O. Kirichok, T.A. Roik, Y.Y. Vicyuk] // Progressivnye tehnologii i sistema mashinostroeniya (Mejdunarodny sbornik nauchnyh trudov). – Doneck: DonNTU. – №2 (45). – 2013. – pp. 85-90.
16. Doslidjennya temperatur pri tonkomu abrazivnomu shlifuvanni detaley z kompozitiv na osnovi vidhodiv instrumentalnih staley / [A.P. Gavrish, P.O. Kirichok, T.A. Roik, Y.Y. Vicyuk] // Visnik Ternopilskogo nacionalnogo tehničnogo universitetu. – №1 (69). – 2013. – pp. 125–130.

Рецензія/Peer review : 19.9.2013 р. Надрукована/Printed :21.11.2013 р.  
Рецензент: Гордєєв А.І., д.т.н., проф.