

УДК 621.923.6: 621.318.4: 621.002.1

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.1.63586

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Р.А. Хохлова

Національний технічний університет України “КПІ”, Київ, Україна

### СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОНКОМУ КУБАНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

**Background.** The investigation of the influence on the cutting forces rectangular components of technological factors at thin cubanite grinding of parts made of wear-resistant composite materials synthesized based on the use of recycled and regenerated waste products of nickel alloys ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 with the addition of solid lubricant CaF<sub>2</sub> is presented.

**Objective.** The purpose of the paper is the experimental research of cutting forces rectangular components of technological processes of thin cubanite grinding of friction parts made of new nickel-based composite materials. The influence on the force field of grinding tool grain, such as bond type grinding discs and basic grinding modes, is determined.

**Methods.** Surface treatment of printing machine friction parts made of wear-resistant nickel-based composites with thin grinding on the plain-grinding machines with cubonit grinding instruments with 14–20 μm grain on the bakelite-rubber bond Бр1 and use of the thin cutting modes.

**Results.** It was shown, that the granularity, grinding disc bond material and thin cubonit grinding modes essentially influence the cutting forces rectangular components  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  at grinding of the new nickel-based composites. The cubonit discs with 14–20 μm grain on the bakelite-rubber bond Бр1 and use of the thin cutting modes provided the best results.

**Conclusions.** It is proved that the grain and the grinding cubanite discs bond type and grinding modes significantly influence the formation of the force field at grinding of new nickel-based composite materials. The recommendations were developed for the production.

**Keywords:** new composite materials; cutting forces; grinding cubonit discs; grain; bond type; cubonit grinding; cutting modes.

#### Вступ

Вимоги до деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають. Це зумовлює необхідність створення й удосконалення існуючих технологій виготовлення деталей такого типу, включаючи синтез нових видів матеріалів та розробку фінішних операцій технологічного процесу надтонкої обробки робочих поверхонь тертя із забезпеченням відповідних високих вимог до якості оброблення (мінімальних значень параметрів шорсткості поверхні, мінімальних спотворень, знака та значень залишкових напружень, дефектів тонкого поверхневого шару, глибини залягання наклепу, ступеня деформації металу в зоні зрізання стружки поодиноким абразивним зерном). Ці якості формують умови придатності поверхні оброблення для задоволення високих функціональних вимог експлуатації, зокрема істотного підвищення строків служби машин і механізмів друкарської техніки.

На жаль, усі ці питання недостатньо досліджені, оскільки нові композиційні матеріали (на основі цінних відходів нікелевих сплавів) для деталей, які працюють у жорстких умовах

експлуатації, лише нещодавно були створені і почали застосовуватись у промисловості [1–6].

Відомо, що на параметри зносостійкості поверхонь тертя суттєво впливають не тільки параметри шорсткості, а і, що не менш важливо, фізичні властивості тонкого шару поверхонь оброблення – глибина та ступінь наклепу, величина і знак залишкових напружень поверхневих шарів після їх механічного оброблення, закономірності змін структурних перетворень у надтонких поверхнях деталей тертя [7–14].

Слід особливо підкреслити, що всі композиції на основі нікелевих сплавів за своєю фізичною суттю є магнітом’якими матеріалами і, таким чином, належать до класу високоструктурночутливих сплавів, що (незважаючи на наявність у нікелевих композитах таких легувальних елементів, як вольфрам, ванадій, титан, молібден, цирконій та іридій) при дії навіть незначних навантажень на поверхні деталей, які виготовлені з цих високозносоустійких композитів, зумовлюють виникнення суттєвих змін властивостей їх поверхневих шарів [15]. Ці особливості структурночутливих нікелевих композитів у достатньо гострій формі проявляють себе при фінішній абразивній обробці магнітних

матеріалів, коли складові сил різання, які супроводжують процес зрізання навіть тонких стружок з мінімальним їх перерізом  $a_z$ , суттєво створюють фізико-механічні властивості поверхневого шару деталей тертя, зумовлюючи значне їх погіршення від материнських характеристик, які були створені на етапі виготовлення заготовок [1–7]. Високі ж материнські властивості гарантуються суворим виконанням комплексу технологічних рекомендацій (щодо приготування сумішей необхідних консистенцій, щодо режимів пресування, рівня температур нагрівання та охолодження, часу витримки заготовки за певної температури тощо), які отримані дослідниками-матеріалознавцями і набули характеру технологічних регламентів для промислового виробництва [1–7].

Кінцеві значення параметрів якості поверхонь деталей після їх механічного оброблення (шорсткість, рівень і знак залишкових напружень, глибина та ступінь наклепу) формуються на фінішних операціях абразивно-оздоблювальної обробки технологічного процесу виготовлення деталей, вузлів і механізмів поліграфічних машин.

Згідно із сучасними уявленнями про процеси різання матеріалів при абразивній обробці і відповідно до загальної теорії шліфування [16–24] фізико-механічні властивості матеріалів у поверхневих шарах деталей забезпечуються взаємодією силового і температурного полів на ріжучому лезі зерна шліфувального інструмента.

У машинобудівних галузях промисловості отримало широке визнання та набуло значного поширення тонке кубанітове шліфування із застосуванням створених в Інституті надтвердих матеріалів НАН України ім. В.М. Бакуля інструментів на базі кубічного нітриду бору (КНБ) [21–24]. Кубанітові шліфувальні круги забезпечують якість оброблення на рівні алмазних інструментів. На жаль, до сьогодні не вивчені особливості кубанітового шліфування нових композитів.

Таким чином, дослідження параметрів силового поля (складових сил різання) при тонкому кубанітовому шліфуванні нових композиційних матеріалів, синтезованих на основі використання цінної вторинної сировини, – відходів виробництва деталей із нікелевих сплавів, які серійно виготовляються у радіотехнічній, електронній та аерокосмічній галузях промисловості, і насамперед сплавів типу ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ та ЭП975, є актуальним питанням, що має наукове та практичне значення.

## Постановка задачі

Метою роботи є дослідження складових сил різання  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  при кубанітовій обробці деталей із нових композиційних сплавів на основі нікелю ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ та ЭП975 з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$  і встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки круга і режимів різання на параметри силового поля.

Задачі дослідження є такими:

- 1) виконати серію експериментів з визначення складових сил різання при фінішній механічній обробці зразків із нових композиційних матеріалів на основі нікелевих сплавів;
- 2) визначити характер впливу зернистості кубанітового шліфувального круга і типу зв'язки круга на параметри силового поля;
- 3) встановити вплив режимів різання на параметри силового поля при тонкому кубанітовому шліфуванні досліджуваних матеріалів;
- 4) узагальнити одержані результати і зробити висновки;
- 5) сформулювати практичні рекомендації для промисловців.

## Матеріали і результати досліджень

Експериментальне вивчення силового поля, зокрема складових сил різання  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  при тонкому кубанітовому шліфуванні деталей тертя із нових композиційних сплавів виконувалося згідно з методикою, наведеною у працях [15–17].

Як відзначалося вище, сили різання при шліфуванні металів є джерелом виникнення у зоні різання високих температур і залишкових пластичних деформацій у поверхневих шарах виробу. Сили різання при шліфуванні залежать від міцнісних характеристик оброблюваного матеріалу, складу кубанітового круга та режимів шліфування [15–17].

Для утворення стружки різальні кромки кубанітових зерен вдавлюються у матеріал деталі, і на оброблюваній поверхні утворюються канавки у напрямку руху круга.

У результаті різних досліджень процесів мікрорізання та шліфування встановлено, що при малих глибинах вдавлювання кубанітового зерна відбувається пластичне деформування без зрізання стружки – видавлювання матеріалу з боків риски від проходження зерна; лише при глибині вдавлювання 0,06–0,1 мкм починається процес утворення стружки перед різальними зернами [15–17].

У зв'язку з тим, що кубанітові зерна шліфувального круга перебувають на значній відстані одне від одного і для металевих матеріалів діаграми розтягу за однакових повторних навантажень збігаються з діаграмою розвантаження, пружний стан металу можна розглядати як результат силової дії поодинокого зерна.

Зміцнення поверхневого шару є результатом нормальної складової сили різання. Тому ступінь наклепу приблизно може характеризуватись величиною нормальної складової сили різання, що припадає на поодиноке зерно.

З урахуванням того, що різальні зерна кубанітового круга перебувають на однаковій відстані  $L_{\phi}$  одне від одного, можна вважати, що кожному зерну відповідає площа  $L_{\phi}^2$ .

Тоді кількість різальних зерен  $m$  на площі контакту круга з виробом  $F_m = L_{\kappa} \cdot B$  буде рівною

$$m = F'_m = L_{\kappa} \cdot B / l_{\phi}^2, \quad (1)$$

де  $B$  – ширина шліфування, мм;  $L_{\kappa}$  – довжина дуги контакту, мм (для плоского шліфування

$L_{\kappa} = D + t$ );  $l_{\phi}$  – фактична відстань між зернами, мм;  $m'$  – кількість різальних зерен, що припадає на одиницю площі круга;  $D$  – діаметр шліфування, мм;  $t$  – глибина шліфування, мм.

Відстань між зернами  $l_{\phi}$  може бути визначена експериментально. Для деяких зерен, зокрема КНБ,  $l_{\phi}$  розрахована, експериментально уточнена і використовується при дослідженнях силового поля [7, 17].

З урахуванням цього були виконані всебічні дослідження. Значення питомих (віднесених до 10 мм ширини круга) тангенціальної та нормальної складових зусиль різання наведені в табл. 1–3.

Аналіз результатів для обох видів матеріалів показує, що зі збільшенням глибини шліфування нормальна і тангенціальна складові сили різання закономірно зростають. Це пояснюється як збільшенням навантаження, що припадає на поодиноке різальне зерно, так і збільшенням кількості зерен у зоні контакту шліфувального круга з виробом.

**Таблиця 1.** Питомі сили різання при плоскому кубанітовому шліфуванні композита ХН55ВМТКЮ + 5 % CaF<sub>2</sub>

$t_n$ , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	КНБМ14Бр1 100 %			КНБМ14М1 100 %		
	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$
0,005	19,5	23,4	1,20	22,4	31,5	1,41
0,01	22,7	37,1	1,63	28,1	42,2	1,50
0,02	45,5	77,4	1,70	58,3	78,1	1,34
0,05	138,6	251,5	1,81	167,2	240,3	1,44

*Примітка.* Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; позадвжняя подача – 0,1 мм/подв. хід; обробка – без охолодження.

**Таблиця 2.** Питомі сили різання при плоскому кубанітовому шліфуванні композита ЭП975 + 5 % CaF<sub>2</sub>

$t_n$ , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	КНБМ14Бр1 100 %			КНБМ14М1 100 %		
	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$
0,005	17,1	22,2	1,30	21,0	23,7	1,13
0,01	25,6	35,1	1,37	33,2	38,1	1,14
0,02	41,3	62,2	1,51	61,1	63,2	1,03
0,05	45,7	70,8	1,55	143,0	151,1	1,06

*Примітка.* Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; позадвжняя подача – 0,1 мм/подв. хід; обробка – без охолодження.

**Таблиця 3.** Питомі сили різання при плоскому кубанітовому шліфуванні сплаву нікелевого композита ХН50ВТФКЮ + 5 % CaF<sub>2</sub>

$t_d$ , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	КНБМ14Бр1 100 %			КНБМ14М1 100 %		
	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$	$P_z$ , Н/см	$P_y$ , Н/см	$P_y/P_z$
0,005	19,1	22,7	1,19	23,1	29,1	1,26
0,01	23,3	36,5	1,57	29,5	40,5	1,37
0,02	45,5	73,7	1,62	60,1	75,3	1,25
0,05	46,1	76,1	1,65	151,7	210,5	1,39

*Примітка.* Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; обробка – без охолодження.

Також необхідно звернути увагу на такий важливий результат, отриманий при дослідженні тонкого кубанітового шліфування високолегованих нікелевих композиційних сплавів: за досить значної зміни режимів різання (наприклад, глибини шліфування по лімбу верстата  $t_d$  у 10 разів – для всього кола тестування) співвідношення складових сил різання  $P_y/P_z$  залишається стабільним і незалежно від марки композита лежить у межах 1,20–1,81 (для матеріалу на основі ХН55ВМТКЮ) та 1,29–1,55 (для сплаву ЭП975), тобто зміни цього показника не перевищують розбіжностей у 12–25 %. Це свідчить про стабільність безпосередньо процесів різання при застосуванні кубанітових інструментів, і саме в цьому проявляються переваги тонкого кубанітового шліфування порівняно з абразивною обробкою [7, 17].

Крім того, збільшення у складі композитів таких легувальних елементів, як вольфрам, молібден і ванадій, а відповідно, і суттєва зміна механічних характеристик оброблюваних матеріалів з одночасним погіршенням оброблюваності їх різанням, не викликає значних змін у співвідношенні складових сил різання  $P_y/P_z$ .

Це явище, найвірогідніше, може бути пояснене більш високою здатністю до різання кубанітових зерен шліфувального круга і відповідними перевагами кубанітового шліфування високолегованих важкооброблюваних композитів на основі нікелю порівняно з тонким абразивним шліфуванням кругами з найгостріших абразивних зерен карбіду кремнію зеленого [7].

Зазначені закономірності зберігаються для кубанітових кругів на різних зв'язках (еластична бакелітно-гумова Бр1 чи жорстка металева М1). До речі, це свідчить про об'єктивну єдність отриманих залежностей і, більше того,

повністю збігається із загальними положеннями теорії шліфування [15–24].

При кубанітовому шліфуванні використання дрібнозернистих кругів на еластичній зв'язці Бр1 також знижує величини тангенціальної та нормальної складових сил різання (табл. 1–5). Це пояснюється більшою пружністю бакелітно-гумової зв'язки порівняно з металевою М1.

Для розрахунку навантаження на окреме зерно покладалося, що в процесі стружкоутворення бере участь у середньому 0,1 всіх зерен, які містяться на периферії круга, тобто:

$$m = 0,1 L_k \cdot B / l_{\phi}^2 \quad (2)$$

З експериментальних даних (табл. 4, 5) видно, що при тонкому кубанітовому шліфуванні навантаження, що припадає на одне зерно, зростає дуже інтенсивно до глибини 0,012 мм. При подальшому збільшенні глибини шліфування величина розрахункового навантаження незначна. Тому подальше збільшення сил різання пов'язане в основному тільки зі збільшенням кількості різальних кубанітових зерен у зоні контакту шліфувального круга з виробом.

При використанні еластичних зв'язок, наприклад бакелітно-гумових Бр1, навантаження на одне зерно менше залежить від глибини різання.

При шліфуванні дрібнозернистими кругами значення  $P_{z3}$  і  $P_{y3}$  приблизно у 100–150 разів менші, ніж при шліфуванні крупнозернистими кругами (див. табл. 5). Таким значним зменшенням нормальної складової сили різання поодиноким зерном і пояснюється, в основному, зниження ступеня зміцнення поверхневого шару та умов покращення формування мінімальної шорсткості поверхонь оброблення деталей тертя із нових композитних матеріалів [7, 15–17] при використанні дрібнозернистих кубанітових інструментів.

**Таблиця 4.** Розрахункове навантаження на окреме різальне зерно круга при кубанітовому шліфуванні зразків із композиційного сплаву ХН55ВМТКЮ + 5 % CaF<sub>2</sub>

$t_l$ , мм	$L_k$ , мм	Характеристика круга					
		КНБМ14Бр1 100 %			КНБМ14М1 100 %		
		$m$	$P_{z3}$ , Н	$P_{y3}$ , Н	$m$	$P_{z3}$ , Н	$P_{y3}$ , Н
0,005	0,80	465	0,025	0,041	237	0,085	0,085
0,01	1,1	675	0,030	0,050	348	0,127	0,097
0,02	1,6	910	0,051	0,066	426	0,186	0,210
0,05	2,7	1550	0,078	0,093	780	0,255	0,325

*Примітка.* Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 22 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід;  $B$  – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

**Таблиця 5.** Розрахункове навантаження на окреме різальне зерно круга при кубанітовому шліфуванні зразків із композиційного сплаву на основі нікелю ЭП975 + 5 % CaF<sub>2</sub>

$t_l$ , мм	$L_k$ , мм	Характеристика круга					
		400×32×16 мм			200×32×16 мм		
		КНБ25Бр1 100 %			КНБМ14Бр1 100 %		
		$m$	$P_{z3}$ , Н	$P_{y3}$ , Н	$m$	$P_{z3}$ , Н	$P_{y3}$ , Н
0,005	0,80	10	2,6	4,2	465	0,017	0,028
0,01	1,1	14	2,9	4,9	675	0,025	0,037
0,02	1,6	22	3,1	5,7	910	0,032	0,044
0,05	2,7	38	3,7	7,4	1550	0,043	0,063

*Примітка.* Верстат – FF-350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід;  $B$  – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

## Висновки

З точки зору формування поглядів на процеси створення умов для забезпечення якісних показників поверхонь оброблення деталей тертя високошвидкісних друкарських машин уперше виконано дослідження силових параметрів поля при тонкому кубанітовому шліфуванні деталей тертя із нових композиційних матеріалів, які синтезовані з утилізованих відходів виробництва деталей із високолегованих нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ та ЭП975 з домішками (~ до 5 %) твердого мастила CaF<sub>2</sub>.

Для забезпечення високих вимог до якості виробів із нових композиційних матеріалів необхідно враховувати, що найкращі показники (з точки зору дії силових факторів процесу тонкої обробки, зокрема складових сил різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  гарантує застосування інструментів на основі КНБ на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1), зернистість яких становить 14–20 мкм.

Дослідження показали, що істотно впливають на параметри якості поверхонь кубанітового оброблення режими різання. Для практичних цілей отримання стабільних і високих результатів (щодо параметрів якості повер-

хонь оброблення) забезпечує використання таких режимів різання: шліфувальний круг КНБМ14Бр1 100 %; швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; ширина шліфування ( $B$ ) – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

Подальші дослідження процесів тонкого кубанітового шліфування нових високолегованих композиційних матеріалів на основі нікелю доцільно спрямувати на вивчення значень миттєвих контактних температур шліфування у зоні різання. У поєднанні з результатами досліджень силового поля всебічне вивчення температурного поля на ріжучій кромці кубанітового зерна при тонкому шліфуванні дасть змогу отримати об'єктивні параметри якості поверхонь оброблення, насамперед таких важливих факторів, як величина та ступінь наклепу, глибина його залягання, рівень залишкових напружень та їх знак (розтягу чи стиску). Це дасть можливість призначати такі режими тонкого шліфування, які забезпечать отримання найліпших параметрів зносостійкості та ремонтоздатності при їх експлуатації в умовах жорстких навантажень.

### Список літератури

1. Косторнов А.Г. Триботехническое материаловедение. – Луганск: Ноули, 2012. – 701 с.
2. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
3. Лебенсон Г.А. Производство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.
4. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – К.: Наук. думка, 1980. – 404 с.
5. Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П. Композиційні підшипникові матеріали для підвищення умов експлуатації. – К.: ВПК "Політехніка", 2007. – 404 с.
6. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Ю.Ю. Віщук. – К.: ВПК "Політехніка", 2014. – 427 с.
7. Технологія поліграфічного машинобудування / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук та ін. – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – 504 с.
8. Надежность и долговечность машин / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов. – К.: Техніка, 1975. – 408 с.
9. Костецкий Б.И. Основные вопросы теории трения и изнашивания деталей машин. – М.: Машгиз, 1955. – 152 с.
10. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. – К.: Наук. думка, 1982. – 126 с.
11. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 478 с.
12. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов та трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
13. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – К.: Наук. думка, 1984. – 340 с.
14. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. – К.: Наук. думка, 1987. – 320 с.
15. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.
16. Гавриш А.П. Шлифование и доводка магнитных материалов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 118 с.
17. Киричок П.О., Роїк Т.А., Гавриш А.П. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин. – К.: ВПК "Політехніка", 2014. – 404 с.
18. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
19. Основи теорії різання матеріалів / За заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2010. – 423 с.
20. Ящерицын П.И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Минск: Беларусь, 1989. – 312 с.
21. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под. ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 607 с.
22. Лавриненко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробні. – К.: Вид-во ІНМ НАНУ, 2013. – 456 с.
23. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ, 2007. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / Под ред. А.А. Шепелева. – 340 с.
24. Эльбор в машиностроении / Под ред. В.С. Лысанова. – М.: Машиностроение, 1978. – 280 с.

### References

1. A. Kostornov, *Tribotechnical Material Science*. Lugansk, Ukraine: Nouly, 2012, 701 p. (in Russian).
2. I. Fedorchenko et al., *Powder Metallurgy. Materials, Technology, Properties, Ranges of Application*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1985, 624 p. (in Russian).
3. G. Lebenonson, *Production of Powder Parts*. Moscow, USSR: Metallurgia, 1990, 240 p. (in Russian).
4. I. Fedorchenko et al., *Sintered Composite Antifriction Materials*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1980, 404 p. (in Russian).
5. T. Roik et al., *Composite Bearing Materials for Service Condition Increase*. Kyiv, Ukraine: Politekhnic, 2007, 404 p. (in Ukrainian).
6. T. Roik et al., *New Composite Materials for Printing Machines Friction Parts*. Kyiv, Ukraine: Politekhnic, 2014, 427 p. (in Ukrainian).
7. P. Kyrychok et al., *Printing Production Technology*. Kyiv, Ukraine: Politekhnic, 2014, 504 p. (in Ukrainian).
8. B. Kostetsky et al., *Reliability and Longevity of Machines*. Kyiv, USSR: Technics, 1975, 408 p. (in Russian).
9. B. Kostetsky, *Fundamental Questions at Theory of Friction and Wearing the Parts of Machine*. Moscow, USSR: Mashgiz, 1955, 152 p. (in Russian).
10. B. Kostetsky et al., *Surface Strength of Materials at Friction*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1982, 126 p. (in Russian).
11. I. Kragelsky et al., *Friction and Wearing*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1968, 478 p. (in Russian).
12. I. Kragelsky et al., *Foundations Analysis on the Friction and Wearing*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1977, 526 p. (in Russian).
13. E. Rizhov, *Technological Methods for Machine Parts Durability Improvement*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1984, 340 p. (in Russian).
14. E. Rizhov, *Contact Rigidity of Machine Parts*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1987, 320 p. (in Russian).
15. A. Gavrish and P. Melnychuk, *Diamond-Abrasive Treatment of Magnetic Materials*. Zhytomyr, Ukraine: ZDTU, 2003, 652 p. (in Ukrainian).

16. A. Gavrish, *Grinding and Finishing of Magnetic Materials*. Leningrad, USSR: Mashinostroenie, 1985, 118 p. (in Russian).
17. P. Kyrychok et al., *Finishing Processing of Printing Machine Wear-Resistant Parts*. Kyiv, Ukraine: Politekhnic, 2014, 404 p. (in Ukrainian).
18. E. Maslov, *Material Grinding Theory*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1974, 320 p. (in Russian).
19. M. Mazur et al., *Basic Theory of Cutting Materials*. Lviv, Ukraine: Novyj Svit, 2010, 423 p. (in Ukrainian).
20. P. Yascheritsyn, *Advanced Technology of Parts Finishing Processing*. Minsk, USSR: Belarus, 1989, 312 p. (in Russian).
21. *Super Hard Material Tools*, N. Novikov and S. Klimenko, Eds. Moscow, Russia: Mashinostroenie, 2014, 607 p. (in Russian).
22. V. Lavrinenko and N. Novikov, *Super Hard Abrasives in Machines*. Kyiv, Ukraine: ISM of NAIU, 2013, 456 p. (in Ukrainian).
23. *Super Hard Materials. Preparation and Usage*, N. Novikov, Ed, vol. 6. *Diamond Abrasive Instrument in the Processing Technologies*, A. Shepelev, Ed. Kyiv, Ukraine: ISM of NAIU, 2007, 340 p. (in Russian).
24. *Elbor in Mechanical Engineering*, V. Lysanov, Ed. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1978, 280 p. (in Russian).

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Р.А. Хохлова

#### СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОНКОМУ КУБАНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

**Проблематика.** Дослідження впливу на складові сил різання технологічних факторів при тонкому кубанітовому шліфуванні деталей зі зносостійких композиційних матеріалів, синтезованих на основі використання утилізованих і регенованих відходів виробництва з нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 з домішками твердого мастила СаF<sub>2</sub>.

**Мета дослідження.** Метою роботи є експериментальне дослідження складових сил різання технологічних процесів тонкого кубанітового шліфування деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі нікелю та встановлення впливу на силове поле зернистості шліфувального інструмента, типу зв'язки і основних режимів шліфування.

**Методика реалізації.** Обробка поверхонь деталей тертя поліграфічних машин зі зносостійких композитів на основі нікелю тонким шліфуванням на плоскошліфувальних верстатах шліфувальними інструментами з кубаніту зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 та застосуванням тонких режимів різання.

**Результати дослідження.** Доведено, що на складові сил різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  при шліфуванні нових композитів на основі нікелю істотно впливають зернистість, матеріал зв'язки шліфувального круга та режими тонкого кубанітового шліфування. Найкращі результати забезпечують шліфувальні круги з кубаніту зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 та тонкі режими різання.

**Висновки.** Доведено, що на формування силового поля при шліфуванні нових композиційних матеріалів на основі нікелю суттєво впливають зернистість і тип зв'язки кубанітового шліфувального круга, а також режими шліфування. Розроблено рекомендації для виробництва.

**Ключові слова:** нові композиційні матеріали; сили різання; шліфувальні круги з кубаніту; зернистість; тип зв'язки; кубанітове шліфувальня; режими різання.

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.А. Киричок, Р.А. Хохлова

#### СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОМ КУБАНИТОВОМ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ МАШИН

**Проблематика.** Исследование влияния на составляющие сил резания технологических факторов при тонком кубанитовом шлифовании деталей из износостойких композиционных материалов, синтезированных на основе использования утилизированных и регенерированных отходов производства из никелевых сплавов ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 с добавками твердой смазки СаF<sub>2</sub>.

**Цель исследования.** Целью работы является экспериментальное исследование составляющих сил резания технологических процессов тонкого кубанитового шлифования деталей трения из новых композиционных материалов на основе никеля и определение влияния на силовое поле зернистости шлифовального инструмента, типа связи и основных режимов шлифования.

**Методика реализации.** Обработка поверхностей деталей трения полиграфических машин из износостойких композитов на основе никеля при помощи тонкого шлифования на плоскошлифовальных станках шлифовальными инструментами из кубанита КНБ зернистостью 14–20 мкм на бакелитно-резиновой связке Бр1 и применения тонких режимов резания.

**Результаты исследования.** Доказано, что на составляющие сил резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  при шлифовании новых композитов на основе никеля существенно влияют зернистость, материал связки шлифовального круга и режимы тонкого кубанитового шлифования. Наилучшие результаты обеспечивают шлифовальные круги из кубанита зернистостью 14–20 мкм на бакелитно-резиновой связке Бр1 и тонкие режимы резания.

**Выводы.** Доказано, что на формирование силового поля при шлифовании новых композиционных материалов на основе никеля существенно влияют зернистость и тип связки кубанитового шлифовального круга, а также режимы шлифования. Разработаны рекомендации для производства.

**Ключевые слова:** новые композиционные материалы; силы резания; шлифовальные круги из кубанита; зернистость; тип связки; кубанитовое шлифование; режимы резания.

Рекомендована Радою  
Видавничо-поліграфічного інституту  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
7 вересня 2015 року