

П.О. Киричок, д.т.н., проф.,

Т.А. Роїк, д.т.н., ст.н.с.,

О.І. Хмілярчук

Національний технічний університет України "КПІ"

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі представлено результати досліджень з формування параметрів якості поверхонь високотемпературних підшипників ковзання з нових композиційних матеріалів на основі легованого нікелевого сплаву ЕП975 з домішками твердої змазки при тонкому шліфуванні. Показано можливість керувати якістю поверхневих шарів обиранням режимів прецизійної механічної обробки і сучасних алмазних і абразивних інструментів.

Для забезпечення високих параметрів якості різних за призначенням машин і механізмів, у яких використовуються підшипники ковзання, їх робочі контактні поверхні підлягають щільній оздоблювальній обробці. Геометричні розміри і необхідні параметри точності найчастіше забезпечують тонким алмазно-абразивним шліфуванням, причому для обробки поверхонь внутрішніх отворів використовують прецизійне внутрішнє шліфування, для обробки зовнішніх діаметрів виробів - прецизійне зовнішнє кругле шліфування, а для обробки площинних поверхонь (у разі необхідності) – площинне шліфування з використанням відповідного верстатного обладнання, пристроїв і інструменту.

В останні роки створені нові марки композиційних високолегованих антифрикційних матеріалів на основі нікелевого сплаву ЕП975 з домішками високотемпературної твердої змазки CaF_2 , що призначені для забезпечення умов експлуатації виробів при надвисоких питомих тисках і температурах, що лежать у межах 700-900 °С [1].

У цих умовах надзвичайно важливим є забезпечення розмірної стійкості підшипників ковзання і забезпечення відповідної якості поверхонь тертя.

Слід зазначити, що основу композиційних матеріалів на основі ЕП975 складає нікель (~ до 70%). Отже ці сплави відносяться до групи структурно-чутливих, які змінюють свої властивості (міцність, магнітну проникливість, мікротвердість, глибину і ступінь наклепу) під дією навіть незначних навантажень, що значно менші ніж зусилля шліфування при обробці прецизійних отворів підшипників ковзання [2].

Внаслідок цих змін відбувається погіршення властивостей поверхневих шарів, що веде до погіршення експлуатаційних параметрів машин, а у ряді випадків – до створення аварійних ситуацій і простоїв відповідних технічних систем.

У літературі [3] наводяться дані про технологічні методи обробки високолегованих жароміцних і жаростійких сплавів на основі нікелю, але на жаль, повністю відсутні дані про механічну обробку подібних сплавів, виготовлених за технологією порошкової металургії, тим більш, коли у вихідну шихту матеріалів додана тверда змазка.

Тому, поряд з створенням нових марок матеріалів, для інженерної практики велике практичне значення мають дослідження процесів їх механічної обробки і розробка на цій базі технологічних процесів для виробництва, що стало метою даної роботи.

Нижче наведені деякі результати експериментальних досліджень процесів прецизійної алмазно-абразивної обробки робочих поверхонь підшипників ковзання, виготовлених з різних композиційних антифрикційних матеріалів на основі легованого сплаву ЕП975 та їх модифікацій.

У зв'язку з великою вартістю підшипникового виробу було прийнято рішення алмазно-абразивне шліфування виконувати на технологічних зразках, що мали $\varnothing 20$ мм і товщину 2 мм. Після опрацювання експериментальних даних виконувались серії дослідів з реальними підшипниками і розроблялись практичні технологічні рекомендації по механічній обробці.

Методикою було передбачено, що у зв'язку з тим, що, фізичні явища і закономірності при тонкому зовнішньому круглому, круглому внутрішньому шліфуванні і тонкому площинному шліфуванні схожі і у більшості своїй ідентичні [3], а також з метою спрощення технологічних схем експерименту обробка зразків виконувалась на плоскошліфувальних верстатах. Потім отримані результати перевірялись на кругло і внутрішньошліфувальних верстатах.

Для дослідів використовувались плоскошліфувальні верстати FF-350 "Abawer" (ФРН), SS-310 "Werkzajt" (ФРН), плоскошліфувальні верстати підвищеної точності 3E711A, 3711B, 3B721A (Республіка Білорусь), прецизійні круглошліфувальні верстати 3У10С, 3В10 (Росія), SU-125 (ФРН), XL11 "Shtuber" (Швейцарія) та прецизійні внутрішньошліфувальні верстати 3K228A (Росія), XPE "Shtuber" (Швейцарія), універсальний внутрішньошліфувальний верстат підвищеної точності 3A227П (Україна).

Оскільки основними напрямками досліджень алмазно-абразивної обробки нових марок антифрикційних матеріалів є вивчення геометричної точності та шорсткості поверхонь при різних режимах обробки, то були передбачені умови, які зводили до мінімуму вплив на результати експериментів інших технологічних факторів. Наприклад, зразки виготовлялись з однієї партії сировини. Для пресування використовувались одні і ті ж пристрої, а термообробка виконувалась під суворим контролем виконання режимних температурних факторів і таке інше.

Для вимірювань шорсткості поверхонь зразків, що досліджувались, використовувався профілограф блочного типу "Lait-12" (Швейцарія) з автоматичною розпечаткою паспорта вимірювань. Вимірювання виконувалось при збільшенні 100000 разів, при цьому, у відповідності з паспортними характеристиками профілографа інструментальна похибка лежала у межах 0,005-0,008 мм.

Неплосцинність оброблених зразків вимірювалась інтерференційним склом. Точність вимірювання одна інтерференційна лінія, що дорівнює похибці близько 0,1 мкм.

Для вимірів складових зусиль різання P_Z і P_Y використовувався ряд приладів і пристроїв [4-6], що дозволяють визначити значення P_Z і P_Y у процесі площинного і круглого шліфування з використанням тензометричних індуктивних і інших типів датчиків.

Для вимірів складових сил різання на плоскошліфувальному верстаті був застосований спеціальний вимірювальний тензометричний стіл. Нижня плита стола кріпилась жорстко до столу верстата. На верхній плиті встановлювався пристрій з дослідними зразками з нікелевих антифрикційних матеріалів. Обидві плити столу були пов'язані одна з одною двома спеціальними пружними елементами. На кожному з пружних елементів було наклеєно по 16 тензодатчиків (база – 20 мм, опір – 20 Ом), що були підключені по напівмостовій схемі (по 16 датчиків у кожному напівмості) для вимірів складових P_Z і P_Y .

Для підсилення сигналів датчиків використовувався підсилювач ТА-5 з виходом на шлейфовий осцилограф Н102.

Перед початком експериментів тензостіл тарувався з допомогою стандартних навантажень для встановлення ціни ділення вихідного сигналу шлейфового осцилографа в одиницях навантаження.

Згідно з сучасними уявленнями у формуванні залишкових напружень у поверхневих шарах при шліфуванні беруть участь, в основному, два протилежних фактори – силовий і тепловий вплив шліфувального круга на виріб.

Пластична деформація від нормальних сил різання веде до зміцнення поверхневого шару і появи стискаючих напружень, а високі температури у зоні різання обумовлюють локальні термопластичні деформації і, відповідно, появи залишкових напружень розтягу.

Розрахунок рівня залишкових напружень виконувався по методиці розробленій А.А. Маталінім і Є.М. Некрасовим [7].

Експериментальне вивчення залишкових напружень виконано за методом М.М. Давиденкова [8, 9].

Для тонкого шліфування використані дрібнозернисті абразиви на основі карбиду кремнію зеленого (63С) зернистістю 50, 28, 20, 14 і 7 мкм. Для порівняння окремі зразки оброблені абразивними кругами на основі електрокорунду білого (23А) зернистістю 50, 28 і 7 мкм і монокорунду (М28) зернистістю 28 мкм.

Більшість абразивних кругів виготовлено на гліфтавлевій (Гл) зв'язці. Круги мали твердість у межах 337-400 кг/мм² (3370-4000 Н/мм²). Виміри твердості кругів виконано на приладі ТКМ [10].

Ряд зразків оброблено кругами на керамічній зв'язці (К).

Для алмазного шліфування використання круги зернистістю 7, 14, 28, 60 і 100 мкм на зв'язках КБ, Б1, Б3, БР 100%-ної і 50%-ної концентрації форми ПП.

Режими шліфування зразків з антифрикційних сплавів змінювались у діапазоні:

Тонке площинне шліфування	
Швидкість кругу	22 м/с
Поздовжня подача (швидкість виробу)	2; 5; 10; 15 м/хв
Поперечна подача	0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1 мм/дв.хід
Глибина різання	0,002; 0,005; 0,1; 0,2; 0,5 мм
Тонке зовнішнє кругле шліфування	
Швидкість кругу	30 м/с
Поздовжня подача	5; 15; 35; 70 мм/хв
Швидкість виробу	30; 40; 60 м/хв
Глибина шліфування	0,0025; 0,01 мм
Виходжування	4 – 6 разів
Тонке кругле внутрішнє шліфування	
Швидкість кругу	35 - 40 м/с
Поздовжня швидкість	5; 10; 35 м/хв
Швидкість обертання виробу	30 - 50 м/хв
Глибина різання	0,002; 0,005; 0,01; 0,02 мм

У відповідності з розробленою методикою виконано вивчення впливу процесу шліфування на висоту нерівностей зразків з матеріалів ЕП975 + 4%CaF₂, ЕП975 + 6%CaF₂, ЕП975 + 8%CaF₂ при використанні шліфувальних кругів з карбиду кремнію зеленого зернистістю 14 мкм на гліфталевій зв'язці 63СМ14Гл, а також кругів з синтетичних алмазів зернистістю 14 мкм на бакеліто-гумовій зв'язці (Бр)АСМ14Бр1 100%.

Результати досліджень процесу тонкого площинного шліфування наведені у табл. 1–4.

Аналіз таблиць дозволяє визначити вплив ряду технологічних факторів тонкого шліфування на параметр нерівностей R_a поверхонь деталей з антифрикційних матеріалів, які використовуються для виготовлення підшипників ковзання, що призначені для роботи у вузлах машин і механізмів, які експлуатуються у важких умовах навантажень з високим питомим тиском і температурами.

З табл. 1–4 видно, що висота мікронерівностей змінюється зі змінами глибини шліфування t , поперечної подачі S , і швидкості виробу V_u [4, 5, 11].

Узагальнюючи експериментальні дані необхідно зробити такий висновок: для забезпечення мінімальної висоти нерівностей тонке площинне алмазно-абразивне шліфування антифрикційних сплавів необхідно виконувати зі швидкістю виробу $V_u = 2$ м/хв., глибиною шліфування $t = 0,002$ мм і поперечною подачею $S_n = 0,1-0,2$ мм/подв.хід.

Вивчення впливу зернистості і матеріалу зерна абразивних інструментів на шорсткість обробленої поверхні при тонкому площинному шліфуванні антифрикційних сплавів і обробка даних методом кореляційного аналізу дозволила встановити кількісний зв'язок між висотою нерівностей R_a і розміром зерна A (зернистістю) абразивного інструменту.

В результаті розрахунків отримані наступні кореляційні рівняння зв'язку:

$$а) \text{ для абразивів типу 63С} - R_a = 0,006A - 0,0078 \quad (1)$$

$$б) \text{ для абразивів типу АС} - R_a = 0,0068A + 0,0225 \quad (2)$$

Аналіз рівнянь показує, що розмір зерна абразиву A суттєво впливає на висоту нерівностей R_a .

Збільшення шорсткості з ростом зернистості абразиву може бути пояснено зростанням перерізу зрізу a_z , що узгоджується з загальними положеннями шліфування.

Отримані залежності можуть бути застосовані на практиці. Знаючи вимоги до шорсткості поверхні деталі, встановивши режими різання, неважко за формулами (1) і (2) визначити зернистість шліфувального круга для обробки підшипників.

Експериментальні дані про вплив матеріалу зв'язки абразивного інструменту на шорсткість обробленої поверхні зразків зі сплавів ЕП975+4%CaF₂, ЕП975+6%CaF₂, ЕП975 + 8%CaF₂ показують, що незалежно від виду матеріалу зерна абразиву, а також незалежно від зернистості абразиву, застосування еластичних органічних зв'язок типу гліфталевих сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні (табл. 5).

У процесі експериментів встановлено, що режим різання при тонкому шліфуванні суттєво не впливає на неплоскість поверхонь. Це пояснюється малим впливом зусиль різання в режимах тонкого шліфування на зростання напружень, які визначають пружні деформації деталей після знімання їх з верстата.

Разом з тим відмічено, що зі зменшенням зернистості інструменту точність обробки поліпшується. Найбільш високу точність можливо отримати, застосовуючи абразиви марок 63С зернистістю 7-14 мкм на гліфталевій зв'язці і алмазні круги АС на органічній зв'язці.

Проведеними експериментами показано, що точність обробки практично не залежить від матеріалу зерна і матеріалу зв'язки абразивного інструменту.

Найбільший вплив на точність циліндричних поверхонь підшипників при тонкому шліфуванні має точність попереднього пресування заготовок.

Для отримання точності форми циліндричних поверхонь підшипників у межах 0,5 мкм і менше тонке зовнішнє шліфування необхідно виконувати з такими режимами шліфування: швидкість круга – 35 м/с, поздовжня подача – 5-70 мм/хв., глибина різання – 0,0025-0,01 мм, шліфування з інтенсивним охолодженням.

При шліфуванні дрібнозернистими кругами превалююче значення має силова дія шліфувального круга. В результаті у поверхневому шарі металу повинні формуватися залишкові напруження стиску. Виконані дослідження підтвердили вище вказане.

Глибина залягання максимальних напружень розтягу не перевищує 5-8 мкм.

У процесі шліфування алмазними кругами АС6Бр1100% дія теплового фактору зменшується і глибина залягання напружень розтягу знижується з 35-40 до 20 мкм. При зменшенні зернистості абразивних кругів до 14 мкм у поверхневому шарі утворюються напруження стиску, глибина залягання яких сягає ~10 мкм, тобто силовий фактор стає превалюючим.

При шліфуванні кругами АСМ14Бр1100% значення питомого навантаження на зерно $P_{y(3)}$ знижується, при цьому робота пластичної деформації одиничного зерна зменшується і знижується величина залишкових напружень стиску.

Таблиця 1

Параметр шорсткості R_a при різних режимах площинного шліфування зразків ЕП975 + 4%CaF₂.

Верстат FF-350 “Abawerk” (ФРН), круг 63СМ14СМ2Гл на гліфталевій зв’язці, швидкість кругу – 22 м/с.

Обробка без охолодження

Поперечна подача S_n мм/подв.хід	Швидкість виробу (продольна подача) v_u , мкм	Глибина шліфування, мм							
		0,002		0,01		0,02		0,05	
		R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R
0,1	2	0,258	0,002	0,320	0,002	0,413	0,005	0,653	0,012
	5	0,270	0,011	0,352	0,005	0,412	0,002	0,685	0,010
	10	0,321	0,012	0,400	0,002	0,515	0,011	0,719	0,012
	15	0,330	0,013	0,423	0,011	0,547	0,013	0,865	0,018
0,2	2	0,332	0,002	0,401	0,011	0,530	0,010	0,874	0,020
	5	0,351	0,002	0,430	0,014	0,559	0,014	0,934	0,024
	10	0,410	0,011	0,419	0,011	0,653	0,014	1,058	0,039
	15	0,414	0,014	0,512	0,016	0,675	0,016	1,281	0,045
0,5	2	0,510	0,005	0,604	0,002	0,841	0,010	1,401	0,018
	5	0,541	0,005	0,651	0,005	0,890	0,010	1,575	0,023
	10	0,626	0,010	0,732	0,010	1,013	0,014	1,798	0,051
	15	0,650	0,014	0,800	0,014	1,084	0,016	1,020	0,073
0,7	2	0,658	0,002	0,724	0,008	1,129	0,015	1,665	0,011
	5	0,670	0,005	0,791	0,012	1,100	0,012	1,810	0,038
	10	0,764	0,011	0,879	0,012	1,235	0,023	2,107	0,029
	15	0,815	0,016	0,955	0,016	1,350	0,031	2,315	0,057
1	2	0,793	0,018	0,898	0,017	1,252	0,079	1,923	0,098
	5	0,821	0,013	0,954	0,025	1,368	0,034	2,100	0,087
	10	0,927	0,021	1,075	0,020	1,541	0,120	2,405	0,112
	15	1,033	0,034	1,155	0,063	1,692	0,141	2,610	0,175

Примітка: 1. Кількість дослідів у кожному варіанті – 5. 2. R_a – середнє арифметичне значення параметра шорсткості. 3. σ_R – середнє квадратичне відхилення R_a .

Таблиця 2

Параметр шорсткості R_a при різних режимах площинного шліфування зразків ЕП975 + 6%CaF₂.
 Верстат FF-350 “Abawerk” (ФРН), круг 63СМ14 на гліфталевій зв’язці, швидкість кругу – 22 м/с.
 Обробка без охолодження

Поперечна подача S_n мм/подв.хід	Швидкість виробу (продольна подача) V_u , мкм	Глибина шліфування, мм							
		0,002		0,01		0,02		0,05	
		R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R
0,1	2	0,251	0,002	0,330	0,005	0,421	0,005	0,679	0,010
	5	0,287	0,012	0,365	0,002	0,465	0,008	0,700	0,012
	10	0,330	0,011	0,415	0,005	0,503	0,012	0,732	0,021
	15	0,341	0,011	0,431	0,012	0,560	0,015	0,893	0,015
0,2	2	0,320	0,002	0,367	0,011	0,515	0,010	0,859	0,019
	5	0,341	0,002	0,407	0,015	0,571	0,012	0,949	0,025
	10	0,395	0,011	0,428	0,010	0,637	0,014	1,041	0,020
	15	0,419	0,012	0,419	0,012	0,686	0,018	1,297	0,035
0,5	2	0,525	0,002	0,617	0,002	0,853	0,010	1,380	0,020
	5	0,553	0,002	0,665	0,005	0,900	0,010	1,559	0,032
	10	0,631	0,012	0,713	0,010	1,620	0,014	1,802	0,054
	15	0,642	0,014	0,806	0,014	1,100	0,017	2,030	0,080
0,7	2	0,642	0,006	0,729	0,008	1,017	0,015	1,687	0,042
	5	0,654	0,006	0,774	0,012	1,118	0,019	1,820	0,053
	10	0,742	0,012	0,862	0,012	1,249	0,025	2,078	0,075
	15	0,804	0,016	0,965	0,020	1,366	0,025	2,279	0,037
1	2	0,815	0,017	0,906	0,015	1,275	0,045	1,945	0,082
	5	0,827	0,015	0,865	0,025	1,371	0,037	2,110	0,030
	10	0,939	0,015	1,084	0,025	1,521	0,093	2,877	0,093
	15	1,017	0,025	1,155	0,040	1,674	0,120	2,590	0,150

Примітка: 1. Кількість дослідів у кожному варіанті – 5. 2. R_a – середнє арифметичне значення параметра шорсткості. 3. σ_R – середнє квадратичне відхилення R_a .

Таблиця 3

Параметр шорсткості R_a при різних режимах площинного шліфування зразків ЕП975 + 8%CaF₂.
 Верстат FF-350 “Abawerk” (ФРН), круг 63СМ14 на гліфталевій зв’язці, швидкість круга – 22 м/с.
 Обробка без охолодження

Поперечна подача S_n мм/подв.хід	Швидкість виробу (продольна подача) V_u , мкм	Глибина шліфування, мм							
		0,002		0,01		0,02		0,05	
		R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R
0,1	2	0,250	0,020	0,300	0,002	0,426	0,005	0,645	0,012
	5	0,271	0,010	0,332	0,005	0,468	0,002	0,693	0,015
	10	0,315	0,032	0,363	0,005	0,525	0,010	0,727	0,017
	15	0,321	0,012	0,381	0,008	0,577	0,012	0,910	0,024
0,2	2	0,315	0,002	0,355	0,004	0,529	0,013	0,890	0,030
	5	0,330	0,002	0,403	0,010	0,572	0,014	0,342	0,020
	10	0,391	0,005	0,442	0,012	0,630	0,015	1,043	0,026
	15	0,417	0,012	0,457	0,015	0,698	0,010	1,271	0,050
0,5	2	0,515	0,006	0,616	0,004	0,824	0,011	1,431	0,038
	5	0,536	0,006	0,656	0,006	0,916	0,012	1,554	0,050
	10	0,625	0,011	0,725	0,015	0,955	0,014	1,772	0,070
	15	0,660	0,014	0,813	0,020	1,100	0,018	2,010	0,024
0,7	2	0,631	0,005	0,742	0,015	1,100	0,015	1,642	0,020
	5	0,663	0,002	0,775	0,020	1,117	0,017	1,817	0,035
	10	0,750	0,011	0,874	0,020	1,247	0,025	2,071	0,070
	15	0,815	0,014	0,965	0,025	1,355	0,040	2,327	0,120
1	2	0,810	0,016	0,910	0,010	1,291	0,010	1,947	0,110
	5	0,824	0,013	0,953	0,015	1,372	0,012	2,100	0,140
	10	0,932	0,020	1,082	0,030	1,543	0,055	2,395	0,090
	15	1,014	0,024	1,184	0,030	1,675	0,070	2,610	0,120

Примітка: 1. Кількість дослідів у кожному варіанті – 5. 2. R_a – середнє арифметичне значення параметра шорсткості. 3. σ_R – середнє квадратичне відхилення R_a .

Таблиця 4

Параметр шорсткості R_a при різних режимах площинного шліфування зразків ЕП975 + 6%CaF₂.
 Верстат FF-350 “Abawerk” (ФРН), круг АСМ14Бр1 100% на зв’язці Бр, швидкість круга – 22 м/с.
 Обробка без охолодження

Поперечна подача S_n мм/подв.хід	Швидкість виробу (продольна подача) v_u , мкм	Глибина шліфування, мм							
		0,002		0,01		0,02		0,05	
		R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R	R_a , мкм	σ_R
0,1	2	0,258	0,002	0,320	0,002	0,413	0,005	0,653	0,012
	5	0,270	0,011	0,352	0,005	0,412	0,002	0,685	0,010
	10	0,321	0,012	0,400	0,002	0,515	0,011	0,719	0,012
	15	0,330	0,013	0,423	0,011	0,547	0,013	0,865	0,018
0,2	2	0,332	0,002	0,401	0,011	0,530	0,010	0,874	0,020
	5	0,351	0,002	0,430	0,014	0,559	0,014	0,934	0,024
	10	0,410	0,011	0,419	0,011	0,653	0,014	1,058	0,039
	15	0,414	0,014	0,512	0,016	0,675	0,016	1,281	0,045
0,5	2	0,510	0,005	0,604	0,002	0,841	0,010	1,401	0,018
	5	0,541	0,005	0,651	0,005	0,890	0,010	1,575	0,023
	10	0,626	0,010	0,732	0,010	1,013	0,014	1,798	0,051
	15	0,650	0,014	0,800	0,014	1,084	0,016	1,020	0,073
0,7	2	0,658	0,002	0,742	0,008	1,129	0,015	1,665	0,011
	5	0,670	0,005	0,791	0,012	1,100	0,012	1,810	0,038
	10	0,764	0,011	0,879	0,012	1,235	0,023	2,107	0,029
	15	0,815	0,016	0,955	0,016	1,350	0,031	2,315	0,057
1	2	0,793	0,018	0,898	0,017	1,252	0,079	1,923	0,098
	5	0,821	0,013	0,954	0,025	1,368	0,034	2,100	0,087
	10	0,927	0,021	1,075	0,020	1,541	0,120	2,405	0,112
	15	1,033	0,034	1,155	0,063	1,692	0,141	2,610	0,175

Примітка: 1. Кількість дослідів у кожному варіанті – 5. 2. R_a – середнє арифметичне значення параметра шорсткості. 3. σ_R – середнє квадратичне відхилення R_a .

Таблиця 5

Вплив матеріалу зв'язки на шорсткість обробленої поверхні при площинному шліфуванні зразків антифрикційних матеріалів. Верстат FF-350 "Abawerk" (ФРН).

Режими обробки: швидкість круга – 22 м/с,
 поздовжня подача (швидкість виробу) – 2 м/хв,
 поперечна подача – 0,1 мм/подв.хід,
 глибина різання – 0,002 мм, обробка без охолодження

Характеристика абразивного інструменту	Матеріал зв'язки	Матеріал зразків					
		ЕП975+4%CaF ₂		ЕП975+6%CaF ₂		ЕП975+8%CaF ₂	
		\bar{R}_a , мкм	σ_{R_a}	\bar{R}_a , мкм	σ_{R_a}	\bar{R}_a , мкм	σ_{R_a}
63С5Гл	гліфталева	1,18	0,015	1,20	0,017	1,16	0,01
63С5К	керамічна	1,91	0,021	1,97	0,012	1,83	0,026
63СМ28Гл	гліфталева	0,657	0,10	0,679	0,012	0,634	0,015
63СМ28К	керамічна	0,434	0,005	0,753	0,017	0,720	0,009
63СМ14Гл	гліфталева	0,258	0,002	0,251	0,002	0,250	0,002
63СМ14К	керамічна	0,310	0,010	0,305	0,011	0,321	0,005
23А5Гл	гліфталева	1,42	0,012	1,44	0,010	1,46	0,010
23А6К	керамічна	2,11	0,027	2,23	0,030	2,05	0,020

Примітка: 1. Кількість дослідів у кожному варіанті – 5.

2. \bar{R}_a - середнє арифметичне значення відхилення профілю.

3. σ_{R_a} - середнє квадратичне відхилення R_a .

Застосування еластичних гліфталевих і бакелітових зв'язок круга сприяє вирівнюванню значень товщини зрізу a_z і також приведе до зменшення величини максимальних залишкових напружень стиску (на 20-25%) і глибини їх залягання (в 2-4 рази) у порівнянні з їх значеннями, отриманими при шліфуванні тих самих матеріалів на жорстких зв'язках.

Таким чином мінімальна величина і глибина залягання залишкових напружень стиску при шліфуванні може бути забезпечена застосуванням дрібнозернистих шліфувальних кругів на еластичних зв'язках типу 63СМ14Гл і АСМ14Бр1100%.

Висновки:

1. При тонкому шліфуванні антифрикційних композиційних матеріалів на основі порошкового нікелевого сплаву ЕП975 з домішками твердої змазки CaF_2 шорсткість поверхні зростає з інтенсифікацією режимів обробки. Точність обробки і параметри поверхневого шару від режимів шліфування практично не залежать.

2. Висота нерівностей, точність обробки при тонкому шліфуванні у значній мірі визначаються характеристикою абразивного інструменту. Встановлено, що застосування для шліфування кругів на еластичних зв'язках забезпечує отримання більш низької шорсткості поверхні у порівнянні з обробкою абразивами на керамічній зв'язці. Зі зменшенням зернистості абразивів, шорсткість поверхні зменшується.

3. Тонке абразивне шліфування кругами 63СМ14Гл і АСМ14Бр1100% забезпечує отримання шорсткості поверхні $R_a=0,08-0,04$ мкм, непощинності 1,2-1,5 мкм, точності форми циліндричної поверхні 0,5 мкм.

4. Вперше у науковій практиці було виконано всебічне дослідження методу прецизійної механічної обробки виробів з нових композиційних антифрикційних матеріалів на основі нікелю, а саме ЕП975+4% CaF_2 ; ЕП975+6% CaF_2 ; ЕП975+8% CaF_2 із застосуванням сучасних абразивних і алмазних шліфувальних інструментів.

5. На основі узагальнення дослідів по тонкому абразивному і алмазному шліфуванню розроблені відповідні рекомендації для промисловості.

З урахуванням цих даних розроблені типові технологічні процеси, які пройшли всебічну промислову апробацію.

Список літератури:

1. Гавриш А.П., Роик Т.А. Влияние технологии получения на свойства порошковых подшипниковых материалов для тяжелых режимов трения // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – Киев. -2002. – Вып. 43. – С.67-71.

2. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. - 652 с.

3. Материалы в машиностроении. Выбор и применение: Справочник в 5 томах / Под общ. ред. Кудрявцева И.В. – Т. 3: Специальные стали и сплавы / Под ред. Химушина Ф.Ф. - М.: Машиностроение, 1968. - 446 с.

4. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А., Мохан Сринивасан, Роик Т.А. Влияние технологических факторов шлифования на поле рабочего зазора магнитных головок // Вісті Академії інженерних наук України. Спеціальний тематичний випуск відділення важкого і транспортного машинобудування. – 1999. - №3. - С. 75-86.

5. Гавриш А.П., Срінівасан Мохан, Рибхі А., Роїк Т.А. Особенности процессу тонкого шліфування магнітом'яких матеріалів алмазними і ельборовими кругами // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 1999. – Вып. 37. - С. 21-27.

6. Гавриш А.П., Мохан Срінівасан, Роїк Т.А. Фінішна обробка магнітних головок // Міжвузівський зб. “Наукові нотатки” (за напрямком “Інженерна механіка”). - Луцьк: ЛДТУ. - 1999. - Вип. 5. - С. 46-49.

7. Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин / Под ред. проф. Маталина А.А. - Л.: Машиностроение, 1970. - 316 с.

8. Ассур Е.Л., Давиденков Н.Н., Терминасов Ю.С. Остаточные напряжения при простом растяжении // ЖТФ. – 1949. - 14, вып. 7-8. - С. 12-19.

9. Давиденков Н.Н. Изучение пластической деформации посредством рентгеноанализа // ЖТФ. – 1944. - т. XIV, вып. 4. – С. 14-23.

10. Носач М.Я. Новые виды абразивных инструментов // Новые исследования, процессы и инструменты для абразивной и алмазной обработки. – М.: Московский дом научно-техн. пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского, 1963. - С. 52-59.

11. Гавриш А.П., Бататампа Сісіра Д.Г., Роїк Т.А., Рібхі Абу Асаль. Забезпечення якості поверхні деталей з магніто-м'яких матеріалів тонким алмазним шліфуванням // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. - 1999. - №5. - С.14-16.