

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.6.70532

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, О.І. Хмілярчук, О.С. Хлус

НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

ФІНІШНЕ ХОНІНГУВАННЯ ЕЛЬБОРОВИМИ БРУСКАМИ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

Background. The study on technological process of the finish honing-process of the bores of wear-resistant composite material parts, synthesized on the base of utilized and regenerated wastes of production from nickel alloys ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ ЭП975 with CaF₂ hard lubricant additions has been researched.

Objective. The purpose of the work is the experimental research of processes of the finishing thin surface honing-process treatment with elbor hones of the surfaces of bores of the friction parts of the printing machines and, influence of abrasive tools composition in the first place, cutting modes, the construction elements of honing head on the roughness, quality, precision of bearing surfaces made of new composite nickel-based materials, and also on characteristics of specific capacity, the elbor take and technological self-cost of the honing-process operation.

Methods. Surface treatment of printing machines nickel-based wear-resistance composite parts with the finishing thin honing-process on the honing-machines with the elbor hones on the ceramic bonds and application of thin cutting modes.

Results. It was demonstrated, that granulosity, material of grain instrument and properties of the elbor hones bond for honing-process operations of the nickel-based composite parts essentially influence on the parameters of surface roughness, precision of surfaces, specific productivity, the elbor take, and technological self-cost of the process. The best parameters of surface roughness, precision of surface, productivity, specific expenses of elbor satisfy honing hones made of ordinary strength elbor (LO) with granulosity 7–14 μm on the ceramic bond (T1–T2) and thin honing-procession modes. Advantages of surface treatment of elbor hones at honing-process operation of different printing machines parts are shown.

Conclusions. It was demonstrated, that quality of friction surfaces made of new nickel-based composite materials, and also economic factors of technological process of treatment (productivity, elbor take, cost of technological operation), substantially depend on the structure of elbor hones (granulosity, bond) and cutting modes. The recommendations on the production were developed.

Keywords: new composite materials; honing; elbor; hones; surface roughness; productivity; parameters of cutting.

Вступ

У сучасному машинобудуванні все більш широко застосовуються технологічні процеси вікінчуально-оздоблювальної обробки, які мають переваги порівняно зі шліфуванням і які дають змогу найбільш економічно отримати прецизійні деталі з високою якістю поверхонь оброблення.

До таких процесів, зокрема, належить хонінгування дрібноабразивними брусками.

При промисловому виробництві сучасних високошвидкісних друкарських машин типу КВА “Rapida–105”, “Star Binder 1509”, “WOHLENERG Trin-tec 560” та інших для виготовлення зносостійких деталей тертя значного поширення набули нещодавно створені новітні марки високолегованих та важкооброблюваних композиційних сплавів на основі нікелю ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 з домішками твердого мастила CaF₂ [1–5].

Ці матеріали створені для роботи у важких умовах експлуатації (температури поверхонь пар

тертя у межах 850–900 °С, питомі навантаження до 6,5–7,0 МПа, активно діюче агресивне середовище – кисень повітря, виробничий пил від використання паперової сировини, абразивна здатність мікропилинок).

Відомо, що зносостійкість деталей суттєво залежить від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару. Ці параметри формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення і в подальшому визначають довговічність поліграфічних машин [2].

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [6], беручи до уваги, що покращення якості поверхні оброблення хоча б на декілька відсотків підвищує параметри довговічності та надійності друкарської техніки, та враховуючи специфічні властивості композиційних сплавів на основі нікелю [2–5], було б вельми корисним для формування необхідних параметрів шорсткості поверхонь тертя при їх фінішній оздоблювально-вікінчувальній обробці застосовувати сучасні тех-

нологічні процеси хонінгування прецизійних отворів деталей ельборовими брусками. На жаль, на сьогодні досліджень у цьому напрямі не велось.

При прецизійній обробці деталей із високолегованих зносостійких композитів на основі нікелю необхідно стабільно отримувати найвищі якості якості розмірів, відхилень від вимог форми деталі (некруглість, хвилястість, конусність та інші) менше 0,003–0,005 мм, хвилястість менше 0,5 мкм, параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,02–0,10$ мкм за мінімальних значень наклепу поверхневого шару.

Безпосередньо ж обробка деталей із високолегованих композитів вимагає застосування спеціальних надтвердих матеріалів, зокрема новітніх марок кубічного нітриду бору – ельбору. Хоча більшість фінішних процесів тонкого абразивного оброблення є низькотемпературними (в зоні обробки зафіксовані температури в межах 150–250 °С), проте на локальних ділянках контакту поодиноких абразивних зерен із металом можуть утворюватися і більш високі миттєві температури, які зумовлюють більш інтенсивний абразивний знос інструмента. І нарешті, наростотворення на абразивних зернах менш інтенсивне, якщо використовувати хімічно інертні інструментальні матеріали.

Зазначимо, що надтвердий матеріал, такий як синтетичний алмаз АС, досить широко застосовується в процесі хонінгування. Проте специфічні властивості алмазу (низька температура, хімічна спорідненість із залізом) звужують можливості застосування алмазних інструментів. Так, якщо при алмазному хонінгуванні чавуну питома продуктивність становить $Q_m = 0,3–0,5$ г/хв·см² і $q_a = 0,04–0,08$ мг/г [5], то при обробці таких же деталей зі сталей ці показники погіршуються до $Q_m = 0,05–1$ г/хв·см² та $q_a = 0,05–5$ мг/г. За швидкостей різання більше 30–40 м/хв знос алмазних брусків істотно зростає [6].

У науково-технічній літературі є багато публікацій щодо застосування інструментів із надтвердих синтетичних матеріалів для обробки деталей різного призначення та різних галузей виробництва [5, 6].

Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування ельборового оброблення (насамперед завдяки особливостям інструмента) дає змогу отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Утім відсутність технологічних рекомендацій з ельорової обробки високолегованих та важкооброблюваних композитних сплавів при-

зводить до застосування на практиці різних технологічних схем оброблення, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто суттєво протирічних. Це веде на практиці до існування технологічних процесів, які скоріше відповідають можливостям та верстатному обладнанню того чи іншого конкретного підприємства, а не науково обґрунтованим рекомендаціям. Тому дослідження технологічних процесів фінішного оздоблювального хонінгування ельборовими брусками прецизійних отворів деталей тертя з високолегованих і високозносостійких композитів на основі нікелю, які синтезовані з промислових відходів серійного виробництва продукції електротехнічної, радіотехнічної, електронної та аерокосмічної галузей промисловості, є актуальним питанням, яке має як наукове, так і практичне значення.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхонь при ельборовому хонінгуванні прецизійної точності отворів деталей із високолегованих композитів на основі нікелю ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 з домішками твердого мастила CaF₂ [1–5], а також всебічне вивчення впливу зернистості ельборових брусків, типу матеріалу зерна абразиву, типу зв'язки інструмента й основних режимів різання на показники поверхонь оброблення підшипників ковзання друкарських машин.

Результати проведених досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною у працях [2–5, 7].

У зв'язку з тим що ельборове хонінгування застосовується переважно при обробці крихких деталей, дослідження можливостей використання ельбору для процесів обробки були орієнтовані на питання підвищення продуктивності хонінгування виробів із високолегованих антифрикційних композитних матеріалів на основі нікелю.

Здебільшого при виконанні експериментів автори оброблювали композити ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975. Застосовувались ельборові бруски звичайної міцності (ЛО) на бакелітно-гумовій, металевій, металево-керамічній та керамічній зв'язках зернистістю 120, 40 та 14 (ЛО12, ЛОМ40, ЛОМ14) з концентрацією основної зернової фракції 100 %. Змінними параметрами

режимів оброблення були колова швидкість хону $V_{\text{кол}} = 20\text{--}80$ м/хв і питомий тиск брусків $p = 0,1\text{--}0,6$ МПа. Сталим параметром була швидкість зворотно-поступальних рухів $V_{\text{зв.-п}} = 12$ м/хв. Як мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) застосовувалась суміш водного розчину сульфатрезолу (~40 %) з гасом (~60 %).

Порівняння різних зв'язок (бакелітно-гумової Бр1, металевої М1, металокерамічної МКВ та керамічної Т1–Т2) показало, що більш висока та стабільна продуктивність досягається при використанні керамічної зв'язки (табл. 1). Найвірогідніше, це можна пояснити мінімальною кількістю сколів при роботі ріжучих абразивних зерен.

Таблиця 1. Продуктивність ельборового хонінгування високолегованих композитів на основі нікелю

Тип зв'язки	Характеристика брусків	Параметри продуктивності Q_m , г/хв·см ²
Бакелітно-гумова	ЛО12 Бр1 100 %	0,09–0,1
Металева	ЛО12 М1 100 %	0,1–0,12
Металокерамічна	ЛО12 МКВ 100 %	0,08–0,09
Керамічна	ЛО12 Т1–Т2 100 %	0,19–0,21

Примітка. $p = 0,4$ МПа; $V_{\text{зв.-п}} = 12$ м/хв

Отримані результати узгоджуються, якщо врахувати більш однорідну і шпаринисту структуру ельборових брусків на керамічній зв'язці. Крім того, на поверхні брусків зі зв'язок М1 та МКВ часто утворюються адгезійні нарости металу, що посилює шорсткість поверхні деталі.

Продуктивність зрізання шару композиту з поверхні оброблення деталі з високолегованого композиту, що досягнута застосуванням ельборових брусків, приблизно у 1,6–2 рази перевищує показники подібних за складом і структурою алмазних брусків.

Переваги ельборових брусків порівняно з алмазними ґрунтовно показані при хонінгуванні поверхонь отворів підшипників ковзання поліграфічних машин, які виготовленні з антифрикційних важкооброблюваних композитів на основі нікелю [2–4, 6–8]. Бруски ЛО6 на зв'язці М1 та за 100 %-ної концентрації забезпечували стабільний процес різання протягом досить тривалого часу при виробництві до 3 г/хв і питомих втратах ельбору не більше 0,5 мг/г. Як оптимальний режим хонінгування доцільно рекомендувати: $p = 0,2$ МПа, $V_{\text{кол}} = 40$ м/хв, $V_{\text{зв.-п}} = 8$ м/хв. У той же час алмазні бруски в цих же умовах (після 1–3 хв роботи) засалюються і потребують правки, питомі ж витрати досягають межі до 2 мг/г.

При обробці композиту ХН55ВМТКЮ ельборові бруски на керамічній зв'язці також забезпечують підвищення продуктивності зрізання шару матеріалу оброблення у 2–3 рази порівняно з алмазними брусками. Проте в цьому випадку питомі витрати ельбору були приблизно вдвічі вищими, що стало підґрунтям для рекомендацій застосовувати ельборові бруски тільки при чистовому хонінгуванні [7, 8].

При використанні зерен кубічного нітриду бору, які мають підвищену міцність, висока продуктивність та менші питомі витрати ельбору (0,2–0,22 мг/г) досягаються використанням хонінгувальних брусків на спеціальних металокерамічних зв'язках МС6 і МС15.

Важливою перевагою ельборових хонінгувальних брусків є їх досить невеликий знос, що забезпечує високу точність розмірів і форми отворів оброблення, а також мінімальний розкид розмірів партії оброблюваних деталей. Наприклад, питомі витрати ельборових хонів на керамічній зв'язці становлять 0,06–0,1 мкм на мікромметр припуску, що зрізається з поверхні деталі оброблення (до речі, в абразивних брусках ~1–2 мкм).

Таким чином, стійкість ельборових брусків у 10–30 разів вища, ніж абразивних. На рис. 1 наведено дані про вплив питомого тиску при ельборовому хонінгуванні на показники оброблення. Підвищення тиску веде до зростання об'єму металу, що зрізається під час оброблення. Залежність питомих витрат ельбору від тиску, як видно з рис. 1, є більш складною і має мінімум за значень $p = 0,2\text{--}0,3$ МПа. Саме тому вибір режимів різання при хонінгуванні необхідно виконувати на основі розрахунків собівартості операції з урахуванням таких факторів, як продуктивність оброблення і вартість ельборового інструмента.

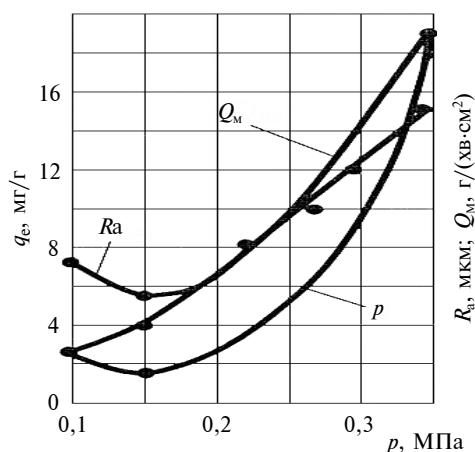


Рис. 1. Вплив питомого тиску на показники хонінгування

Збільшення колової швидкості хону веде до зростання продуктивності та зменшення питомих витрат ельбору. Враховуючи це, колову швидкість ельборових брусків (хону) треба вибирати найбільш великою.

Адгезійне налипання металу на брусок нейтралізують, підвищуючи мастильні властивостей МОР, зокрема введенням у склад мастильно-охолоджувальної рідини активних домішок, наприклад олеїнової кислоти. Добрі результати забезпечує МОР такого складу: гас (70–75 %), індустріальне мастило И-16 (22–27 %) та олеїнова кислота (3–5 %).

Зернистість ельборових брусків суттєво впливає як на продуктивність, так і на шорсткість поверхні. Брусками з ельбору звичайної міцності (ЛО) зернистістю 100–120 мкм (ЛО12-ЛО10) досягається шорсткість поверхні $R_a = 0,2-0,6$ мкм. При використанні для хонінгування дрібнозернистих (М14, М20) ельборових брусків ЛОМ20-ЛОМ14 параметр шорсткості поверхні оброблення значно покращується: $R_a = 0,05-0,08$ мкм.

Результати досліджень при обробці композитного сплаву на основі нікелю ХН55ВМТКЮ та їх аналіз дають змогу сформулювати узагаль-

нені рекомендації з технології оздоблювального ельборового хонінгування (табл. 2).

Узагальнені дані по експлуатаційних показниках ельборових брусків на керамічній зв'язці (для умов хонінгування високолегованих антифрикційних композитних сплавів на основі нікелю) наведені в табл. 3.

Трудомісткість та собівартість операцій хонінгування високолегованих композитів на основі алюмінію розраховували, виходячи з величини штучно-калькуляційного часу ($t_{шк}$):

$$t_{шк} = t_o + t_d + t_{об} + \frac{t_{пз}}{n_d},$$

де t_o – основний, машинний час; t_d – допоміжний час на встановлення, зняття, вимірювання деталей; $t_{об}$ – час технічного й організаційного обслуговування; $t_{пз}$ – підготовчо-заключний час; n_d – розмір партії оброблюваних деталей.

Основний час розраховується згідно з формулою

$$t = \frac{\pi D l h \gamma}{2 Q_M B L n_6},$$

Таблиця 2. Рекомендації з ельборового хонінгування прецизійних поверхонь деталей із високолегованого антифрикційного композитного сплаву на основі нікелю ХН55ВМТКЮ

Тип хонінгування	Характеристика ельборового бруска	Режими різання			Q_M , г/хв·см ²	R_a , мкм
		$V_{зв.-п}$, м/хв	$V_{кол}$, м/хв	p , МПа		
Чорнове	ЛО12Т1-Т2К 100 %	12–14	40–60	0,3–0,5	0,2–0,3	0,2–0,5
Напівчистове	ЛО4Т1-Т2К 100 %	12–14	60–80	0,2–0,4	0,05–0,07	0,1–0,15
Чистове	ЛОМ40Т1К 100 %	15–16	70–85	0,15–0,3	0,03–0,05	0,08–0,1
Оздоблювальне	ЛОМ14Т1К 100 %	16–20	85–90	0,12–0,2	0,02–0,04	0,06–0,08
Фінішне	ЛОМ7Т1К 100 %	18–22	90–95	0,08–0,1	0,015–0,03	0,04–0,05

Примітка. Склад МОР: гас (70 %), індустріальне мастило И-16 (27 %), олеїнова кислота (3 %).

Таблиця 3. Експлуатаційні показники ельборових брусків для хонінгування композитів на основі нікелю ЭП975

Зернистість брусків	Питома продуктивність Q_M , г/хв·см ²	Питомі витрати ельбору q_e , мг/г	R_a , мкм
ЛО12	0,21–0,4	0,8–1	0,4–0,6
ЛО10	0,18–0,35	1,2–1,5	0,4–0,6
ЛО8	0,12–0,25	1,8–2,1	0,2–0,5
ЛО6	0,08–0,15	2,2–2,6	0,2–0,3
ЛО4	0,05–0,06	2,8–3,2	0,1–0,2
ЛОМ28	0,04–0,06	3,5–4	0,1–0,16
ЛОМ 14	0,03–0,04	3,6–4,2	0,06–0,08
ЛОМ7	0,02–0,03	3,7–4,3	0,04–0,05

Примітка. Режими різання: $p = 0,3$ МПа, $V_{кол} = 60$ м/хв, $V_{зв.-п} = 14$ м/хв. Склад МОР: гас (70 %), індустріальне мастило И-16 (27 %), олеїнова кислота (3 %).

Таблиця 4. Нормативи експлуатаційних характеристик брусків з ельбору на операціях хонінгування деталей із композитів на основі нікелю

Показники оброблення	Зернистість хонінгувальних брусків								
	12	10	8	6	4	M28	M20	M14	M7
Q_m , г/хв·см ²	0,2	0,18	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,015
R_a , мкм:									
до обробки	1,5–2	0,7–1	0,7–1	0,4–0,6	0,4–0,6	0,2–0,3	0,2–0,3	0,15–0,18	0,1–0,15
після обробки	0,4–0,5	0,4–0,6	0,2–0,5	0,1–0,2	0,1–0,15	0,1–0,15	0,1–0,15	0,06–0,08	0,04–0,05
q_e , мг/г	1–2	1,6–2,4	2,1–2,8	2,8–3,5	3,3–4	3,3–4,1	3,4–4,2	3,6–4,2	3,7–4,3

Примітка. Режими різання: $p = 0,3$ МПа, $V_{\text{кол}} = 60$ м/хв, $V_{\text{зв-п}} = 14$ м/хв. Склад МОР: гас (70 %), індустріальне мастило И-16 (27 %), олеїнова кислота (3 %).

де D , l – діаметр і довжина отвору оброблення; h – припуск; γ – щільність матеріалу композитного сплаву; B , L – розміри робочої поверхні хонінгувального бруска; n_6 – кількість брусків у хоні; Q_m – питома продуктивність, яка встановлюється експериментально (табл. 4).

Допоміжний час і час на обслуговування (згідно з нормативами) покладаються такими: $t_d = 0,32$ хв, $t_{\text{об}} = 0,43 (t_d + t_o)$. Підготовчо-заключний час за нормативами також дорівнює 10 хв. Розмір партії деталей для розрахунку становив $n_d = 100$ шт. Результати розрахунку трудомісткості хонінгування для деталей різних розмірів наведені на рис. 2. Технологічна собівартість хонінгування C_T розраховувалась таким чином:

$$C_T = (C_{\text{з.п.}} + C_z) \cdot t_{\text{ш.к.}} / 60 + C_i,$$

де $C_{\text{з.п.}}$ – витрати на основну заробітну плату з нарахуваннями; C_i – витрати на інструмент; C_z – витрати за рештою елементів собівартості (з розрахунку на 1 год роботи верстата).

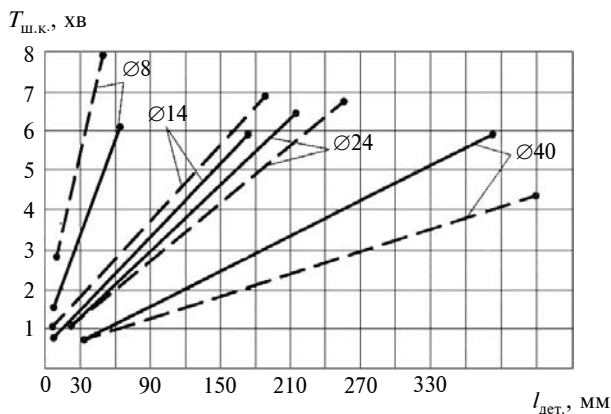


Рис. 2. Трудомісткість операцій ельборового хонінгування деталей із композита ХН55ВМТКЮ на основі нікелю: — — чорного, брусками ЛО12ТК 100 %; - - - — чистого, брусками ЛО4ТК 100 %

Встановлення витрат на інструмент виконувалось з урахуванням експериментальних даних по питомим витратах ельбору (див. табл. 4):

$$C_i = C_6 n_6 / N_d = C_6 n_6 \pi D l h \gamma q_e / g_e,$$

де C_6 – вартість бруска; q_e – питомі витрати ельбору; g_e – маса ельбору в бруску; N_d – кількість деталей, що оброблюється одним комплектом брусків.

Визначення $C_{\text{з.п.}}$ та C_z виконується за нормованими даними для всіх елементів технологічної собівартості. На рис. 3 наведені результати розрахунків собівартості хонінгування для деталей різних розмірів. Отримані дані по трудомісткості та собівартості ельборового хонінгування можуть бути покладені в основу нормувально-калькуляційних розрахунків при впровадженні процесів в умовах діючих машинобудівних підприємств.

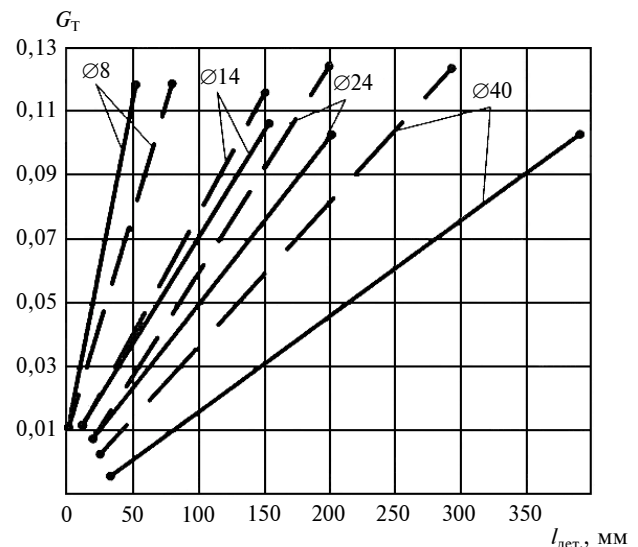


Рис. 3. Собівартість операцій хонінгування деталей із високолегованих композитних сплавів ЕП975 на основі нікелю: — — чорного; - - - — оздоблювального

Бруски з ельбору можуть ефективно використовуватись на хонінгувальних верстатах, що працюють як з постійним тиском на бруски, так і з постійною подачею на подвійний хід хону. До металевих колодок хона бруски на керамічній зв'язці доцільно клеїти епоксидним клеєм такого складу: 100 масових часток (м.ч.) епоксидної смоли, 30 м.ч. наповнювача (абразивного порошку зернистістю 40–50 мкм), 10 м.ч. затверджувача. Для більш повного використання хонінгувальних брусків колодки застосовують без буртів, бо міцність приклеювання достатня для надійного закріплення бруска на колодці.

Для виконання операцій викінчуально-фінішного хонінгування хонінгувальні бруски в поєднанні з корпусом хонголівки необхідно попередньо шліфувати на прецизійному круглошліфувальному верстаті абразивними кругами з карбіду кремнію зеленого (63С), зернистість не менш ніж на три номери більша, ніж зернистість ельборового бруска. При частковому затупленні брусків у процесі роботи для відновлення їх ріжучої здатності необхідно терміново короткочасно попрацювати брусками по поверхні бракованої деталі абразивною сумішшю, яка складається з вільних абразивних зерен із карбіду кремнію зеленого 63С (на два номери крупніших, ніж зернистість хонінгувального бруска) та МОР.

Технологічний процес ельборового хонінгування високолегованих зносостійких композитних сплавів на основі нікелю пройшов апробацію на низці машинобудівних підприємств,

що виготовляють деталі, вузли та в цілому машини різних за призначенням поліграфічних комплексів. У табл. 5 наведені дані про оброблювані деталі, режими різання та склад МОР.

Особливо високою є ефективність ельборового хонінгування отворів малого діаметра деталей із композитів на основі нікелю, коли хонінгувальні бруски мають низьку зносостійкість і не дають змоги отримувати стабільну розмірну точність.

Виконані авторами дослідження показали, що використовуючи ельборові бруски, можна стабільно отримати високу якість поверхні й високу геометричну точність кілець підшипників ковзання за достатньо високої продуктивності. Роботи виконувались у виробничих умовах заводу “Тріз” (м. Суми). Хонінгували отвір діаметром 8 мм. Перед хонінгуванням конусність та некруглість попередньо прошліфованих отворів становила 1,5–2 мкм, параметр шорсткості поверхні був у межах $R_a = 0,5–0,6$ мкм. Після фінішного хонінгування необхідно було отримати конусність і некруглість у межах 0,5 мкм, а R_a – не гірше 0,024–0,03 мкм. Для забезпечення зазначених показників розрахунковий припуск на діаметр оброблення повинен бути не менше 0,15 мм.

Хонінгувальні бруски з ельбору розміром 2,5×2×15 мм наклеювались на спеціальні пелюсткові розрізні корпуси. Для отримання необхідної точності оброблення робочу поверхню брусків (у комплекті з корпусом) шліфували абразивними кругами з карбіду кремнію зеленого (63С) зернистістю 250 мкм.

Таблиця 5. Дані про деталі оброблення з композитів на основі нікелю та режими їх хонінгування

Назва деталі	Матеріал	Розміри отворів оброблення	Режими різання			МОР
			$V_{зв.-п}$, м/хв	$V_{кол}$, м/хв	p , МПа	
Гільза тормозна	ХН55ВМТКЮ	Ø70, $l_d = 240$	10	12	0,3	Індустріальне мастило И-16
Втулка	ЭП975	Ø11, $l_d = 40$	7	10	0,25	Гас (70 %), індустріальне мастило (27 %), олеїнова кислота (3 %)
Блок шестерень	ХН55ВМТКЮ	Ø27, $l_d = 196$	29	35	0,25	Гас (90 %), індустріальне мастило (17 %), олеїнова кислота (3 %)
Підшипник ковзання	ХН55ВМТКЮ	Ø30, $l_d = 60$	15	20	0,2	Гас (75 %), індустріальне мастило (22 %), олеїнова кислота (3 %)
Упорний підшипник	ХН55ВМТКЮ	Ø8, $l_d = 20$	20	30	0,2	Гас (75 %), індустріальне мастило (22 %), олеїнова кислота (3 %)

Були досліджені експлуатаційні властивості ельборових брусків на керамічній зв'язці зернистістю ЛОМ7–ЛОМ40, твердістю СТ1–Т21, зі 100 %-ною концентрацією ельбору за різних режимів хонінгування. Результати досліджень наведені на рис. 4.

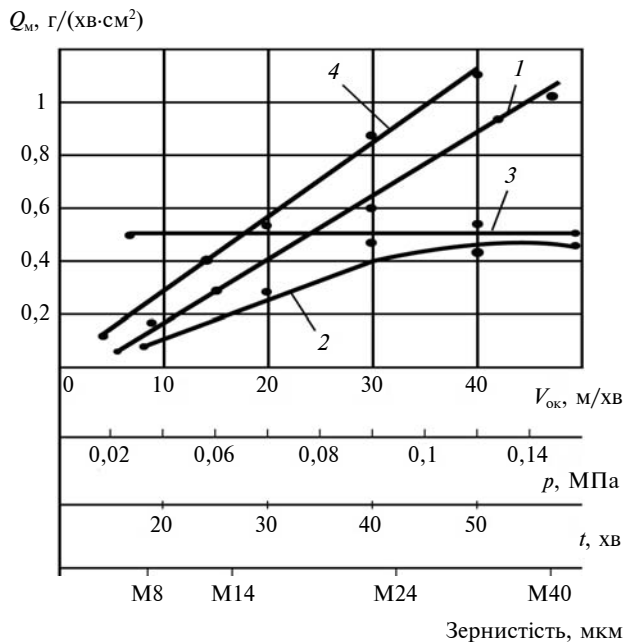


Рис. 4. Вплив зернистості ельборових брусків і режимів різання на продуктивність хонінгування отворів підшипників ковзання із композита ХН55ВМТКЮ: 1 – $Q_m = f(V_{\text{кол}})$, 2 – $Q_m = f(p)$, 3 – $Q_m = f(t)$, 4 – $Q_m = f(z)$

Ельборові бруски протягом тривалого часу мають високі ріжучі властивості. Так, знос брусків ЛОМ28 після обробки 75–80 підшипників (при середньому припуску на одне кільце близько 20 мкм) становив лише 0,2 мм. Коливання величини припуску, що зрізається на операції хонінгування, як правило, не перевищували $\pm 10\%$. Питомі витрати брусків на операціях попереднього хонінгування були в межах 12–14 мг/г. При хонінгуванні у дві операції ельборовими брусками ЛОМ28 (чи ЛОМ 14) та ЛОМ7 були отримані досить пристойні результати, а саме некруглість отвору $\sim 0,2\text{--}0,4$ мкм, конусність – у межах $\sim 0,5$ мкм, шорсткість поверхні обробки $R_a = 0,03\text{--}0,05$ мкм. Порівняння ельборових брусків з алмазними (на зв'язці М73) показало, що продуктивність ельборового хонінгування у 2–3 рази вища.

Вихід деталей, які за якістю повністю відповідають вимогам креслень і технічним умо-

вам, становить 80–90 %, що також є достатньо високим показником. На заводі експериментальних технологій (м. Київ) було виконано хонінгування спеціального вузла – блоку шестерень. Під час виробничих досліджень технологічного процесу ельборового хонінгування брусками ЛОМ12М1 100 % було доведено, що бруски працюють стабільно протягом довгого (більше 10 хв) часу з питомими витратами ельбору не більше ніж 0,5 мг/г, а це попри все є досить пристойним результатом.

Наведені приклади переконливо доводять, що процес ельборового хонінгування має низку переваг над традиційними технологіями оброблення і забезпечує високу ефективність при обробці високоточних отворів у різних за своїм призначенням деталей, які були виготовлені з найновітніших високозносостійких композитних матеріалів на основі алюмінію для сучасних поліграфічних машин.

Висновки

Уперше в науковій практиці досліджено питання ельборового хонінгування нових марок високолегованих композитних сплавів, синтезованих на основі використання утилізованих і регенованих шліфувальних відходів нікелевих сплавів з виробництва електротехнічної, радіотехнічної, електронної та аерокосмічної галузей народного господарства України.

Показано, що основні закономірності фінішного хонінгування новітніх марок композитних сплавів збігаються з базовими положеннями теорії та практики алмазно-абразивної фінішної обробки прецизійних поверхонь деталей тертя поліграфічних машин.

Доведено, що на параметри шорсткості поверхонь оброблення R_a , точності отворів (конусності, некруглості) суттєво впливають зернистість ельборового бруска, матеріал зв'язки хону та режими різання при фінішному ельборовому хонінгуванні.

Показано, що режими різання при ельборовому хонінгуванні суттєво впливають на показники питомих витрат ельбору, питомої продуктивності оброблення та технологічної собівартості операцій фінішно-оздоблювальної обробки. Встановлено, що для різних марок важкооброблюваних композитних сплавів є свої оптимальні нормативи для режимів різання ($V_{\text{зв.-п}}$, $V_{\text{кол}}$, p , час оброблення, величина припуску). Ці нор-

мативи введені до складу типових технологічних процесів і пройшли всебічну експериментальну перевірку в умовах реально діючого виробництва.

Подальші дослідження доцільно виконувати, вивчаючи закономірності технологічних про-

цесів фінішного хонінгування нещодавно створених новітніх антифрикційних матеріалів, таких як диборид титану і сапоніт алюмінію, порошкових сплавів на основі гідриду титану та боридів цирконію.

Список літератури

1. *Косторнов А.Г.* Триботехническое материаловедение. – Луганск: Ноули, 2012. – 701 с.
2. *Jianxin D., Tongkun C.* Self-lubricant mechanisms via the in situ formed tribofilm of sintered ceramics with CaF₂ additions when sliding against hardened steel // *J. Refract. Met. Hard Mater.* – 2007. – **25**, № 2. – P. 189–197.
3. *Xiong Dangsheng.* Lubrication behavior of Ni–Cr-based alloys containing MoS₂ at high temperature // *Wear.* – 2010. – **251**, iss. 1-12. – P. 1074–1079.
4. *Довбій Т.А.* Структура та склад композиту на основі Ni і ультрадисперсних алмазів // *Технологический аудит и резервы производства.* – 2012. – **6**, № 3. – С. 34–38.
5. *Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Ю.Ю. Віщук.* – К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 427 с.
6. *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.
7. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.
8. *Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін.* – К.: НТУУ “КПІ”, 2012. – 196 с.

References

1. A. Kostornov, *Tribotechnical Material Science*. Lugansk, Ukraine: Nouly, 2012 (in Russian).
2. D. Jianxin and C. Tongkun, “Self-lubricant mechanisms via the in situ formed tribofilm of sintered ceramics with CaF₂ additions when sliding against hardened steel”, *J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 189–197, 2007. doi: 10.1016/j.jirmhm.2006.04.010
3. Xiong Dangsheng, “Lubrication behavior of Ni–Cr-based alloys containing MoS₂ at high temperature”, *Wear*, vol. 251, iss. 1-12, pp. 1074–1079, 2010. doi: 10.1016/S0043-1648(01)00803-1
4. T. Dovbii, “The structure and composition of composites based on Ni and ultrafine diamonds”, *Tekhnolhycheskyi Audyt y Rezervy Proyzvodstva*, vol. 6, no. 3, pp. 34–38, 2012 (in Ukrainian).
5. T. Roik et al., *New Composite Materials for Friction Parts of Printing Machines*. Kyiv, Ukraine: NTUU KPI, 2014 (in Ukrainian).
6. *Super Hard Material Tools*, N. Novikov and S. Klimentko, Eds. Moscow, Russia: Mashinostroenie, 2014 (in Russian).
7. A. Gavrysh and P. Melnychuk, *Diamond-Abrasive Treatment of Magnetic Materials*. Zhytomyr, Ukraine: ZDTU, 2003 (in Ukrainian).
8. A.P. Gavrysh et al., *New Finishing Technologies of Composite Bearing for Increased Conditions*. Kyiv, Ukraine: NTUU KPI, 2012 (in Ukrainian).

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, О.І. Хмілярчук, О.С. Хлус

ФІНІШНЕ ХОНІНГУВАННЯ БОРОВИМИ БРУСКАМИ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

Проблематика. Дослідження технологічного процесу фінішного хонінгування отворів деталей зі зносостійких композитних матеріалів, синтезованих на основі використання утилізованих і регенованих відходів виробництва з нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 з домішками твердого мастила CaF₂.

Мета дослідження. Експериментальне дослідження процесів фінішного оздоблювального хонінгування ельборовими брусками прецизійних поверхонь отворів деталей тертя поліграфічних машин, насамперед впливу складу абразивного інструмента, режимів різання, елементів конструкції хонінгувальної головки на шорсткість, точність поверхонь підшипників ковзання з нових композитних матеріалів на основі нікелю, а також на показники питомої продуктивності, витрати ельбору і технологічну собівартість операції хонінгування.

Методика реалізації. Обробка поверхонь деталей тертя поліграфічних машин зі зносостійких композитів на основі нікелю фінішним оздоблювальним хонінгуванням на прецизійних хонінгувальних верстатах брусками з ельбору на керамічних зв'язках із застосуванням оздоблювальних режимів різання.

Результати досліджень. Доведено, що на шорсткість, точність, питому продуктивність, питомі витрати ельбору і технологічну собівартість суттєво впливають зернистість, матеріал зерна та властивості зв'язки ельборових брусків для операцій хонінгування деталей із композитів на основі нікелю. Найкращі показники шорсткості, точності, продуктивності, питомих витрат ельбору забезпечують хонінгувальні бруски з ельбору звичайної міцності (ЛО) зернистістю 7–14 мкм на керамічній зв'язці (Т1–Т2) і тонкі режими різання. Показано переваги обробки поверхонь брусками з ельбору при обробці різних за призначенням деталей машин.

Висновки. Доведено, що якість поверхонь тертя, які виготовлені з нових композитних матеріалів на основі нікелю, а також економічні фактори технологічного процесу обробки (продуктивність, витрати ельбору, собівартість) суттєво залежать від структури ельборових брусків (зернистості, зв'язки) та режимів різання. Розроблено рекомендації для виробництва.

Ключові слова: нові композитні матеріали; хонінгування; ельбор; бруски; шорсткість поверхні; витрати ельбору; продуктивність; собівартість; режими різання.

А.П. Гавриш, Т.А. Роик, П.А. Киричок, О.И. Хмилярчук, Е.С. Хлус

ФИНИШНОЕ ХОНИНГОВАНИЕ БОРОВЫМИ БРУСКАМИ ОТВЕРСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

Проблематика. Исследование технологического процесса финишного хонингования отверстий деталей из износостойких композитных материалов, синтезированных на основе использования утилизируемых и регенерируемых отходов производства из никелевых сплавов ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ ЭП975 с примесями твердой смазки СаF₂.

Цель исследования. Экспериментальное исследование процессов финишного отделочного хонингования эльборовыми брусками прецизионных поверхностей отверстий деталей трения полиграфических машин, прежде всего влияния состава абразивного инструмента, режимов резания, элементов конструкции хонинговальной головки на шероховатость, точность поверхностей подшипников скольжения из новых композитных материалов на основе никеля, а также на показатели удельной производительности, расход эльбора и технологическую себестоимость операции хонингования.

Методика реализации. Обработка поверхностей деталей трения полиграфических машин из износостойких композитов на основе никеля финишным отделочным хонингованием на прецизионных хонинговальных станках брусками из эльбора на керамических связках с применением отделочных режимов резания.

Результаты исследований. Доказано, что на шероховатость, точность, удельную производительность, удельные затраты эльбора и технологическую себестоимость существенно влияют зернистость, материал зерна и свойства связки эльборовых брусков для операций хонингования деталей из композитов на основе никеля. Наилучшие показатели шероховатости, точности, производительности, удельных затрат эльбора обеспечивают хонинговальные бруски из эльбора обычной прочности (ЛО) при зернистости 7–14 мкм на керамической связке (Т1–Т2) и тонкие режимы резания. Показаны преимущества обработки поверхностей брусками из эльбора при хонинговании разных по назначению деталей машин.

Выводы. Доказано, что качество поверхностей трения, изготовленных из новых композитных материалов на основе никеля, а также экономические факторы технологического процесса обработки (производительность, затраты эльбора, себестоимость) существенно зависят от структуры эльборовых брусков (зернистости, связки) и режимов резания. Разработаны рекомендации для производства.

Ключевые слова: новые композитные материалы; хонингование; эльбор; бруски; шероховатость поверхности; затраты эльбора; производительность; себестоимость; режимы резания.

Рекомендована Радою
Видавничо-поліграфічного інституту
НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського"

Надійшла до редакції
03 червня 2016 року