

УДК 621.822.1:621.7.09

© А. П. Гавриш, д.т.н., професор, Т. А. Роїк, д.т.н., професор,  
П. О. Киричок, д.т.н., професор, О. О. Мельник, к.т.н.,  
доцент, Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., ст. викладач, НТУУ «КПІ», Київ,  
Україна

**ОЗДОБЛЮВАЛЬНЕ ХОНІНГУВАННЯ ЕЛЬБОРОВИМИ  
БРУСКАМИ ПРЕЦИЗІЙНИХ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ  
ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ  
НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН**

Наведені результати досліджень впливу технологічних факторів хонінгування — складу абразивного інструменту, режимів різання, елементів конструкції хонінгувальної головки на шорсткість, точність поверхонь підшипників ковзання з нових композитних матеріалів на основі алюмінію, а також показники питомої продуктивності, витрат ельбору та технологічної собівартості від зернистості, матеріалу зерна та властивостей зв'язки абразивних брусків для операцій хонінгування деталей з композитів на основі алюмінію для поліграфічних машин.

**Ключові слова:** нові композиційні матеріали, деталі тертя, хонінгування, хонінгувальні головки, режими різання, шорсткість.

**Постановка проблеми**

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

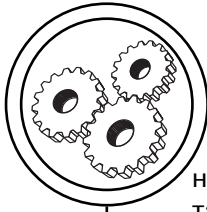
До таких процесів, зокрема, відносять хонінгування дрібно абразивними брусками.

При промисловому виробництві сучасних високошвидкісних друкарських машин типу КВА «Rapida 105», «Star Binder 1509», «WOHLENBERG Trin-tec 560» та інші для виготовлення зносостійких деталей тертя на-

були широкого розповсюдження нещодавно створені новітні марки високолегованих та важкооброблюваних композиційних сплавів на основі алюмінію АК12МгН, АМ4,5Кд, АК8МЗч, АК12ММгН + (9–12) % MoS<sub>2</sub> [1–7].

Ці матеріали створені для роботи у важких умовах експлуатації (температури поверхонь пар тертя у межах 120–170 °С, питомі навантаження до 6,5–7,0 МПа, активно діюче агресивне середовище — кисень повітря, виробничий пил від використання паперової сировини, абразивна здатність мікропилинок).

Деякі основні властивості нових зносостійких матеріалів



на основі алюмінію наведені у табл. 1.

Відомо [6–11], що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару. Ці параметри формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення.

У зв'язку з тим, що нові високозносостійкі композитні сплави на основі алюмінію знайшли своє використання у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно, розгалужених та всебічних до-

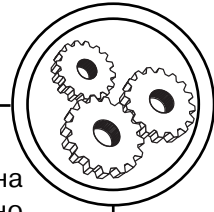
сліджень технологічних процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, зокрема, є поодинокі публікації, присвячені дослідженню впливу складу інструменту та режимів різання на параметри шорсткості та наклепу поверхневого шару оброблення при тонкому, ельборовому та кубонітовому шліфуванні [6, 7].

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [11–16], приймаючи до уваги, що покращення якості поверхні оброблення хоча б на декілька відсотків суттєво підвищує параметри довговіч-

Таблиця 1  
Фізико-механічні та антифрикційні властивості композитів на основі алюмінію

Властивості композитів	AK12M2MгH [3]	AM4,5Кд [4]	AK8M3ч [5]	AK12MMгH+ (9-12)%MoS <sub>2</sub> [6]
Межа міцності на розтяг, МПа	180–185	187–190	187–195	190–197
Твердість НВ, МПа	550–570	580–600	590–610	595–615
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	0,18–0,30	0,22–0,34	0,25–0,35	0,27–0,37
Коефіцієнт тертя при 5 МПа	0,0075–0,0080*	0,0077–0,0082**	0,0045–0,0048**	0,0038–0,0050**
Інтенсивність зношування при 5 МПа	3,9*	5,3*	2,66–2,69**	2,61–2,65
Інтенсивність зношування контртіла при 5 МПа	сліди	0,005*	0,002**	сліди
Гранична температура, °С	120	170	150	155
Граничне навантєння, МПа	7	7	6**	6,5**

Примітка: \* випробування при 100 °С; \*\* — випробування при 150 С; змащування індустріальним мастилом «I - 20» в парі з контртілом зі сталі 45 (45–48 HRC).



ності і надійності друкарської техніки, та враховуючи специфічні властивості композиційних сплавів на основі алюмінію [5–7], було б вельми корисним для формування необхідних параметрів шорсткості поверхонь тертя при їх фінішній оздоблювально-викінчувальній обробці застосовувати сучасні технологічні процеси хонінгування прецизійних отворів деталей ельборовими брусками. Нажаль, на сьогоднішній день досліджень у цьому не велось. Це, безумовно, є перешкодою до повного використання усіх резервів підвищення зносостійкості за рахунок забезпечення при використанні усіх резервів по зносостійкості, притаманних лише цим найновітнішим маркам композитів на основі алюмінію, і, у тому числі, зростання надійності, довговічності та ремонтоздатності шляхом формування найкращих параметрів шорсткості методами викінчувального ельборового хонінгування.

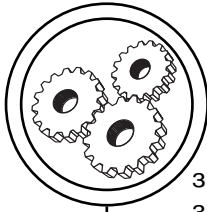
При прецизійній обробці деталей з високолегованих зносостійких композитів на основі алюмінію необхідно стабільно отримувати найвищі якості розмірів, відхилень від вимог форми деталі (некруглість, хвилястість, конусність та інші) менше ніж 0,003–0,005 мм, хвилястість менше ніж 0,5 мкм, параметри шорсткості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

При вирішенні сформованих задач велике значення має висока зносостійкість інструменту, що забезпечує більш

жорсткі розмірні допуски на деталь і дозволяє ефективно використовувати засоби активного контролю розмірів, а також працювати на верстатах з мінімальним числом підналадок.

Безпосередньо ж обробка деталей з високолегованих композитів вимагає застосування спеціальних надтвердих матеріалів, зокрема, новітніх марок кубічного нітриду бору — ельбору. Хоча більшість фінішних процесів тонкого абразивного оброблення є низькотемпературними (у зоні обробки зафіксовані температури у межах 150–250 °С), проте на локальних ділянках контакту поодиноких абразивних зерен з металом можуть, вочевидь, утворюватися і більш високі миттєві температури, які обумовлюють більш інтенсивний абразивний знос інструменту. І нарешті, наростування на абразивних зернах менш інтенсивне при використанні хімічно інертних інструментальних матеріалів.

Зазначимо, що надтвердий матеріал, як синтетичний алмаз АС, достатньо широко застосовується у процесі хонінгування. Проте, специфічні властивості алмазу (низька температура, хімічна порідненість із залізом) дещо звужують можливість застосування алмазних інструментів. Так, якщо при алмазному хонінгуванні чавуну питома продуктивність складає  $Q_M = 0,3–0,5$  г/хв·см<sup>2</sup> і  $q_a = 0,04–0,08$  мг/г [15–20], то при обробці таких же деталей зі сталей ці показники погіршуються  $Q_M = 0,05–1$  г/хв·см<sup>2</sup> та  $q_a = 0,05–5$  мг/г. При швидкостях різання більших за 30–40 м/хв.



знос алмазних брусків суттєво зростає [6, 14–21].

Таким чином, є всі передумови для ефективного використання ельбору в процесах викінчувальної абразивної обробки високолегованих та важкооброблюваних композитів на основі алюмінію.

### Мета роботи

В науково-технічній літературі є багато публікацій по застосуванню інструментів з надтвердих синтетичних матеріалів для обробки деталей різного призначення та різних галузей виробництва [6–21].

Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування ельборового оброблення (перш за все, завдяки особливостям інструменту) дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Втім відсутність технологічних рекомендацій з ельорової обробки високолегованих та важкооброблюваних композитних сплавів призводить 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 метою даної роботи було дослідження параметрів шорсткості поверхонь при ель-

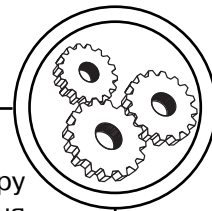
боровому хонінгуванні прецизійної точності отворів деталей з високолегованих композитів на основі алюмінію АК12МгН, АМ4,5Кд, АК8МЗч, АК12ММгН + (9–12) %  $\text{MoS}_2$  [1–7], а також всебічне вивчення впливу зернистості ельборових брусків, типу матеріалу зерна абразиву, типу зв'язки інструменту і основних 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 роботах [5–7, 22–26].

У зв'язку з тим, що ельборове хонінгування, головним чином, застосовується при обробці крихких деталей, дослідження можливостей використання ельбору для процесів обробки були орієнтовані на питання підвищення продуктивності хонінгування виробів з високолегованих антифрикційних композитних матеріалів на основі алюмінію [1–6].

Здебільше при виконанні експериментів автори обробляли композити АК12МгН [3], АМ4,5Кд[4], АК8МЗч[5] та АК12ММгН + (9–12) %  $\text{MoS}_2$ . Застосовувались ельборові бруски звичайної міцності (ЛО) на бакелітно-гумовій, металевій, металево-керамічній та керамічній зв'язках зернистістю 120, 40 та 14 мкм (ЛО12, ЛОМ40, ЛОМ14) з конструкцією основної зернової фракції 100 %. Змінними параметрами



режимів оброблення були ок-  
ружна швидкість хону  $V_{ок} = 20$ –  
– 80 м/хв. та питомий тиск  
брусків  $p = 0,1$ – $0,6$  МПа. Пос-  
тійним параметром серед  
режимів різання була швидкість  
зворотно-поступальних рухів  
 $V_{зв.п} = 12$  м/хв. У якості мас-  
тильно-охолоджуючої рідини  
(МОР) застосовувалась суміш  
індустріального мастила И-16  
(~40 %) з гасом (~60 %).

Порівняння різних зв'язок  
(бакелітно-гумової (Бр1), мета-  
левої (М1), металево-кераміч-  
ної (МКВ) та керамічної (С10)  
показало, більш висока та ста-  
більна продуктивність досяга-  
ється при використанні кера-  
мічної зв'язки (табл. 2). Найві-  
рогідніше це може бути поясне-  
но мінімальною кількістю сколів  
при роботі ріжучих абразивних  
зерен.

Отримані результати узгод-  
жуються, якщо врахувати більш  
однорідну і шпариністу струк-  
туру ельборових брусків на  
керамічний зв'язці. Крім того, на  
поверхні брусків зі зв'язок М1 та  
МКВ часто утворюються адге-  
зійні нарости металу, що погір-  
шує шорсткість поверхні де-  
талі.

Продуктивність зрізання шару  
метала з поверхні оброблення  
деталі з високолегованого ком-  
позиту, що досягнута застосу-  
ванням ельборових брусків,  
приблизно у 1,6–2 рази пере-  
вищує показники подібних за  
складом та структурою алмаз-  
них брусків [27].

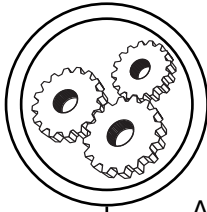
Переваги ельборових брусків  
порівняно з алмазними ґрун-  
товно показані при хонінгуванні  
поверхонь отворів підшипників  
ковзання поліграфічних машин,  
які виготовлені з антифрикцій-  
них важкооброблюваних компо-  
зитів на основі алюмінію [5, 6,  
15–19, 21, 24–26]. Бруски ЛО6  
на зв'язці М1 та 100 %-й кон-  
центрації забезпечували ста-  
більний процес різання протя-  
гом досить довгого часу при  
виробництві до 3 г/хв. та пито-  
мих втрат не більше, ніж  
0,5 мг/г. У якості оптимального  
режиму хонінгування доцільно  
рекомендувати:  $p = 0,2$  МПа,  
 $V_{ок} = 40$  м/хв.,  $V_{зв.п} = 8$  м/хв.  
У той же час алмазні бруски в  
цих же умовах (після 1–3 хв.  
роботи) засалюються і вима-  
гають правки, питомні ж ви-  
трати досягають межі до  
2 мг/г.

Таблиця 2

Продуктивність ельборового хонінгування високолегованих  
композитів на основі алюмінію

Тип зв'язки	Характеристика брусків	Параметри продуктивності $Q_m$ , г/хв.см <sup>2</sup>
Бакелітно-гумова	ЛО12Бр1100 %	0,07–0,09
Металева	ЛО12 М1100 %	0,07–0,1
Металево-керамічна	ЛО12 МКВ 100 %	0,06–0,08
Керамічна	ЛО12 Т1-Т2100 %	0,18–0,2

Примітка: 1. Питомий тиск  $P = 0,4$  МПа; 2. Швидкість зворотно-поступальних  
рухів  $V_{зв.п} = 12$  м/хв.



При обробці композиту АК12ММГН + (9–12) %  $\text{MoS}_2$  [6] ельборові бруски на керамічній зв'язці також забезпечують підвищення продуктивності зрізання шару матеріалу оброблення у 2–3 рази порівняно з алмазними брусками. Проте, у цьому випадку питомі витрати ельбору були приблизно вдвічі вищими, що стало підґрунтям для рекомендацій застосувати ельборові бруски тільки при чистовому хонінгуванні [6, 13, 15–21, 25, 26].

При використанні зерен кубічного нітриду бора, які мають підвищену міцність, висока продуктивність та менші питомі витрати ельбору (0,2–0,22 мг/г) досягаються хонінгувальними брусками на спеціальних металокерамічних зв'язках МС6 та МС15 [19, 21, 26].

Важливою перевагою ельборових хонінгувальних брусків є їх досить невеликий знос, що забезпечує високу точність розмірів та форми отворів оброблення, а також мінімальний

розкид розмірів партії оброблених деталей. Наприклад, питомі витрати ельборових хонів на керамічній зв'язці складає 0,06–0,1 мкм на мікрометр припуску, що зрізається з поверхні деталі оброблення (до речі, у абразивних брусків ~ 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 зрізується під час оброблення. Залежність питомих витрат ельбору від тиску, як видно з рис. 1, є більш складною і має мінімум при значеннях  $\rho = 0,2–0,3$  МПа. Саме тому вибір режимів різання при хонінгуванні необхідно виконувати на основі розрахунків собівартості операції, який приймає до уваги такі фактори, як продуктивність оброблення і вартість ельборового інструменту.

Збільшення окружної швидкості хону веде до зростання продуктивності і зменшенню питомих витрат ельбору. Враховуючи це, окружну швидкість ельборових брусків (хону) треба вибирати найбільш великою.

Адгезійне налипання металу на брусок нейтралізують шляхом підвищення замазувальних властивостей МОР, наприклад, введенням у склад мастильно-охолоджуючої рідини активних добавок, наприклад, олеїнової кислоти. Гарні результати забезпечує МОР зі складом гасу (70–75 %), індустриального мас-

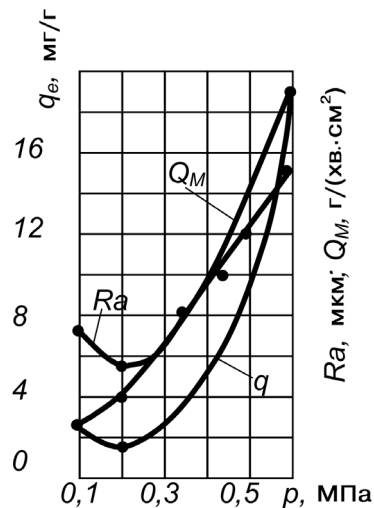
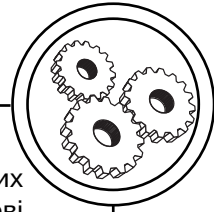


Рис. 1. Вплив питомого тиску на показники хонінгування



тила И-16 (22–27 %) та олеїнової кислоти (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 параметр шорсткості поверхні  $Ra = 0,2-0,6$  мкм. При використанні для хонінгування дрібнозернистих (М14, М20) ельборових брусків ЛОМ20–ЛОМ14 шорсткість поверхні оброблення значно покращується і параметр шорсткості  $Ra = 0,05-0,08$  мкм.

Результати досліджень при обробці композитного сплаву на основі алюмінію АК8МЗч [5] та їх аналіз, дозволяють сформулювати узагальнені рекомендації по технології оздоблювального ельборового хонінгування (таб. 3).

Узагальнені дані по експлуатаційним показникам ельборових брусків на керамічній зв'язці (для умов хонінгування висо-

колегованих антифрикційних композитного сплавів на основі алюмінію наведені у табл. 4.

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

$$t_{ш.к} = t_o + t_b + t_{об} + \frac{t_{пз}}{n_d},$$

де  $t_o$  — основний, машинний час;  $t_b$  — допоміжний час на встановлення, зняття, вимірювання деталей;  $t_{об}$  — час технічного та організаційного обслуговування;  $t_{пз}$  — підготовчо-заклучний час;  $n_d$  — розмір партії оброблюваних деталей.

Основний час розраховується згідно формули:

$$t_o = \pi D l h \gamma / Q_i 2 B L n_s,$$

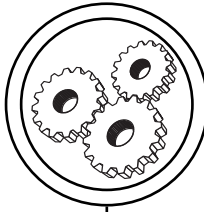
де  $D$ ,  $l$  — діаметр і довжина отвору оброблення;  $h$  — припуск;  $\gamma$  — щільність матеріалу

Таблиця 3

Рекомендації по ельборовому хонінгуванню прецизійних поверхонь деталей з високолегованого антифрикційного композитного сплаву на основі алюмінію АК8МЗч

Тип хонінгування	Характеристика ельборового бруска	Режими різання			$Q_m$ , г/хв. см <sup>2</sup>	Ra, мкм
		$V_{зв.п}$ , м/хв.	$V_{ок}$ , м/хв.	P, МПа		
Чорнове	ЛО12Т1-Т2К100 %	12–14	40–60	0,3–0,5	0,2–0,3	0,2–0,5
Напівчистове	ЛО4Т1-Т2К100 %	12–14	60–80	0,2–0,4	0,05–0,07	0,1–0,15
Чистове	ЛОМ40Т1К100 %	15–16	70–85	0,15–0,3	0,03–0,05	0,08–0,1
Оздоблювальне	ЛОМ14Т1К100 %	16–20	85–90	0,12–0,2	0,02–0,04	0,06–0,08
Фінішне	ЛОМ7Т1К100 %	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 4

Експлуатаційні показники ельборових брусків для хонінгування композитів на основі алюмінію АК8МЗч

Зернистість брусків	Питома продуктивність $Q_m$ , г/хв.см <sup>2</sup>	Питомі витрати ельбору $q_e$ , мг/г	Параметр шорсткості поверхні Ra, 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
ЛОМ14	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: 1. Режими різання:  $\rho = 0,3$  МПа,  $V_{ок} = 60$  м/хв.,  $V_{зв.п} = 14$  м/хв., 2. Склад МОР: гас (70 %), індустриальне мастило — И-16 (27 %), олеїнова кислота (3 %).

композитного сплаву;  $B$ ,  $L$  — розміри робочої поверхні хонінгувального бруска;  $n_s$  — кількість брусків у хоні;  $Q_i$  — питома продуктивність, яка встановлюється експериментально (табл. 5).

Допоміжний час та час на обслуговування (згідно з норма-

тивами) прийнято такими:  $t_b = 0,32$  хв,  $t_{об} = 0,43(t_o + t_b)$ . Підготовчо-заклучний час по нормативним даним також дорівнює 10 хв. Розмір партії деталей для розрахунку складає  $n_d = 100$  шт. Результати розрахунку трудомісткості хонінгування для

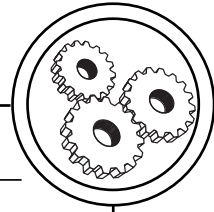
Таблиця 5

Нормативи експлуатаційних характеристик брусків з ельбору на операціях хонінгування

Показники оброблення	Зернистість хонінгувальних брусків								
	12	10	8	6	4	M28	M20	M14	M7
Питома продуктивність $Q_m$ , г/хв.см <sup>2</sup>	0,2	0,18	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,015
Параметр шорсткості поверхні Ra, 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
Питомі витрати ельбору $q_e$ , 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: 1. Режими різання:  $\rho = 0,3$  МПа,  $V_{ок} = 60$  м/хв.,  $V_{зв.п} = 14$  м/хв., 2. Склад МОР: гас (70 %), індустриальне мастило — И-16 (27 %), олеїнова кислота (3 %).





деталей різних розмірів наведені на рис. 2. Технологічна собівартість хонінгування  $C_T$  розраховувалась наступним чином:

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

де  $C_{з.п}$  — витрати на основну заробітну плату з начисленнями;  $C_i$  — витрати на інструмент;  $C_z$  — витрати по решті елементам собівартості (у розрахунку на 1 годину роботи верстата).

Встановлення витрат на інструмент виконувалось з врахуванням експериментальних даних по питомим витратам ельбору (табл. 5).

$$C_i = C_\delta n_\delta / N_d = \\ = n_\delta C_\delta \pi \cdot D \cdot l \cdot h \cdot \\ \cdot \gamma \cdot q_e \div g_e,$$

де  $C_\delta$  — вартість бруска;  $q_e$  — питомі витрати ельбору;  $g_e$  — маса ельбору у бруску;  $N_d$  — кількість деталей, що оброблюється одним комплектом брусків.

Визначення  $C_{з.п}$  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 з трудомісткості та собівартості ельборового хонінгування можуть бути покладені в основу нормовочно-калькуляційних розрахунків при впровадженні процесів в умовах діючих машинобудівних підприємств.

Бруски з ельбору можуть ефективно використовуватись на хонінгувальних верстатах, які працюють як з постійним тиском на бруску, так і з постійною

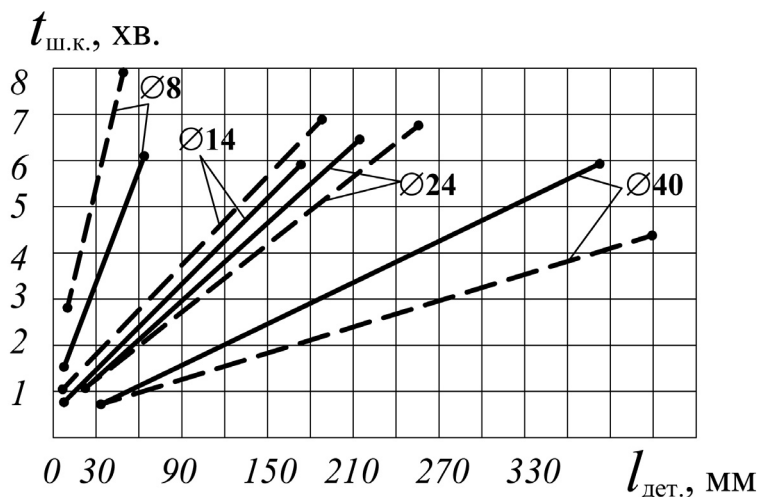


Рис. 2. Трудомісткість операцій ельборового хонінгування деталей зі сплаву АК8МЗч

— чорнового, брусками ЛО12ТК100%  
 - - - чистового брусками ЛО4ТК100%

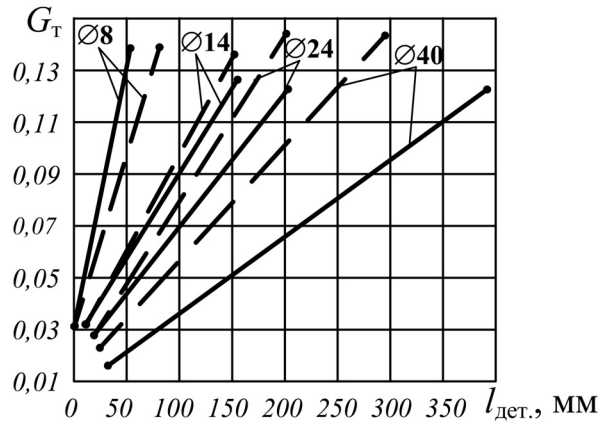
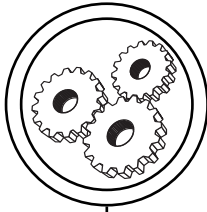


Рис. 3. Собівартість операцій хонінгування деталей з високолегованих композитних сплавів АМ4,5Кд

————— чорного, - - - - - оздоблювального

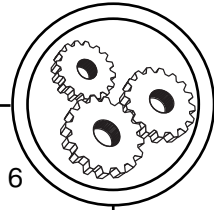
подачею на подвійний хід хону. До металевих колодок хона бруски на керамічній зв'язці доцільно клеїти епоксидним клеєм зі складом: 100 масових частинок епоксидної смоли, 30 масових частинок наповнювача (абразивного порошку зернистістю 40–50 мкм), 10 масових частинок ствердувача. Для більш повного використання хонінгувальних брусків колодки застосовують без буртів, бо міцність приклеювання достатня для надійного закріплення бруска на колодці.

Для виконання операцій викінчувально-фінішного хонінгування хонінгувальні бруски у поєднанні з корпусом хон головки необхідно попередньо шліфувати на прецизійному круглошліфувальному верстаті абразивними кругами з карбіду кремнію зеленого (63С), зернистість не гірше ніж на три номери більше, ніж зернистість ельборового бруска. При част-

ковому затупленні брусків у процесі і роботи для відновлення їх ріжучої здатності необхідно терміново короткочасно попрацювати брусками по поверхні бракованої деталі абразивною сумішшю, яка складається з вільних абразивних зерен з карбіду кремнію зеленого 63С (на два номери крупніших, ніж зернистість хонінгувального бруска) та мастильно-охолоджуючої рідини (МОР).

Технологічний процес ельборового хонінгування високолегованих зносостійких композитних сплавів на основі алюмінію пройшов апробацію на ряді машинобудівних підприємств, що виготовляють деталі, вузли та в цілому машини різних за призначенням поліграфічних комплексів. У табл. 6 наведені дані про оброблювані деталі, режими різання та склад МОР.

Особливо високою є ефективність ельборового хонінгу-



Таблиця 6

Дані про деталі оброблення та режими їх хонінгування

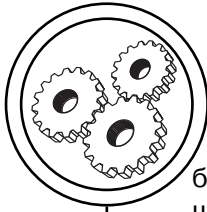
Назва деталі	Матеріал	Розміри отворів оброблення	Режими різання			МОР
			$V_{зв.п.}$ , м/хв.	$V_{ок.}$ , м/хв.	$p$ , МПа	
Гільза тормозна	AK12MгH (HB570МПа)	$\varnothing 70, l_d = 240$	10	12	0,3	Індустріальне мастило І-16
Втулка	AM4,5Кд(HB600МПа)	$\varnothing 11, l_d = 40$	7	10	0,25	гас (70 %), індустріальне мастило — (27 %), олеїнова кислота (3 %)
Блок шестерень	AK8M3ч(HB610МПа)	$\varnothing 27, l_d = 196$	29	35	0,25	гас (90 %), індустріальне мастило — (17 %), олеїнова кислота (3 %)
Підшипник ковзання	AK12MMгH + (9–12) % MoS <sub>2</sub> (HB615МПа)	$\varnothing 30, l_d = 60$	15	20	0,2	гас (75 %), індустріальне мастило — (22 %), олеїнова кислота (3 %)
Упорний підшипник	AK12MMгH + (9–12) % MoS <sub>2</sub> (HB615МПа)	$\varnothing 8, l_d = 20$	20	30	0,2	гас (75 %), індустріальне мастило — (22 %), олеїнова кислота (3 %)

вання отворів малого діаметру деталей з композитів на основі алюмінію, коли хонінгувальні бруски мають низьку зносостійкість і не дозволяють отримувати стабільну розмірну точність.

Виконані авторами дослідження показали, що використовуючи ельборові бруски, можливо стабільно отримати високу якість поверхні і високу геометричну точність кілець підшипників ковзання при достатньо високій продуктивності. Роботи виконувались у виробничих умовах заводу «Тріз» (м. Суми). Хонінгували отвір діаметром 8 мм. Перед хонінгуванням конусність та некруг-

лість попередньо прошліфованих отворах складала 1,5–2 мкм, параметри шорсткості поверхні був у межах  $R_a = 0,5–0,6$  мкм. Після фінішного хонінгування необхідно було отримати конусність та некруглість у межах 0,5 мкм, а параметри шорсткості  $R_a$  не гірше ніж 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 (в комплекті з корпусом) шліфували абразивними кругами з карбіду кремнію зеленого (63С) зернистістю 250 мкм.

Були досліджені експлуатаційні властивості ельборових брусків на керамічній зв'язці зернистістю ЛОМ7-ЛОМ40 твердістю СТ1-Т21, 100 %-ю концентрацією ельбору при різних режимах хонінгування. Результати досліджень наведені на рис. 4.

Ельборові бруски мають високі ріжучі властивості і зберігають їх довгий час. Так, знос брусків ЛОМ28 після обробки 75–80 підшипників (при середньому припуску на одно кільце близько 20 мкм) склав лише 0,2 мм. Коливання величини припуску, що зрізу-

ється на операції хонінгування, як правило, не перевищували ~ 10 %. Питомі витрати брусків на операціях попереднього хонінгування були у межах 12–14 мг/г. При хонінгуванні у дві операції ельборовими брусками ЛОМ28 (чи ЛОМ14) та ЛОМ7 були отримані досить пристойні результати, а саме, некруглість отвору ~ 0,2–0,4 мкм, конусність — у межах ~ 0,5 мкм, шорсткість поверхні обробки  $R_a = 0,03–0,05$  мкм. Порівняння ельборових брусків з алмазними (на зв'язці М73) [17–19] показало, що продуктивність ельборового хонінгування у 2–3 рази вища.

Вихід деталей, які за якістю повністю відповідають вимогам креслень та технічним умовам,

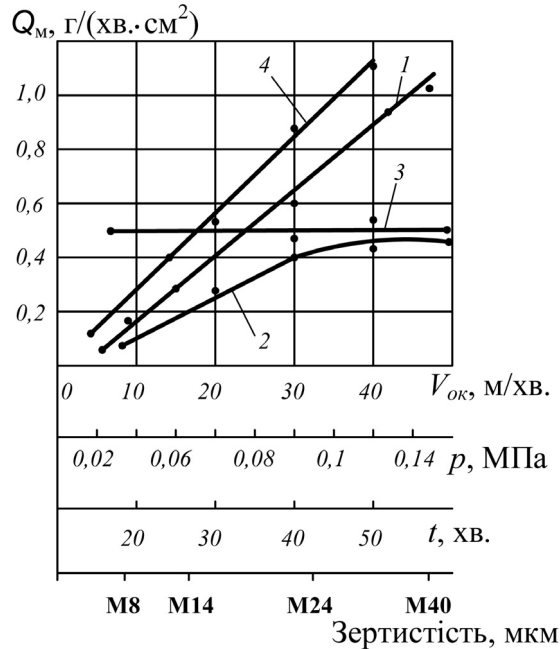
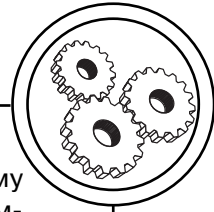


Рис. 4. Вплив зернистості ельборових брусків та режимів різання на продуктивність хонінгування отворів підшипників ковзання з композиту АК12ММГН + (9–12) %  $MoS_2$ : 1 —  $Q_m = f(V_{ок})$ , 2 —  $Q_m = f(p)$ , 3 —  $Q_m = f(t)$ , 4 —  $Q_m = f(z)$



складає 80–90 %, що також є достатньо високим показником. На заводі експериментальних технологій (м. Київ) було виконано хонінгування спеціального вузла — блока шестерень. Під час виробничих досліджень технологічного процесу ельборового хонінгування брусками ЛОМ12М1100 % 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 впевнено показують, що процес ельборового хонінгування має ряд переваг перед традиційними технологіями оброблення і забезпечує високу ефективність при обробці високоточних отворів у різних за своїм призначенням деталей, які були виготовлені з найновітніших високо зносостійких композиційних матеріалів на основі алюмінію для сучасних поліграфічних машин.

#### Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

1. Вперше в науковій практиці дослідженого питання ельборового хонінгування нових марок високолегованих композиційних сплавів, синтезованих на основі використання утилізованих та регенованих шліфувальних відходів алюмінієвих матеріалів з виробництва авіаційної та автотранспортної галузей народного господарства України.

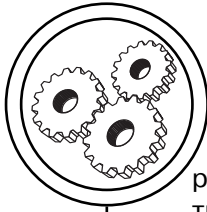
2. Встановлено залежності,

які виникають при фінішному ельборовому хонінгуванні композитних високо зносостійких матеріалів на основі алюмінію. Показано, що основні закономірності фінішного хонінгування новітніх марок композиційних сплавів співпадають з засадничими положеннями теорії та практики алмазно-абразивної фінішної обробки прецизійних поверхонь деталей тертя поліграфічних машин.

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

4. 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 ( $V_{зв.п}$ ,  $V_{ок}$ ,  $\rho$ , час оброблення  $t$ , величина припуску). Ці нормативи введено до складу типових технологічних процесів і пройшли всебічну експериментальну перевірку в умовах реально діючого виробництва.

5. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку вивчення впливу на параметри якості деталей тертя композитних сплавів на основі алюмінію нових технологічних процесів хонінгування з вико-

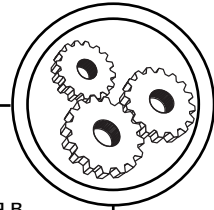


ристанням найновітніших інструментальних матеріалів, зокрема, «Borason» (Bo), що розроблено фірмою «Дженерел електрик» (США) і, який у

зв'язку з активізацією економічних відносин України з Європейським Союзом (ЄС), останнім часом набуває поширення у машинобудівних галузях промисловості і, зокрема, при виготовленні друкарських машин.

### Список використаної літератури

1. Патент України № 60174 А, МКИ С22С 21/02. Порошковий антифрикційний матеріал на основі алюмінію / Комнацкий О. Л., Роїк Т. А., опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.
2. Патент України № 34407, МКИ С22С21/02. Композиційний підшипниковий матеріал на основі алюмінію / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Холяк В. В., Прохоренко О. М., опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.
3. Патент України № 26862, С22С21/02. Антифрикційний матеріал на основі алюмінію / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Гавриш О. А., опубл. 10.10.07, Бюл. № 16.
4. Патент України № 75523, МПК С22С21/02 (2006.01). Зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О., опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.
5. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
6. Киричок П. О. Технологія поліграфічного машинобудування : Навчальний посібник / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. В. Шевчук, А. П. Гавриш, О. І. Лотоцька. — К. : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. — 504 с.
7. Роїк Т. А. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : Монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 502 с.
8. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. — М. : Машиностроение, 1968. — 478 с.
9. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И. Костецкий. — М. : Машгиз, 1959. — 216 с.
10. Костецкий Б. И. Надежность и долговечность машин / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, Л. И. Бершадский, А. К. Караулов. — К. : Техника, 1975. — 408 с.
11. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. — К. : Наукова думка, 1984. — 340 с.
12. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. — М. : Машиностроение, 1979. — 320 с.
13. Рыжов Э. В. Высокоэффективные процессы финишной обработки / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1987. — 256 с.
14. Ящерицын П. И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей / П. И. Ящерицын. — Мн. : Беларусь, 1989. — 312 с.
15. Фрагин И. Е. Научные основы повышения точности и производительности хонингования : Монография / И. Е. Фрагин. — М. : Машиностроение, 1975. — 320 с.
16. Чеповецкий И. Х. Основы финишной алмазной обработки : Монография / И. Х. Чеповецкий. — К. : Наукова думка, 1980. — 467 с.
17. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. акад. НАН Украины Н. В. Новикова, д.т.н. С. А. Клименко. 2-е изд., перераб. и доп. —



М. : Машиностроение, 2014. — 608 с.

18. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : Монография в 6-ти т. / Под ред. акад. НАН Украины 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.

19. Лавриненко В. І., Новіков М. Р. Надтверді абразивні матеріали в механообробні : Енциклопедичний довідник / під заг. ред. акад. НАНУ М. В. Новикова. — К. : вид. ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ, 2013. — 456 с.

20. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л., Залога В. О., Новоселов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основи теорії різання матеріалів : Підручник / Під заг. ред. М. П. Мазура. — Львів : Новий світ, 2010. — 423 с.

21. Лысанов В. С. Эльбор в машиностроении : Монография / В. С. Лысанов, В. А., Букин Б. А. Глазковский и др. / Под общ. ред. В. С. Лысанова. — Л. : Машиностроение, 1978. — 280 с.

22. 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.

23. Гавриш А. П. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації / А. П. Гавриш, О. О. Мельник, Т. А. Роїк, М. Г. Аскеров, О. А. Гавриш : Монографія. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 196 с.

24. Гавриш А. П. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів / А. П. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, С. В. Войтко : Монографія. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 204 с.

25. Гавриш А. П. Фінішна алмазно-абразивна обробка матеріалів / А. П. Гавриш, П. П. Мельничук : Монографія. — ЖДТУ, 2004. — 551 с.

26. Киричок П. О., Роїк Т. А., Гавриш А. П., Шевчук А. В., Віцюк Ю. Ю. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин : Навч. посібник. — К. : Вид-во НТУУ «КПІ», 2014. — 404 с.

27. Бродский Ц. З. Рекомендации по технологии хонингования чугунных и стальных деталей алмазным инструментом / Ц. З. Бродский. — М. : Машиностроение, 1971. — 127 с.

#### References

1. Patent Ukraine № 60174 A, MKY S22S 21/02. Poroshkovyi antyfyryktsiinyi material na osnovi aliuminiuu / Komnatskyi O. L., Roik T. A., opubl. 15.09.2003, Biul. № 9.

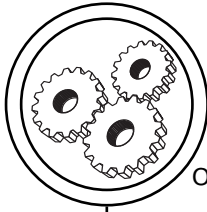
2. Patent Ukraine № 34407, MKY S22S21/02. Kompozytsiinyi pidshypnykovyi material na osnovi aliuminiuu / Roik T. A., Havrysh A. P., Havrysh O. A., Kholiavko V. V., Prokhorenko O. M., opubl. 11.08.08, Biul. № 15.

3. Patent Ukraine № 26862, S22S21/02. Antyfyryktsiinyi material na osnovi aliuminiuu / Roik T. A., Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Havrysh O. A., opubl. 10.10.07, Biul. № 16.

4. Patent Ukraine № 75523, MPK S22S21/02 (2006.01). Znosostiikiyi material na osnovi aliuminiievoho splavu / Roik T. A., Havrysh A. P., Havrysh O. A., Kyrychok P. O., Vitsiuk Iu. Iu., Melnyk O. O., opubl. 10.12.2012, Biul. № 23.

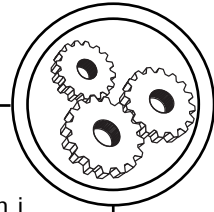
5. Roik T. A. Kompozytsiinyi pidshypnykovyi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.

6. Kyrychok P. O. Tekhnolohiia polihrafichnoho mashynobuduvannia : Navchalnyi posibnyk / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. V. Shevchuk, A. P. Havrysh,



- O. I. Lototska. — K. : NTUU «KPI» VPI VPK «Politehnika», 2014. — 504 s.
7. Roik T. A. Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn : Monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, P. O. Kyrychok, A. V. Shevchuk, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2014. — 502 s.
  8. Kragel'skij I. V. Trenie i iznos / I. V. Kragel'skij. — M. : Mashinostroenie, 1968. — 478 s.
  9. Kosteckij B. I. Soprotivlenie iznashivaniyu detalej mashin / B. I. Kosteckij. — M. : Mashgiz, 1959. — 216 s.
  10. Kosteckij B. I. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin / B. I. Kosteckij, I. G. Nosovskij, L. I. Bershadskij, A. K. Karaulov. — K. : Tehnika, 1975. — 408 s.
  11. Ryzhov Je. V. Tehnologicheskie metody povysheniya iznosostojkosti detalej mashin. — K. : Naukova dumka, 1984. — 340 s.
  12. Maslov E. N. Teorija shlifovanija materialov / E. N. Maslov. — M. : Mashinostroenie, 1979. — 320 s.
  13. Ryzhov Je. V. Vysokoeffektivnye processy finishnoj obrabotki / Je. V. Ryzhov. — K. : Naukova dumka, 1987. — 256 s.
  14. Jashhericyn P. I. Progressivnaja tehnologija finishnoj obrabotki detalej / P. I. Jashhericyn. — Mn. : Belarus', 1989. — 312 s.
  15. Fragin I. E. Nauchnye osnovy povysheniya tochnosti i proizvoditel'nosti honingovanija : Monografija / I. E. Fragin. — M. : Mashinostroenie, 1975. — 320 s.
  16. Chepoveckij I. H. Osnovy finishnoj almaznoj obrabotki : Monografija / I. H. Chepoveckij. — K. : Naukova dumka, 1980. — 467 s.
  17. Instrumenty iz sverhtverdyh materialov / Pod red. akad. NAN Ukrainy N. V. Novikova, d.t.n. S. A. Klimenko. 2-e izd., pererab. i dop. — M. : Mashinostroenie, 2014. — 608 s.
  18. Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie : Monografija v 6-ti t. / Pod red. akad. NAN Ukrainy N. V. Novikova. — K. : ISM im. V. N. Bakulja NANU, 2007. — T. 6 : Almazno-abrazivnyj instrument v tehnologijah obrabotki / Pod red. A. A. Shepeleva. — 340 s.
  19. Lavrynenko V. I., Novikov M. R. Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanoobrobni : Entsiklopedychny dovidnyk / pid zah. red. akad. NANU M. V. Novikova. — K. : vyd. INM im. V. M. Bakulia NANU, 2013. — 456 s.
  20. Mazur M. P., Vnukov Iu. M., Dobroskok V. L., Zaloha V. O., Novoselov Iu. K., Yakubov F. Ia. Osnovy teorii rizannia materialiv : Pidruchnyk / Pid zah. red. M. P. Mazura. — Lviv : Novyi svit, 2010. — 423 s.
  21. Lysanov V. S. Jel'bor v mashinostroenii : Monografija / V. S. Lysanov, V. A., Bukin B. A. Glaglvskij i dr. / Pod obshh. red. V. S. Lysanova. — L. : Mashinostroenie, 1978. — 280 s.
  22. Roik T. A. Suchasni systemy tekhnolohii zahotivel'nogo vyrobnytstva v mashynobuduvanni : Monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh. — K. : EKMO, 2010. — 212 s.
  23. Havrysh A. P. Novi tekhnolohii finishnoho obroblennia kompozytsiinykh pidshypnykiv kovzannia dlia zhorstkykh umov ekspluatatsii / A. P. Havrysh, O. O. Melnyk, T. A. Roik, M. H. Askerov, O. A. Havrysh : Monohrafiia. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 196 s.
  24. Havrysh A. P. Novitni tekhnolohii vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv / A. P. Havrysh, Iu. Iu. Vitsiuk, T. A. Roik, O. A. Havrysh, S. V. Voitko : Monohrafiia. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 204 s.
  25. Havrysh A. P. Finishna almazno-abrazivna obrobka materialiv / A. P. Havrysh, P. P. Melnychuk : Monohrafiia. — ZhDTU, 2004. — 551 s.
  26. Kyrychok P. O., Roik T. A., Havrysh A. P., Shevchuk A. V., Vitsiuk Iu. Iu. Finishne obroblennia znosostiikykh detalei drukarskykh mashyn : Navch. posib-





nyk. — К. : Vyd-vo NTUU «KPI», 2014. — 404 s.

27. Brodskij С. Z. Rekomendacii po tehnologii honingovanija chugunnyh i stal'nyh detalejalmaznym instrumentom / С. Z. Brodskij. — М. : Mashinostroenie, 1971. — 127 s.

**В статье приведены результаты исследования влияния технологических факторов хонингования — состава абразивного инструмента, режимов резания, элементов конструкции хонинговальной головки на шероховатость, точность поверхностей подшипников скольжения из новых композитных материалов на основе алюминия, а также на показатели удельной производительности, расход эльбора и себестоимости технологической операции хонингования.**

**Установлены зависимости параметров шероховатости, точности, удельной производительности, расход эльбора и технологической себестоимости от зернистости, материала зерна и свойств связки абразивных брусков для операций хонингования деталей из композитов на основе алюминия для полиграфических машин.**

**Ключевые слова:** новые композиционные материалы, детали трения, хонингование, хонинговальные головки, режимы резания, шероховатость.

**In the article there are the research results of influence the technologist factories of the honing procession — consistent of abrasive tools, parameters of the cutting, element of the construction of honing — head on the parameters of surface of the hole dates and quality of sliding roughness of surface bearings from the new composite materials at base of aluminum, and also on the factories specific productivity, specific of the elbor grains and self-cost the technologist operation honing procession.**

**Dependences the influence on the parameters of surfaces, quality, specific productivity, expense of the elbor and technological self-cost from consistent of abrasive tools, material and size of abrasive grains, also properties abrasive tools coupling agent elbor instruments for operation honing procession of the dates from composite at base of aluminum for polygraph machines have been determined.**

**Keywords:** new composite materials, parts rubbing, honing, honing head, cutting conditions, roughness.

Рецензент — О. М. Величко, д.т.н.,  
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 01.09.14