

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

А.П. Гавриш, Т.А.Роїк, О.О. Мельник, Ю.Ю. Віщук

## ВПЛИВ АЛМАЗНОГО СУПЕРФІНІШУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

In the article the research of the experimental results of the formation sliding roughness and quality of the surfaces dates of the friction units of abrasive tool and diamond superfinishing parameters influence for rotation surfaces quality of printing machines friction parts of new high-ligature composite materials on the base aluminum have been presented. It was shown, that quality parameters of working surface, for example roughness formation, cold work hardening etc., depend on grainness of diamond superfinishing tools, materials of bond properties, concentration of the diamond at instruments and cutting parameters for fine diamond superfinishing operation at the technological process. The practical recommendations for choice of fine diamond superfinishing tools and cutting parameters for industrial purposes for machine building plants were presented in the paper. These recommendations satisfy the high requirements of working surfaces quality of high-speed printing machines.

**Keywords:** diamond superfinishing; friction parts; rotation surfaces quality; composite materials on the base aluminum; work hardening parameters; diamond tools for the superfinishing process.

### Вступ

У сучасному машинобудуванні все більш широко застосовуються технологічні процеси викінчуально-оздоблювальної обробки, які мають незаперечні переваги порівняно з тонким шліфуванням і які дають змогу найбільш економічно отримувати прецизійні деталі з високою якістю поверхонь оброблення. До таких процесів, зокрема, належить суперфінішування дрібнозернистими брусками.

При промисловому виробництві сучасних високошвидкісних друкарських машин типу КВА "Rapida-105", "Star Binder 1509", ножових різальних машин поліграфії "WOHLENBERG trin-tes 560", висікального обладнання паперу та картону "DROSSERTST-6", "BOBSMISTRAL-110 A2" тощо для виготовлення зносостійких деталей тертя поширення набули нещодавно створені вченими та промисловцями новітні марки спеціальних високолегованих композиційних сплавів на основі алюмінію АК12МгН, АМ4,5Кд, АК8МЗч, АК12ММгН + (9–12)% МоS<sub>2</sub>. Їх властивості досліджено в [1–7].

Ці матеріали створені для роботи у складних 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 властивість сировинних мікропорошків у повітрі).

Усі зазначені умови експлуатації вимагають створення технологічних процесів оброб-

лення деталей, які враховують не тільки специфіку матеріалів, з яких виготовлено деталі, але й особливі умови організації виробництва (активна вентиляція цехових приміщень, гігієна праці, заходи техніки безпеки тощо).

Необхідно зазначити, що зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву АК12ММгН з домішками твердого мастила (дисульфід молібдену МоS<sub>2</sub>) отримав визнання у конструкторів і наразі широко використовується у вузлах тертя машин і механізмів, що працюють при підвищених навантаженнях і температурах без змащування рідким мастилом.

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

У зв'язку з тим що нові високо зносостійкі композитні сплави на основі алюмінію почали використовуватись у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно, розгалужених та всебічних досліджень технологічних процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямі. Зокрема, є поодинокі публікації, присвячені дослідженню впливу складу інструмента і режимів різання на параметри шорсткості та наклепу поверхневого шару оброблення при тонкому абразивному, алмазному, ельборовому і кубанітовому шліфуванні [6].

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [11–16], беручи до уваги, що покращення якості поверхонь оброблення хоча б на декілька відсотків істотно підвищує параметри довговічності і надійності друкарської техніки, та враховуючи специфічні властивості композиційних сплавів на основі алюмінію (див. табл. 1), було б вельми корисно для формування необхідних параметрів шорсткості поверхонь тертя при їх фінішній викінчувально-оздоблювальній обробці застосовувати сучасні технологічні процеси суперфінішування зовнішніх поверхонь обертання прецизійних деталей алмазними брусками. На жаль, на сьогодні дослідження у цьому напрямі не велись (хоча деякі спроби з абразивним суперфінішуванням авторами статті були здійснені [17]). Широкого використання найсучасніших алмазних інструментів, що, як відомо, мають незаперечні переваги порівняно з інструментами з карбїду кремнію зеленого (63С) взагалі не зафіксовано [6].

Це, безумовно, є перешкодою для повного використання усіх резервів зі зносостійкості, притаманних лише цим маркам композитів на основі алюмінію, і в т.ч. для зростання надійності, довговічності та ремонтоздатності завдяки формуванню найкращих параметрів шорсткості методами викінчувального алмазного суперфінішування прецизійних поверхонь деталей.

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

При розв'язанні поставлених задач велике значення має висока зносостійкість інструмента, що забезпечує більш жорсткі розмірні допуски на деталь і дає змогу 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 синтетичних алмазів. Такі матеріали створені науковцями і набули поширення у промисловості для фінішної обробки різноманітних матеріалів [18–22].

Таким чином, є всі передумови для ефективного використання синтетичних алмазів у процесах викінчувально-оздоблювального алмазного суперфінішування високолегованих та важкооброблюваних композитів на основі алюмінію.

Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування алмазного оброблення [23–27] (насамперед завдяки специфічним особливостям інструмента) дає змогу отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Утім відсутність технологічних рекомендацій з алмазної оздоблювально-викінчувальної обробки високолегованих та важкооброблюваних композитних сплавів призводить до застосування на практиці різних технологічних схем оброблення, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення у виробництві різних технологій, часто суттєво протилежних за рекомендаціями. На практиці це веде до існування технологічних процесів, які, швидше, відповідають можливостям та верстатному обладнанню того чи іншого конкретного підприємства, а не науково обґрунтованим рекомендаціям.

### Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхонь та наклепу при суперфінішуванні брусками із синтетичних алмазів поверхонь обертання прецизійних деталей із високолегованих композитів на основі алюмінію АК12МгН, АМ4,5Кд, АК8МЗч, АК12ММгН + (9–12) %  $MoS_2$  [1–6], а також всебічне вивчення впливу зернистості алмазних брусків, типу матеріалу зерна алмазу, типу зв'язки інструмента і основних режимів різання на показники поверхонь оброблення прецизійних деталей обертання друкарських машин.

### Матеріали і результати досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувалися згідно з методикою, наведеною в працях [2–6, 8–18]. Для отримання максимально можливих параметрів шорсткості поверхні зразки деталей із нових композитів попередньо шліфувались на прецизійному круглошліфувальному верстаті AS-250 “Werzajt” (ФРН) дрібнозернистим шліфувальним кругом 63СМ14СМ2Гл за режимами різання, рекомендованими в [5]. У результаті середнє значення параметрів шорсткості

поверхонь оброблення перед суперфінішуванням було в межах  $R_a = 0,2-0,25$  мкм.

Суперфінішування виконувалось на прецизійному суперфінішному верстаті FR-250 фірми Foster (США). Для надтонкої обробки суперфінішуванням застосовувалась мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) такого складу: машинне мастило "И-20" – 10–15 %, олеїнова кислота – 3 %, гас – решта.

Для суперфінішування використовувались алмазні (чи СВН) бруски, які були виготовлені на основі мікропорошків синтетичного алмазу (АС) зернистістю 40, 28, 20, 10, 7 і 3 мкм. Як зв'язка (для оброблення легованих композитів на основі алюмінію) застосовувались металеві зв'язки М2-01, М2-08, керамічні К3-01, СК4 та органічні В2-01 і В2-07.

Як відомо [18–21], бруски на металевих зв'язках рекомендують лише для попереднього суперфінішування, а бруски на керамічних зв'язках К3-01 і СК-4 – для забезпечення шорсткості  $R_a = 0,08-0,12$  мкм.

Для отримання найкращих показників поверхонь оброблення найчастіше застосовують суперфінішні бруски на органічних зв'язках В2-01 і В2-07, які в змозі забезпечити отримання якості шорсткості по параметру  $R_a$  у межах 0,008–0,009 мкм.

Для порівняння якості оброблення різними абразивними інструментами частина досліджень виконувалась з використанням дрібнозернистих абразивних брусків з електрокорунду білого (23А), електрокорунду хромистого з вмістом 1-2 % оксиду хрому  $CrO_2$  (32А) та карбіду кремнію зеленого (63С) на керамічних (К) і гліфталевих (Гл) зв'язках.

Окрема увага була приділена впливу на параметри якості оброблення суперфінішуванням концентрації в алмазному шарі суперфінішувальних брусків алмазного порошку (100 і 150 %).

У табл. 1–6 наведені основні результати експериментальних досліджень ( $R_a$  – параметр шорсткості,  $n_k$  – частота коливань абразивних брусків,  $V_d$  – швидкість обертання деталі,  $V_{п.з.}$  – швидкість поздовжньо-зворотних переміщень суперфінішної головки,  $A$  – амплітуда коливань брусків,  $q_0$  – питомий тиск брусків).

З табл. 1 видно, що при ідентичній зернистості серед усіх використаних для дослідження матеріалів абразивних і алмазних суперфінішних брусків (карбід кремнію зелений, електро-

корунд білий, електрокорунд хромистий, синтетичний алмаз) найвищі результати з досягнення мінімальних значень параметра шорсткості поверхні  $R_a$  забезпечує використання АС як матеріалу ріжучих зерен інструмента для суперфінішування. Доцільно звернути увагу на те, що шорсткість поверхні  $R_a = 0,011$  мкм, досягнута при обробці, наприклад, одним із найгострішим брусків із карбіду кремнію зеленого (63С) зернистістю 10 мкм на еластичній гліфталевій зв'язці Гл – 63СМ10Гл, порівняно із шорсткістю поверхні, яку отримано бруском із АС такої ж зернистості (10 мкм) і теж на еластичній органічній зв'язці В2-01 – АСМ10В2-01 ( $R_a = 0,005$  мкм), більш ніж удвічі краща. Переваги алмазного суперфінішування по показнику шорсткості  $R_a$  більш суттєві при порівнянні дрібнозернистих суперфінішних брусків із АС (наприклад, зернистістю ~3 мкм) та інших ріжучих матеріалів (карбіду кремнію зеленого 63С чи електрокорунду хромистого 32А): шорсткість поверхні оброблення покращується у 5–7 разів.

Ці висновки простежуються у всьому діапазоні режимів різання. Зазначене може бути пояснено лише тим, що ріжучі зерна АС є найгострішими серед усієї гама абразивних зерен: вони мають істотно менші загострення кутів при вершині зерна  $\gamma$  та радіус заокруглення вершини  $\rho$  [6, 17–21].

Аналіз наведених даних (див. табл. 1) дає змогу зробити ще один важливий для практики висновок, що в усьому діапазоні проведених досліджень зі зменшенням зернистості суперфінішних брусків (3–40 мкм) параметри шорсткості поверхні оброблення зменшуються, а отже, якість поверхонь збільшується. Зміна геометричних параметрів зерен і, відповідно, покращення умов зрізання стружки, а саме перерозподілу сил різання, зменшення перерізу стружки  $a_z$ , зменшення пластичного деформування поверхні оброблення, зумовили загальне покращення процесу формування шорсткості поверхні.

Крім того, необхідно зазначити, що застосування еластичних гліфталевих зв'язок для суперфінішних брусків (в усьому діапазоні застосованих інструментів і марок оброблюваних композитів) також зумовлює покращення шорсткості поверхні. Найвірогідніше, це може бути пояснено пружними властивостями зв'язки, коли при зрізанні тонких стружок у зоні різання абразивного зерна ріжучі зерна під дією

**Таблиця 1.** Вплив абразивних та алмазних брусків і режимів надтонкого суперфінішування на параметр шорсткості зовнішніх поверхонь циліндричних деталей із нових композитів [1–4]

Характеристика абразивного бруска	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм								
	АК12М2МгН			АМ4,5Кд			АК8М3ч		
	Частота коливань брусків $n_k$ , подв. хід/хв								
	600	800	1200	600	800	1200	600	800	1200
23АМ3СТ2К	0,014	0,016	0,019	0,017	0,019	0,021	0,022	0,023	0,025
23АМ3СТ2Гл	0,013	0,015	0,016	0,014	0,018	0,020	0,021	0,022	0,022
32АМ3СТ2 Гл	0,012	0,014	0,015	0,015	0,017	0,019	0,020	0,019	0,020
63СМ3СТ2К	0,014	0,013	0,014	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019
63СМ3СТ2 Гл	0,012	0,0121	0,013	0,014	0,014	0,015	0,016	0,017	0,019
23АМ7СТ1Гл	0,013	0,017	0,016	0,020	0,022	0,022	0,017	0,018	0,022
63СМ7СТ1Гл	0,012	0,014	0,017	0,018	0,021	0,020	0,015	0,019	0,021
23АМ10СТ1 Гл	0,012	0,018	0,019	0,016	0,019	0,020	0,018	0,021	0,024
63СМ10СТ1 Гл	0,011	0,013	0,018	0,015	0,016	0,020	0,016	0,017	0,022
АСМ40М2-01	0,015	0,017	0,019	0,016	0,018	0,020	0,017	0,018	0,021
АСМ40К3-01	0,017	0,018	0,020	0,018	0,019	0,021	0,019	0,020	0,022
АСМ40В2-01	0,014	0,015	0,016	0,015	0,016	0,018	0,016	0,017	0,020
АСМ28М2-01	0,011	0,012	0,013	0,012	0,013	0,014	0,014	0,015	0,019
АСМ28К3-01	0,012	0,013	0,014	0,013	0,014	0,015	0,015	0,016	0,018
АСМ28В2-01	0,010	0,011	0,012	0,011	0,012	0,013	0,012	0,013	0,014
АСМ20М2-01	0,008	0,009	0,010	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012	0,013
АСМ20В2-01	0,007	0,008	0,009	0,008	0,009	0,010	0,009	0,010	0,011
АСМ10М2-01	0,005	0,006	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,008	0,010
АСМ10К3-01	0,006	0,007	0,008	0,007	0,008	0,009	0,008	0,009	0,010
АСМ10В2-01	0,005	0,006	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,008	0,009
АСМ7М2-01	0,004	0,006	0,006	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009
АСМ7К3-01	0,004	0,006	0,006	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,009
АСМ7В2-01	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,005	0,006	0,008
АСМ3М2-01	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,005	0,006	0,007
АСМ3К3-01	0,002	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,007
АСМ3В2-07	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006

Примітка.  $V_d = 120$  м/хв;  $V_{п.з.} = 0,5$  м/хв;  $A = 3$  мм;  $q_0 = 1,0$  МПа.

складових сил демпфують у тіло інструмента, зменшуючи тим самим фактичну глибину різання, що змінює умови формування нерівностей оброблюваної поверхні деталі з високолегованого композита.

Окремо слід зробити висновок, що зміна частоти коливань  $n_k$  абразивних брусків (див. табл. 1) при надтонкому суперфінішуванні викликає деяке зміння параметра шорсткості  $R_a$ . Збільшення частоти коливань брусків зумовлює певне зростання (у межах 5–10 %) параметра  $R_a$ .

Істотно впливають на параметри шорсткості поверхні  $R_a$  режими різання при надтонкому алмазному супершліфуванні і, насамперед, швидкість обертання деталі  $V_d$  та швидкість

поздовжньо-зворотних переміщень суперфінішної головки  $V_{п.з.}$  (табл. 2).

Аналіз табл. 2 дає змогу дійти висновку, що зі збільшенням швидкості обертання деталі та швидкості поздовжньо-зворотних переміщень суперфінішної головки вздовж вісі деталі шорсткість поверхні оброблення дещо погіршується (параметр  $R_a$  зростає на 10–15 %). Цей факт, виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення [12–16], можна пов'язати з інтенсифікацією режимів різання, яким, безумовно, є супершліфування. Зокрема, змінюються температурно-силові параметри обробки, характер пластичного деформування в зоні ріжучого леза алмазного зерна, переріз стружки  $a_z$  і, як наслідок, умови формування мікронерів-

ностей поверхні деталі з високолегованого композита, яка обробляється тонким супершліфуванням.

**Таблиця 2.** Залежності параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  зразків з композитного матеріалу АК12ММГН + (9–12) %  $MoS_2$  від швидкості обертання деталі  $V_d$  при алмазному супершліфуванні

Характеристика алмазного бруска	$V_d$ , м/хв	$V_{п.з.}$ , м/хв		
		0,5	1,0	1,5
		$R_a$ , мкм		
АСМ40М2-01	80	0,015	0,017	0,019
АСМ40В2-01	120	0,014	0,016	0,018
АСМ28М2-01	80	0,009	0,010	0,011
АСМ28К3-01	100	0,010	0,011	0,012
АСМ28В2-01	120	0,009	0,010	0,011
АСМ10М2-01	80	0,007	0,008	0,009
АСМ10К3-01	100	0,005	0,006	0,008
АСМ10В2-01	120	0,004	0,005	0,006
АСМ7М2-01	80	0,003	0,004	0,005
АСМ7К3-01	100	0,004	0,005	0,006
АСМ7В2-01	120	0,003	0,004	0,005
АСМ3М2-01	80	0,004	0,005	0,006
АСМ3К3-01	100	0,003	0,004	0,005
АСМ3В2-07	120	0,002	0,003	0,004

Примітка.  $A = 3$  мм;  $n_k = 800$  подв.хід/хв;  $q_0 = 1,0$  МПа.

Важливим фактором, що впливає на параметр шорсткості поверхні оброблення, є питомий тиск алмазних брусків суперфінішної голівки  $q_0$  (табл. 3).

**Таблиця 3.** Залежність параметра шорсткості  $R_a$  від питомого тиску  $q_0$  при алмазному суперфінішуванні деталей із композитного матеріалу АК8МЗч

Характеристика абразивного бруска	$q_0$ , МПа	$V_{п.з.}$ , м/хв		
		0,5	1,0	1,5
		$R_a$ , мкм		
АСМ7В2-01	0,5	0,004	0,005	0,007
	1,0	0,005	0,006	0,008
	1,5	0,007	0,008	0,009
АСМ3В2-07	0,5	0,003	0,004	0,008
	1,0	0,004	0,005	0,008
	1,5	0,005	0,006	0,009

Примітка.  $V_d = 120$  м/хв;  $A = 3$  мм;  $n_k = 800$  подв.хід/хв.

З експериментальних даних табл. 3 можна зробити висновок, що в усьому діапазоні застосованих алмазних інструментів, величин швидкостей поздовжньо-зворотних переміщень, швидкостей обертання деталі, частоти й амплітуди

коливань абразивних брусків спостерігається закономірність поступового зростання параметра шорсткості зі збільшенням питомого тиску  $q_0$ . Цей факт пояснюється загальними положеннями теорії тертя та зношування поверхонь, зокрема зростанням абразивного зносу при збільшенні питомого тиску на пару тертя [8, 9, 11, 14–16, 22, 27–29].

У публікаціях [6, 17, 23–27] відзначалось, що на параметри зносостійкості та довговічності деталей тертя поліграфічних машин, які виготовлені з нових високозносоустійких, високолегованих та важкооброблюваних композитів [5], крім шорсткості поверхні оброблення, істотно впливають фізичні властивості тонкого поверхневого шару обробки. Вони також характеризують якість поверхні. Насамперед це стосується таких важливих факторів, як параметри наклепу поверхневої зони – ступінь наклепу, глибина  $h$  проникнення деформацій у деталь під дією алмазно-абразивного оброблення.

На жаль, на сьогодні для технологічних процесів надтонкого алмазного оброблення суперфінішуванням будь-яка інформація про вплив абразивного інструмента та режимів різання на параметри наклепу відсутня.

**Таблиця 4.** Залежність параметрів наклепу від типу алмазних брусків при суперфінішуванні поверхонь деталей із композитного матеріалу АК12ММГН + (9–12) %  $MoS_2$

Характеристика алмазного бруска	Параметр наклепу	
	Глибина наклепу $h$ , мкм	Ступінь наклепу $K$
АСМ40В2-01	3,0–3,5	1,26
АСМ28В2-01	2,5–2,7	1,24
АСМ10М2-01	2,1–2,3	1,23
АСМ10К2-01	2,0–2,1	1,22
АСМ10В2-01	1,8–1,9	1,20
АСМ7М2-01	1,1–1,45	1,19
АСМ7К3-01	1,0–1,35	1,18
АСМ7В2-01	0,9–1,3	1,16
АСМ3М2-01	0,8–1,2	1,14
АСМ3К3-01	0,7–1,1	1,12
АСМ3В2-07	0,5–1,0	1,10

Примітка. Режими суперфінішування:  $V_d = 120$  м/хв;  $V_{п.з.} = 1,0$  м/хв;  $q_0 = 1,0$  МПа;  $n_k = 800$  подв.хід/хв;  $A = 3$  мм. Ступінь наклепу  $K = K_d/K_0$ , де  $K_d$  – мікротвердість обробленої поверхні,  $K_0$  – вихідна мікротвердість поверхні зразка.

**Таблиця 5.** Глибина наклепного шару в шліфованих та суперфінішованих зразків із композитного матеріалу АК12ММГН + (9–12) % MoS<sub>2</sub>

Абразивний круг для шліфування	Ступінь наклепу $K$ зразків, оброблених шліфуванням				Ступінь наклепу $K$ зразків, оброблених шліфуванням та подальшим суперфінішуванням			
	Початкові значення	Стравлено 3 мкм	Стравлено 5 мкм	Стравлено 10 мкм	Початкові значення	Стравлено 0,5 мкм	Стравлено 1,0 мкм	Стравлено 1,5 мкм
32АМ28Гл	1,45	1,40	1,35	1,20	1,20	1,17	1,08	0
23АМ28Гл	1,40	1,35	1,27	1,22	1,18	1,15	1,07	
63АМ28Гл	1,35	1,30	1,25	1,19	1,16	1,13	1,05	

*Примітка.* Режими суперфінішування:  $V_d = 120$  м/хв;  $V_{п.з.} = 1,0$  м/хв;  $q_0 = 1,0$  МПа;  $n_k = 800$  подв.хід/хв;  $A = 3$  мм; застосування МОР. Алмазний брусок для супершліфування – АСМ7В2-01.

Тому одним із завдань, що вирішувались у роботі, було встановлення залежності параметрів наклепу від типу алмазних брусків при суперфінішуванні поверхонь деталей із нових високолегованих композитних матеріалів на основі алюмінію (табл. 4, 5).

Аналіз даних табл. 4 показує, що всі досліджені параметри наклепу істотно залежать від характеристики алмазних суперфінішних брусків, які використовуються при надтонкому алмазному суперфінішуванні: спостерігається зменшення показників наклепу зі зменшенням зернистості алмазного інструмента. Характерним є також зменшення параметрів наклепу при використанні інструментів на еластичних зв'язках порівняно з показниками брусків на металевій (М2-01) та керамічній (В2-01 чи В2-07) зв'язках.

Ці висновки узгоджуються із загальними засадничими основами теорії різання матеріалів [11–22]. Вони ґрунтуються на закономірностях суттєвих змін параметрів силового поля в зоні зрізання надтонких стружок за рахунок деякого пом'якшення режимів різання і насамперед зменшення глибини занурення ріжучого алмазного зерна в тіло деталі оброблення. Отже, змінюється характер взаємодії складових сил різання і миттєвих контактних температур на лезі алмазного ріжучого зерна, змінюється переріз мікростружки  $a_z$  і, відповідно, покращується якість поверхні, що суперфінішується, тобто зменшуються ступінь наклепу та глибина його проникнення в тіло деталі.

Що стосується впливу режимів надтонкого суперфінішування на параметри наклепу поверхневого шару деталі, то слід зазначити, що вони мають (у межах 5–7 %) вплив на основні показники наклепу. Наприклад, ступінь наклепу збільшується лише на 2–3 % зі зростанням швидкості обертання поверхні оброблення. Такі результати можуть бути пояснені вельми ма-

лими значеннями перерізу стружки  $a_z$ , а відповідно, і невеликими значеннями сил і температур у зоні різання, що, як відомо, впливають насамперед на фізичні властивості тонкого поверхневого шару деталі, яка оброблюється з використанням алмазних інструментів.

Не менш важливими як з наукової, так і з практичної точки зору є результати дослідження глибини проникнення наклепу в об'єм деталі, поверхня якої оброблена за технологією: попереднє тонке шліфування, а потім оздоблювальне суперфінішування дрібнозернистими алмазними брусками (табл. 5).

Аналіз даних табл. 5 показує, що супершліфування (після тонкого абразивного шліфування різними за складом шліфувальними кругами) майже у шість разів зменшує глибину наклепної зони, а це, згідно з базовими положеннями теорії тертя та зношування [8–22], у подальшому позитивно позначиться на роботі пар тертя вузлів друкарських машин, сприяючи збільшенню їх зносостійкості.

Встановлено також, що надтонке алмазне супершліфування змінює вихідні властивості композиційних матеріалів лише на глибину в межах 1–3 мкм, у той час як при тонкому викінчувальному шліфуванні ця величина становить 10–15 мкм, що, як мінімум, у 3–5 разів більше, ніж при застосуванні технології супершліфування.

Для промислового виробництва також є достатньо важливим науковий висновок про істотний вплив на параметри якості поверхонь оброблення деталей тертя з композитних високолегованих сплавів на основі алюмінію концентрації алмазів в інструменті при оздоблювальному супершліфуванні (табл. 6).

Аналіз даних, наведених у табл. 6, показує, що найкращі параметри якості ( $R_a$ ,  $K$ ,  $h$ ) при оздоблювальному алмазному супершліфуванні поверхонь деталей із композитних сплавів на

основі алюмінію забезпечує застосування для оброблення дрібнозернистих алмазних брусків на еластичних зв'язках В2-01, В2-07 при концентрації алмазу в межах 150 %.

**Таблиця 6.** Вплив концентрації алмазу в суперфінішному інструменті на параметри якості поверхні при обробці композитного сплаву АК12ММгН

Характеристика алмазного бруска	Параметри якості поверхні		
	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Ступінь наклепу $K$	Глибина наклепу $h$ , мкм
АСМ10М2-01 50 %	0,009	1,25	2,2–2,3
АСМ10В2-01 100 %	0,007	1,22	1,9–2,0
АСМ10В2-01 150 %	0,006	1,20	1,8–1,9
АСМ7В2-01 50 %	0,006	1,19	1,4–1,5
АСМ7В2-01 100 %	0,005	1,18	1,1–1,4
АСМ7В2-01 150 %	0,004	1,16	0,9–1,3
АСМ3М2-01 100 %	0,003	1,15	0,8–1,1
АСМ3В2-01 100 %	0,003	1,14	0,7–0,8
АСММ3М2-01 150 %	0,004	1,12	0,6–1,1
АСМ3В2 -07 150 %	0,002	1,10	0,5–1,0

*Примітка.* Режими алмазного суперфінішування:  $V_d = 120$  м/хв;  $V_{п.з.} = 1,0$  м/хв;  $q_0 = 1,0$  МПа;  $n_k = 800$  подв. хід/хв;  $A = 3$  мм. Інтенсивне застосування МОР зі складом: гас (75 %), індустриальне мастило (22 %), олеїнова кислота (3 %).

Зменшення концентрації алмазу (50 чи 100 %) веде до зростання наклепу ( $K$ ,  $h$ ) та погіршення шорсткості поверхні оброблення ( $R_a$ ).

Це може бути пояснено тим, що зі зростанням концентрації алмазу збільшується кількість зерен, які беруть участь у процесі зрізання стружки, і, відповідно, зменшується її переріз  $a_z$ . Це в свою чергу зумовлює зміни величин складових сил різання і миттєвих контактних температур у зоні оброблення, що в решті-решт викликає покращення усіх параметрів якості поверхні й у подальшому (як відзначалось у працях [5–7, 23–27]) позитивно впливає на показники зносостійкості, довговічності, ремонтоздатності та надійності вузлів і механізмів поліграфічних машин.

## Висновки

Узагальнюючи отримані дані з надтонкого алмазного суперфінішування нових видів композиційних високолегованих матеріалів на основі алюмінію для вузлів тертя поліграфічної

техніки, можна зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

1. Уперше досліджено процеси надтонкого алмазного суперфінішування нових композитних матеріалів для вузлів тертя швидкісних друкарських машин, що дають змогу отримати істотно вищі параметри якості робочих поверхонь деталей, ніж при застосуванні інших технологічних схем фінішного оброблення.

2. Показано, що основні закономірності впливу алмазного суперфінішування на формування параметрів шорсткості та наклепу поверхневих шарів оброблюваних деталей підтверджують основні положення теорії абразивного оброблення та базові закономірності теорії тертя і зношування.

3. Доведено, що на параметр шорсткості та параметри наклепу поверхневого шару оброблення (ступінь наклепу, глибина наклепу) при супершліфуванні істотно впливають матеріал алмазно-абразивного бруска, його зернистість, матеріал зв'язки суперфінішного бруска та режими різання.

4. Найвищі показники параметрів шорсткості та наклепу поверхневої зони оброблення деталі, які забезпечують задоволення вимог до якості поверхонь тертя поліграфічних машин, можуть бути отримані при застосуванні дрібнозернистих брусків з алмазів синтетичних зернистістю 3–7 мкм на органічній зв'язці та при дотриманні вимог до виконання технологічних режимів різання при алмазному суперфінішуванні, а саме: швидкість обертання деталі  $V_d = 80–120$  м/хв; швидкість поздовжньо-зворотних переміщень бруска  $V_{п.з.} = 0,5–1,0$  м/хв; питоми тиск брусків  $q_0 = 0,9–1,1$  МПа, амплітуда коливань брусків  $A = 3–5$  мм; інтенсивне застосування МОР.

Подальші дослідження будуть спрямованні на встановлення закономірностей впливу новітніх ріжучих інструментів для супершліфування на основі кубічного нітриду бору (кубаніту, ельбору та боразону) на формування параметрів якості поверхонь при надтонкому супершліфуванні деталей обертання циліндричної форми – самозмашувальних підшипників ковзання друкарської техніки, виготовлених із широкої гама промислових шліфувальних відходів сталей і сплавів, призначених для різних умов експлуатації поліграфічного обладнання.

## Список літератури

1. *Порошковий* антифрикційний матеріал на основі алюмінію: Пат. України № 60174А МКІ (2003), С22С21/02 / Т.А. Роїк, О.Л. Комнацький. – Оубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.
2. *Композиційний* підшипниковий матеріал на основі алюмінію: Пат. України № 34407, МПК (2006), С22С21/02 / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш та ін. – Оубл. 11.08.08, Бюл. № 15.
3. *Антифрикційний* матеріал на основі алюмінію: Пат. України № 26862, С22С21/02 / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок, О.А. Гавриш. – Оубл. 10.10.07, Бюл. № 16.
4. *Зносостійкий* матеріал на основі алюмінієвого сплаву: Пат. України № 75523, МПКС22С21/02(2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш та ін. – Оубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.
5. *Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації. – К.: ВПК “Політехніка”, 2007. – 404 с.
6. *Технологія* поліграфічного машинобудування: Навч. посібник / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук та ін. – К.: ВПК “Політехніка”, 2014. – 504 с.
7. *S.V. Venkata Siva et al.*, “Development of Aluminium metal matrix composite using colliery shale – A waste product from Indian coal mines”, in Proc. Int. Conf. Powder Metallurgy and Particulates Materials, USA, Nashville, 2012, pp. 873–885.
8. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 478 с.
9. *Костецкий Б.И.* Сопротивление изнашиванию деталей машин. – М.: Машгиз, 1959. – 216 с.
10. *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.: Наук. думка, 1984. – 340 с.
12. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 320 с.
13. *Рыжов Э.В.* Высокоэффективные процессы финишной обработки. – К.: Наук. думка, 1987. – 256 с.
14. *Ящерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Мн.: Беларусь, 1989. – 312 с.
15. *Фрагин И.Е.* Научные основы повышения точности и производительности хонингования: Монография. – М.: Машиностроение, 1975. – 320 с.
16. *Чеповецкий И.Х.* Основы финишной алмазной обработки: Монография. – К.: Наук. думка, 1980. – 467 с.
17. *Гавриш А.П., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю.* Вплив режимів абразивного суперфінішування на якість поверхонь обертання композитних деталей тертя поліграфічних машин // *Машинознавство*. – 2013. – № 6. – С. 112–120.
18. *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.
19. *Сверхтвердые материалы.* Получение и применение: Монография в 6 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.
20. *Лавриненко В.І., Новіков М.Р.* Надтверді абразивні матеріали в механообробі: Енциклопедичний довідник / За заг. ред. акад. НАНУ М.В. Новікова. – К.: ІНМ ім. В.М.Бакуля НАНУ, 2013. – 456 с.
21. *Основы теории* резания материалов: Підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок; за заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2010. – 423 с.
22. *Эльбор* в машиностроении: Монография / В.С. Лысанов, В.А. Букин, Б.А. Глаговский и др.; под общ. ред. В.С. Лысанова. – Л.: Машиностроение, 1978. – 280 с.
23. *Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.
24. *Косторнов А.Г.* Триботехническое материаловедение. – Луганск: Изд-во “Ноулидж”, 2012. – 696 с.
25. *Білоцький О.В.* Високотемпературна рентгенографія фазових перетворень у металевих матеріалах. – К.: Міжнар. асоціація “Зварювання”, 2012. – 222 с.
26. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Фінішна алмазно-абразивна обробка матеріалів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 551 с.
27. *Фінішне* оброблення зносостійких деталей друкарських машин: Навч. посібник / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.П. Гавриш. – К.: ВПК “Політехніка”, 2014. – 504 с.
28. *Федорченко И.М., Заболотный Л.В.* К вопросу о влиянии состояния поверхности на процессы схватывания металлокерамических антифрикционных материалов // *Порошковая металлургия*. – 1968. – № 3. – С. 84–90.
29. *Чеповецкий И.Х.* Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке: Монография. – К.: Наук. думка, 1083. – 298 с.