

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ АЛМАЗНОГО ХОНІНГУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ І ТОЧНОСТІ ПОВЕРХОНЬ КОМПЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

In a paper the research results concerning an influence of honing process' technological factors such as abrasive tool composition, cutting parameters, number of hones in honing head on surface roughness and surfaces' exactness of new composite sliding bearings manufactured of new high-alloy composite alloys from tool steels wastes for high-speed printing machine have been presented. Results have shown, that quality parameters of surfaces roughness and exactness depend on structure of diamond tool, bond type of diamond tool, granularity of diamond hones, cutting parameters for fine honing technology process. Final quality of surfaces depends on value of cuttings section, interaction of force and temperature factors, which are formed at diamond grain cutting zone of honing tools. Recommendations were presented for choice of the diamond hones tools and cutting parameters for practical purposes to meet the quality requirements of high-speed bearings friction surfaces for printing machines.

Key words: new composite alloys, quality surfaces, diamond tool, honing process, cutting parameter, printing machine.

Вступ

Високі темпи розвитку видавничо-поліграфічної галузі народного господарства України вимагають від конструкторів-розробників і технологів поліграфічної техніки створення таких машин, які мають забезпечити високі вимоги до параметрів їх надійності і насамперед відповідні показники зносостійкості, довговічності та ремонтоздатності.

На сьогодні з метою підвищення продуктивності техніки робочі параметри сучасних друкарських машин безперервно зростають, невпинно збільшуються швидкості робочих органів. Наприклад, у сучасній поліграфічній техніці швидкості обертання деталей пар тертя сягають рівня 600–1000 об./хв, а навантаження на деталі зростає до 5,0–7,0 МПа. Це призводить до виникнення на робочих поверхнях тертя температур від 300 до 450 °С, що створює екстремальні умови для експлуатації друкарських машин і вимагає від поліграфістів спеціальних зусиль для забезпечення надійності роботи такої техніки і, зокрема, підвищення показників ремонтоздатності.

Так, за даними найбільшого в Україні Державного видавництва “Преса України”, строк роботи підшипників ковзання з литої бронзи БрАЖ9-4 у вузлах тертя друкарських машин КВА Rapida-105, “PLAMAG Rondest RO 170”, “STAR BINDER 1509” та ін., які працюють за високих швидкостей обертання та підвищених навантажень, становить лише 0,5–1,0 рік. Такий невеликий строк служби зумовлений передусім недосконалістю існуючих технологій виго-

товлення підшипників ковзання та їх наступної фінішної механічної обробки.

Останніми роками вченими-матеріалознавцями були розроблені принципово нові технології виготовлення альтернативних високолегованих самозмашувальних композиційних підшипникових сплавів, що синтезовані на основі використання шламових відходів інструментальних сталей 86Х6НФТ, 5ХЗВЗМФС тощо з додаванням 5–7 % твердого мастила фториду кальцію (CaF_2), що містять у своєму складі дефіцитні для України легуючі елементи, а саме вольфрам, ванадій, хром, молібден, нікель [1–5].

Утім технологічні процеси фінішної механічної обробки таких нових деталей для друкарських машин наразі досліджені недостатньо. Лише останнім часом досить детально вивчені та набули нормативних регламентів для поліграфічного машинобудування технологічні процеси тонкого абразивного шліфування робочих поверхонь тертя підшипників ковзання з нових композитів [6–9], а також технологічні процеси магнітно-абразивного оброблення (МАО) [10]. У результаті виконаних досліджень були отримані важливі для промисловості рекомендації щодо застосування алмазних інструментів та режимів обробки, які гарантують одержання необхідних параметрів якості поверхонь оброблення (шорсткості поверхні, глибини та ступеня наклепу, спотворень II-го роду, значень залишкових напружень та глибини їх залягання у приповерхневому шарі) і які мають забезпечити необхідні строки працездатності та довговічності нових підшипників для друкарських машин. Слід зазначити, що дослідження викону-

валися з урахуванням одночасно діючих процесів, що супроводжують зрізання з поверхні оброблення алмазним зерном тонкої стружки – зміцнення поверхневого шару за рахунок силового поля (складових сил різання P_x , P_y , P_z) [8] та відпочинку попередньо спотворених силами різання шарів деталей оброблення під дією миттєвих контактних температур [9].

На основі виконаних досліджень було доведено, що в подальшому підвищувати якість поверхонь тертя нових підшипників ковзання можливо лише застосуванням надтонких методів абразивного оброблення, насамперед процесів хонінгування з використанням дрібнозернистих абразивних і алмазних брусків. Проте процеси хонінгування деталей із новітніх високолегованих зносостійких композитних матеріалів ще й досі залишаються недослідженими.

Тому встановлення впливу алмазного хонінгування нових підшипників ковзання поліграфічних машин на формування параметрів якості їх поверхонь є актуальною задачею, яка має як наукове, так і важливе практичне значення.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхонь при алмазному хонінгуванні нових композитних підшипників, виготовлених на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС, 5ХЗВЗМФС з додаванням твердого мастила CaF_2 , і встановлення впливу зернистості хонінгувальних алмазних брусків, геометрії, типу зв'язки інструмента й основних режимів різання на якісні показники робочих поверхонь підшипників ковзання поліграфічної техніки.

Матеріали і результати досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувалися згідно з методикою, наведеною у працях [8, 9]. Обробка поверхонь тертя виконувалася на технологічних зразках із композитних сплавів 86Х6НФТ + 5 % CaF_2 і 5ХЗВЗМФС + 5 % CaF_2 [2, 3]. Для хонінгування використовувалися верстат моделі ЗМ83 і комплект хонінгувальних головок конструкції НДІ тракторосільгоспмашу (м. Москва) [11, 12]. Як ріжучий інструмент застосовувалися дрібнозернисті бруски із синтетичного алмазу (АС) 5, 10, 20/14, 28, 50/40 мкм. Хонінгувальні алмазні бруски були виготовлені

на керамічній (К) та бакелітно-гумовій (Бр1) зв'язках Бр1, Бр2 і Бр4.

При обробленні хонінгуванням отворів досліджуваних підшипників застосовувалася масляно-охолоджувальна рідина (МОР) такого об'ємного складу: 0,3–0,4 % тринатрійфосфату; 0,3–0,4 % нітрату натрію; 0,3 % триетаноламіну; 0,1–0,15 % тіосечовини; 0,3–0,4 % бури; 0,1–0,15 % змашувача ОП-7; 0,1–0,15 % гліцерину; решта – дистильована вода.

При дослідженнях було приділено увагу формуванню отвору підшипника ковзання, а саме відхиленню від овальності Δ , мм. Унаслідок дії відомого [6–10] принципу технологічної спадковості похибки некругlosti, які виникли при тонкому абразивному шліфуванні робочих поверхонь методами МАО, не виправляються, що значно погіршує контактну взаємодію пар тертя. Лише процесу хонінгування притаманна можливість виправити шліфувальні відхилення від некругlosti й отримати максимально точну форму отвору підшипника з мінімальними значеннями похибки овальності Δ_0 . Результати досліджень процесів алмазного хонінгування отворів підшипників ковзання з нових композитних сплавів наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Вплив зернистості алмазних брусків на параметр шорсткості поверхні R_a при алмазному хонінгуванні заготовок композитних підшипників на основі відходів інструментальних сталей

Характеристика хонінгувального бруска	Матеріал підшипника	
	86Х6НФТ + 5 % CaF_2	5ХЗВЗМФС + 5 % CaF_2
	Параметр шорсткості R_a , мкм	
АС5Бр1 100 %	0,024	0,026
АС5Бр1 50 %	0,031	0,040
АСМ28Бр1 100 %	0,021	0,030
АСМ28Бр2 50 %	0,024	0,034
АСМ28Бр1 50 %	0,023	0,032
АСМ14Бр1 100 %	0,017	0,019
АСМ14Бр1 50 %	0,019	0,022
АСМ10 Бр1 100 %	0,014	0,017
АСМ10Бр1 50 %	0,017	0,019
АСМ5Бр1 100 %	0,011	0,013
АСМ5Бр1 50 %	0,015	0,017
АСМ5Бр2 100 %	0,016	0,018

Примітки. Швидкість обертання хонінгувальної головки – $V_{об} = 70$ м/хв; швидкість поздовжнього переміщення хону – $V_{п.в.} = 4$ м/хв; питомий тиск брусків – $q_6 = 1,8$ МПа; хонінгування з МОР.

Аналіз даних табл. 1 дає змогу зробити важливі практичні висновки: найменше значення параметра шорсткості поверхні R_a у дослідженому діапазоні зернистості хонінгувальних брусків (5–50 мкм) забезпечують бруски із зернистістю 5 мкм. Такі результати притаманні для обробки усіх досліджуваних композитних сплавів і можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхонь зі зростанням зернистості зумовлюється збільшенням перерізу a_z зрізу шару матеріалу з поверхні оброблення і відповідним зростанням складових сил різання (P_x , P_y , P_z), які грають вирішальну роль у формуванні пластичних деформацій на ріжучій вершині абразивного зерна при зрізанні стружки. Одночасно змінюються співвідношення при сумісній дії силового та температурного полів [11, 12], що відразу змінює характер формування шорсткості поверхні оброблення.

Покращення шорсткості при використанні алмазних брусків із АС пояснюється тим, що його зерна мають найгострішу форму (мінімальний кут загострення при вершині зерна) та найменший (порівняно з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення одиничного зерна. Саме ці фактори і є тими найвпливовішими серед інших, які безпосередньо поліпшують умови технологічного процесу різання матеріалів і зрізання стружки.

У результаті математичної обробки експериментальних даних отримано кореляційне рівняння зв'язку параметра шорсткості R_a із зернистістю A брусків АС, що має вигляд: $R_a = 0,007 + 0,00044A$.

Таким чином, знаючи зернистість A алмазного хонінгувального бруска, можна розрахувати очікувані значення параметра шорсткості і впевнитись, що вибраний інструмент забезпечить вимоги до якості робочих поверхонь підшипників. Це значно спрощує технологічну підготовку виробництва завдяки раціоналізації вибору алмазного інструмента для вікінчувально-оздоблювальних операцій хонінгування.

У роботі також було визначено вплив складу зв'язки алмазних брусків на параметр шорсткості поверхні при хонінгуванні отворів підшипників ковзання (табл. 2).

Аналізуючи дані табл. 2, необхідно зазначити, що найкращі результати за параметром шорсткості поверхонь оброблення досліджуваних підшипників забезпечують алмазні бруски

на бакелітно-гумовій Бр1 зв'язці. Це викликано її більшою еластичною здатністю: при хонінгуванні (в результаті дії складових сил різання) кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки, зменшуючи фактичну глибину різання при зрізанні шару стружки з поверхні оброблення підшипника. Як наслідок, відбувається фактичне зменшення перерізу стружки a_z , покращуються умови різання і формування висоти мікронерівностей, а отже, знижується значення параметра шорсткості поверхні.

Таблиця 2. Вплив матеріалу зв'язки алмазних брусків на параметр шорсткості обробленої поверхні R_a підшипників ковзання з відходів інструментальної сталі 86Х6НФТ + 5 % CaF₂ при хонінгуванні

Характеристика алмазного бруска	Матеріал зв'язки інструмента	R_a , мкм
АС5Бр1 100 %	Бакелітно-гумова (Бр1)	0,024
АС5Бр2 100 %	Бакелітно-гумова (Бр2)	0,036
АСМ28Бр1 100 %	Бакелітно-гумова (Бр1)	0,021
АСМ28К 100 %	Керамічна	0,030
АСМ14Бр1 100 %	Бакелітно-гумова (Бр1)	0,017
АСМ14К 100 %	Керамічна	0,023
АСМ14Бр2 100 %	Бакелітно-гумова (Бр2)	0,025
АСМ14Бр4 100 %	Бакелітно-гумова (Бр4)	0,027
АСМ10Бр1 100 %	Бакелітно-гумова (Бр1)	0,017
АСМ10К 100 %	Керамічна	0,020
АСМ5Бр1 100 %	Бакелітно-гумова (Бр1)	0,011
АСМ5К 100 %	Керамічна	0,015

Примітки. Швидкість обертання хонінгувальної голови – $V_{об} = 75$ м/хв; швидкість поздовжнього переміщення хону – $V_{п.в.} = 5$ м/хв; питомий тиск брусків $q_0 = 1,9$ МПа; хонінгування з МОР.

Ці висновки зроблені на основі аналізу фактичних даних, отриманих при експериментальних дослідженнях із застосуванням бакелітно-гумової та керамічної зв'язок, алмазних хонінгувальних брусків із АС зернистістю 5, 10, 14, 28 і 50 мкм. Такий формат дослідження дає можливість стверджувати про єдність отриманих залежностей для процесу алмазного хонінгування, що збігається із загальними положеннями теорії різання металів і, зокрема, теорії абразивного оброблення.

Особливо важливим питанням при проектуванні технологічних процесів обробки високоточних деталей, якими є підшипники ковзання поліграфічних машин, є вибір режимів різання при алмазному хонінгуванні. Як відомо

із загальнотеоретичних положень про абразивне оброблення високолегованих і важкооброблюваних матеріалів [11, 12], режими процесу різання істотно впливають не тільки на геометричні параметри оброблюваної поверхні (шорсткість, точність, овальність), а й на фізичні властивості надтонкого поверхневого шару оброблення (глибина та ступінь наклепу, спотворення II-го роду, залишкові напруження, їх знак і глибина залягання), які також впливають на параметри зносостійкості та довговічності пар тертя.

На рис. 1–5 наведені результати експериментального дослідження впливу режимів різання процесів алмазного хонінгування на параметри шорсткості поверхні R_a . Також були вивчені й інші важливі для технологів-практиків питання, а саме продуктивності хонінгування, через дослідження інтенсивності зрізання Δ_1 , мкм/с, поверхневого шару металу та лінійного значення видалення припуску Δ , мкм.

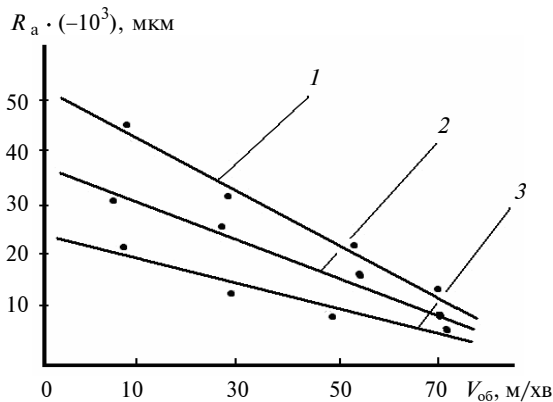


Рис. 1. Вплив швидкості обертання $V_{об}$ оправки з алмазними брусками АСМ10Бр1 100 % на параметр шорсткості поверхні R_a при хонінгуванні отворів підшипників ковзання з композиційного сплаву 86Х6НФТ + 5 % СаF₂; швидкість поздовжнього розміщення хону $V_{п.в.}$: 1 – 4 м/хв; 2 – 5 м/хв; 3 – 10 м/хв. Питомий тиск брусків $q_6 = 1,8$ МПа

Заслугує також на увагу те, що зв'язка Бр1 (при широкому спектрі досліджень) завжди дає кращі результати, ніж зв'язка Бр2, Бр4 та жорстка керамічна зв'язка К. Це відслідковується для різних зернистостей – 28, 14, 10 і 5 мкм.

Аналіз експериментальних даних дає змогу зробити низку важливих як наукових, так і практичних висновків.

По-перше, для всіх досліджених сплавів встановлено, що режими різання при алмазному хонінгуванні істотно впливають як на параметр шорсткості поверхні, так і на продуктив-

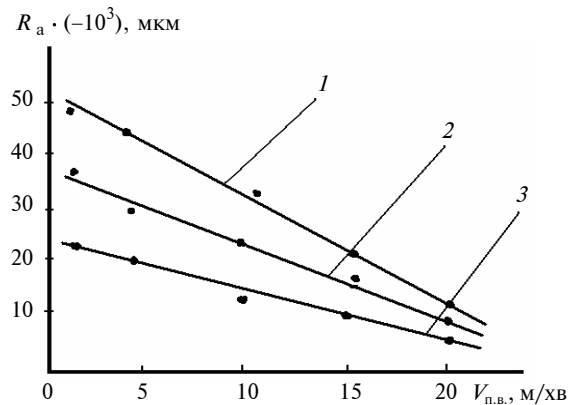


Рис. 2. Вплив швидкості поздовжніх переміщень хону з алмазними брусками АСМ10Бр1 100 % на параметр шорсткості поверхні R_a при хонінгуванні отворів підшипників ковзання з композиційного сплаву 86Х6НФТ + 5 % СаF₂; швидкість обертання оправки з алмазними брусками $V_{об}$: 1 = 70 м/хв; 2 – 40 м/хв; 3 – 20 м/хв. Питомий тиск брусків $q_6 = 1,8$ МПа

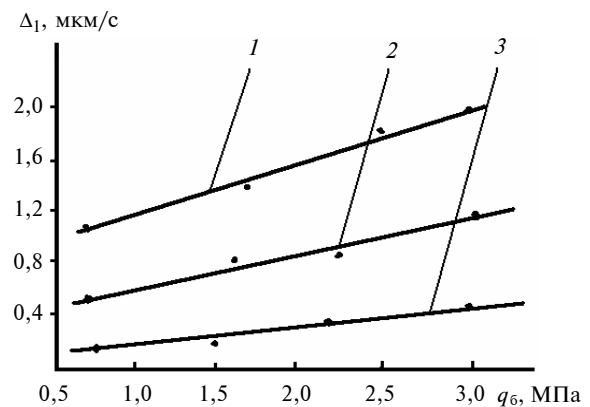


Рис. 3. Залежність інтенсивності зрізання Δ_1 поверхневого шару від питомого тиску брусків q_6 за різних швидкостей обертання оправки $V_{об}$ та поздовжнього переміщення хону $V_{п.в.}$ при хонінгуванні композита 5Х3В3МФС + 5 % СаF₂: 1 – $V_{об} = 75$ м/хв, $V_{п.в.} = 3$ м/хв; 2 – $V_{об} = 50$ м/хв, $V_{п.в.} = 5$ м/хв; 3 – $V_{об} = 30$ м/хв, $V_{п.в.} = 7$ м/хв. Алмазний брусок АСМ10Бр1 100 %

ність процесу алмазного хонінгування. За допомогою статистичних методів аналізу [6–9, 12] доведено, що найбільший вплив на R_a мають (у порядку ранжування) швидкість обертання оправки-хону з алмазними брусками $V_{об}$ та швидкість поздовжньо-зворотного переміщення хону і питомий тиск брусків на поверхню оброблення q_6 . Інші технологічні фактори (кількість брусків у хоні, густина та склад МОР) також впливають на процес алмазного хонінгування нових зносостійких композитних сплавів, але їх значення невисокі (~3–5%) по-

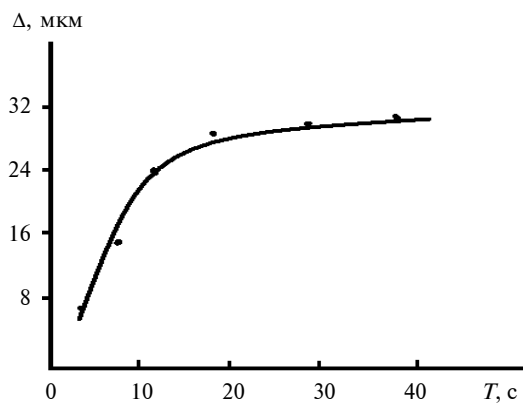


Рис. 4. Залежність лінійного видалення припуску Δ від часу хонінгування T при обробці композита 86Х6НФТ + 5 % CaF_2 ($V_{об} = 50$ м/хв; $V_{п.в.} = 5$ м/хв; $q_6 = 1,0$ МПа). Алмазний брусоч АСМ10Бр1 100 %

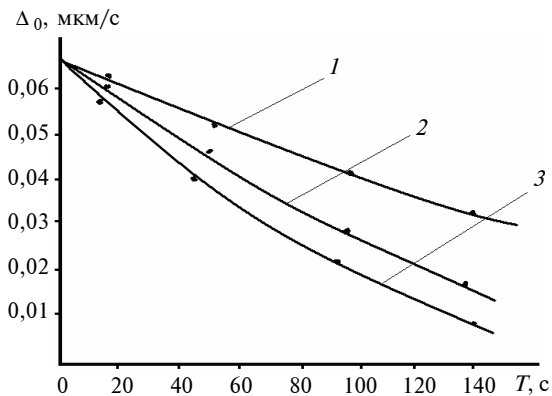


Рис. 5. Залежність овальності Δ_0 від кількості алмазних брусочів хонінгувальної головки та часу хонінгування T при обробці отворів підшипників ковзання з композиційного сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF_2 брусочами АСМ14Бр1 100 % з режимами різання $V_{об} = 50$ м/хв, $V_{п.в.} = 15$ м/хв і $q_6 = 1,0$ МПа: 1 – чотирибрусочова хонінгувальна головка; 2 – восьмибрусочова хонінгувальна головка; 3 – дванадцятибрусочова хонінгувальна головка

рівняно з наведеними основними режимами різання.

По-друге, серед значущих режимних параметрів хонінгування встановлена тенденція до плавного зменшення параметра шорсткості поверхні зі зростанням питомого тиску алмазних брусочів у досить широкому діапазоні від 0,1 до 2,0 МПа. Це спричинено тим, що еластична зв'язка інструмента при зростанні сил різання на окреме зерно не завжди надійно втримує зерна, вони викришуються з об'єму бруска, у більшості своїй розколюються на дрібнодисперсні гранули, і безпосередньо у процесі хонінгування фактично беруть участь дрібнозернисті фракції алмазу. Наслідком є покращення показника R_a , хоча кут нахилу ліній залежності

$R_a = f(q_6)$ – невеликий відносно вісі абсцис у всьому діапазоні досліджених режимів різання.

По-третє, інтенсивність зрізання Δ_1 поверхневого шару істотно залежить від режимів хонінгування – $V_{об}$, $V_{п.в.}$ і q_6 . Це пояснюється збільшенням у процесі оброблення кількості ріжучих алмазних зерен хонінгувальних брусочів (рис. 3), що є прямим наслідком ускладнення траєкторії переміщення зерен уздовж поверхні обробки з інтенсифікацією режимів різання композитного матеріалу. При цьому на певному рівні видалення припуску Δ стабілізується (рис. 4), що обумовлено різальними властивостями алмазних хонінгувальних брусочів, унаслідок чого через деякий час T , с, відбувається припрацювання інструментів з поверхнею оброблення і технологічний процес стабілізується.

Окремо необхідно звернути увагу на такий важливий параметр якості обробки, як точність форми отвору підшипника ковзання, а саме відхилення від овальності Δ_0 .

Аналіз отриманих експериментальних даних (рис. 5) показав, що збільшення кількості алмазних брусочів сприяє зменшенню похибки овальності форми отвору Δ_0 . Як відомо [11, 12], зростання похибки овальності отвору перед хонінгуванням потребує збільшення кількості хонінгувальних брусочів для зменшення похибки Δ_0 . У випадку домінування вихідної некруглості у вигляді огранки з трьома або чотирма гранями кількість брусочів у хонінгувальній головці необхідно встановлювати кратно трьом чи чотирьом або максимально можливою. У випадках, коли характер огранки отвору після шліфування невідомий і треба забезпечити максимальні вимоги до точності форми отвору, кількість алмазних брусочів у хонінгувальній головці завжди повинна бути максимальною і парною. Зазначимо, що збільшення часу хонінгування значно зменшує похибки овальності Δ_0 . З рис. 3 видно, що збільшення часу хонінгування, наприклад з 20 до 140 с, для випадку восьмибрусочової головки зменшує похибку овальності Δ_0 приблизно у три рази, що є чітким показником якості оброблення поверхні.

Висновки

Уперше досліджено процеси алмазного хонінгування нових самозмащувальних композиційних сплавів, синтезованих на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей.

Доведено, що на шорсткість поверхні оброблення, точність форми отвору за показником відхилення від овальності та інтенсивність зрізання поверхневого шару істотно впливають матеріал, структура алмазного бруска, його зернистість, матеріал зв'язки алмазного хонінгувального бруска, режими обробки, кількість алмазних брусків у хонінгувальній головці та час хонінгування.

Найкращі показники параметра шорсткості згідно з вимогами до поверхонь підшипників поліграфічних машин, а також параметрів точності за похибкою овальності отвору підшипника та інтенсивності зрізання стружки з поверхневого шару оброблення забезпечують хонінгувальні бруски із синтетичного алмазу зі 100 %-ною концентрацією алмазу із зернистістю 5–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 та викінчувально-оздоблювальні режими хонінгування, а саме: швидкість обертання хонінгувальної головки 5–50 м/хв, швидкість поздовжніх переміщень хону 2–15 м/хв, питомий тиск алмазних брусків 0,2–5,0 МПа, застосування

МОР та парної кількості алмазних брусків у хонінгувальній оправці (4, 8, 12 шт.).

Подальші дослідження процесів надтонкого прецизійного хонінгування деталей із новітніх високолегованих та важкооброблюваних композитних матеріалів будуть спрямовані на всебічне вивчення особливостей хонінгування з використанням для оброблення високотермостійких інструментів на основі кубічного нітриду бору – кубанітів (Україна), ельборів (Росія) та борозонів (США). Перспективними і такими, що заслуговують на увагу, є комплексні теоретико-експериментальні дослідження надтонких процесів формування при хонінгуванні залишкових напружень у поверхневих шарах оброблення, зокрема величин напружень, їх знака (розтягу чи стиску) та глибини їх залягання. Це дасть можливість виконати комплексний аналіз властивостей поверхні деталі з урахуванням вимог подальшого підвищення строків служби деталей тертя та друкарських машин у цілому.

Список літератури

1. *Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі*: Пат. України № 102299, МПК С22С33/02 (2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Оpubл. 25.06.13, Бюл. № 10.
2. *Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі*: Пат. України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Оpubл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
3. *Порошковий антифрикційний матеріал на основі швидкорізальної сталі*: Пат. України № 30377 МПК (2006), С22С33/02 / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, В.В. Холявко, Б.П. Зора. – Оpubл. 25.02.08, Бюл. № 4.
4. *Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: Монографія. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – 404 с.
5. *Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.
6. *Технологія поліграфічного машинобудування*: Навч. посібник / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук та ін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 504 с.
7. *Основи теорії різання матеріалів*: Підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Добросок та ін.; за заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2013. – 423 с.
8. *Сверхтвердые материалы. Получение и применение*: Монография 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.
9. *Лавриненко В.І., Новіков М.В.* Надтверді абразивні матеріали в механообробні: Енциклопед. довідник / За заг. ред. акад. НАН України М.В. Новікова. – К.: Вид-во ІНМ ім. В.М. Бакуля НАНУ, 2013. – 456 с.
10. *Майборода В.С.* Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – К., 2001. – 40 с.
11. *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.
12. *Чеповецкий И.Х.* Основы финишной алмазной обработки: Монография. – К.: Наук. думка, 1980. – 467 с.