

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1

© Т. А. Роїк, д.т.н., професор, П. О. Киричок, д.т.н., професор, А. П. Гавриш, д.т.н., професор, О. С. Хлус, аспірантка, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОТВОРІВ
ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ
ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН
ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІЧНИХ КОЛИВАНЬ СИСТЕМИ
«ВЕРСТАТ—ПРИСТРІЙ—ІНСТРУМЕНТ—ДЕТАЛЬ»
ЗА УМОВ ТОНКОГО АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ**

В статті представлені результати теоретико-експериментального дослідження проблеми поліпшення якості поверхонь отворів зносостійких підшипників ковзання з нових високолегованих композитних матеріалів синтезованих на основі використання утилізованих та регенерованих відходів виробництва деталей з інструментальних сталей та нікелю типу 11РЗАМЗФ2, 7ХГ2ВМФ, 5ХВ3МФС, ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ шляхом врахування динамічних коливань системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь» за умов тонкого абразивного шліфування. Досліджені схеми замкнутої динамічної системи шліфувального верстата, встановлені та розраховані передаточні функції процесу різання абразивним інструментом.

Розраховані похибки форми поверхні оброблення при тонкому абразивному шліфуванні новітніх композитів з урахуванням дії реальних режимів різання за умов стабільності коливань системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь». Показано, що динамічні коливання системи впливають на основні параметри якості поверхонь тертя — шорсткість R_a , ступеня наклепу K та його глибини h .

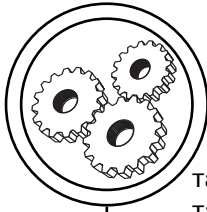
Розроблені практичні рекомендації для промислового виробництва.

Ключові слова: тонке абразивне шліфування; режими різання; параметри шорсткості поверхні; ступінь наклепу; глибина наклепу; композиційні матеріали; динамічні коливання системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь»; похибки поверхні; промислові рекомендації.

Постановка проблеми

У конструкціях новітнього обладнання поліграфічної техніки широко застосовують зно-

состійкі композиційні матеріали, які одержані з цінної та дешевої сировини — промислових відходів високолегованих штампових



та швидкорізальних інструментальних сталей і сплавів на основі нікелю, які, на жаль, навіть на сьогодні, здебільшого викидають у відвали і не використовуються у повторному циклі виробництва.

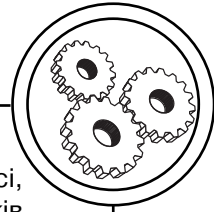
На основі розгалужених науково-дослідницьких робіт з регенерації та повторному використанню у виробничому циклі цих сировинних ресурсів [1–5] в останні роки були створені оригінальні високозносоустійкі матеріали на основі використання виробництва продукції з високолегованих штампових та швидкорізальних інструментальних сталей 11P3AM3Ф2, 7ХГ2ВМФ, 5ХВ3МФС, а також деталей з нікелю при їх виготовленні у серійному виробництві електротехнічної, радіотехнічної, авіаційної та аерокосмічної галузей промисловості, зокрема, ХН55ВМТКЮ та ХН50ВТФКЮ.

Вони пройшли всебічну перевірку в умовах дії агресивного оточуючого середовища (кисень повітря, температурні навантаження при експлуатації у межах 850–900° С, питомі навантаження до 7–8,5 МПа) і широко застосовуються для виготовлення деталей тертя (підшипники ковзання, циліндричні втулки пальців захоплювачів автооператорів, роликів конвейерних систем, підтримувачі канувальних пристроїв вузлів переадресації готової продукції) поліграфічних комплексів КВА Rapida-6+L-NN-L (шестифарбовий з двома лакувальними секціями) фірми Koenig+Bauer AG (ФРН), КВА Rapida 75-4 (ФРН), п'ятифарбових при-

строїв Ose Arizona 6160-XTS та семифарбових Ose Arizona 6170-XTS фірми Canon (США), ножових різальних машин типу WOHLENBERG Trim-tec 560 (ФРН), висікального обладнання паперу та картону DROSSERTST-6 BOMISTRAL (ФРН), автоматичних машин світлодіодної сушки LED-UV фірми Air Motion System Europe (Швейцарія) та ін. Відомо, що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості і геометричної точності третьових поверхонь та фізичних властивостей поверхневого шару (дефекти структури, ступінь та глибина наклепу, рівень залишкових напружень).

Ці параметри формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення.

У зв'язку з тим, що нові композиційні сплави на основі інструментальних сталей і нікелю знайшли своє використання у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно [1–5] розгалужених та всебічних досліджень процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, зокрема, виконано вивчення впливу складу інструменту та режимів різання на параметри шорсткості поверхні оброблення, глибини та ступеню наклепу, а також рівня та знаку залишкових напружень поверхневого шару при тонкому абразивному, алмазному, ельборовому, кубонітовому і боразоновому шліфуванні з аналізом



силових факторів різання та миттєвих контактних температур у зоні оброблення на ріжучому лезі поодинокого алмазно-абразивного зерна [2, 4?8]. Крім того, були всебічно досліджені технологічні процеси оздоблювальної прецизійної доводки плоских поверхонь деталей тертя, а також оздоблювального суперфінішування та надтонкого викінчувального хонінгування деталей прецизійної точності для вузлів тертя поліграфічних машин, що виготовлені з новітніх марок високосносостійких композиційних матеріалів.

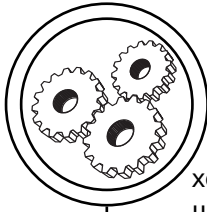
Проте на сьогодні залишаються недослідженими складні процеси, що супроводжують надтонку фінішно-оздоблювальну обробку прецизійних поверхонь тертя деталей поліграфічних машин, що суттєво впливають на їх якісні показники-параметри шорсткості і точності, глибини та ступеню наклепу, рівня та знаку залишкових напружень у поверхневому шарі деталі, якій було надано відповідну обробку з регламентованими режимами різання. Одним із таких факторів є жорсткість системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь» (ВПІД) та динамічні коливання цієї системи в ході реалізації технологічного процесу певної оздоблювальної обробки, що, безумовно, впливає на кінцеві результати оброблення. Слід особливо зазначити, що навіть, коли цей вплив (через показники шорсткості R_a та ступеню наклепу K і його глибини h) недостатньо суттєвий, необхідно брати до уваги усі

фактори процесу у комплексі, бо на сьогодні у ряді випадків (наприклад, при оздоблювальному хонінгуванні, коли дослідники оперують з величинами R_a у межах 0,005–0,010 мкм) покращення параметрів шорсткості поверхонь оброблення на 10–12 % суттєво впливає на кінцеві значення одного з найважливіших показників надійності поліграфічної техніки — довговічності, зносостійкості та ремонтоздатності, без досягнення високих значень яких неможливо витримати конкурентну боротьбу на сучасному рівні поліграфічної продукції.

Тому дослідження комплексу питань впливу динамічних коливань (вібрацій) систем ВПІД на якісні показники поверхонь тертя деталей з високолегованих композитів за умови їх надтонкого алмазно-абразивного шліфування, безумовно, є актуальним питанням, що має незаперечне як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення.

Мета роботи

Метою цієї роботи було теоретико-експериментальне дослідження динамічних коливань (вібрацій) системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь» (ВПІД) при тонкому абразивному шліфуванні деталей прецизійної точності (зокрема підшипників ковзання), виготовлених з новітніх високосносостійких композиційних матеріалів на основі інструментальних сталей та нікелю, а також проаналізувати вплив динамічних коливань системи ВПІД на показники якості повер-



хонь оброблення — параметру шорсткості R_a , ступеню K та глибині наклепу h поверхневого шару.

Задачами дослідження були такі:

1. Дослідити схеми замкнутої динамічної системи верстата, встановити критерії та розрахувати передаточну функцію процесу різання абразивним інструментом;

2. Проаналізувати пружню систему тонкого шліфування високолегованих композитних сплавів для поліграфічних машин за умови дії декількох відновлювальних елементів жорсткості;

3. Розрахувати похибки форми поверхні оброблення при тонкому абразивному шліфуванні новітніх композитів з урахуванням дії реальних режимів різання за умови стабільності коливань системи ВПІД;

4. Експериментально дослідити залежності фактичного зрізання шару композиту при призначенні реальних режимів різання для різних композитних сплавів за умови дії стабільних динамічних коливань системи ВПІД та визначити узагальнений комплексний показник тонкого абразивного шліфування високозносоустійких високолегованих композиційних сплавів на основі інструментальних сталей та відходів виробництва деталей з нікелю.

5. Надати загальну оцінку впливу динамічних коливань системи ВПІД на параметри якості поверхонь оброблення (параметр шорсткості R_a , ступінь K та

глибина h наклепу поверхневого шару) за умов тонкого абразивного шліфування основних типів зносоустійких композитів.

Результати проведених досліджень

При виготовленні композитних підшипників ковзання з високозносоустійких композиційних матеріалів, що мають працювати у жорстких умовах експлуатації провідна роль у технологічному процесі належить шліфувальним операціям оброблення контактних поверхонь тертя [2, 5–7].

Суттєвий вплив на формування якості шліфувальної поверхні деталі мають вібрації, що виникають з різних чинників безпосередньо у процесі різання і, які супроводжують процес тонкого шліфування підшипника ковзання в ході усього технологічного процесу його виготовлення. На цю обставину вказують численні автори науково-дослідних робіт із загальної теорії абразивного оброблення [2, 6–24].

Як відомо [20, 21, 23, 24] рівень вібрації пружної системи шліфувального верстату залежить від рівня зовнішніх збурень та безпосередньо ступеня жорсткості шліфувальної системи верстату, який є самостійною, автономною, динамічною та замкненою багатофункціональною системою. На рис. 1 наведено принципову схему замкнутої динамічної системи верстату.

Процеси, які відбуваються у ході виконання технологічної операції зрізання певного шару композиту з поверхні оброблен-

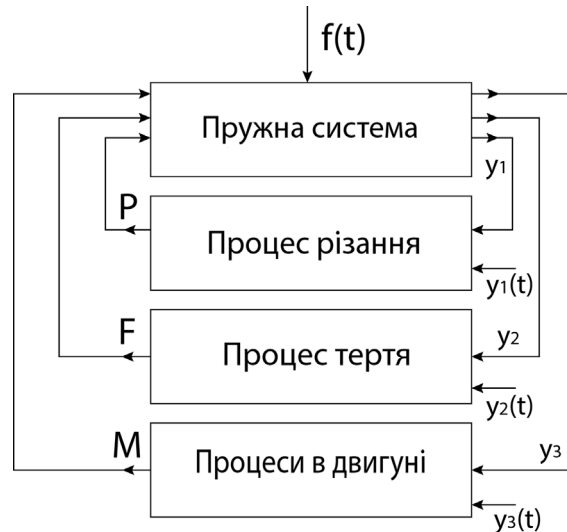
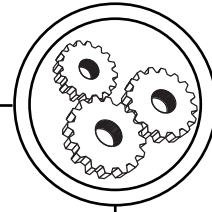


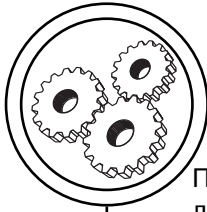
Рис. 1. Принципова схема побудови замкнутої динамічної системи шліфувального верстату. 1 — y_1, y_2, y_3 — вихідні координати (деформація верстату); 2 — $y_1(t), y_2(t), y_3(t)$ — зміна налаштування при змінах перерізу стружки аз; 3 — P, F, M — збуджуючі фактори (сила різання P , сила тертя F , крутячий момент M двигуна)

ня деталі методом шліфування, безпосередньо пов'язані з пружною системою і будь-які зміни у ній під впливом зовнішніх чинників (P, F, M) чи в результаті навіть конче необхідного переналаштування супроводжується реакцією пружної системи, що обумовлює зміни її вихідних координат (y_1, y_2, y_3). Це обумовлює зміни параметру відповідної замкнутої динамічної системи, інакше кажучи, динамічна система верстату є за своєю сутністю багатоконтурною з автоматичним регулюванням [20, 21, 23–27]. Дійсно, зі збільшенням, наприклад, припуску, що зрізається з поверхні композитної деталі абразивними зернами шліфувального круга, зростають складові сил різання, які є вихідними координатами процесу, що негайно

викличе зміни вихідної координати і відповідне зменшення величини припуску.

Суттєвий вплив на амплітудно-частотні характеристики пружної системи мають характеристики її пружних зв'язків. У шліфувальному верстаті усі процеси і перетворення (зрізання стружки, тертя контактних поверхонь зі своїми власними особливостями, крутильні процеси у електродвигуні) замикаються через притаманну лише даному верстату пружну систему. Тому з'являється можливість виділити (для подальшого аналізу) окремо кожен контур і розглядати його індивідуально.

Технологічні процеси тонкого шліфування композитних підшипників ковзання детально досліджені, а їх результати наведені у роботах [1–3, 5–7, 22].



Проте нерозв'язаною залишилась проблема стабілізації теплового потоку та теплонапруженості поверхневого шару оброблення внаслідок безперервності процесу шліфування композитних сплавів.

Аналіз передового виробничого досвіду показує, що одним з найголовніших чинників утворення хвилястості на оброблюваній поверхні композитного підшипника ковзання є вібрації у системі «верстат—пристрій—інструмент—деталь» (ВПІД). Численними дослідженнями [10–18] доведено, що траєкторія руху абразивного ріжучого зерна шліфувального круга є складна замкнута циклоїдальна чи квазіциклоїдальна крива. Таким чином, для визначення хвилястості профілю поверхні, її геометричних параметрів, які формуються в процесі шліфування шляхом зрізання мікростружок, необхідно вирішити такі задачі:

— Встановити траєкторію руху абразивних зерен шліфувального круга (центра мас та пере-

ферії) взаємодію її з оброблюваною поверхнею тертя композитного підшипника ковзання і надати математичний опис цього руху;

— Побудувати математичну модель, яка взмозі пов'язати динамічні параметри процесу з геометричними параметрами хвилястості.

Аналіз якості продукції в умовах реального виробництва дозволив дійти до висновку, що найголовнішими чинниками утворення похибок форми під час тонкого абразивного шліфування композитних сплавів є вібрації елементів технологічної системи ВПІД, які виникають у процесі зрізання стружки абразивними зернами шліфувального круга. Дослідження різних авторів [5, 8, 20–24] показали, що рівень вібрацій у підшипнику зменшується з покращенням параметрів шорсткості R_a поверхонь оброблення.

Під час досліджень динамічних характеристик процесу різання було запропоновано розглядати взаємодію еквівалентної пружної системи (ЕПС) верстату безпосередньо з процесом різання (рис. 2) [20]. Розмах вібрацій в цій системі залежить від збуджуючих сил, що накладаються на систему $f(t)$ і від зміни налаштування — $y(t)$. Обидва види сил сприяють виникненню в процесі тонкого абразивного шліфування нових високочастотних композитів на основі інструментальних сталей і нікелю складних вимушених коливань в системі ВПІД. В результаті цього з'являється хвилястість як на ріжучій робочій поверхні шліфувального круга,

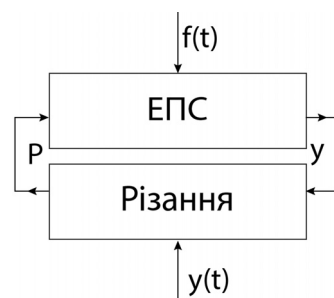
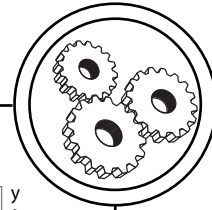


Рис. 2. Одноконтурна замкнута динамічна система. P — сила різання на вершині ріжучого абразивного зерна; $f(t)$ — силове і кінематичне збурення; $y(t)$ — зміна налаштування, що обумовлена зміною перерізу стружки



так і на поверхні оброблюваної деталі, що утворює у динамічній системі верстату зворотні зв'язки, які суттєво впливають на її стійкість.

Для ідеальної одноконтурної системи верстату без врахування зворотних зв'язків, що наведені на рис. 2, при впливі на еквівалентну пружну систему (ЕПС) $f(t)$ передаточної функції W_f замкнутої системи визначаються за формулою [20, 21]:

$$W_f = \frac{y}{f(t)} = \frac{W_{fЕПС}}{1 + W_{роз}}, \quad (1)$$

а при впливі $y(t)$:

$$W_y = \frac{y}{f(t)} = \frac{W_{fЕПС}}{1 + W_{роз}}, \quad (2)$$

де y — вихідна координата (деформація верстату); $W_{fЕПС}$ — передаточна функція, що отримується в результаті зміщення інструменту і деталі за вихідною координатою при дії заданого зовнішнього збурення; $W_{роз}$ — передаточна функція розімкнутої системи, яка рівна $W_{fЕПС} \cdot W_p$ ($W_{fЕПС}$ — передаточна функція ЕПС, W_p — передаточна функція процесу різання).

В роботі [20] зазначено, що фактори запізнення в динамічній системі, викликані хвилястістю круга і деталі, які створюють зворотній зв'язок з відповідною передаточною функцією, значно ускладнюють рівняння передаточних функцій 1 і 2. Стійкість одноконтурної динамічної системи оцінюється за передаточною функцією розімкнутої динамічної системи (рис. 3).

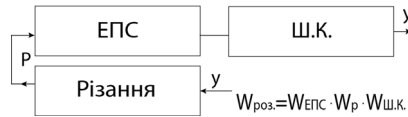


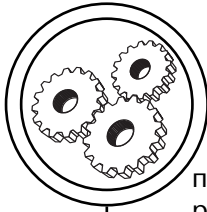
Рис. 3. Одноконтурна розімкнута динамічна система

Відмінною особливістю процесу шліфування є те, що зв'язком між ЕПС і процесом різання в динамічній системі шліфувального верстату є шліфувальний круг. Залежно від того, яку передаточну функцію він має ($W_{ш.к.}$), збурення, що виникають в процесі різання будуть передаватися на ЕПС з деяким запізненням і зміною за амплітудою, що може відобразитись на характері вібрації під час шліфування і на формуванні профілю поверхні деталі. Значення передаточної функції розімкнутої системи в даному випадку зміниться і опишеться формулою:

$$W_{роз} = W_{ЕПС} \cdot W_p \cdot W_{ш.к.} \quad (3)$$

Це може змінити зони роботи пружної системи верстату (3). Визначення динамічної характеристики шліфувального круга (передаточної функції) є важливим під час шліфування кругами з переривчастою робочою поверхнею, що є джерелом вимушених коливань.

В результаті оброблення осцилограм, записаних при динамічній характеристиці шліфувального круга, не було помічено зміни фаз між сигналами, що були зняті з периферії круга [9–12, 21]. Відношення амплітуд відповідних сигналів прирівнювалось одиниці технологічної системи $W_{ш.к.} = 1$. Це додатково



показує, що зерна електрокорунда в шліфувального круга, які мають високий модуль пружності ($E = 429 \text{ Н/м}^2$) контактують. Під час розрахунку передаточної функції замкненої динамічної системи і аналізі її стійкості, можна знехтувати введенням в контур передаточної функції марки шліфувальних кругів, що досліджуються.

Це твердження діє лише на випадок роботи кругами досліджуваної характеристики (ЗЗАМ28СМ1Гл). Але на практиці відомі, круги на бакелітових, вулканітових, керамічних та інших зв'язках, що містять у своєму складі гуму, і тих, що мають значну піддатливість і підвищені демпфуючі характеристики. При роботі з вказаним типом кругів, аналізуючи стійкість динамічної системи відповідного шліфувального верстату, варто враховувати передаточну функцію відповідного шліфувального круга, що визначається експериментально.

Проведений аналіз показав, що при виборі розрахункової схеми пружної системи шліфувального верстату можна знехтувати розгляд шліфувального круга як пружної ланки, що передає силу різання.

Для розроблення загальних рекомендацій з оптимізації геометричних параметрів переривчастих кругів запропоновано узагальнений показник процесу шліфування — K , що імітує дію вертикальної складової сили різання на пружну систему. Цей показник визначається режимами шліфування, станом робочої поверхні шліфувального круга, оброблюваністю композитного

матеріалу і умовами взаємодії круга і деталі.

Під час розгляду стану рівноваги пружної системи в період контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю показник K вводиться в розрахункову схему як пружний відновлювальний елемент жорсткості. Таким чином, фізичним значенням введеного показника є сила різання, що приходить на одиницю глибини врізання шліфувального круга в матеріал. При цьому враховувалась лінійна залежність сили різання від глибини шліфування (рис. 4, пряма 2), допустимість якої зумовлена відомими дослідженнями [25, 26] по вимірюванні сил різання під час шліфування.

Розглянемо пружну систему, шліфувального верстату, маса якої $m_{\text{пр}}$ знаходиться під дією двох пружних відновлюваних елементів жорсткості C і K (рис. 4). Жорсткість C характеризує властивості пружної системи верстату в розімкнутому стані і визначається конструкцією, а також умовами спряження її елементів один з одним. В розімкнутому стані, при відсутності процесу шліфування, переміщення пружної системи залежно від прикладеної сили $q = f(P)$ зображається прямою 1 (рис. 4), при лінійній характеристиці жорсткості. Жорсткість пружної системи шліфувального верстату є основним показником, що визначається піддатливістю пружної системи верстату, що викликана силою різання, і характеризує точність оброблення в процесі тонкого шліфування.

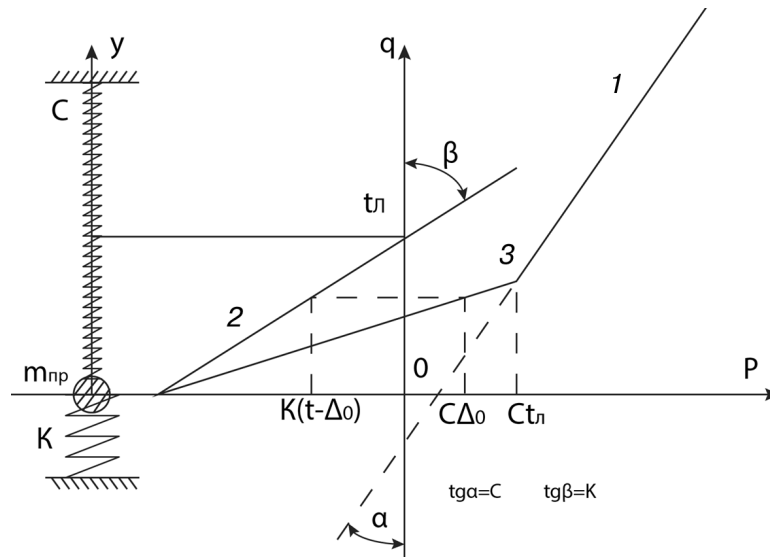
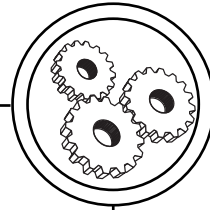


Рис. 4. Статичні характеристики пружної системи під час переривчастого шліфування

Встановимо зв'язок узагальненого показника з основними параметрами процесу шліфування і жорсткістю пружної системи верстату. Для подальших розрахунків найбільш прийнятною є схема, що наведена у роботі [27]. Під час шліфування пружна система верстату замикається через процес різання [25], жорсткість її зростає і залежність сили різання від координат q характеризується прямою 3 (рис. 4).

Умова статичної рівноваги маси в процесі суцільного шліфування буде визначатись рівнянням:

$$C\Delta_0 = K(t_L \cdot \Delta_0), \quad (4)$$

де Δ_0 — статичне відтиснення пружної системи при суцільному шліфуванні; t_L — глибина різання, що встановлюється за лімбом верстату.

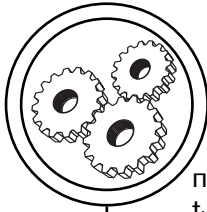
Величина $\Delta_0 = \frac{K}{C+K} \cdot t_L$ характеризує похибку оброблення під час шліфування. При наступному проході вона буде вихідною глибиною шліфування, встановленою за лімбом верстату, і похибка після цього наступного проходу визначається за формулою:

$$\Delta_0 = \left(\frac{K}{C+K} \right)^i \cdot t_L, \quad (5)$$

де i — число переходів.

Аналіз (5) показує, що жорсткість пружної системи шліфувального верстату є основним параметром, що характеризує точність оброблення в процесі тонкого шліфування. Чим більше C , тим менше Δ_0 . При $C \gg K$ похибка процесу шліфування прямує до нуля.

Знайдемо з формули (4) значення реального зрізання при-



пуску під час шліфування — t_i :

$$t_i = t_L - \Delta_0 = t_L \cdot \left(1 - \frac{K}{C+K}\right), \quad (6)$$

яке на наступних проходах розраховується за формулою:

$$t_{ii} = \left(\frac{K}{C+K}\right)^{i-1} \cdot \left(1 - \frac{K}{C+K}\right) \cdot t_L. \quad (7)$$

З формули (6) узагальнений показник шліфування може бути знайдений за формулою:

$$K = C \cdot \left(\frac{t_L}{t_i} - 1\right). \quad (8)$$

Вертикальна складова сили різання P_y розраховується за формулою:

$$P_y = K \cdot \frac{C}{C+K} \cdot t_L. \quad (9)$$

Знаючи жорсткість пружної системи верстату і визначивши експериментально відношення t_L/t_i для кожного конкретного випадку шліфування, розрахунковим шляхом, з формули (8) можна знайти значення узагальненого показника шліфування.

Підставивши (8) в (9), отримуємо рівняння для визначення вертикальної складової сили різання P_y :

$$P_y = C \cdot (t_L - t_i), \quad (10)$$

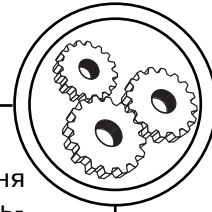
що має важливе практичне значення, оскільки воно дозволяє при відомій статичній жорсткості пружної системи в вертикальній площині — C розрахувати силу різання P_y , провівши

два вимірювання шліфувальної деталі: до (H_1) і після (H_2) шліфування.

При відомій глибині шліфування, встановленій за лімбом верстату (t_L), визначивши $t_i = H_1 - H_2$ за формулою (10), можна розрахувати вертикальну складову сили різання P_y . Даний спосіб розрахунку не потребує застосування приладів, призначених для вимірювання сили різання, чи характеристик, через які вона може бути розрахована (крутний момент, потужність шліфування, амплітуди статичного відтиснення пружної системи тощо).

При дослідженні процесу переривчастого шліфування необхідно проводити визначення узагальненого показника K під час шліфування одного і того ж матеріалу залежно від різних геометричних параметрів шліфувального круга. Це пов'язано з тим, що відношення t_L/t_i буде змінюватись залежно від рівня коливань пружної системи, зумовлених різними параметрами абразивного круга. Тут, безумовно, корисним є необхідність зауважити, що незалежно від різновидності технологічного процесу шліфування і типу застосованого для оброблення абразивного інструменту, безпосередньо процес шліфування, як процес різання, є дискретним, тобто переривчастим шліфуванням, бо в процесі зрізання стружки приймає участь лише частина зерен круга (~10 % від їх загальної кількості) [2, 5, 8–15].

Формула (8) дає уявлення про зміну умов взаємодії пере-



ривчастого шліфувального круга з оброблюваною деталлю, що показано в зменшенні відношення і дії, за рахунок коливань пружної системи. Це призводить до зниження узагальненого показника шліфування при одночасному підвищенні виробничого процесу.

На рис. 5 показана залежність показника K від швидкості повздовжніх переміщень у верстаті, що отримана експериментально під час шліфування зразку з композиту 11РЗАМЗФ2. Значення K_{20}/C , відкладені на графіку, відповідають шліфуванню з повздовжньою подачею $S = 20$ мм/хід, розраховані за формулою (8). Характер зміни кривої $(K_{20}/C) = f(V_B)$ можна пояснити наступним чином.

З підвищенням швидкості переміщення деталі зростає сила різання P_y , і статичне відтиснення пружної системи,

наслідком якого є зростання відношення t_L/t_i і різке збільшення коефіцієнта K_{20}/C . Починаючи зі швидкості 45 м/с круг починає працювати в режимі інтенсивного самозаточування, що знижує сили різання і збільшує зняття матеріалу. При цьому спостерігається наступне монотонне зростання показника шліфування, що зумовлено можливостями розміщення зрізаної стружки в міжзерновому просторі на поверхні круга.

Прийнявши лінійну залежність узагальненого показника K від повздовжньої подачі під час шліфування, значення можна знайти за формулою:

$$K_S = K_{20} \cdot \frac{S}{20}, \quad (11)$$

де K_{20} — узагальнений показник різання при шліфуванні з повздовжньою подачею 20 мм/хід;

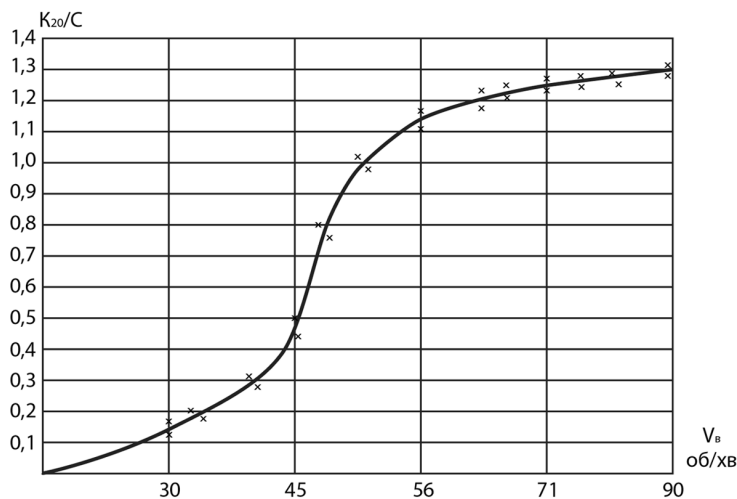
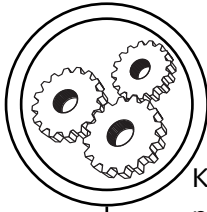


Рис. 5. Залежність коефіцієнта K_{20}/C від швидкості переміщення (матеріал — композит 11РЗАМЗФ2), $C = 1,11 \cdot 10^5$ Н/м. $V_{кр} = 45$ м/с, $K_S = K_{20} \cdot S/20$, марка круга — 33АМ28СМ1Гл



K_S — узагальнений показник різання при довільних режимах шліфування; S — повздовжня подача, мм.

Проведені дослідження показали, що при різних поєднаннях фіксованих значень повздовжньої подачі — S і швидкості V_B показник K , що визначаються відношенням t_L/t_i , не залежить від глибини шліфування t . Це положення підтверджує лінійність залежності $t_i = f(t_L)$, що побудована на основі експериментальних даних для одного з можливих поєднань ширини шліфування і швидкості переміщення (рис. 6). Лінійність даної залежності зберігається при нормальних умовах шліфування, що застосовуються на практиці, під якими розуміється розміщення певної кількості зрізаної стружки в міжзерновому просторі на поверхні шліфувального круга.

За графіком (рис. 5) і формулою (11) визначається значення узагальненого показника для

конкретних режимів шліфування. Варто зазначити, що показник K може бути загальною кількісною характеристикою ефективності процесу тонкого абразивного шліфування. Розрахунок для переривчастого шліфування доцільно проводити за формулою, аналогічною (8):

$$K_{\text{еф}} = C \cdot \left(\frac{t_L}{t_{\text{еф}}} - 1 \right), \quad (12)$$

де $K_{\text{еф}}$ — узагальнений показник шліфування при переривчастому шліфуванні; $t_{\text{еф}}$ — дійсна глибина різання при переривчастому шліфуванні.

Введений узагальнений показник шліфування K можна використовувати для оцінки роботоздатності абразивного інструменту, на рівні з такими показниками, як [5–7, 13, 21, 24]:

$$p = \frac{Q_M}{Q_d} \quad \text{чи} \quad g = \frac{Q_d}{Q_M}; \quad p = C \cdot \frac{Q_M^2}{Q_d}$$

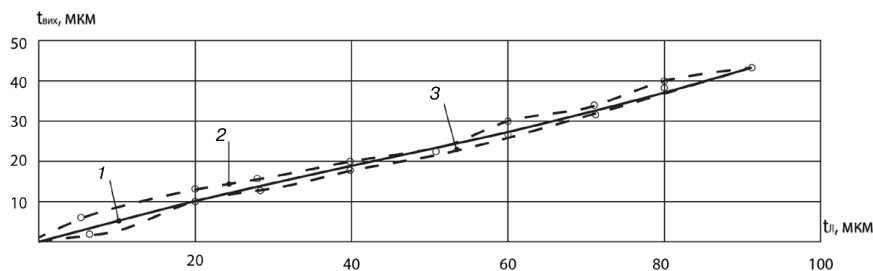
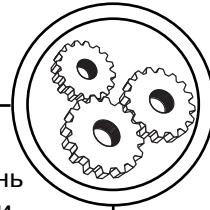


Рис. 6. Залежність фактичної товщини зрізаного шару композитного підшипника ($t_{\text{вих}}$) від глибини шліфування по лімбу верстата (t_L). Матеріал оброблення: 1 — композит на основі швидкорізальної сталі 11P3AM3Ф2; 2 — композит на основі інструментальної сталі 7ХГ2ВМФ; 3 — композит на основі нікелю ХН55ВМТКЮ. Шліфувальний верстат SS-125 фірми «Werkzajt» (ФРН). Абразивний круг 33AM28СМ1Гл.

Режими різання: швидкість круга $V_{\text{кр}} = 45$ м/с, швидкість виробу $V_B = 45$ об/хв., подача $S = 20$ мм/хід



$$G = \frac{P}{N_{\text{пит}} \cdot R_a}; M = \frac{Pz_{\text{пит}}}{g}; N = \frac{Q_M}{P_y},$$

де Q_M, Q_d — об'єм знятого металу і зношеної частини абразиву за одиницю часу; C — жорсткість системи; $N_{\text{пит}}$ — питома витрата енергії; R_a — висота шорсткості; $Pz_{\text{пит}}$ — питома тангенціальна сила.

Недоліком перерахованих показників оцінки роботоздатності шліфувальних кругів і необхідність визначення їх для різних можливих поєднань режимів шліфування і складність вимірювань величин, за якими вони розраховуються. Встановлений зв'язок введеного показника K з режимами шліфування дозволяє розраховувати його

значенням для різних поєднань режимів шліфування. Експериментальне визначення K складається у вимірюванні дійсного зняття матеріалу деталі. Залежність показника K від часу шліфування показана на рис. 7.

На базі наведених даних були виконані дослідження впливу динамічних коливань системи ВПІД на основні показники якості поверхонь оброблення (параметр шорсткості R_a , ступінь наклепу K та глибина його проникнення h у поверхневий шар). Комплекс цих напрацювань здійснювався у відповідності з методикою, наведеною у роботах [2, 5–8, 19–25].

Що стосується одного з найголовніших факторів зношування поверхонь тертя деталей пар

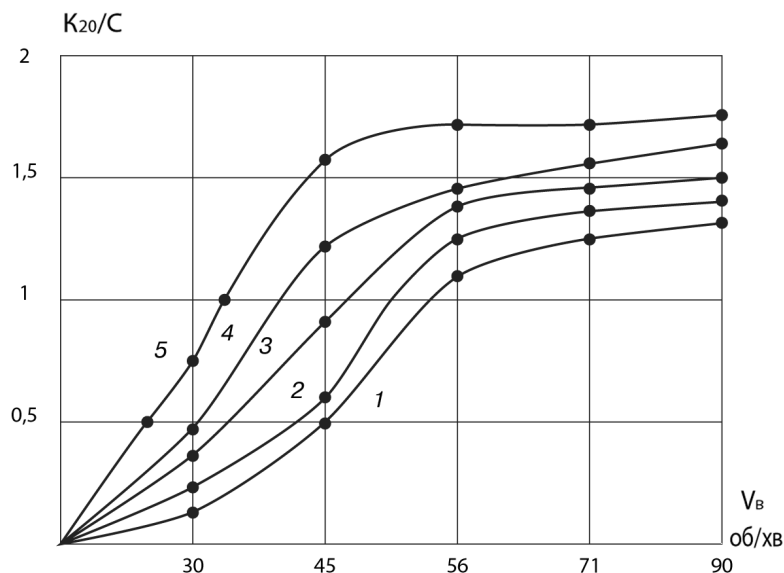
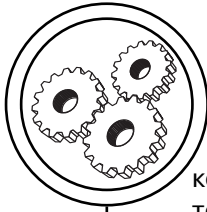


Рис. 7. Залежність коефіцієнта K_{20}/C від швидкості обертання виробу V_b (матеріал композиційного сплаву на основі інструментальної сталі 7ХГ2ВМФ + (4–8) % CaF_2 , подача $S = 20$ мм/об, $C = 1,09 \cdot 10^5$ Н/м) та довжини контакту T ріжучого зерна з деталлю оброблення: 1- $T = 10$ с; 2- $T = 15$ с; 3- $T = 30$ с; 4- $T = 45$ с; 5- $T = 60$ с



контакту — глибини наклепу h , то для його вимірювання використовувалась найновіша методика, що базується на використанні He-Ne лазера і завдяки тонкому пучку лазерного вимірювання (близько 0,7–0,8 мкм), є технічна можливість здійснити вимірювання глибини h наклепу у шарі оброблення композитних деталей (у межах його проникнення у тіло деталі тертя) на мінімальні величини (близько 3–5 мкм) і, головне, здійснити ці вимірювання з технічно рекордною на сьогодні точністю у межах 0,1–0,5 мкм [28].

У таблиці наведені експериментальні дані дослідження динамічних коливань системи ВПІД на параметри якості поверхонь підшипників ковзання поліграфічних машин при їх тонкому абразивному шліфуванні, що були виготовлені з різних композитних матеріалів.

Аналіз табл. дозволяє зробити декілька важливих для промислової практики висновків і розробити ряд практичних рекомендацій, які створюють необхідні умови для організації продуктивної праці і отримання найліпшої якості оброблення поверхонь тертя підшипників ковзання сучасної поліграфічної техніки.

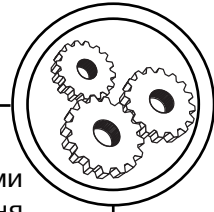
По-перше, встановлено, що частота динамічних коливань системи ВПІД суттєво впливає на всі основні показники якості поверхонь при їх тонкому абразивному шліфуванні, в першу чергу, на параметр шорсткості R_a . Ступінь наклепу K і глибини h його проникнення у тіло деталі оброблення.

По-друге, чітко прослідковується тенденція до погіршення параметрів R_a , K і h зі зрос-

Вплив частоти t динамічних коливань системи ВПІД на параметри шорсткості R_a , ступеню наклепу K та глибини наклепу h поверхонь тертя підшипників ковзання поліграфічних машин зі зносостійких композитів при їх тонкому абразивному шліфуванні

Частота динамічних коливань системи ВПІД, кГц	Параметри якості поверхонь для композитів								
	11P3AM3Ф2			7ХГ2ВМФ			ХН55ВМТКЮ		
	R_a , мкм	K	h , мкм	R_a , мкм	K	h , мкм	R_a , мкм	K	h , мкм
0,05	0,270	1,22	8,1–9,0	0,250	1,19	8,0–8,5	0,290	1,17	7,5–8,0
0,10	0,275	1,23	9,1–9,2	0,255	1,20	8,5–8,7	0,295	1,18	8,0–8,5
0,20	0,280	1,25	9,2–9,3	0,265	1,21	8,7–8,9	0,300	1,19	8,5–9,0
0,30	0,300	1,27	9,4–9,5	0,280	1,22	9,0–9,2	0,301	1,21	9,1–9,3
0,50	0,320	1,29	9,6–9,8	0,295	1,25	9,2–9,4	0,315	1,24	9,3–9,5
0,80	0,350	1,31	9,9–10,0	0,310	1,27	9,5–9,8	0,325	1,27	9,6–9,8
1,00	0,380	1,32	10,1–10,3	0,330	1,29	9,8–10,0	0,335	1,31	9,9–10,1
1,50	0,410	1,35	10,4–10,5	0,360	1,31	10,1–10,3	0,370	1,33	10,2–10,4
2,00	0,470	1,37	10,6–10,9	0,390	1,33	10,3–10,5	0,410	1,38	10,5–10,8
2,50	0,510	1,50	11,0–11,5	0,430	1,38	10,6–10,9	0,440	1,45	10,9–11,2

Примітки: 1. Верстат ss-125 фірми «Werkzajt» (ФРН); 2. Абразивний інструмент — шліфувальний круг 33АМ28СМ1Гл; 3. Режими шліфування — швидкість круга $V_{кр} = 45$ м/с, швидкість виробу $V_B = 45$ м/хв., подача $S = 20$ мм/хід, глибина різання $t = 0,020$ мм.



танням частоти динамічних коливань системи ВПІД. Досліджень закономірностей цих змін на даному етапі наукових напрацювань не приводилось, бо це становить самостійну технологічну проблему, яку необхідно терміново вивчати з метою подальшого покращення параметрів оброблення при тонкому абразивному шліфуванні новітніх високотносостійких композитних матеріалів, спеціально створених для друкарської техніки і суттєвого збільшення на цій основі показників надійності, зносостійкості, довговічності та ремонтоздатності сучасних поліграфічних машин.

По-третє, вказана тенденція відзначається при шліфуванні різних марок зносостійких композитних сплавів, які мають достатньо різні фізико-механічні властивості і принципово різну структурну побудову [1–7].

Це свідчить про наявність загальної фізичної закономірності, яку, безумовно, необхідно всебічно дослідити і встановити відповідні залежності між факторами динамічних коливань системи ВПІД та параметри якості поверхонь оброблення з одночасною розробкою нормативів по режимам різання при тонкому абразивному шліфуванні новітніх марок високотносостійких композиційних сплавів.

З урахуванням наведених вище теоретичних досліджень вивчення динамічних коливань системи ВПІД та беручи до уваги попередньо отримані авторами результати експериментальних робіт про зв'язок між режи-

мами різання та параметрами якості поверхонь оброблення доцільним є прецизійне оброблення композитних підшипників ковзання друкарських машин методом тонкого абразивного шліфування з наступними режимами різання: шліфувальний верстат — SS-125 фірми «Werkzajt» (ФРН); абразивний круг — 33AM28CM1Гл; швидкість обертання шліфувального круга — $V_{кр} = 45$ м/с; швидкість виробу — $V_{в} = 45$ м/хв., подача — $S = 20$ мм/хід, глибина різання — $t = 0,020$ мм.

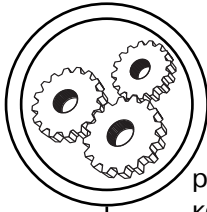
Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень необхідно зробити наступні висновки.

1. Вперше в науковій практиці виконано багатопланове теоретико-експериментальне дослідження поліпшення параметрів якості поверхонь тертя підшипників ковзання з новітніх високотносостійких композитних матеріалів на основі інструментальних сталей та відходів деталей з нікелю шляхом врахування динамічних коливань системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь» за умови тонкого абразивного шліфування.

2. Досліджені схеми замкнутої динамічної системи шліфувального верстата, встановлені критерії та розраховані передаточні функції процесу різання абразивним інструментом.

3. Розраховані похибки форми поверхні оброблення при тонкому абразивному шліфуванні новітніх композитів з урахуванням дії реальних режимів



різання за умови стабільності коливань системи ВПІД.

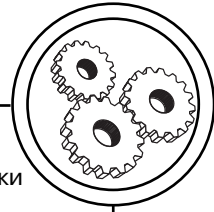
4. Показано, що динамічні коливання системи ВПІД впливають на параметри якості поверхонь тертя підшипників ковзання, при цьому ця залежність існує при тонкому шліфуванні новітніх для всієї гами зносостійких композиційних матеріалів. Для забезпечення високих вимог до параметрів якості доцільним є тонке абразивне шліфування композитних поверхонь підшипників ковзання, яке необхідно здійснювати застосовуючи прецизійні шліфувальні верстати типу SS-125 фірми «Werkzajt» (ФРН), абразивні круги з електрокорунда хромчастого 33AM28CM1Гл зі

змістом у складі абразиву до 2 % оксиду хрому CrO та тонкі режими оздоблювального шліфування, а саме: швидкість шліфувального круга — $V_{кр} = 45$ м/с; швидкість виробу — $V_{в} = 45$ м/хв., подача — $S = 20$ мм/хід, глибина різання — $t = 0,020$ мм.

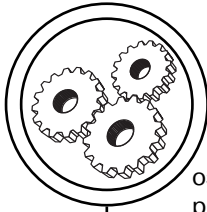
5. Подальші дослідження доцільно виконувати, вивчаючи особливості технологічних процесів тонкого алмазно-абразивного шліфування деталей тертя поліграфічних машин, що були виготовлені з найновітніших матеріалів — таких, як диборид титану, композити типу сапоніт титану та сапоніт алюмінію, порошкових сплавів на основі гідриду титану та боридів цирконію.

Список використаної літератури

1. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
2. 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», 2014. — 504 с.
3. Роїк Т. А. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 427 с.
4. Аскеров М. Г. Металлополимерные триботехнические материалы : монографія / М. Г. Аскеров, Т. А. Роик, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПИ», 2015. — 218 с.
5. Киричок П. О. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин : навчальний посібник / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 554 с.
6. Роїк Т. А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш. — К. : вид-во ЕКМО, 2010. — 210 с.
7. Гавриш О. А. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів : монографія / О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, С. В. Войтко. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 204 с.
8. Гавриш А. П. Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів : монографія / А. П. Гавриш, П. П. Мельничук. — Житомир : вид-во Житомирськ. державн. технологічн. ун-ту (ЖДТУ), 2004. — 551 с.
9. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. — М. : Машиностроение, 1974. — 320 с.



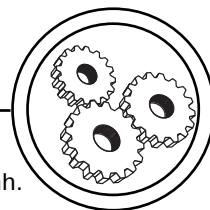
10. Ящерицын П. И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей / П. И. Ящерицын. — Минск : Беларусь, 1989. — 312 с.
11. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования / А. К. Байкалов. — К. : Наук. думка, 1978. — 207 с.
12. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / А. А. Маталин. — К. : Техника, 1971. — 144 с.
13. Новиков Н. В. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. акад. НАН Украины Н. В. Новикова, д.т.н. С. А. Клименко. — М. : Машиностроение, 2014. — 607 с.
14. Лаврименко В. І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці : Енциклопедичний довідник під заг. ред. акад. НАН України М. В. Новікова. — К. : вид-во ІНМ НАН України, 2013 — 456 с.
15. Основы теории резания материалов : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Добросюк, В. М. Залого, Ю. М. Новосьолов, Ф. Я. Якубов; під заг. ред. М. П. Мазура. — Львів : Новий світ, 2010. — 423 с.
16. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : монография в 6 т. / под общ. ред. акад. Новикова Н. В. — К. : ИСМ им В. Н. Бакуля НАНУ, 2007. — т. 6 : Алмазно-абразивный инструмент / под ред. А. А. Шепелева. — 340 с.
17. Синтетические сверхтвердые материалы : монографія в 3 т. / под. общ. ред. Новикова Н. В. — Т. 3 : Приминение синтетических сверхтвердых материалов. — К. : Наукова думка, 1986. — 280 с.
18. Эльбор в машиностроении : монография (В. С. Лысанов, В. А. Букин, Б. А. Глаговский, З. И. Кремень и др. — Под. общ. ред. В. С. Лысанова — Л-д. : Машиностроение, 1978. — 280 с.
19. Ильницкий И. И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения / И. И. Ильницкий. — М. : Машгиз, 1958. — 142 с.
20. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. — М. : Машиностроение, 1967. — 359 с.
21. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при шлифовании / Ю. К. Новоселов. — Саратов : изд-во Саратовс. ун-та, 1979. — 231 с.
22. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. — М. : Машиностроение, 1975. — 172 с.
23. Струтинський В. Б. Технологія моделювання динамічних процесів та систем / В. Б. Струтинський, Н. Р. Веселовська. — Вінниця : НТУУ «КПІ», 2007. — 466 с.
24. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем / В. Б. Струтинський. — Житомир : вид-во ЖДТУ, 2001. — 616 с.
25. Горбунов Б. И. Уравновешивающие устройства шлифовальных станков / Б. И. Горбунов, В. Г. Гусев. — М. : Машиностроение, 1976. — 167 с.
26. Данильченко Ю. М. Повышение точности вращения высокоскоростных шпиндельных узлов на подшипниках качения / Ю. М. Данильченко, А. М. Фигатнер, В. Б. Бальмонт, С. Е. Бондарь // Станки и инструмент. — 1987. — № 7. — С. 16–18.
27. Денисюк В. Ю. Дослідження динамічних характеристик пружної системи безцентрово-шліфувального верстату SWaAKM 25/1A під час переривчастого шліфування / В. Ю. Денисюк, Ю. А. Лук'ячук, Ю. С. Лапченко // Наукові нотатки. — вид-во Луцьк. націон. технічн. ун-ту. — 2015. — № 50. — С. 48–55.
28. Гавриш А. П. Контроль наклепу деталей тертя поліграфічних машин зі зносостійких композиційних матеріалів за умов надтонкого



оздблювальню-абразивного оброблення / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. В. Зоренко, Ю. Ю. Віцюк, О. С. Хлус // Технологія і техніка друкарства. — 2015. — № 3(49). — С. 42–52. — Режим доступу : <http://tdruk.vpi.kpi.ua/article/view/54869>.

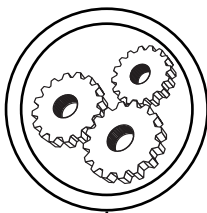
References

1. Roik T. A. Kompozytsiini pidshytnykovi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii : monohrafiia / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.
2. 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», 2014. — 504 s.
3. Roik T. A. Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn : monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, P. O. Kyrychok, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2014. — 427 s.
4. Askerov M. G. Metallopolimernye tribotekhnicheskie materialy : monografiia / M. G. Askerov, T. A. Roik, A. P. Gavriish. — K. : NTUU «KPI», 2015. — 218 s.
5. Kyrychok P. O. Finishne obrobлення znosostiikykh detalei drukarskykh mashyn : navchalnyi posibnyk / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. P. Havrysh, A. V. Shevchuk, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2014. — 554 s.
6. Roik T. A. Suchasni systemy tekhnolohii zahotivelnoho vyrobnytstva v mashynobuduvanni : monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh. — K. : vyd-vo EKMO, 2010. — 210 s.
7. Havrysh O. A. Novitni tekhnolohii vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv : monohrafiia / O. A. Havrysh, Iu. Iu. Vitsiuk, T. A. Roik, A. P. Havrysh, S. V. Voitko. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 204 s.
8. Havrysh A. P. Finishna almazno-abrazyvna obrobka mahnitnykh materialiv : monohrafiia / A. P. Havrysh, P. P. Melnychuk. — Zhytomyr : vyd-vo Zhytomyrsk. derzhavn. tekhnolohichn. un-tu (ZhDTU), 2004. — 551 s.
9. Maslov E. N. Teorija shlifovaniia materialov / E. N. Maslov. — M. : Mashinostroenie, 1974. — 320 s.
10. Jashhericyn P. I. Progressivnaja tehnologija finishnoj obrabotki detalej / P. I. Jashhericyn. — Minsk : Belarus', 1989. — 312 s.
11. Bajkalov A. K. Vvedenie v teoriju shlifovaniia / A. K. Bajkalov. — K. : Nauk. dumka, 1978. — 207 s.
12. Matalin A. A. Tekhnologicheskie metody povyseniia dolgovechnosti detalej mashin / A. A. Matalin. — K. : Tehnika, 1971. — 144 s.
13. Novikov N. V. Instrumenty iz sverhtverdykh materialov / pod red. akad. NAN Ukrainy N. V. Novikova, d.t.n. S. A. Klimenko. — M. : Mashinostroenie, 2014. — 607 s.
14. Lavrymenko V. I. Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanoobrobtsi : Entsiklopedychnyi dovidnyk pid zah. red. akad. NAN Ukrainy M. V. Novikova. — K. : vyd-vo INM NAN Ukrainy, 2013 — 456 s.
15. Osnovy teorii rizanniia materialiv : pidruchnyk / M. P. Mazur, Iu. M. Vnukov, V. L. Dobrosiuk, V. M. Zalloha, Iu. M. Novosolov, F. Ia. Yakubov; pid zah. red. M. P. Mazura. — Lviv : Novyi svit, 2010. — 423 s.
16. Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie : monografiia v 6 t. / pod obshh. red. akad. Novikova N. V. — K. : ISM im V. N. Bakulja NANU, 2007. — t. 6 : Almazno-abrazivnyj instrument / pod red. A. A. Shepeleva. — 340 s.



17. Sinteticheskie sverhtverdye materialy : monografiya v 3 t. / pod. obshh. red. Novikova N. V. — T. 3 : Priminenie sinteticheskikh sverhtverdyh materialov. — K. : Naukova dumka, 1986. — 280 s.
18. Jel'bor v mashinostroenii : monografiya (V. S. Lysanov, V. A. Bukin, B. A. Glagovskij, Z. I. Kremen' i dr. — Pod. obshh. red. V. S. Lysanova — L-d. : Mashinostroenie, 1978. — 280 s.
19. Il'nickij I. I. Kolebanija v metallovezhushchih stankah i puti ih ustraneniya / I. I. Il'nickij. — M. : Mashgiz, 1958. — 142 s.
20. Kudinov V. A. Dinamika stankov / V. A. Kudinov. — M. : Mashinostroenie, 1967. — 359 s.
21. Novoselov Ju. K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri shlifovanii / Ju. K. Novoselov. — Saratov : izd-vo Saratovs. un-ta, 1979. — 231 s.
22. Jakimov A. V. Optimizacija processa shlifovaniya / A. V. Jakimov. — M. : Mashinostroenie, 1975. — 172 s.
23. Strutynskiy V. B. Tekhnologiya modelirovaniya dinamichnykh protsesiv ta system / V. B. Strutynskiy, N. R. Veselovska. — Vinnytsia : NTUU «KPI», 2007. — 466 s.
24. Strutynskiy V. B. Matematychnye modelirovaniya protsesiv ta system / V. B. Strutynskiy. — Zhytomyr : vyd-vo ZhDTU, 2001. — 616 s.
25. Gorbunov B. I. Uravnovesivajushhie ustrojstva shlifoval'nyh stankov / B. I. Gorbunov, V. G. Gusev. — M. : Mashinostroenie, 1976. — 167 s.
26. Danil'chenko Ju. M. Povyshenie tochnosti vrashheniya vysokoskorostnyh shpindel'nyh uzlov na pidshipnikah kachenija / Ju. M. Danil'chenko, A. M. Figatner, V. B. Bal'mont, S. E. Bondar' // Stanki i instrument. — 1987. — № 7. — S. 16–18.
27. Denysiuk V. Iu. Doslidzhennia dynamichnykh kharakterystyk pruzhnoi systemy bezsentrovo-shlifoval'nogo verstatu SWaAKM 25/1A pid chas pereryvchastoho shlifuvannya / V. Iu. Denysiuk, Iu. A. Luk'ianchuk, Iu. S. Lapchenko // Naukovi notatky. — vyd-vo Lutsk. natsion. tekhnichn. un-tu. — 2015. — № 50. — S. 48–55.
28. Havrysh A. P. Kontrol naklepu detalei tertia polihrafichnykh mashyn zi znosostiikykh kompozytsiynykh materialiv za umov nadtonkoho ozdoblivalno-abrazyvnoho obroblennia / A. P. Havrysh, T. A. Roik, O. V. Zorenko, Iu. Iu. Vitsiuk, O. S. Khlus // Tekhnologiya i tekhnika drugarstva. — 2015. — № 3(49). — S. 42–52. — Rezhym dostupu : <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/54869>.

В статье представлены результаты теоретико-экспериментального исследования проблемы улучшения качества поверхностей отверстий износостойких подшипников скольжения из новых высоколегированных композитных материалов, синтезированных на основе использования утилизированных и регенерированных отходов производства деталей из инструментальных сталей и никеля типа 11P3AM3Ф2, 7ХГ2ВМФ, 5ХВ3МФС, ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ путем учета динамических колебаний системы «станок—приспособление—инструмент—деталь» для условий тонкого абразивного шлифования. Исследованы схемы замкнутой динамической системы шлифовального станка, установлены и рассчитаны



передаточные функции процесса резания абразивным инструментом. Рассчитаны погрешности формы поверхности обработки при тонком абразивном шлифовании новейших композитов с учетом действия реальных режимов резания для условий стабильности колебаний системы «станок—приспособление—инструмент—деталь». Показано, что динамические колебания системы влияют на основные параметры качества поверхностей трения — шероховатости R_a , степени наклёпа K и его глубины h . Разработаны практические рекомендации для промышленного производства.

Ключевые слова: тонкое абразивное шлифование; режимы резания; параметры шероховатости поверхности; степень наклёпа; композиционные материалы; динамические колебания системы «станок—приспособление—инструмент—деталь»; погрешности поверхности; промышленные рекомендации.

It is presented the results of theoretic and experimental research of the problem of improvement quality of surface of the hole wear resistance slide bearing made from new high-alloy composite materials, which are synthesized on the base of utilized and regenerated wastes production of parts from instrumental steel and nikel, type 11P3AM3Ф2, 7XГ2BMФ, 5XB3MФC, XH55BMTKЮ, XH50BTФKЮ the way of accounting dynamical vibrations of the system «machine—device—instrument—part» for conditions of thin abrasive grinding have been presented in the article. It was studied the schemes of enclosed dynamical system grinding machine, determine and calculated the transfer functions of cutting process of the abrasive instrument. Calculated the error forms of machining surface at thin abrasive grinding newest composites with accounting action real parameters of cutting for condition stability system «machine—device—instrument—part». I was shown that dynamical vibrations system influence on the primary parameters of quality friction surfaces — the roughness R_a , degree of cool working K and his depth h . Develop the practice recommendations for industrial production.

Keywords: thin abrasive grinding; parameters of cutting; parameters of roughness; degree of cool working; composite materials; dynamical vibrations system «machine—device—instrument—part»; error surfaces; industrial recommendations.

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

Надійшла до редакції 17.09.15