

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.002.3:621.89

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

СИЛОВЕ ПОЛЕ ПРИ ТОНКОМУ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ З НОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ДРУКАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

The research results concerning an influence of cutting forces rectangular components at fine diamond grinding of friction pieces from new composite materials on the base of grinding alloy tool steel wastes type of 86Х6НФТ, 4ХМНФС and 5ХЗВЗМФС for heavy operating conditions of printing machines have been presented in this article. The regularities of fine grinding parameters influence, type of diamond grain, granulosity and material of bond for quality parameters of working surfaces taking into account a formation mechanism of cutting forces components on cutting diamond grain top in grinding zone have been determined. It was defined the dependence of surface roughness for new high-alloy composite alloys for cutting conditions of diamond grinding process (rotation speed, line speed, rotation speed of diamond disc, cutting depth and granulosity of diamond disc). The recommendations were formulated to choose diamond discs and cutting parameters for industrial purposes in accordance with the requirements of the quality of high-speed bearings' friction surfaces for printing machines.

Вступ

Вимоги до деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають. Це зумовлює необхідність створення й удосконалення існуючих технологій виготовлення деталей такого типу, включаючи синтез нових видів матеріалів і розроблення фінішних операцій технологічного процесу надтонкої алмазної обробки робочих поверхонь тертя із забезпеченням відповідних високих вимог до якості оброблення (мінімальних значень параметрів шорсткості поверхонь R_a , мінімальних спотворень, знака та значень залишкових напружень, дефектів тонкого поверхневого шару, глибини залягання наклепу, ступеня деформації металу в зоні зрізання стружки поодиноким абразивним зерном). Ці якості формують умови придатності поверхні оброблення для задоволення високих функціональних вимог експлуатації, зокрема істотного підвищення строків служби машин і механізмів друкарської техніки.

На жаль, усі ці питання недостатньо досліджені, оскільки нові композиційні матеріали (на основі цінних шліфувальних відходів інструментальних сталей) для деталей, які працюють у жорстких умовах експлуатації, лише нещодавно були створені й почали застосовуватись у промисловості [1–5].

Відомо, що на параметри зносостійкості поверхонь тертя істотно впливають не тільки параметри шорсткості R_a , а й, що не менш важливо, фізичні властивості тонкого шару поверхонь оброблення. Обробка взаємодією силового й температурного полів на різучому лезі алмаз-

ного зерна шліфувального інструмента забезпечує високі властивості тонкого паперу (з точки зору загальної теорії шліфування).

Таким чином, дослідження параметрів силового поля (складових сил різання) при тонкому алмазному шліфуванні нових композиційних матеріалів на основі цінної вторинної сировини – шліфувальних відходів сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС і 5ХЗВЗМФС, є актуальним питанням, що має наукове та практичне значення.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження складових сил різання P_x, P_y, P_z при алмазній обробці деталей із нових композиційних сплавів на основі відходів інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС і 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила CaF_2 , а також встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки круга і режимів різання на параметри силового поля.

Задачами дослідження є:

- 1) виконати серію експериментів з визначення складових сил різання при фінішній механічній обробці зразків із нових композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів;
- 2) визначити характер впливу зернистості алмазного шліфувального круга і типу зв'язки круга на параметри силового поля;
- 3) встановити вплив режимів різання на параметри силового поля при тонкому алмазному шліфуванні досліджуваних матеріалів;
- 4) узагальнити одержані результати та зробити висновки;
- 5) сформулювати практичні рекомендації для промисловців.

Матеріали й результати роботи

Експериментальне вивчення силового поля, зокрема складових сил різання P_x, P_y, P_z , при тонкому алмазному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів, виконувалось згідно з методикою, наведеною в працях [5, 6].

Як відзначалося раніше, сили різання при шліфуванні металів є джерелом виникнення в зоні різання високих температур і залишкових пластичних деформацій у поверхневих шарах виробу [6]. Сили різання при шліфуванні залежать від міцнісних характеристик оброблюваного матеріалу, складу алмазного круга та режимів шліфування.

Для утворення стружки різальні кромки алмазних зерен вдавлюються в матеріал деталі, й на оброблюваній поверхні утворюються канавки в напрямку руху круга.

Різними дослідженнями процесів мікрорізання та шліфування встановлено, що за малих глибин вдавлювання алмазного зерна відбувається пластичне деформування без зрізання стружки – видавлювання матеріалу з боків риски від проходження зерна; лише за глибини вдавлювання 0,06–0,1 мкм починається процес утворення стружки перед різальними зернами [6].

У зв'язку з тим що алмазні зерна шліфувального круга розміщені на значній відстані одне від одного і для металевих матеріалів діаграми розтягу за однакових повторних навантажень збігаються з діаграмою розвантаження, то пружний стан металу можна розглядати як результат силової дії одиничного зерна.

Зміцнення поверхневого шару є результатом нормальної складової сили різання. Тому ступінь наклепу приблизно може характеризуватись величиною нормальної складової сили різання, що припадає на одиничне зерно.

Враховуючи, що різальні зерна алмазного круга розміщені на однаковій відстані l_ϕ одне від одного, можна вважати, що кожному зерну відповідає площа l_ϕ^2 . Тоді кількість різальних зерен m на площі контакту круга з виробом $F = L_k \cdot B$ становитиме

$$m = F'_m = L_k \cdot B / l_\phi^2,$$

де B – ширина шліфування, мм; L_k – довжина дуги контакту (для плоского шліфування $L_k = D \cdot t$); l_ϕ – фактична відстань між зернами; m' – кількість різальних зерен, що припа-

дає на одиницю площі круга; D – діаметр шліфування; t – глибина шліфування.

Відстань між зернами l_ϕ може бути визначена експериментально. Для деяких алмазних зерен, зокрема для алмазу синтетичного (АС), l_ϕ розрахована, експериментально уточнена й використовується при дослідженнях силового поля [6].

З урахуванням цього були виконані всебічні дослідження. Значення питомих (віднесених до 10 мм ширини круга) тангенціальної та нормальної складових зусиль різання наведені в табл. 1–3 (верстат – FF – 350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; обробка – без охолодження).

Аналіз результатів для обох видів матеріалів показує, що зі збільшенням глибини шліфування нормальна й тангенціальна складові зусилля різання закономірно зростають. Це пояснюється як збільшенням навантаження, що припадає на одиничне різальне зерно, так і збільшенням кількості зерен у зоні контакту шліфувального круга з виробом.

Також необхідно звернути увагу на важливий результат, отриманий при дослідженні тонкого алмазного шліфування широкої гами високолегованих композиційних сплавів, а саме: за досить значної зміни режимів різання (наприклад, глибина шліфування t_d у 10 разів – для всього кола тестування) співвідношення складових сил різання P_y/P_z залишається сталим і незалежно від марки композита лежить у межах 1,4–1,8 (для матеріалу на основі 86Х3В3НФТ) і 1,13–1,33 (для сплаву 5Х3В3МФС), тобто зміни цього показника не перевищують розбіжностей у 12–25 %. Це свідчить про стабільність безпосередньо процесів різання при застосуванні алмазних інструментів, і саме в цьому проявляються переваги тонкого алмазного шліфування порівняно з абразивною обробкою [5, 8].

Крім того, збільшення в складі композитів таких легуючих елементів, як вольфрам, молибден і ванадій (відповідно, істотно змінюються механічні характеристики оброблюваних матеріалів з одночасним погіршенням оброблюваності їх різанням), не викликає значних змін у співвідношенні складових сил шліфування P_y/P_z .

Це явище, найвірогідніше, також може бути пояснене більш високою здатністю до різан-

ня алмазних зерен шліфувального круга і відповідними перевагами алмазного шліфування високолегованих важкооброблюваних композитів на основі відходів інструментальних сталей порівняно з тонким абразивним шліфуванням кругами з найгостріших абразивних зерен кремнію зеленого [6, 9].

Зазначені закономірності зберігаються для алмазних кругів на різних зв'язках (еластична бакелітно-гумова Бр1 чи жорстка металева М1). До речі, це свідчить про об'єктивну єдність отриманих залежностей і, більше того, повністю збігається із загальними положеннями теорії шліфування [11, 15].

При алмазному шліфуванні використання дрібнозернистих кругів на гліфталевій зв'язці також знижує величини тангенціальної та нормальної складових сили різання (табл. 1–5). Це пояснюється більшою пружністю гліфталевої зв'язки порівняно з керамічною.

Для розрахунку навантаження на окреме зерно покладалося, що в процесі стружкоутворення бере участь у середньому 0,1 всіх зерен, які розміщені на периферії круга, тобто

$$m = 0,1 \cdot L_k \cdot B / l_{\phi}^2.$$

З експериментальних даних (табл. 4, 5) видно, що при тонкому алмазному шліфуванні навантаження, що припадає на одне абразивне зерно, зростає дуже інтенсивно до глибини 0,012 мм. При подальшому збільшенні глибини шліфування величина розрахункового навантаження незначна. Тому збільшення сил різання пов'язане в основному тільки зі збільшенням кількості різальних алмазних зерен у зоні контакту шліфувального круга з виробом.

За використання еластичних зв'язок, наприклад гліфталевих, навантаження на одне зерно менше залежить від глибини різання.

Таблиця 1. Питомі сили різання при плоскому алмазному шліфуванні сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂

Глибина шліфування по лімбу верстата t_d , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	АСМ14Бр1 100 %			АСМ14М1 100 %		
	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z
0,005	18	22	1,47	20	30	1,50
0,01	22	35	1,59	25	39	1,56
0,02	45	75	1,66	53	75	1,41
0,05	135	245	1,81	145	180	1,24

Таблиця 2. Питомі сили різання при плоскому алмазному шліфуванні сплаву 4ХНМФС + 5 % CaF₂

Глибина шліфування по лімбу верстата t_d , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	АСМ14Бр1 100 %			АСМ14М1 100 %		
	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z
0,005	14	19	1,35	19	19	1,00
0,01	23	33	1,43	34	39	1,15
0,02	38	58	1,52	58	58	0,87
0,05	112	127	1,14	118	129	1,09

Таблиця 3. Питомі сили різання при плоскому алмазному шліфуванні сплаву 5Х3В3МФС + 5 % CaF₂

Глибина шліфування по лімбу верстата t_d , мм	Характеристика круга					
	200×32×16 мм					
	АСМ14Бр1 100 %			АСМ14М1 100 %		
	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_y/P_z
0,005	15	20	1,33	20	20	1,00
0,01	25	35	1,40	35	40	1,14
0,02	40	60	1,50	70	60	0,86
0,05	115	130	1,13	120	130	1,08

Таблиця 4. Розрахункове навантаження на окреме різальне зерно круга при алмазному шліфуванні зразків із композиційного сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂

Глибина шліфування по лімбу верстата t_d , мм	Довжина дуги контакту L_k , мм	Характеристика круга					
		АСМ14Бр1 100 %			АСМ14М1 100 %		
		m	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н	m	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н
0,005	0,80	465	0,020	0,041	237	0,074	0,081
0,01	1,1	675	0,026	0,050	348	0,117	0,090
0,02	1,6	910	0,042	0,066	426	0,176	0,198
0,05	2,7	1550	0,070	0,093	780	0,240	0,310

Примітка. Верстат – FF – 350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 22 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; B – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

Таблиця 5. Розрахункове навантаження на окреме різальне зерно круга при алмазному шліфуванні зразків із композиційного сплаву 4ХНМФС + 5 % CaF₂

Глибина шліфування по лімбу верстата t_d , мм	Довжина дуги контакту L_k , мм	Характеристика круга					
		400×32×16 мм			200×32×16 мм		
		АСМ25Бр1 100 %			АСМ14Бр1 100 %		
		m	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н	m	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н
0,005	0,80	10	2,3	4,1	465	0,015	0,027
0,01	1,1	14	2,6	4,7	675	0,021	0,032
0,02	1,6	22	2,9	5,5	910	0,029	0,041
0,05	2,7	38	3,5	7,1	1550	0,036	0,058

Примітка. Верстат – FF – 350 “Abawerk” (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; B – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

При шліфуванні дрібнозернистими кругами значення P_{z3} і P_{y3} приблизно в 100–150 разів менші, ніж при шліфуванні крупнозернистими кругами (див. табл. 5). Таким значним зменшенням нормальної складової зусилля різання одиничним зерном і пояснюється в основному зниження ступеня зміцнення поверхневого шару й умов покращення формування мінімальної шорсткості поверхонь оброблення деталей тертя з нових композитних матеріалів [5, 7–9] за використання дрібнозернистих абразивних інструментів.

Висновки

З точки зору формування поглядів на процеси створення умов для забезпечення якісних показників поверхонь оброблення деталей тертя високошвидкісних друкарських машин уперше виконано дослідження силових параметрів поля при тонкому алмазному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів, які синтезовані з утилізованих шліфувальних відходів інструментальних легированих сталей.

Для забезпечення високих вимог до якості виробів із нових композитних матеріалів необхідно враховувати, що найкращі показники (з точки зору дії силових факторів процесу тонкої обробки, зокрема складових сил різання P_z , P_y , P_x) гарантує застосування інструментів на основі синтетичних алмазів (АС) на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1), які мають зернистість 14–20 мкм.

Дослідження показали, що істотно впливають на параметри якості поверхонь алмазного оброблення режими різання. Для практичних цілей отримання стабільних і високих результатів щодо параметрів якості поверхонь оброблення забезпечує використання таких режимів різання: шліфувальний круг АСМ14Бр1 100 %; швидкість круга – 25 м/с; поздовжня подача – 0,1 мм/подв. хід; ширина шліфування – 10 мм; охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

Подальші дослідження процесів тонкого алмазного шліфування нових високолегованих композитних матеріалів доцільно спрямувати на вивчення значень миттєвих контактних температур шліфування в зоні різання. У поєд-

нанні з результатами силового поля всебічне вивчення температурного поля на ріжучій кромці алмазного зерна при тонкому шліфуванні дасть можливість отримати об'єктивні параметри якості поверхонь оброблення, насамперед таких важливих факторів, як глибина та ступінь наклепу, глибина його залягання, рівень

залишкових напружень та їх знак (розтягу чи стиску). Це дасть змогу призначати такі режими тонкого шліфування, які забезпечать отримання необхідних параметрів зносостійкості та ремонтоздатності при їх експлуатації в умовах жорстких навантажень.

1. *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. – Опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
2. *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. – Опубл. 25.02.08, Бюл. № 4.
3. *Нові* технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації: Монографія / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2012. – 196 с.
4. *Принципи* одержання композиційних зносостійких матеріалів на основі відходів інструментального виробництва / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. // *Международ. сб. науч. трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”*. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – Вып. 1-2 (43). – С. 261–265.
5. *Вплив* абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // *Технологія і техніка друкарства*. – 2012. – № 3. – С. 65–77.
6. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 552 с.
7. *Силове* поле при тонкому абразивному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської техніки / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // *Международ. сб. науч. трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”*. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Вып. 1-2 (45). – С. 85–90.
8. *Аналіз* параметрів якості поверхонь підшипників ковзання з композиційних сплавів для друкарських машин при абразивному шліфуванні / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*. – 2013. – № 1. – С. 63–67.
9. *Вплив* складу інструменту і режимів тонкого алмазного шліфування на шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*. – 2013. – № 5. – С. 80–86.
10. *Дослідження* температур при тонкому абразивному шліфуванні деталей з композитів на основі відходів інструментальних сталей / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // *Вісник Тернопільського нац. ун-ту*. – 2013. – № 1. – С. 125–130.
11. *Абразивная* и алмазная обработка материалов: Справочник / Под. ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
12. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов: Учебник. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
13. *Сверхтвердые* материалы. Получение и применение: Монография в 6 т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ “АЛКОН” НАНУ, 2007. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / Под ред. А.А. Шепелева. – 340 с.
14. *Рабочие* процессы высоких технологий в машиностроении: Учеб. пособие / Под ред. А.И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 436 с.
15. *Основи* теорії різання матеріалів: підручник / М.П. Мазур, Ю.Ю. Внуков, В.Л. Доброскок та ін.; за заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2010. – 422 с.