

УДК 621.923

Т.А. Роїк, д.т.н., с.н.с.

Державне підприємство "Науково-технічний центр артилерійсько-стрілецького озброєння"

ТОНКА ОБРОБКА КОМПОЗИЦІЙНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ АБРАЗИВНИМИ ТА АЛМАЗНИМИ КРУГАМИ

Стаття присвячена питанням підвищення якості поверхонь виробів з композиційних антифрикційних матеріалів абразивними та алмазними кругами. Наведено раціональні режими різання.

У сучасному машинобудуванні широко застосовуються деталі з різних антифрикційних матеріалів.

Останнім часом науковці синтезували ряд нових композиційних підшипникових матеріалів для роботи у важких умовах експлуатації (температури – до 1000 °С, питомі навантаження – до 10 МПа). Це порошкові сплави типу ЕП975+4CaF₂, ЕП975+6CaF₂, ЕП975+8CaF₂, Ni+(18÷45)Fe+(5÷10)(MoB₂+ZrB₂)+5(CaF₂ чи BaF₂) [1], [2].

Проте, незважаючи на велику кількість публікацій по технологічним властивостям цих матеріалів [3–6], у літературі відсутні відомості про особливості процесів механічної обробки деталей з композиційних антифрикційних матеріалів методами тонкого абразивного та алмазного шліфування. Відсутність таких даних викликає у промисловості появу найрізноманітніших технологічних процесів, які у більшості своїй є далеко не оптимальними і у більшості випадків вирішують окремі технічні задачі поточного часу.

Тому всебічне дослідження технологічних процесів алмазно-абразивного шліфування деталей з композиційних антифрикційних матеріалів із забезпеченням вимог якості поверхонь є актуальним питанням, вирішення якого має як наукове, так і, що не менш важливо, незаперечне практичне значення.

Саме це було метою досліджень, результати яких наведені у даній статті.

Дослідження виконувались у рамках науково-дослідної роботи "Розробка ресурсозберігаючих технологій отримання виробів з важкодеформуємих сталей із використанням інтенсивної термостатичної деформації" (Державні науково-технічні програми 05.43, 04.04 ДКТН та Міністерства освіти і науки України за 1996–99 рр.).

Параметри якості обробки алмазними інструментами наведені у порівнянні з якістю обробки абразивними кругами, які отримали велике поширення в промисловості для обробки виробів із композиційних антифрикційних сплавів, а також з кубонітовими кругами.

Аналіз процесів шліфування композиційних антифрикційних сплавів виконано з урахуванням навантаження на одне різальне зерно P_z і P_y згідно з методикою, наведеною в статті [7].

Навантаження на одне різальне зерно при алмазному шліфуванні композиційних антифрикційних сплавів обчислювалось так:

$$P_{z_3} = \frac{P_z}{BL_k N_{pi3}}, \quad P_{y_3} = \frac{P_y}{BL_k N_{pi3}},$$

де P_z і P_y – сили різання, встановлені на основі розрахунків чи експериментально, кг;

L_k – довжина дуги контакту круга з поверхнею обробки виробу, мм;

B – ширина дуги контакту, мм;

N_{pi3} – кількість різальних зерен шліфувального круга, шт/мм².

Значення N_{pi3} для випадку алмазного шліфування було встановлено на основі розрахунків при умові виконання таких припущень (табл. 1):

1) алмазні зерна – загострені і витягнуті, коефіцієнт форми для них дорівнює 0,2 [8];

2) розмір алмазних зерен d_3 обчислювався як середнє арифметичне значення;

3) кількість різальних зерен від усього їх числа на зовнішній поверхні круга при тонких фінішних режимах шліфування була прийнята 14 %;

4) в об'ємі робочого шару шліфувального круга зерна розташовані на однаковій відстані, а середньовірогідна відстань між ними на робочій поверхні круга – однакова.

Таблиця 1

Кількість алмазних зерен і відстань між ними на робочій поверхні круга

Зернистість	d_z , мм	L_k , мм	$N_{різ}$, шт./мм
200/160	0,281	0,261	2,1
125/100	0,112	0,104	13
100/80	0,089	0,063	20,4
80/63	0,071	0,066	32
50/40	0,044	0,041	83
M40/28	0,035	0,031	145
M28/20	0,022	0,021	322
M14/10	0,011	0,104	1290
M7/5	0,0056	0,005	5270

Експериментальне дослідження сил різання і температур виконано згідно з методикою, наведеною в [9].

Проведений аналіз показав, що при 100 % концентрації алмазів у крузі кількість алмазних зерен в 1,5 раза більша, ніж абразивних зерен аналогічної зернистості в стандартних кругах із звичайних абразивів. Це веде до зменшення товщини зрізу a_z , що знімається одним зерном, і зумовлює відповідне зменшення сил різання і миттєвих контактних температур (табл. 2).

Таблиця 2

Значення сил і температур при плоскому шліфуванні сплаву EP975+4CaF₂
($V_{кр} = 20$ м/с; $V_g = 0,05$ м/с; $t = 0,01$ мм; ЗОР)

Характеристика шліфувального круга	Сили різання				Миттєва контактна температура, °С
	P_z , кг/мм	P_y , кг/мм	P_z , г	P_y , г	
63C25CM2K5	0,60	1,1	680	1230	640
39A10CM2K16	0,22	0,33	33	55	185
K0200/160B1 100%	0,23	0,38	30	53	220
K0100/80B1 100%	0,16	0,29	5,4	10,1	120
AC050/40B1 100%	0,12	0,24	1,03	2,1	100

Експериментально встановлено, що зв'язка круга суттєво впливає на складові сили різання і температуру в зоні обробки. При шліфуванні кругами, в яких у зв'язці як наповнювач використовується карбід бора (наприклад B1), складові сили різання і температура зменшуються в 2-3 рази.

Значний вплив на сили різання має змащувально-охолоджуюча рідина (ЗОР), а також спосіб застосування ЗОР (табл. 3).

Таблиця 3

Сили різання при плоскому шліфуванні сплаву EP975+4CaF₂ периферією круга з характеристикою АСМ14/10Бр 100 % із застосуванням різних способів охолодження.
Форма круга – ПП200×16×75 мм

Спосіб охолодження	P_z , кг/мм	P_y , кг/мм
Без охолодження	1,05	3,10
Охолодження потоком рідини	0,10	0,63
Охолодження струмом з тиском 1,5 атм	0,06	0,65

Суттєво впливає на сили різання і температуру режим обробки, наприклад, у випадку плоского шліфування – швидкість виробу V_v глибина різання t і швидкість круга $V_{кр}$.

Зі збільшенням швидкості виробу V_v з 0,05 до 0,3 м/с сили різання при шліфуванні великозернистими і дрібнозернистими кругами зростають. Це пояснюється збільшенням навантаження на одне різальне зерно.

Збільшення глибини різання зумовлює зростання сил шліфування і миттєвих контактних температур (табл. 4).

Таблиця 4

Складові сили різання і температури при плоскому шліфуванні композитних сплавів кругами з різними характеристиками ($V_{кр} = 20$ м/с; $V_v = 0,05$ м/с; ЗОР; для сплаву $Ni+(18\div45)Fe+(5\div10)(MoBr+ZrBr)+5CaF_2 - V_{кр} = 14$ м/с)

Матеріал, що обробляється	Глибина різання, мм	Характеристика круга					
		63СМ14СМ2Гл*			АСМ14Бр100%**		
		P_{z_3} , г	P_{y_3} , г	Θ , °С	P_{z_3} , г	P_{y_3} , г	Θ , °С
ЕП975+4CaF ₂	0,003	0,26	0,41	75	0,21	1,30	140
	0,006	0,30	0,46	110	0,22	1,27	180
	0,012	0,35	0,52	140	0,23	1,35	220
	0,018	0,35	0,56	170	0,27	1,50	240
Ni+(18÷45)Fe+(5÷10)(MoBr+ZrBr)+5CaF ₂	0,003	0,38	0,62	110	0,38	2,40	165
	0,012	0,56	0,93	180	0,35	2,40	260

* Гл – глифталева зв'язка (ВНДІМАШ).

** Бр – бакелітова зв'язка (ІНМ НАНУ).

Отже, мінімальні навантаження на різальні зерна і мінімальні миттєві контактні температури можна отримати при шліфуванні дрібнозернистими кругами на еластичних зв'язках на мінімальних глибинах різання.

Параметри наклепаної зони – ступінь наклепу K , напруги II роду, ширина рентгенограми $B_{(311)}$ – зумовлюють магнітні властивості прошліфрованої поверхні.

Взаємодія силового і температурного факторів зумовлюють рівень магнітних характеристик і параметрів наклепу оброблювальної зони.

Досліди показали, що при плоскому однопрохідному шліфуванні сплаву ЕП975+4CaF₂ зі збільшенням глибини різання до 0,01 мм одночасно зростають параметри наклепу K , $B_{(311)}$, $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$. При таких глибинах шліфування їх зростання пов'язане зі збільшенням сил різання.

При подальшому збільшенні глибини різання (> 0,01 мм) значно підвищуються миттєві контактні температури і в поверхневому шарі металу після шліфування спостерігається зменшення параметрів наклепу, що зумовлено відпочинком металу за рахунок підвищення температури поверхневої зони. Однак температури в зоні обробки не повинні перевищувати критичні значення (~150 °С), після яких у композитних сплавах відбуваються незворотні процеси погіршення властивостей шару.

Алмазні круги призводять до утворення наклепу, меншого за своїм значенням, ніж при шліфуванні абразивними кругами.

При шліфуванні звичайними абразивними кругами з надтонкими режимами різання контактні температури не перевищують 150 °С. Тому явище відпочинку не відбувається. Внаслідок меншої гостроти зерен покращується робота пластичної деформації металу, збільшується кількість металу, який видавлюється в поверхневі складки, відбувається схоплювання матеріалу абразиву з оброблювальним матеріалом, у зв'язку з чим зростає наклеп поверхневого шару. Цих недоліків не буває при алмазному шліфуванні.

Зі збільшенням розміру зерен алмазного круга зростають навантаження на одиничні різальні зерна круга (табл. 2), збільшуються радіуси округлення зерен та кути їх загострення, зростає контактний тиск, внаслідок чого збільшуються ступінь і глибина поширення наклепу.

Експериментальне дослідження залишкових напружень у поверхневому шарі композитних матеріалів при шліфуванні показали, що при обробці крупнозернистими кругами 63С25СМ2К5 і Э9А10СМ2К16, які спричиняють утворення миттєвих температур близько 600–700 °С, у поверхневому шарі формуються залишкові напруження розтягу, максимальне значення яких досягає 25–30 кг/мм² при глибині поширення 5–8 мкм.

При шліфуванні дрібнозернистими кругами АСМ14Бр100% на еластичних зв'язках відбувається суттєве зниження температур, що зумовлює підвищення питомої ваги дії силових факторів шліфування, внаслідок чого в поверхневому шарі металу формуються залишкові напруження стиску до 15 кг/мм^2 при глибині поширення приблизно 2–3 мкм.

Зменшення глибини наклепу і залишкових напружень при тонкому алмазному шліфуванні композитних антифрикційних сплавів сприяє покращенню магнітних якостей поверхневого шару, які приблизно в 1,5 раза кращі, ніж при абразивному шліфуванні кругами 63СМ14СМ2Гл.

Комплексні параметри втрат, виміряних на частотах 25 і 2 кГц (I_{25} , I_2), залежать від змін мікротвердості H обробленої поверхні за законом кубічної параболи:

$$I_{25} = \frac{H^3}{292000} [\text{мкА}],$$

$$I_2 = \frac{H^3}{165000} [\text{мкА}].$$

Аналіз проведених експериментів показав, що найбільші зміни втрат ($\sim 60^\circ\text{C}$) і первинних магнітних характеристик матеріалу при шліфуванні відбуваються при зростанні мікротвердості до 200–210 кг/мм^2 , при цьому в діапазоні $H_d = 160\text{--}180 \text{ кг/мм}^2$ збільшення втрат досягає $\sim 50\%$ від максимуму.

Це дозволяє зробити висновок про те, що при шліфуванні композитних сплавів навіть на досить "легких" режимах наклеп поверхневого шару досягає значного рівня і у зв'язку з цим відбуваються значні втрати первинних магнітних характеристик матеріалів.

Отже, встановлено взаємозалежність між значеннями комплексних втрат і залишковими напруженнями.

Залежність втрат I по глибині поверхневого шару h після алмазного шліфування кругами АСМ14Бр100% визначається за формулами:

$$I_{25} = \frac{25,2}{0,318h} [\text{мкА}],$$

$$I_2 = \frac{45,2}{0,318h} [\text{мкА}].$$

Аналіз цих залежностей показує, що основні зміни втрат магнітних параметрів після шліфування композитних антифрикційних матеріалів відбуваються в тонкому поверхневому шарі матеріалу $\sim 5\text{--}10$ мкм, тобто в зоні інтенсивного наклепу і максимальних значень залишкових напружень.

Проведені експерименти підтвердили, що характеристика алмазного круга і режими шліфування суттєво впливають на шорсткість поверхні.

Зменшення зернистості круга зумовлює зниження висоти мікронерівностей. Мінімальне значення параметра R_a (мкм) забезпечують круги зернистістю М7/5–М14/10 на зв'язках Бр і Гл, тобто інструменти, які одночасно забезпечують і мінімальні втрати магнітних якостей поверхні, що обробляється.

При роботі в режимах плоского шліфування ($V_{кр} = 20\text{--}25 \text{ м/с}$; $V_B = 0,05 \text{ м/с}$; $s_{п} = 0,005 \text{ мм}$) впевнено отримуємо параметр шорсткості поверхні R_a в межах $0,125\text{--}0,150$ мкм.

Висновки.

1. Порівняння параметрів поверхонь композитних антифрикційних сплавів після шліфування інструментами різних характеристик показало, що кращу якість забезпечує обробка алмазними кругами зернистістю М14–М10 на органічних зв'язках 100 %-ої концентрації алмазів.

2. Алмазне шліфування композитних антифрикційних сплавів у тонких режимах різання сприяє зменшенню параметрів наклепу, що дозволяє суттєво поліпшити якість поверхні, яка обробляється, і забезпечити задані експлуатаційні вимоги.

3. Призначенням режимів алмазного шліфування і характеристики інструменту можна керувати якістю поверхні деталей із композитних антифрикційних сплавів залежно від умов експлуатації виробів і вимог до фізико-механічних параметрів тонких поверхневих шарів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Патент України № 59768А, МКИ С22С 33/02. Антифрикційний композиційний матеріал на основі сталі (Роїк Т.А.) №20021210134; Заявл. 16.02.02; Опубл. 15.09.03; Бюл. № 9, с. 3.
2. Роїк Т.А. Подшипниковые высокотемпературные материалы на основе металлических порошков-отходов // Сб.: "Техніка майбутнього". – Вид. Одеськ. морськ. ун-ту, м. Одеса. – № 1. – 1999. – С. 3–7.
3. Шевчук Ю.Ф., Роїк Т.А. Триботехнические материалы для экстремальных условий работы // Сб. трудов междунар. конф. "Новейшие технологии в порошковой металлургии и керамике" / Под ред. акад. НАНУ В.В. Скорохода. – Киев, 2003. – С. 177–178.
4. Проволоцкий О.Е., Роїк Т.А. Новые порошковые антифрикционные композиты на основе силумина // Сб.: "Вісті Академії інженерних наук України" / Машинобудування. – Київ, 2002. – № 4. С. 13–18.
5. Роїк Т.А. Инженерия антифрикционных композитов с никелевой матрицей // Сб.: "Вісник НТУУ "Київськ. політ. ін-т" / Машинобудування. – Київ, 2000. – Вип. 39. – С. 111–115.
6. Роїк Т.А. Спечені композити для високих температур тертя / Зб.: "Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту". – Житомир: ЖІТІ. – 1999. – № 11. – С. 77–81.
7. Гавриш А.П., Солдатенко Л.И. Обработка магнито-мягких материалов алмазными кругами // Вестник НТУУ "Киевский политехнический институт" / Машиностроение. – 1997. – № 32. – С. 3–9.
8. Бакуль В.Н. Определение числа частиц в одном карате алмазного порошка. – Киев: УкрНИИСМ, 1966. – 24 с.
9. Гавриш А.П., Солдатенко Л.И., Гавриш О.А. Тепловые явления при абразивной обработке магнитных головок // Вестник НТУУ "Киевский политехнический институт" / Машиностроение. – 1997. – № 33. – С. 54–65.

РОЇК Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу матеріалознавчих досліджень Державного підприємства "Науково-технічний центр артилерійсько-стрілецького озброєння".

Наукові інтереси:

- синтез композиційних матеріалів;
- фінішні процеси оздоблювальної обробки.

Подано 7.06.2004