

формула для прогнозування і попередніх розрахунків максимальних миттєвих температур, які виникають у напилюваному шарі покриття безпосередньо в зоні напилення.

$$t_{\max} = \frac{1,43 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{пл}}^2 \cdot q^{1,7} \cdot p^{0,2}}{L \cdot V^{1,4}}$$

Точність наведеної формули становить від 5 до 30% залежно від умов напилення. Ця формула використовувалась при розрахунках температур формування напилених алмазозносних шарів при виготовленні алмазних інструментів методами газотермічного напилення [3].

Розроблена методика вимірювання температур може бути використаною як в наукових дослідженнях, так і у відповідальних виробничих процесах, де треба точно знати температурну динаміку формування напилюваного матеріалу і контролювати температурні режими на всіх стадіях технологічного процесу.

1. Хасуй А. Техника напилення. М., 1975. 2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под ред. Б.С.Митина. М., 1987. 3. Гриньов В.Ф. Основи технології виготовлення алмазних інструментів методами газотермічного напилення / Рецензенти проф. П.Р.Родін, НТУУ "КПІ", проф. О.Е.Шило. ІНМ, НАНУ, К., Деп. В ДНТБ України 1996, № 791 // РЖ ДНТБ Укр. 1997. № 1. С.210.

УДК 681.84.083

ОСОБЛИВОСТІ ТОНКОГО ШЛІФУВАННЯ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ АЛМАЗНИМИ ТА ЕЛЬБОРОВИМИ КРУГАМИ

© Гавриш А.П.*, Ібрагім Аль-Рефо, 1999

Національний технічний університет України ;

*Київський політехнічний інститут, кафедра "Технологія машинобудування"

Наведені результати експериментального дослідження тонкого алмазного та ельборового шліфування магнітом'яких матеріалів. Показані переваги опрацювання ельборовими кругами. Описано методику вимірювання електромагнітних утрат. Розроблено практичні рекомендації для опрацювання магнітних головок.

При сучасній технології виготовлення виробів з магнітом'яких матеріалів все більше значення отримує якість поверхневого шару [3]. Для осердь магнітних головок широко використовуються магнітом'які сплави: пермалої й алфенолі. Тому вивчення закономірностей тонкого шліфування магнітом'яких сплавів є актуальним завданням. У даний час у промисловості для шліфування виробів із магнітом'яких сплавів (зокрема й

магнітних головок) широко використовуються крупнозернисті абразивні високопористі круги і дрібнозернисті круги на глифталевій зв'язці.

Відомості про шліфування магнітом'яких сплавів алмазними й ельборовими кругами практично відсутні. Відомо [4], що застосування алмазних й ельборових кругів при шліфуванні різноманітних матеріалів забезпечує значне підвищення продуктивності праці і зниження трудомісткості процесу. Окрім цього, алмазні й ельборові круги мають високу зносостійкість, їх зерна мають менші радіуси округлення і кути при вершинах, значно більшу межу міцності при вигині і більш високий коефіцієнт теплопровідності, легше і з меншими силами впроваджуються в оброблюваний матеріал порівняно із зернами карбиду кремнію. Зерна синтетичного алмазу, порівняно із абразивними зернами, мають багато виступів і заглиблень, що збільшує кількість різальних граней у кожного зерна і забезпечує краще утримання зерен у зв'язках [7]. Сукупність таких високих фізико-механічних властивостей алмазу й ельбору при шліфуванні кругами на бакелітовій зв'язці зменшує нормальні сили на зерно, температуру різання і дозволяє отримувати практично бездефектні прошарки на оброблених виробах [6]. Нижченаведені результати експериментів з шліфування магнітом'яких матеріалів типу 81НМТ, 79НМ, 16ЮИХ, Ми - mela1, Afio і Resovak алмазними й ельборовими кругами різноманітних характеристик 100 %-ї концентрації й абразивних кругів 63СМ14СМ2Гл і 39А10СМ2К16 на режимах різання, які найбільше широко застосовуються у промисловості [3]: $v_{кр} = 13 + 20$ м/с; $v_n = 0,05 + 0,3$ м/с; $t_n = 0,002 + 0,02$ мм; $s_n = 0,2 + 0,5$ мм/хід столу. Пермалоеві й альфенолові зразки \varnothing 20 мм і завтовшки, відповідно, 1 і 0,35 мм наклеювалися на сталеві стовпчики й оброблялись на плоскошліфувальному верстаті. Під час шліфування на спеціальному тензометричному столику вимірювалися складові зусилля різання P_y і P_z . Сигнали тензодавачів через підсилювач ТА-5 подавалися на шлейфовий осцилограф Н102. Розрахунок навантаження на одиничне зерно проводився за методикою, описаною в роботі [3], з уточненням кількості зерен алмазного й ельборового круга, що беруть участь у різанні, по роботі [1].

Вимірювання температур при шліфуванні проводилося за допомогою двоелектродної розімкнутої хромель-алюмелевої термопари, гарячим спаям, котрою був оброблюваний матеріал. Сигнал термопари подавався на вхід підсилювача постійного струму У4-1 і далі на шлейфовий осцилограф Н102. Тарування термопари відбувалося електричним шляхом. Шорсткість поверхні зразків до параметра $Ra = 0,05 + 0,45$ мкм вимірювалася на профілографі-профілометрі моделі 201, а при $Ra = 0,01 + 0,05$ мкм – на мікроінтерферометрі МІИ-4. Зміцнення поверхневого шару вивчалася вимірюванням мікротвердості і кристалітних перекручувань (напруг II роду). Мікротвердість H_d вимірювалася на мікротвердометрі МПТ-3 при навантаженні на піраміду 0,5 Н, а кристалітних перекручувань – на рентгенівській установці УРС-50И завтовшки інтерференційної лінії 311.

Для оцінювання електромагнітних параметрів поверхневого шару після шліфування був використаний електроіндуктивний дефектоскоп типу ДНМ-500 "у", що працює на частоті 500 кГц. У тонкому ($\approx 0,1 + 0,2$ мм) поверхневому прошарку зразка з пермалою, що знаходиться у змінному магнітному полі, виникають вихрові струми, розмір яких залежить від електромагнітних характеристик поверхневого шару, наприклад, магнітної проникності [1]. Дефектоскоп настроювався на нуль за еталонним термообробленим

зразком. Після шліфування розмір початкової магнітної проникності зменшувався. Ця зміна фіксувалася дефектоскопом. Надалі покази дефектоскопа, що характеризували зміну електромагнітних параметрів поверхневого шару матеріалу після шліфування, має назву втрати.

У результаті проведених експериментів встановлено, що зміна режимів різання при шліфуванні пермалою 79НМ і 80НМТ кругами різноманітних характеристик, дуже впливає на величину шорсткості поверхні і ступінь наклепування поверхневого шару. Ці дані наведені у табл.1 і 2.

Таблиця 1

Вплив глибини різання на шорсткість Ra, мікротвердість H_d, ступінь наклепування H_d / H_{d поч} поверхневого шару при плоскому багатопрохідному шліфуванні сплавів 79НМ і 80НМТ (v_{кр} = 20 м/с; v_ш = 0,05 м/с; s_п = 0,3 мм/хід; без виходжування; СОЖ – 3 %-й розчин соди у воді)

Глибина різання t _р , мм	АСО6Б1 100 % ПП200			АСМ14Б1 100 % ПП200*			АСМ14Бр 100 % ПП200			БоМ14Бр 100 % ПП200		
	Ra, мкм	H _с , МН/м ²	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _с , МН/м ²	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _с , МН/м ²	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _с , МН/м ²	H _d /H _{d поч}
0,005	0,120	2850	1,83	0,120	2100	1,45	0,042	1700	1,10	0,030	1590	1,07
0,01	0,200	2910	1,90	0,165	2250	1,50	0,080	1750	1,13	0,070	1630	1,10
0,02	0,450	3050	1,95	0,200	2310	1,53	0,105	1790	1,17	0,100	1690	1,12

Примітка. * – сплав 80НМТ

Таблиця 2

Вплив швидкості виробу на шорсткість Ra і ступені наклепування H_d / H_{d поч} поверхневого шару при плоскому багатопрохідному шліфуванні сплавів 79НМ (v_{кр} = 20 м/с; v_ш = 0,03+0,05 м/с; t_р = 0,005 мм; хід столу без виходжування; СОЖ - 3%-й розчин соди у воді)

Швидкість виробу V _ш , м/с	Э9А10СМ2К16 ПП200		63СМ14СМ2Гл ПП200		АСМ14Бр 100% ПП200		БоМ14Бр 100% ПП200	
	Ra, мкм	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _d /H _{d поч}	Ra, мкм	H _d /H _{d поч}
0,05	0,450	1,60	0,120	1,3	0,100	1,15	0,110	1,10
0,17	0,350	1,75	0,250	1,3	0,200	1,20	0,125	1,22

Збільшення глибини шліфування з 0,005 до 0,02 мм зумовлює зростання шорсткості Ra приблизно втричі. Водночас ступінь наклепування H_d / H_{d поч} зростає в усіх досліджуваних випадках приблизно на 5-10 %. Це пояснюється сучасними уявленнями про формування наклепування у найтонших поверхневих прошарках після шліфування. У роботі [3] показано, що наклепування є результатом дії силового і температурного

чинників оброблення. Тому, незважаючи на те, що із зростанням глибини шліфування істотно (у 2-5 разів) зростають сили різання P_z і P_y , що зумовлює збільшення пластичного деформування, шліфування супроводжується інтенсивним відпочинком через неминуче підвищення температур у зоні різання.

З табл.1 випливає, що на шорсткість поверхні найбільше впливає зернистість і зв'язка круга. Зменшення розміру зерна з 80 до 14 мкм призводить до зменшення шорсткості поверхні приблизно з $R_a = 0,400-0,450$ мкм до $R_a = 0,200$ мкм для кругів на зв'язці Б1. Застосування дрібнозернистих шліфувальних кругів на еластичних зв'язках типу БР дозволяє досягти шорсткості приблизно $R_a = 0,50-0,10$ мкм, а при введенні вигладжувальних проходів - $R_a = 0,400-0,042$ мкм шліфування пермалою алмазними й ельборовими кругами з ідентичними характеристиками забезпечує практично однакову висоту мікронерівностей. Застосування крупнозернистих кругів з більш жорсткими зв'язками порівняно із зв'язкою Бр призводить до збільшення ступеня наклепування поверхневого шару і, як наслідок, до зменшення розміру початкової магнітної проникності. Результати експериментів показують, що ступінь наклепування поверхневого шару після шліфування ельбором, який визначений методом мікротвердості з врахуванням похибки вимірювання, практично не відрізняється від ступеня наклепування після алмазного шліфування кругами з аналогічною характеристикою. Із збільшенням швидкості переміщення виробу шорсткість і ступінь наклепування поверхні збільшується незначно, незалежно від характеристики шліфувального круга і виду абразивного матеріалу (табл.2), що пояснюється збільшенням зусиль різання, особливо нормальної складової. Ступінь наклепування поверхневого шару при шліфуванні високопористими кругами типу Э9А10СМ2К16 і дрібнозернистими типу 63СМ14СМ2Гл є вищим, аніж при шліфуванні алмазними й ельборовими кругами. Різання абразивними кругами, у яких зерна мають більші радіуси округлення і кути загострення при вершині зерен, ніж у алмазі і ельборі [4], призводить до збільшення роботи пластичної деформації при різанні і, отже, до збільшення ступеня наклепування поверхневого шару.

Таблиця 3

Вплив характеристики круга на шорсткість R_a , ступінь наклепування $H_d / H_{d \text{ поч}}$, $[B_{(311) \text{ пов}} / B_{(311) \text{ точ}}]$ і величину втрат при плоскому шліфуванні пермалою 79НМ ($v_{\text{кр}} = 20$ м/с; $v_{\text{д}} = 0,05$ м/с; $s_{\text{н}} = 0,3$ мм/хід; $t_{\text{л}} = 0,01$ мм; без виходжування; СОЖ – 3 %-й розчин соди у воді)

Характеристика круга	R_a , мкм	$H_d / H_{d \text{ поч}}$	$[B_{(311) \text{ пов}} / B_{(311) \text{ точ}}]$	Втрати І, мкА
Э9А10СМ2К16	0,450	1,70	2,3	80
АСО6Б1 100 %	0,200	1,90	3,3	70
КЗМ14СМ2Гл	0,120	1,30	1,8	65
АСМНБр 100 %	0,080	1,15	1,8	60
БоМ14Бр 100 %	0,070	1,10	1,5	50

Звичайно якість поверхневого шару різноманітних матеріалів, зокрема і магніто-м'яких, оцінюється параметрами шорсткості і мікротвердості [6, 8]. Ступінь наклепування, визначений методом мікротвердості, не оцінює весь поверхневий шар матеріалу, у котрого відбулися зміни під час шліфування. Результати експериментів, наведені в

табл.3, підтверджують це припущення. Ступінь наклепування поверхневого шару, визначений рентгеноструктурним аналізом $[V_{(311) \text{ пов}} / V_{(311) \text{ поч}}]$, для зразків із пермалою, шліфованих високопористими кругами, вищий, ніж після шліфування крупнозернистим алмазним кругом, тоді як вимірювання мікротвердості показують протилежне. Розмір втрат у поверхневому шарі зразків, котрі шліфуються кругом Э9А10СМ2К16, також більший, ніж у зразків після шліфування кругом АСОББ1. Це можна пояснити тим, що при шліфуванні пермалою абразивним кругом на жорсткій зв'язці, наприклад, керамічній, розвиваються високі контактні температури, у тонкому поверхневому шарі зразка відбувається відпочинок, і розмір поверхневої мікротвердості знижується. У табл.4 наведені результати експерименту.

Таблиця 4

Вплив характеристики круга на розмір навантаження на одиничне зерно шліфувального круга і миттєвої контактної температури при плоскому шліфуванні сплаву 79НМ ($v_{кр} = 20$ м/с; $v_n = 0,05$ м/с; $s_n = 0,3$ мм/хід; $t_n = 0,01$ мм; без виходжування; СОЖ – 3 %-й розчин соди у воді)

Характеристика круга	Навантаження на зерно, Н		Миттєва контактна температура, °С
	Рг	Ру	
Э9А10СМ2К16	2,400	3,600	650
63СМ14СМ2Гл	0,030	0,045	110
АСМ14Бр 100%	0,013	0,074	100
БоМ14Бр 100%	0,002	0,009	105

При шліфуванні сплаву 79НМ кругами АСМ14Бр ступінь наклепування і рівень втрат більший, ніж при шліфуванні кругами з ельбору. Зерна ельбору мають більш розвинену різальну поверхню, ніж зерна алмазу [2]. Тому при шліфуванні ельбором переважає деформація зрізу, робота пластичної деформації зменшується і збільшується робота диспергування металу, що призводить до зменшення навантаження на різальні зерна (табл.4), зниження рівня втрат і ступеня наклепування поверхневого шару. При шліфуванні пермалою алмазними й ельборовими дрібнозернистими кругами миттєві контактні температури не перевищують 110 °С, тобто значно нижчі точки Кюрі для даного матеріалу.

Аналогічні результати отримані при шліфуванні сплаву 16ЮИХ кругами з алмазу й ельбору тих самих характеристик. Наведені експериментальні дані дозволяють зробити висновок про безумовні переваги алмазного й ельборового шліфування, порівняно із абразивним шліфуванням магнітом'яких сплавів і виробів з них. Перевірка цього висновку при шліфуванні магнітних головок кругами АСМ14Бр показала, що алмазне шліфування несуттєво спотворює форму магнітного поля робочого зазору, а при роботі на високих частотах (60-110 кГц) забезпечуються кращі параметри поля порівняно із зразками, обробленими кругами 63СМ14СМ2Гл. Збільшення крутизни поля круга АСМ14Бр 100 % пояснюється меншими значеннями ступеня і глибини наклепування, а також більш крутим градієнтом зміни властивостей наклепування зони.

При обробленні побутових магнітних головок кругами АСМ14Бр зменшується розсіювання вихідних параметрів магнітних головок за індуктивністю і струмом підмагнічування, тому можливе складання магнітопроводів осердь головок без фінішної операції доведення площини розблокування.

Висновки

1. Ступінь наклепування і шорсткості поверхні магнітом'яких матеріалів після шліфування алмазом і ельбором визначається характеристикою шліфувального круга – його зернистістю і зв'язкою. Мінімальне наклепування і шорсткість поверхні можуть бути отримані дрібнозернистими алмазними й ельборовими кругами на еластичній зв'язці типу Бр при швидкості виробу 0,05 м/с, швидкості круга 20 м/с, поперечній подачі 0,3-0,4 мм/хід столу і глибині шліфування ~0,005 мм.

2. Малі навантаження на різальні зерна алмазних і ельборових кругів і низькі контактні температури при шліфуванні порівняно із абразивними кругами забезпечують високу якість поверхневого шару, зменшують розсіювання параметрів і покращують характеристику магнітного поля магнітних головок.

3. Шліфувальні круги з ельбору забезпечують менше наклепування оброблюваної поверхні, ніж аналогічні за характеристикою алмазні круги.

4. Оцінка якості поверхневого шару магнітом'яких матеріалів після шліфування, окрім вимірювання мікротвердості і рентгеноструктурного аналізу, може бути здійснена методом вимірювання електромагнітних втрат.

1. Бакуль В.Н. *Определение числа частиц в одном карате алмазного порошка*. К., 1969. 2. Бескровная Е.В., Луктюшин В.А., Ольхов В.А. и др. *Исследование развитости поверхности зерен алмаза, боразона, электрокорунда и монокорунда // Новое в технологии машиностроении*. Волгоград, 1968. 3. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А. *Факторы, определяющие разрешающую способность магнитных головок // Вестн. Киев. политехн. ин-та*. К., 1997. № 33. С.18-21. 4. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А. *Высокие технологии при шлифовании магнитомягких материалов // Резание и инструмент*. Львов, 1997. № 51. С.25-28. 5. Дорофеев А.Л. *Электроиндуктивная дефектоскопия*. М., 1967. 6. *Рациональная эксплуатация алмазного инструмента*. М., 1965. 7. Семко М.С., Качер В.А., Раб А.С. и др. *Алмазные инструменты и их применение в машиностроении*. Харьков, 1965. 8. Хрульков В.А. *Механическая обработка изделий из магнитных материалов в приборостроении*. М., 1966.