

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОГО ШЛІФУВАННЯ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ АЛМАЗНИМИ І ЕЛЬБОРОВИМИ КРУГАМИ

Наведено результати експериментального дослідження тонкого алмазного і ельборового шліфування магнітом'яких матеріалів. Показано переваги обробки ельборовими кругами. Описано методику виміру електромагнітних втрат. Розроблено практичні рекомендації з обробки магнітних голівок.

В сучасній технології виготовлення виробів із магнітом'яких матеріалів усе більшого значення набуває якість поверхневого шару [3]. Для сердечників магнітних голівок широко використовуються магнітом'які сплави: пермалої та алфеноли, тому вивчення закономірностей процесу тонкого шліфування магнітом'яких сплавів є актуальним завданням.

1.1. Мета і завдання досліджень

В даний час у промисловості для шліфування виробів із магнітом'яких сплавів (у тому числі і магнітних голівок) широко використовуються грубозернисті абразивні високопористі круги і дрібнозернисті круги на гліфталевій зв'язці. Дані про шліфування магнітом'яких сплавів алмазними і ельборовими кругами практично відсутні. Відомо [4], що застосування алмазних і ельборових кругів при шліфуванні різних матеріалів забезпечує значне підвищення продуктивності праці та зниження трудомісткості процесу. Крім цього, круги з алмазу і ельбору мають високу зносостійкість, їхні зерна мають менші радіуси округлення і кути при вершинах, значно більші межі міцності при вигині та більш високі коефіцієнти теплопровідності, легше і з меншими силами впроваджуються в оброблюваний матеріал, у порівнянні з зернами карбиду кремнію. Зерна синтетичного алмазу, в порівнянні з абразивними зернами, мають багато виступів і поглиблень, що збільшує кількість різальних граней у кожного зерна і забезпечує краще утримання зерен у зв'язці [7]. Сукупність таких високих фізико-механічних властивостей алмазу і ельбору при шліфуванні кругами на бакелітових зв'язках знижує величини нормальних сил на зерно, температуру різання і дозволяє одержати практично бездефектні шари на оброблених виробах [6].

1.2. Результати досліджень

Нижче приведені результати експериментів із шліфування магнітом'яких матеріалів типу 79НМ і 16ЮХ алмазними і ельборовими кругами різних характеристик 100 %-ної концентрації й абразивними кругами 63СМ14СМ2Гл і Э9А10СМ2ДО16 на режимах різання, найбільш широко застосовуваних у промисловості [3]: $V_{\text{кр}} = 13 \div 20$ м/сек; $V_{\text{д}} = 0,05 \div 0,3$ м/сек; $t_{\text{д}} = 0,002 \div 0,02$ мм; $s_{\text{д}} = 0,02 \div 0,5$ мм/хід столу. Пермалоєві та альфенолові зразки $\varnothing 20$ мм і товщиною відповідно 1 і 0,35 мм наклеювалися на сталеві стовпчики й оброблялися на плоскошліфувальному верстаті. У процесі шліфування на спеціальному тензометричному столику вимірялися складові зусиль різання P_y і P_z . Сигнали тензодатчиків через підсилювач ТА-5 подавалися на шлейфовий осцилограф Н102. Розрахунок навантаження на одиначне зерно виконується за методикою, описаною в роботі [3], з уточненням кількості зерен алмазного і ельборового кругів, що беруть участь у різанні, за [1]. Вимірювання температур при шліфуванні проводиться за допомогою двохелектродної розімкнутої хромель-алюмелевої термопари, гарячим спаєм якої був оброблюваний матеріал. Сигнал термопари подавався на вхід підсилювача постійного струму В4-1 і далі – на шлейфовий осцилограф Н102. Тарування термопари проводиться електричним шляхом. Шорсткість поверхні зразків в діапазоні R_a 0,05–0,45 мкм вимірювалася на профілографі-профілометрі моделі 201, а при R_a 0,01 – 0,05 мкм – на мікроінтерферометрі МІИ-4. Зміцнення поверхневого шару вивчалася шляхом виміру мікротвердості та кристалічних перетворень (напруг II роду). Мікротвердість H_d вимірювалася на мікротвердомері МПТ-3 при навантаженні на піраміду 0,5 Н, а кристалічні перекручування – на рентгенівській установці УРС-50И за шириною інтерференційної лінії 311. Для оцінки 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 шарі зразка з пермалою, що знаходиться в

перемінному магнітному полі, виникають вихрові струми, величина яких залежить від електромагнітних характеристик поверхневого шару, наприклад, магнітної проникності [5]. Дефектоскоп налагоджувався на нуль за еталонним термообробленим зразком. Тому що після шліфування величина початкової магнітної проникності зменшується, ця зміна фіксувалася дефектоскопом. Надалі за текстом показання дефектоскопа, що характеризують зміну електромагнітних параметрів поверхневого шару матеріалу після шліфування, іменуються втратами. У результаті проведених експериментів встановлено, що зміна режимів різання при шліфуванні пермалою 79НМ і 80НХС кругами різних характеристик впливає на величину шорсткості поверхні і ступінь наклепу поверхневого шару. У табл. 1 і 2 наведені ці дані.

Таблиця 1

Вплив глибини різання на шорсткість R_a , мікротвердість H_d і ступінь наклепу $H_d / H_{d \text{ вих}}$ поверхневого шару при плоскому багатопрохідному шліфуванні сплавів 79НМ і 80НХС ($V_{кр} = 20$ м/с; $V_{д} = 0,05$ м/с; $s_n = 0,3$ мм/хід столу; без виходжування; ЗОР – 3%-ний розчин соди у воді)

Характеристика круга	Глибина різання, t_d , мм	R_a , мкм	H_d , МН/м ²	$H_d / H_{d \text{ вих}}$
АСОББ1 100 % ПП200 (сплав 79НМ)	0,005	0,120	2850	1,83
	0,01	0,200	2910	1,90
	0,02	0,450	3050	1,95
АСМ14Б1 100 % ПП200 (сплав 80НХС)	0,005	0,120	2100	1,45
	0,01	0,165	2250	1,50
	0,02	0,200	2310	1,53
АСМ14Бр 100 % ПП200 (сплав 79НМ)	0,005	0,042	1700	1,10
	0,01	0,080	1750	1,13
	0,02	0,105	1790	1,17
БоМ14Бр 100 % ПП200 (сплав 79НМ)	0,005	0,030	1590	1,07
	0,01	0,070	1630	1,10
	0,02	0,100	1690	1,12

Збільшення глибини шліфування з 0,005 до 0,02 мм обумовлює ріст шорсткості R_a приблизно в 3 рази. Разом із тим, ступінь наклепу $H_d / H_{d \text{ вих}}$ зростає у всіх досліджених випадках \approx на 5–10 %. Це може бути пояснено сучасними уявленнями про формування наклепу в найтонших поверхневих шарах після шліфування. У [3] було показано, що наклеп є результатом дії силового і температурного факторів обробки. Тому, незважаючи на те, що з ростом глибини шліфування істотно (у 2–5 разів) зростають сили різання P_z і P_y , що обумовлює збільшення пластичного деформування, процес шліфування супроводжується інтенсивним зміцненням внаслідок неминучого підвищення температури в зоні різання. З табл. 1 видно, що на шорсткість поверхні в основному впливають 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 порядку R_a 0,05–0,10 мкм, а при введенні проходів на виходжування – R_a 0,040–0,042 мкм. Шліфування пермалою алмазними і ельборовими кругами ідентичних характеристик забезпечує практично однакову висоту мікронерівностей. Застосування грубозернистих кругів на більш твердих зв'язках, у порівнянні зі зв'язкою Бр, призводить до збільшення ступеня наклепу поверхневого шару і, як наслідок цього, до зменшення величини початкової магнітної проникності. Результати експериментів показують, що ступінь наклепу поверхневого шару після шліфування ельбором, визначена методом вимірювання мікротвердості з урахуванням похибки виміру, практично не відрізняється від ступеня наклепу після алмазного шліфування кругами аналогічної характеристики. Зі збільшенням швидкості переміщення виробу шорсткість і ступінь наклепу поверхні дещо збільшуються, незалежно від характеристики шліфувального кола і виду абразивного матеріалу (табл. 2), що пояснюється збільшенням складових зусиль різання, особливо нормальної складової. Ступінь наклепу поверхневого шару при шліфуванні високопористими кругами типу Э9А10СМ2ДО16 і дрібнозернистими типу БЗСМ14СМ2Гл вище, ніж при шліфуванні алмазними і ельборовими кругами. Процес різання абразивними колами, у яких зерна мають великі радіуси округлення і кути загострення при вершині зерен, ніж у алмазу і ельбору [4], призводить до росту роботи пластичної деформації при різанні і, отже, до збільшення ступеня наклепу поверхневого шару.

Таблиця 2

Вплив швидкості виробу на шорсткість R_a і ступінь наклепу $H_d/H_{d\text{вих}}$ поверхневого шару при плоскому шліфуванні сплаву 79НМ ($V_{кр} = 20$ м/с; $s_n = 0,3 \div 0,5$ мм/хід столу; $t_d = 0,005$ мм; без виходжування; ЗОРЖ – 3%-ний розчин соди у воді)

Швидкість виробу V_d , м/сек	Э9А10СМ2ДО16 ПП200		63СМ14СМ2Гл ПП200		АСМ14Бр 100 % ПП200		БоМ14Бр 100 % ПП200	
	R_a мкм	$H_d/H_{d\text{вих}}$	R_a мкм	$H_d/H_{d\text{вих}}$	R_a мкм	$H_d/H_{d\text{вих}}$	R_a мкм	$H_d/H_{d\text{вих}}$
0,05	0,450	1,60	0,120	1,3	0,110	1,15	0,110	1,10
0,17	0,350	1,75	0,250	1,3	0,200	1,20	0,125	1,22

Звичайно якість поверхневого шару різних матеріалів, у тому числі й магнітом'яких, оцінюється параметрами шорсткості та мікротвердості [6, 8]. Ступінь наклепу, визначений методом вимірювання мікротвердості, не оцінює весь поверхневий шар матеріалу, у якому відбулися зміни в процесі шліфування. Результати експериментів, що наведені в табл. 3, підтверджують це припущення. Ступінь наклепу поверхневого шару, визначений рентгеноструктурним аналізом [$Y_{(311)\text{нов}} / Y_{(311)\text{вих}}$], для зразків з пермалою, шліфованих високопористими кругами, більший, ніж після шліфування грубозернистим алмазним кругом, тоді як виміри мікротвердості показують протилежне. Величина втрат у поверхневому шарі зразків, шліфованих кругом Э9А10СМ2ДО16, також більша, ніж у зразків після шліфування кругом АСО6Б1. Це може бути пояснено тим, що при шліфуванні пермалою абразивним кругом на твердій зв'язці, наприклад, керамічній, розвиваються високі контактні температури, тонкий поверхневий шар зразка "відповідає", і величина поверхневої мікротвердості знижується. У табл. 4 наведені результати експерименту. При шліфуванні сплаву 79НМ кругами АСМ14Бр ступінь наклепу і рівень втрат більш, ніж при шліфуванні кругами з ельбору. Зерна ельбору мають більш розвинуту різальну поверхню, ніж зерна алмазу [2]. Тому при шліфуванні ельбором превалює деформація зрізу, робота пластичної деформації зменшується і збільшується робота диспергування металу, що призводить до зменшення навантаження на зерна різальні (табл. 4), зменшення рівня втрат і ступеня наклепу поверхневого шару. При шліфуванні пермалою алмазними і ельборовими дрібнозернистими кругами миттєві контактні температури не перевищують 110 °С, тобто знаходяться значно нижче точки Кюрі для даного матеріалу. Аналогічні результати отримані при шліфуванні сплаву 16ЮХ кругами з алмазу і ельбору тих же характеристик. Наведені експериментальні дані дозволяють зробити висновок про безсумнівні переваги алмазного і ельборового шліфування, в порівнянні з абразивним шліфуванням магнітом'яких сплавів і виробів з них. Перевірка цього висновку при шліфуванні магнітних голівок 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, в порівнянні зі зразками, обробленими кругами 63СМ14СМ2Гл. Збільшення крутизни поля круга АСМ14Бр 100 % пояснюється меншими значеннями ступеня і глибини наклепу, а також більш крутим градієнтом зміни властивостей наклепаної зони. При обробці побутових магнітних голівок кругами АСМ14Бр зменшується розсіювання вихідних параметрів магнітних голівок за індуктивністю і струмом підмагнічування, тому можливе складання магнітопроводів сердечників голівок без доведення площини рознімання.

Таблиця 3

Вплив характеристики круга на шорсткість R_a , ступінь наклепу $H_d/H_{d\text{вих}}$ ($B_{(311)\text{нов}} / B_{(311)\text{вих}}$) і величину втрат при плоскому шліфуванні пермалою 79НМ ($V_{кр} = 20$ м/с; $V_d = 0,05$ м/с; $s_n = 0,3$ мм/хід; $t_d = 0,01$ мм; без виходжування; ЗОР – 3%-ний розчин соди у воді)

Характеристика круга	R_a , мкм	$H_d/H_{d\text{вих}}$	$[B_{(311)\text{нов}} / B_{(311)\text{вих}}]$	Втрати I , мкА
Э9А10СМ2ДО16	0,450	1,70	2,3	80
АСО6Б1 100 %	0,200	1,90	3,3	70
КЗМ14 СМ2Гл	0,120	1,30	1,8	65
АСМ14Бр 100 %	0,080	1,15	1,8	60
БоМ14Бр 100 %	0,070	1,10	1,5	50

Таблиця 4

Вплив характеристики круга на величину навантаження на одичинне зерно шліфувального круга і миттєву контактну температуру при плоскому шліфуванні сплаву 79НМ

($V_{кр} = 20$ м/с; $V_d = 0,05$ м/с; $t_n = 0,01$ мм; ЗОР – 3%-ий розчин соди у воді)

Характеристика круга	Навантаження на зерно, Н		Миттєва контактна температура, °С
	P_z	P_y	
Э9А10СМ2ДО16	2,400	3,600	650
КЗМ14 СМ2Гл	0,030	0,045	110
АСМ14Бр 100%	0,013	0,074	100
БоМ14Бр 100%	0,002	0,009	105

Висновок

1. Ступінь наклепу і шорсткість поверхні магнітом'яких матеріалів після шліфування алмазом і ельбором визначається характеристикою шліфувального круга – його зернистістю і зв'язкою. Мінімальні наклеп і шорсткість поверхні можуть бути отримані дрібнозернистими алмазними і 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 глибини шліфування $\approx 0,005$ мм.

2. Малі навантаження на різальні зерна алмазних і ельборових кругів і низькі контактні температури при шліфуванні, в порівнянні з абразивними кругами, забезпечують високу якість поверхневого шару, зменшують розсіювання і поліпшують характеристику магнітного поля зразків із магнітом'яких матеріалів.

3. Шліфувальні круги з ельбору забезпечують менший наклеп оброблюваної поверхні, у порівнянні з аналогічними за характеристиками алмазними кругами.

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

ЛІТЕРАТУРА:

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

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– теорія процесів шліфування.

Україна, Київ – 056, проспект Перемоги, 37.

Подано 5.06.2001