

УДК 621.923

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «КПІ»

ФІНІШНА ОБРОБКА МАГНІТНОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ АЛМАЗНИМИ ТА ЕЛЬБОРОВИМИ КРУГАМИ

Наведені результати експериментального дослідження тонкого алмазного та ельборового шліфування магнітном'яких матеріалів. Показані переваги обробки ельборовими кругами. Викладена методика вимірювання електромагнітних втрат. Розроблені практичні рекомендації по обробці відповідних деталей приладів.

Вступ. У сучасній технології виготовлення деталей з магнітном'яких матеріалів усе більше значення становлять параметри якості поверхні і, перш за все, характеристики поверхневого шару після обробки [1]. Для техніки магнітного запису інформації у різних системах (блоки керування верстатами з ЧПУ, аерокосмічні накопичувачі інформації, електронно-обчислювальні машини, дешифратори та прилади побутової техніки – аудіо- та відеоапаратури) широко застосовуються магнітні головки.

Для осереддя магнітних головок найчастіше застосовують магнітном'які високолеговані сплави-пермалої та алфеноли.

Постановка задачі і метод вирішення. У науково-технічній літературі є багато публікацій про властивості пермалоїв та алфенолів [1–3], а також матеріалів про тонке абразивне шліфування деталей, які виготовлені з магнітном'яких матеріалів [4–6].

На жаль, у цих публікаціях відсутні рекомендації щодо застосування при обробці деталей з пермалоїв та алфенолів, зокрема магнітних головок методів оздоблювального шліфування алмазними та ельборовими інструментами.

Усе це ускладнює розробку найсучасніших технологічних процесів, які здебільшого носять характер забезпечення індивідуальних задач даного окремого підприємства і непридатні для застосування на інших заводах, які мають відмінний характер виробництва. Усе це не сприяє підвищенню технологічного виходу придатної продукції, знижує ефективність виробництва, не сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції і взагалі фірми, яка цю продукцію виробляє.

Тому всебічне дослідження алмазного та ельборового шліфування магнітном'яких матеріалів є геніальною потрібною задачею, позитивне вирішення якої має незаперечне наукове і, що не менш важливо,

практичне значення. Крім того, на базі таких досліджень утворюється можливість розробки уніфікованих технологій фінішної обробки високолегованих пермалоевих і алфенових сплавів найсучаснішими інструментами – кругами з синтетичних алмазів і ельбору.

Саме цьому присвячена дана стаття, метою якої є всебічне дослідження технологічних процесів алмазного та ельборового шліфування магнітнотв'язаних матеріалів.

Дослідження у цьому напрямку виконувались у рамках науково-дослідної роботи “Розробка технологій алмазної обробки високоточних деталей” (Державні науково-технічні програми 05.43, 04.04 ДКНТ і Міннаки України за 1997–2000 р.р.).

Розробка методики дослідження. Відомо [7], що застосування алмазних та ельборових кругів при шліфуванні різних матеріалів забезпечує значне підвищення продуктивності праці і зменшення трудомісткості процесу.

Крім того, круги з алмазу і ельбору мають високу зносостійкість, їх зернам притаманні менші радіуси округлення зерен і кути різання при вершинах, значно більший ліміт міцності при згині і більш високий коефіцієнт теплоємності, легше та з меншим зусиллям входить в матеріал, що обробляється, у порівнянні з зернами карбиду кремнію зеленого і електрокорунду.

Зерна синтетичного алмазу у порівнянні з абразивними зернами мають багато виступів і поглиблень, що суттєво підвищує кількість ріжучих кромочок у кожного зерна та забезпечує краще утримання зерен у зв'язці круга [8]. Сукупність високих фізико-механічних властивостей алмазу і ельбору при шліфуванні кругами на бакелітних зв'язках зменшує величини нормальних сил, що діють на окреме зерно, та температуру різання, що у сукупності дозволяє стримати практично бездефектний шар на поверхнях виробів, які оброблені тонким шліфуванням [9].

Методикою дослідження було передбачено виконання всього обсягу досліджень на матеріалах 80НХС, 79НМ, 81НМТ і сучасних закордонних сплавах “Mu-metal” (ФРН), “Superalloy” (США), “Permendur” (ФРН). Шліфування виконувалось алмазними та ельборовими кругами характеристик 100 %-ї концентрації та абразивними кругами 63СМ14СМ2Гл і Э9А10СМ2К16 на режимах різання, які найбільш часто застосовуються у промисловості [1]: $v_{кр} = 13-20$ м/с; $v_b = 0,05-0,03$ мм/с; $t_n = 0,002-0,02$ мм; $S_n = 0,2-0,5$ мм/хід столу.

Пермалоєві та алфенолові зразки діаметром 20 мм і товщиною відповідно 1 і 0,35 мм оброблювались на плоскошліфувальному верстаті FF-350 "Abawerk" (ФРН).

У процесі шліфування на спеціальному тензометричному столику виконували вимірювання складових сил різання P_y і P_z . Сигнали тензодатчиків через підсилювач ТА-5 поступали на шлейфовий осцилограф Н-102.

Розрахунки навантаження на одиночне зерно виконувались згідно з методикою, яка наведена у роботі [1], з уточненням кількості зерен алмазного та ельборового круга, які беруть участь у різанні відповідно до роботи [10].

Вимірювання температур при шліфуванні виконувалось за допомогою двоелектродної розімкненої хромель-алюмелевої термопари, гарячим спаєм якої був матеріал, що оброблявся. Сигнал термопари подавався на вхід підсилювача постійного струму У4-1, а потім на шлейфовий осцилограф Н-102. Тарування термопари виконувалось електричним шляхом.

Шорсткість поверхні оброблених зразків за параметром $R_a = 0,05\text{--}0,45$ мкм вимірювалась на профілографі-профілометрі моделі 201, а при $R_a = 0,01\text{--}0,05$ мкм – на мікроінтерферометрі МП-4.

Параметри зміцнення поверхневого шару встановлювались шляхом вимірів мікротвердості та кристалітних спотворень (напружень II роду). Мікротвердість H_d вимірювалась на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на піраміду 0,5 Н, а кристалітні спотворення – на рентгенівській установці УРС-50И по ширині інтерференційної лінії В у площині 311 (B_{311}).

Для оцінки параметрів поверхневого шару після шліфування було використано електроіндуктивний дефектоскоп типу ДНМ-500"у", що працює на частоті 500 кГц. У тонкому ($\sim 0,1\text{--}0,2$ мм) поверхневому шарі зразка за пермалою, який знаходиться у перемінному магнітному полі, утворюються вихрові струми, величина яких залежить від електромагнітних характеристик поверхневого шару, наприклад, магнітної проникливості μ_0 Гс/Ерс [11]. Дефектоскоп налагоджувався на нуль по еталону, що мав термообробку до відповідних значень μ_0 . У зв'язку з тим, що після шліфування величина початкової магнітної проникливості зменшується, то ці зміни фіксувались дефектоскопом. У подальшому показники дефектоскопа, які характеризують зміни електромагнітних параметрів поверхневого шару матеріалу після шліфування, будуть зватися втратами.

Експериментальні дослідження. Згідно з розробленою методикою було виконано дослідження методів тонкого алмазного та

ельборового шліфування сучасних магнітнотвердих сплавів. Результати дослідження наведені нижче.

Виконаними розгалуженими експериментами було встановлено, що зміни режимів різання при шліфуванні високолегованих пермалоїв кругами різних характеристик суттєво впливають на параметр шорсткості поверхні R_a і ступінь наклепу поверхневого шару. Ці дані наведені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

Вплив глибини різання t_r на параметр шорсткості R_a , мікротвердість H_0 і ступінь наклепу $H_0/H_{0,поч.}$ поверхневого шару при плоскому базатрохідному шліфуванні сплавів 81НМТ, Superalloy і Mu-metal ($v_{кр} = 20$ м/с; $v_0 = 0,05$ м/с; $S_n = 0,3$ мм/хід стола; МОС – 3 %-й розчин соди у воді)

Характеристика круга	Глибина різання, t_r , мм	R_a , мкм	H_0 , МН/м ²	$H_0/H_{0,вих}$
АСО6Б1 100 % ПП200 (сплав 81НМТ)	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 "Mu-metal")	0,005	0,120	2100	1,45
	0,01	0,165	2250	1,50
	0,02	0,200	2310	1,53
АСМ14Бр1 100 % ПП200 (сплав "Mu-metal")	0,005	0,042	1700	1,10
	0,01	0,080	1750	1,13
	0,02	0,105	1790	1,17

Закінчення табл. 1

Характеристика круга	Глибина різання, t_r , мм	R_a , мкм	H_0 , МН/м ²	$H_0/H_{0,вих}$
ЛМ14Бр1 100 % ПП200 (сплав "Mu-metal")	0,005	0,030	1590	1,07
	0,01	0,070	1630	1,10
	0,02	0,100	1690	1,12
АСМ14Бр1 100 % ПП200 (сплав "Superalloy")	0,005	0,035	1600	1,08
	0,01	0,075	1650	1,11
	0,02	0,110	1710	1,13

Таблиця 2

Вплив швидкості виробу v_0 на параметр шорсткості R_a і ступінь наклепу $H_0/H_{0,вих}$ при плоскому шліфуванні сплаву 81НМТ ($v_{кр} = 20$ м/с; $v_0 = 0,05$ м/с; $S_n = 0,3$ мм/хід стола; МОС – 3 %-й розчин соди у воді)

Швидкість виробу v_0 , м/с	Э9А10СМ2 К16ПП200		63СМ14СМ 2ГлПП200		АСМ14Бр 100 %ПП200		БоМ14Бр 100 %ПП200	
	R_a , мкм	$H_0/H_{0,исх.}$	R_a , мкм	$H_0/H_{0,исх.}$	R_a , мкм	$H_0/H_{0,исх.}$	R_a , мкм	$H_0/H_{0,исх.}$

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

Аналіз даних показує, що збільшення глибини шліфування з 0,005 до 0,02 мм обумовлює зростання параметра шорсткості R_a приблизно у 3 рази. Разом з цим, ступінь наклепу $H_d/H_{д.исх.}$ у всіх досліджених випадках зростає приблизно на 5–10 %. Це може бути пояснено на основі сучасних уявлень про формування наклепу у надтонких поверхневих шарах після шліфування.

Як показано у роботі [1], наклеп є результатом взаємодії силового та температурного факторів обробки. Тому, незважаючи на те, що зі збільшенням глибини шліфування суттєво (у 2–5 разів) зростають сили різання P_z і P_y , які обумовлюють збільшення пластичного деформування, процес шліфування супроводжується інтенсивним відпочинком внаслідок відповідного підвищення температур у зоні різання.

З табл. 1 виходить, що на шорсткість поверхні найбільше впливають зернистість і зв'язка круга. Зменшення розміру зерна для кругів на зв'язці Б1 з 80 до 14 мкм веде до зменшення шорсткості поверхні приблизно з $R_a = 0,450$ мкм до $R_a = 0,200$ мкм.

Застосування дрібнозернистих шліфувальних кругів на еластичних зв'язках типу Бр дозволяє досягти шорсткості близько $R_a = 0,05$ – $0,10$ мкм, а при застосуванні виходжувальних проходів – $R_a = 0,04$ – $0,042$ мкм. Шліфування різних за складом пермалоїв алмазними та ельборовими кругами ідентичних характеристик забезпечує практично однакову висоту мікронерівностей.

Застосування крупнозернистих кругів на більш жорсткій зв'язці у порівнянні зі зв'язкою Бр веде до збільшення ступеня наклепу поверхневого шару і, як наслідок, до різкого зменшення рівня початкової магнітної проникності μ_0 [1].

Результати експериментів показують, що ступінь наклепу поверхневого шару після шліфування ельбором, яка була виміряна металографічним методом (вимірами мікротвердості) з урахуванням похибки вимірювання, практично не відрізняється від ступеня наклепу після алмазного шліфування кругами аналогічної характеристики.

З підвищенням швидкості переміщення виробу шорсткість і ступінь наклепу поверхні збільшуються несуттєво, незалежно від характеристики шліфувального круга та типу абразивного матеріалу (див. табл. 2), що пояснюється зростанням складових сил різання, особливо її нормальної складової.

Ступінь наклепу поверхневого шару при шліфуванні високопористими кругами типу Э9А10СМ2К16 та дрібнозернистими типу 63СМ14СМ2Гл вище, ніж при шліфуванні алмазними та ельборовими кругами.

Процес різання абразивними кругами, у яких зерна мають більші радіуси округлення і кути загострення при вершині зерен, ніж у алмаза та ельбора [7], веде до зростання роботи пластичної деформації при різанні і, відповідно, до зростання ступеня наклепу поверхневих шарів.

Згідно з сучасними уявленнями якості поверхневого шару різних матеріалів, у тому числі і магнітном'яких, оцінюється параметрами шорсткості і мікротвердості [9], [12]. Ступінь наклепу, встановлений методом мікротвердості, не характеризує весь поверхневий шар матеріалу, у якому відбулись структурні зміни при шліфуванні. Результати експериментів, наведені у табл. 3, підтверджують цю гіпотезу.

Таблиця 3

Вплив характеристики круга на параметр шорсткості поверхні R_a , ступінь наклепу $H_d/H_{d,вих}$ [$B_{(311)пов}/B_{(311)вих}$] і величину втрат I при плоскому шліфуванні пермалою $\delta 1НМТ$ ($v_{кр} = 20$ м/с; $v_с = 0,05$ м/с; $S_n = 0,3$ мм/хід стола; $t_d = 0,01$ мм; без виходжування; МОС – 3 %-й розчин соди у воді)

Характеристики круга	R_a , мкм	$H_d/H_{d,вих}$	$\frac{B_{(311)пов}}{B_{(311)вих}}$	Втрати, I, мкА
Э9А10СМ2К16	0,450	1,70	2,3	80
АСО6Б1 100 %	0,200	1,90	3,3	70
63СМ14СМ2Гл	0,120	1,30	1,8	65
АСМ14Бр1 100 %	0,080	1,15	1,8	60
ЛМ14Бр1 100 %	0,070	1,12	1,5	50

Аналіз табл. 3 показує, що ступінь наклепу поверхневого шару, що встановлена методом рентгеноструктурного аналізу [$B_{(311)пов}/B_{(311)вих}$] для зразків з пермалою, які оброблені високопористими кругами, більший, ніж при шліфуванні крупнозернистим алмазним кругом, у той час як виміри мікротвердості показують протилежне.

Рівень втрат I у поверхневому шарі зразків, які були прошліфовані кругом Э9А10СМ2К16, також більші, ніж у зразках після шліфування кругом АСО6Б1. Це явище може бути пояснено тим, що при шліфуванні пермалою абразивним кругом на жорсткій зв'язці, наприклад, керамічній, виникають високі контактні температури, у тонкому поверхневому шарі зразка відбувається відпочинок і рівень поверхневої мікротвердості знижується.

У табл. 4 наведено результати експериментів.

Таблиця 4

Вплив характеристики круга на величину навантаження на одиначне зерно шліфувального круга і миттєву контактну температуру при плоскому шліфуванні сплаву 81НМТ ($v_{кр} = 20$ м/с; $v_в = 0,05$ м/с; $t_н = 0,01$ мм; МОС – 3 %-й розчин соди у воді)

Характеристики круга	Навантаження на зерно, Н		Миттєва контактна температура, °С
	P_z	P_y	
Э9А10СМ2К16	2,400	3,600	650
63СМ14СМ2Гл	0,030	0,045	110
АСМ14Бр1 100 %	0,003	0,034	100
ЛМ14Бр1 100 %	0,002	0,017	105

Аналіз таблиць 3, 4 показує, що при шліфуванні сплаву 81НМТ кругами АСМ14Бр1 ступінь наклепу і рівень втрат вищий, ніж при шліфуванні кругами з ельбору.

Зерна ельбору мають більш розвинуту ріжучу поверхню, ніж зерна алмазу [13]. Саме тому, що при шліфуванні ельбором превалює деформація зрізу, робота пластичної деформації зменшується і робота диспергування металу збільшується, а це, відповідно, веде до зменшення навантаження на ріжучі зерна (див. табл. 4), зниження рівня втрат і ступеня наклепу поверхневого шару.

При шліфуванні пермалою алмазними та ельборовими кругами миттєві контактні температури не перевищують 110 °С, тобто вони нижчі за точку Кюрі для даного матеріалу.

Аналогічні результати отримані при шліфуванні сплавів алфенолового класу 16ЮИХ (Україна) і Alfo (Японія) кругами з алмазу і ельбору ідентичних характеристик.

Наведені експериментальні дані дозволяють зробити висновок про безумовні переваги алмазного та ельборового шліфування у порівнянні з абразивним шліфуванням магнітном'яких сплавів і виробів з них. Перевірка цього положення при шліфуванні магнітних головок кругами АСМ14Бр1 показала, що алмазне шліфування несуттєво спотворює форму магнітного поля робочого зазору, а при роботі на високих частотах (60–110 кГц) забезпечуються кращі параметри у порівнянні зі зразками, обробленими кругами 63СМ14СМ2Гл.

Збільшення відповідної крутизни поля, що є безумовно позитивним фактором, пояснюється меншим рівнем ступеня і глибини наклепу, а також більш крутим градієнтом змін магнітної проникності μ_0 у наклепаній зоні.

При обробці магнітних головок побутової техніки (магнітофони, магнітоли, відеомагнітофони тощо) відмічено суттєве зменшення коливань робочих параметрів магнітних головок по індуктивності і струму намагнічування. Це дозволяє не виконувати операції прецизійної доводки виробів після тонкого алмазного шліфування кругами типу АСМ14Бр1100 %, що сприяє зменшенню трудомісткості та відповідному підвищенню продуктивності праці.

Висновки:

1. Ступінь наклепу та шорсткість поверхні деталей із магнітном'яких матеріалів після шліфування алмазом і ельбором визначаються характеристикою круга – зернистістю і зв'язкою. Мінімальний наклеп та шорсткість поверхні можна отримати використанням дрібнозернистих алмазних та ельборових кругів на еластичних зв'язках типу Бр при швидкості виробу 0,05 м/с, швидкості круга 20 м/с, поперечній подачі 0,3–0,4 мм/хід стола та глибині різання близько 0,005 мм.

2. Невеликі навантаження на ріжучі зерна алмазних і ельборових кругів та низькі контактні температури при шліфуванні у порівнянні з абразивними кругами забезпечують високу якість поверхневого шару, знижують коливання електроакустичних параметрів і поліпшують частотні характеристики магнітного поля зразків виробів з магнітном'яких матеріалів.

3. Шліфувальні круги з ельбору забезпечують дещо менший наклеп поверхні, що обробляється, ніж аналогічні за характеристиками алмазні круги.

4. Оцінка якості поверхневого шару магнітном'яких матеріалів після шліфування поряд з вимірюваннями мікротвердості та рентгеноструктурним аналізом може бути виконана за допомогою використання методу електромагнітних втрат.

5. У подальшому доцільним є теоретико-експериментальне дослідження застосування різних типів мастильно-охолоджуючих середовищ на параметри якості поверхонь магнітних матеріалів, а також їх впливу на продуктивність праці та економічні показники виробництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів. – Житомир: Житомирський державний технологічний університет, 2004. – 552 с.

2. *Гавриш А.П.* Финишная алмазно-абразивная обработка магнитно-мягких материалов. – К.: Вища школа, 1983. – 64 с.
3. *Бозорт Р.* Ферромагнетизм. – М.: ИЛ, 1996. – 812 с.
4. *Гавриш А.П.* Алмазно-абразивная обработка материалов. К.: Знание, 1979. – 24 с.
5. *Хрульков В.А.* Механическая обработка изделий из магнитных материалов. – М., Машиностроение, 1986. – 198 с.
6. *Гавриш А.П.* Шлифование и доводка магнитных материалов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 117 с.
7. *Гавриш А.П., Содатенко Л.А.* Высокие технологии при шлифовании магнитномягких материалов // Резание и инструмент. – 1997. – № 51. – С. 32–37.
8. Алмазные инструменты и их применение в машиностроении / М.С. Семко, В.А. Качер, А.С. Раб, М.Д. Узунян. – Харьков: Прапор, 1965. – 312 с.
9. Рациональная эксплуатация алмазного инструмента. М.: Машиностроение, 1965. – 278 с.
10. *Бакуль В.Н.* Определение числа частиц в одном карате алмазного порошка. – К.: УкрНИИИНТИ, 1969. – 52 с.
11. *Дорофеев А.Л.* Электроиндуктивная дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1967. – 246 с.
12. *Хрульков В.А.* Механическая обработка изделий из магнитных материалов в приборостроении. – М.: Машиностроение, 1966. – 212 с.
13. Исследование развитости поверхности зерен алмаза, боразона, электрокорунда / Е.В. Бескровная, В.А. Луктюшин, В.А. Ольхов и др. // Новое в технологии машиностроении: Сб. науч. тр. – Волгоград: Волгоградская правда, 1968. – С. 27–37.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- фінішна обробка матеріалів;
- автоматизація технологічних процесів.

Тел.: роб.: (044) 241–96–84;

дом.: (044) 424–11–66.

Подано 15.03.2006