

УДК 621.923.04

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.

О.О. Мельник, аспір.

Національний технічний університет України «КПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ СПЕЦІАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті розглянуто основні принципи та проблематика магніто-абразивної обробки, її технічні засади та описується експериментальне визначення сили різання P_z , що діє в процесі оброблення між зерном і заготовкою. Наведено схему експериментально-виміральної установки, а також розглянуто результати проведених досліджень.

Вступ. У машинобудівних галузях промисловості з широким розповсюдженням верстатів з ЧПУ поступово все менше уваги приділяється початковим етапам оброблення деталей. Це обумовлено точністю та надійністю застосовуваного технологічного обладнання. Але етапи фінішної обробки деталей, як і раніше, потребують найбільшої уваги від технологів та виробників. Тому будь-який сучасний метод обробки на цих етапах є актуальним і його дослідження дозволяє покращити якість виробництва, зменшити затрати на собівартість, а також в деяких випадках відмовитися від використання висококваліфікованої робочої сили. Одним з таких методів є метод магніто-абразивної обробки [1].

Постановка задачі. Чистова обробка деталей в магнітному полі феромагнітними порошками безумовно є методом фінішної обробки [2, 3]. Завдання його дослідження та вивчення його можливостей застосування в сучасному виробництві є вкрай важливою для розвитку сучасної машинобудівної галузі.

Мета роботи. В результаті аналізу експериментальних даних з обробки сталей в магнітному полі можна прийти до висновку про можливість застосування даного способу для фінішної обробки деталей із спеціальних матеріалів. Даних по силовій динаміці магніто-абразивної обробки магніт'яких матеріалів у літературі майже немає. Тому метою даної роботи є експериментальне вивчення сил, що виникають в процесі обробки, і залежність їх від основних технологічних параметрів процесу. Вивчення динаміки процесу також необхідне для розкриття суті даного методу обробки, тобто впливи його на магнітні характеристики і фізико-механічні властивості поверхневого шару спеціальних матеріалів. Питання про динаміку процесів магніто-абразивної обробки головним чином повинно вирішити проблему про взаємозв'язок тиску феромагнітного порошку на оброблювану поверхню і основними параметрами процесу при будь-якому вибраному режимі.

Дослідження цього питання виконується в рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології отримання і обробка композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації» (Державна науково-технічна програма МОН України № 2140-п).

Основна частина. Теоретичний розгляд процесу магніто-абразивної обробки, характеру контакту зерен феромагнітного порошку і оброблюваної поверхні деталі являє значні труднощі. Це пов'язано з динамічним характером процесу даного способу. При магніто-абразивній обробці кожне зерно феромагнітного порошку знімає мікростружку, будучи «мікрорізом». Тому, очевидно, силу різання одиничним абразивним зерном можна розкласти на три складові. Зі схеми, зображеної на рис. 1, видно, що при дії одиничного абразивного зерна на оброблювану поверхню, незалежно від напрямку і величини сили притиску, з'являється сумарна сила мікрорізання P , яку розкладаємо по координатних осях x , y , z . У роботах [1–3] оцінені сили нормального тиску P_y і наведена емпірична формула для визначення цієї сили, мН:

$$P_y = kVB\Delta B \left(\frac{\mu^2}{\mu(\mu + 2\mu')^2} \right), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу; V – об'єм зерна, мм^3 ; B – магнітна індукція в даній точці поля, Вб/м ; ΔB – градієнт магнітної індукції в даній точці поля, Вб/м ; μ , μ' – магнітна проникність кермета і феромагнітного порошку, Г/м .

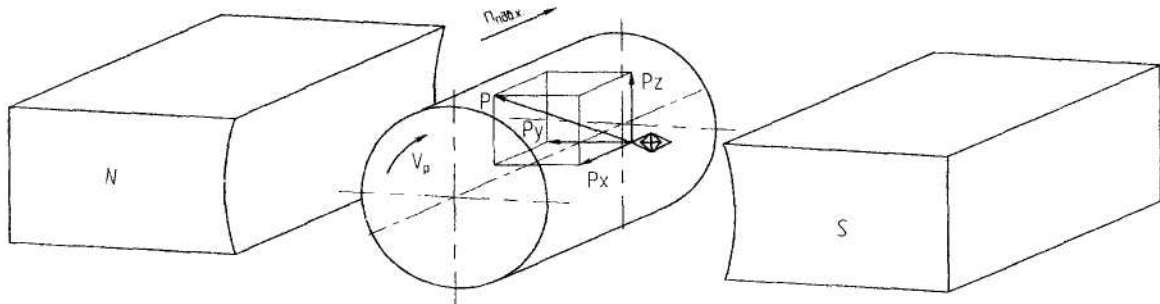


Рис. 1. Схема розкладання схеми сили різання одного абразивного зерна при магнітно-абразивній обробці

Тому в даній роботі було поставлено завдання експериментально визначити силу P_z . Для цього була спроектована і виготовлена спеціальна тензодинамометрична оправка, зображено на рис. 2, в якій забезпечена рівність моментів, що діють на неї, $M_{кр} = M_{різ}$, отже пружні деформації балки будуть пропорційні моменту $M_{різ}$.

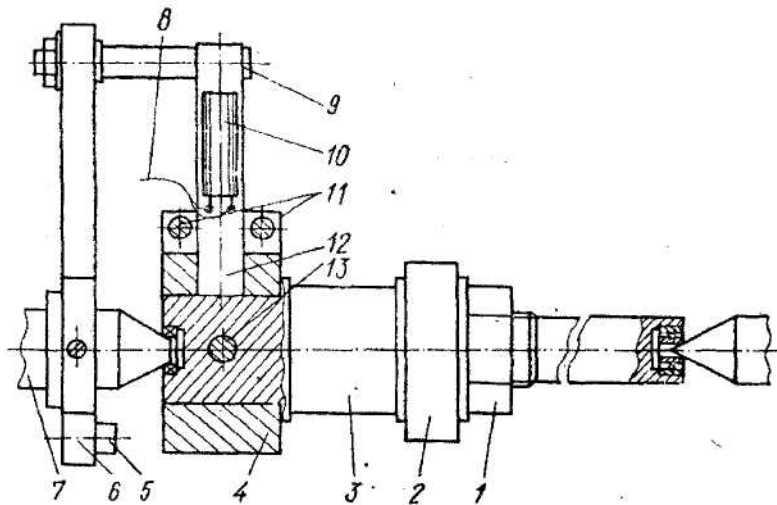


Рис. 2. Тензодинамометрична оправка

На корпусі 3 оправки закріплений зразок 2 гайкою 1. Балка 12 розміщена у прорізі вставки 4 і закріплена в ній двома гвинтами 11. Вставка кріпиться на корпусі штифтом 13. Тензорезистори 10 наклеєні на балці клеєм циакрін і потім герметизовані епоксидним клеєм. Сполучуючі проводи 8 від тензорезисторів через отвір в передньому центрі 7 виводяться до струмознімача. Крутний момент через кінематичний ланцюг установки за допомогою планки 6 і повідкового пальця 9 передається на тензодинамометричну оправку. Планка з повідковим пальцем і оправкою в зібраному вигляді статично балансується противагою 5. Корпус оправки виготовлений із сталі 45, балки – на пружинній сталі 65Г, а вставка – з немагнітної сталі X18H10Г (щоб виключити вплив магнітного поля на результати вимірювань).

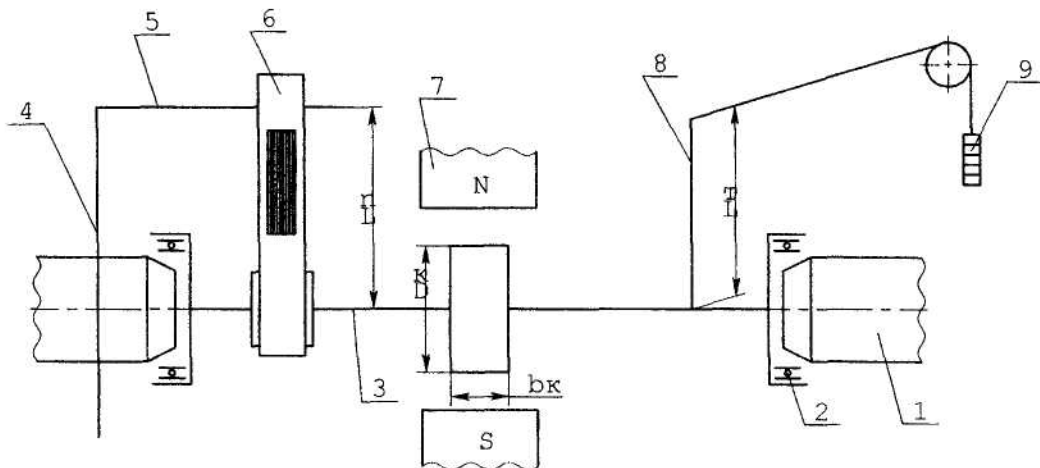


Рис. 3. Схема тарування тензометричної оправки, довжина плеча $L_n = 50$ мм, довжина тяги $L_m = 135$ мм, діаметр кільця $D_k = 35,5$ мм, ширина кільця $b_k = 11$ мм

Тензодинамометрична оправка 3 (рис. 3) тарувалася механічним методом безпосередньо в зоні дії магнітної системи 7. Для цього важіль 8 закріплювався в корпусі оправки і за допомогою вантажу 9 прикладався крутний момент до оправки, закріпленої в передньому і задньому центрах 1, встановлених на підшипниках 2.

Для того, щоб оправка була в рівновазі, до неї був прикладений момент $M_{кр}$ із зворотним знаком, який передавався від кінематичного ланцюга установки через планку 4, повідковий палець 5 і тензометричну пластину 6. Таким чином тензометрична пластина навантажувалася згинальним моментом заданої величини. На кожному тарувальному ступені на короткий момент часу включався тумблер «Зйомка»; фіксуючи отримувані відхилення світливши на осцилографічний папір УФ-67. На підставі отриманих даних був побудований тарувальний графік, який зображений на рис. 4. По осі абсцис відкладено відхилення світлового променя h , а по осі ординат – сила P_z .

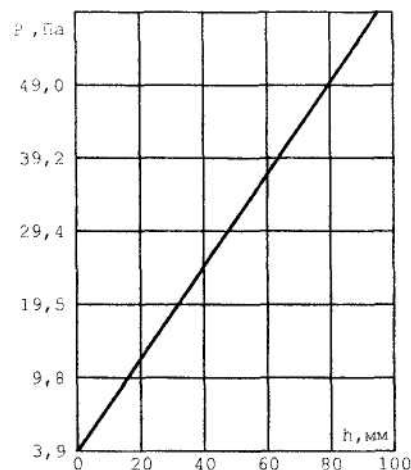


Рис. 4. Тарувальний графік

Динаміка процесу магнітно-абразивної обробки досліджувалася за допомогою тензодинамометричної установки, схема якої дана на рис. 5. Для посилення електричних сигналів, які надходять з виходу тензополумоста, застосовувався тензопідсилювач УТ4-1, що має смугу вимірюваних частот 0-2000 Гц. Досліджуваний сигнал записувався на світлопроміневому осцилографі Н117/1. Електричні сигнали з тензорезисторів, розташованих на затисненій балці, що обертається, подавалися на вхід тензопідсилювачу за допомогою нерухомого струмознімача, який сполучений з тим, що обертається. Використовувалися тензорезистори типу 2ФКПА-20-200ГВ. Підсилювач отримував живлення від мережі напругою 220 В, а осцилограф – від блока живлення типу П13З, який живиться від мережі з напругою 220 В.

Магнітна індукція в робочому зазорі вимірювалася теслаамперметром Ф4354/1. Кількість обертів тензодинамометричної оправки контролювалася лічильником імпульсів типу Ф588.



Рис. 5. Схема тензодинамометричної установки

Час обробки робочого циклу встановлювався за допомогою реле часу ВЛ-23У4, включеного в електричну схему установки. Сила P_z визначалася за її середнім арифметичним значенням, отриманим з п'яти дослідів, за якими і будувалися відповідні графіки.

При дослідженні сили P_z використовувався порошок ПОЛІМАМ-Т1 фракції $\Delta = 63...200$ мкм скалистої форми, зазор мав еквідистантну форму, коефіцієнт заповнення робочого зазору $k = 1$, початкова шорсткість оброблюваної поверхні характеризується параметром $Ra = 0,5$ мкм, як МОР застосовувався аквол Ю-5 %. Досліджувані чинники, їх розмірність і рівні варіювання дані в табл. 1. Для знаходження лінійної моделі використовувався план першого порядку – дріб факторний експеримент типу 2^{4-1} . Матриця планування і результати експериментів наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Фактор	Кодове позначення	Рівні варіювання		
		-1	0	+1
Магнітна індукція в робочому зазорі В, Т	X1	0,5	0,75	1
Швидкість різання V_p м/хв.	X2	90	112	134
Частота осциляції п дв. х/хв.	X3	300	400	500
Робочий зазор δ , мм	X4	1	1,5	2

Таблиця 2

№ фактора	x_1	x_1	x_1	x_1	y_1	y_1	
1	-	-	-	-	3,84	4,08	3,96
2	+	-	-	+	2,72	2,97	2,84
3	-	+	-	+	2,72	3,21	2,96
4	+	+	-	-	4,22	4,44	4,33
5	-	-	+	+	2,84	3,09	2,96
6	+	-	+	-	3,58	3,96	3,77
7	-	+	+	-	3,32	3,84	3,58
8	+	+	+	+	3,02	2,79	2,90
9	0	0	0	0	3,32	3,58	3,45

При математичній обробці експериментальних даних була отримана лінійна модель сили вигляду:

$$P_z = 7,23 - 2,52B - 0,017v_p - 0,01n_{\text{цдв.х.}} - 0,99\delta + 0,022Bv_p \quad (2)$$

Було зазначено, що на силу P_z сильно впливає магнітна індукція в робочому зазорі та величина останнього. З цією метою були проведені додаткові дослідження. При визначенні залежності сили P_z від магнітної індукції в робочому зазорі була стабілізована решта всіх параметрів режимів обробки. За даними експерименту побудований графік $P_z = f(B)$, який зображений на рис. 6, а. З графіка видно, що зі збільшенням магнітної індукції сила P_z зростає.

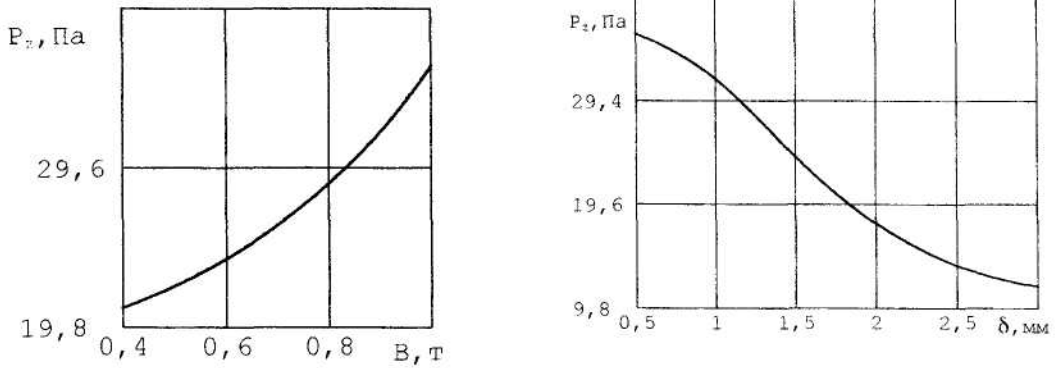


Рис. 6. Зміна сили P_z залежно від магнітної індукції B (а) і величини робочого зазору (б)

При визначенні впливу робочого зазору на силу P_z були стабілізовані всі параметри режимів обробки, окрім величини зазору. За наслідками експерименту побудований графік $P_z = f(\delta)$ (рис. 6, б), з якого видно, що при збільшенні робочого зазору сила P_z зменшується.

На підставі даних експериментів встановлена емпірична залежність:

$$P_z = CB^\alpha v_p^\beta n_{\text{цдв.х.}}^\lambda \delta^\varphi \quad (3)$$

коefficientи якої обчислювалися за методом найменших квадратів. Всі розрахунки проводилися на персональному комп'ютері. Після відшукування параметрів α , β , λ , φ та C рівняння (3) прийняло вигляд:

$$P_z = 14,44B^{0,846} v_p^{-1,38} n_{\text{цдв.х.}}^{1,008} \delta^{-1,26} \quad (4)$$

Структурна схема коефіцієнта C показана на рис. 7, з неї видно, які складові елементи, входять до складу коефіцієнта C .

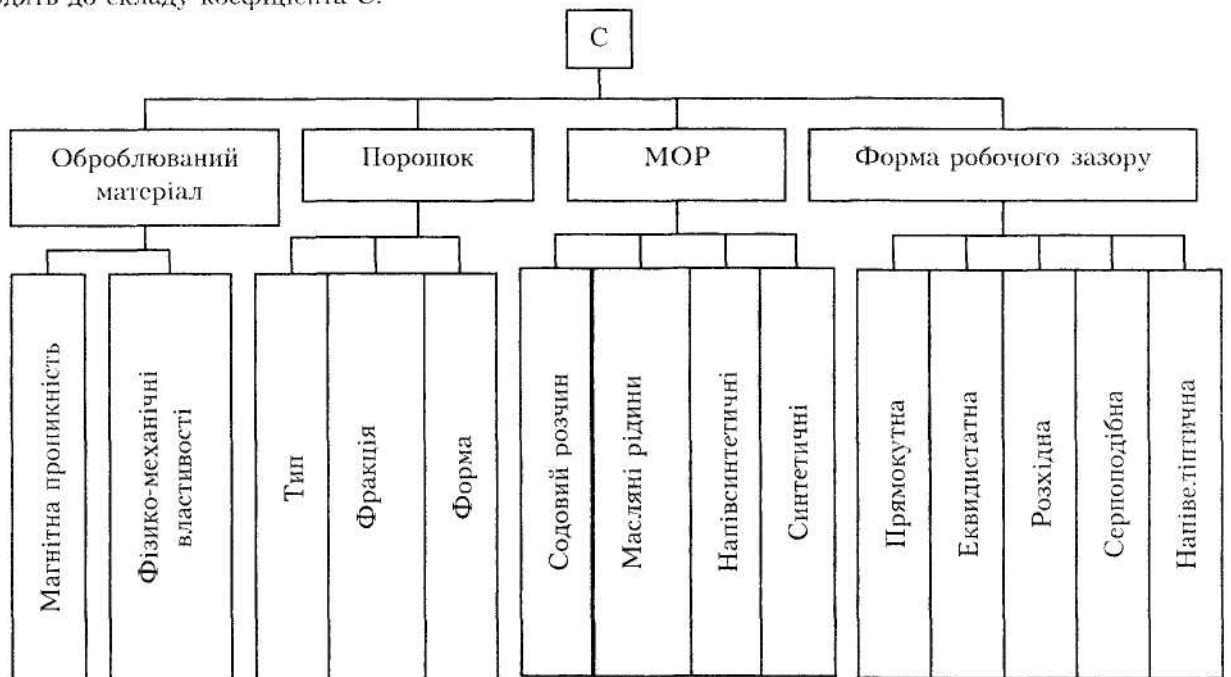


Рис. 7. Структурна схема коефіцієнта C

Висновок. Отримана формула (4), що дає можливість аналітично розрахувати силу P_2 , що виникає при обробці магнітно-м'яких матеріалів, залежно від основних технологічних чинників магнітно-абразивної обробки. Даний метод обробки доцільно використовувати для матеріалів, що мають спеціальні електрофізичні властивості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Технологія обробки магнітних матеріалів: Навчально-довідниковий посібник для студентів спеціальностей 7.090202 «Технологія машинобудування». 7.090203 «Металорізальні верстати та системи». – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 484 с.
2. Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: Монографія. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 404 с.
3. Сакулевич Ф.Ю. и др. Магнито-абразивная обработка точных деталей. – Минск: Вышэйш. Школа, 1977. – 288 с.
4. Патент 6,036,580 США. Method and device for magnetic-abrasive machining of parts / Leonid Igelshteyn, Manalapan; Savva Feygin, Manalapan, both of N.J.; Gennady Kremen, Brooklyn, N.Y. / Date of Patent: Mar. 14, 2000.
5. Патент 5,957,753 США. Magnetic float polishing of magnetic materials / Ranga Komanduri, Ming Jiang, both of Stillwater, Okla / Date of Patent: Sep. 28, 1999.
6. Патент МПК В24В 31/112 В.С. Майборода, В.М. Гейчук, А.А. Лисенко / Установка для магнито-абразивной обработки труб та прудків НУТУ "КПІ" / Україна / 15.08.2006.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України, доктор технічних наук, заслужений професор Національного технічного університету України «КПІ», академік Академії інженерних наук України.

Наукові інтереси:

- автоматизація виробничих процесів;
- механічна обробка високолегованих матеріалів для ракетної та аерокосмічної техніки.

МЕЛЬНИК Олена Олексіївна – аспірантка кафедри технології машинобудування, асистентка Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- фінішні процеси оброблення деталей у машинобудуванні.
- E-mail: ml@mlhelen@volia.com

Подано 15.01.2008