

МАЙБОРОДА В. С., ДЖУЛІЙ Д. Ю., ЗАСТАВСЬКИЙ К. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ ОПОРУ З БОКУ ПОРОШКОВОГО СЕРЕДОВИЩА НА РУХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕНІ В КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ

Досліджено вплив технологічних параметрів процесу магнітно-абразивного оброблення (МАО) на сили опору руху деталей різних розмірів і форми, виготовлених з феро- і парамагнітних матеріалів які діють з боку фероабразивного порошкового середовища, сформованого з різних порошоків в магнітно-абразивний інструмент (МАІ). Визначено особливості взаємодії

структурних елементів МАІ з оброблюваними поверхнями. Встановлено вплив напруженості магнітного поля на сили опору руху деталей різних розмірів і форми в МАІ. Показано, що процес взаємодії МАІ з оброблюваними поверхнями зразків з характерними розмірами до 12 мм у кільцевій ванні шириною 35 мм відбувається в режимі "вільного обтікання", в той час, як МАО зразків з характерними розмірами більше 12 мм відбувається в режимі "обтікання" і "заклинювання" представницьких об'ємів МАІ між полюсним наконечником і оброблюваною поверхнею – в зоні сформованої малорухомої мертвої зони.

Зі зростанням розмірів частинок МАІ від 200/100 мкм до 400/315 мкм відносна величина, на яку має місце збільшення сил опору, складає 1,25–1,65, що пояснюється більшою величиною намагніченості крупніших порошоків і їх утворень в складі МАІ і відповідно більшою його жорсткістю.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, магнітно-абразивний інструмент, великий магнітний зазор, сила опору, деталі з пара- феромагнітних матеріалів, напруженість магнітного поля.

MAIBORODA V. S., DZHULII D. Yu., ZASTAVSKIY K. O.

INVESTIGATION OF THE DRAG FORCES FROM THE SIDE OF THE POWDER ENVIRONMENT ON THE PARTS MOVEMENT DURING THE MAGNETO-ABRASIVE FINISHING IN THE ANNULAR BATH

The influence of the technological parameters of the magneto-abrasive finishing (MAF) process on the drag forces to the parts movement of different sizes and shapes, made of ferro- and paramagnetic materials, which act from the side of the ferro-abrasive powder medium formed from various powders in the magneto-abrasive tool (MAT) was investigated. The features of the interaction of the structural elements of the MAT with the surfaces being finished are determined. The influence of the magnetic field strength on the drag forces of the movement of the parts of different sizes and shapes in the MAT was established. It was shown that the process of interaction of MAT with the surfaces of samples being finished with characteristic dimensions up to 12 mm in the annular bath with a width of 35 mm occurs in the "free flow around" mode, while the MAF of samples with characteristic dimensions larger than 12 mm occurs in the "flow around" and "jamming" mode of representative volumes of the MAT between the pole tips and the surface being finished – in the zone of the formed little moving dead zone.

With the increase in the size of the MAT particles from 200/100 μm to 400/315 μm , the relative value by which the drag forces increase is 1.25–1.65, which is explained by the greater magnetization of larger powders and their formations in the composition of the MAT and, accordingly its greater rigidity.

Keywords: magneto-abrasive finishing, magneto-abrasive tool, large magnetic gap, drag force, parts made of para- and ferromagnetic materials, magnetic field strength.

Ефективне використання магнітно-абразивного оброблення (МАО) на фінішних операціях виготовлення деталей складної форми, коли доцільним є застосування верстатів з великими магнітними зазорами неможливе без вичерпної інформації про особливості формування магнітно-абразивного інструменту (МАІ), його структурування, знання умов при яких відбувається нівелювання структурних елементів МАІ відносно оброблюваних поверхонь. При цьому важливо враховувати форму і розміри оброблюваних виробів, траєкторію і особливостей їх переміщення в робочих зонах, які зазвичай мають кільцеву форму і можуть бути певної ширини і різної форми в поперечному перерізі.

Зазначені фактори в значній мірі будуть визначати продуктивність процесу МАО і здатність забезпечувати відповідну якість, які залежать від умов оброблення, нормальних і тангенціальних сил, що виникають в зонах контакту МАІ – оброблювана поверхня. Теоретичний аналіз, виконаний із застосуванням розрахунків величин інтегральної інтенсивності процесів МАО складнопрофільних деталей, таких як свердла, мітчики, лопатки ГТД дозволили встановити раціональні значення співвідношення від дії прогнозуємих нормальних і тангенціальних складових сил, які виникають при МАО [1–6]. Виконані модельні експериментальні дослідження на деталях простої форми – циліндричні зразки різних розмірів і з різних матеріалів дозволили визначити реальні значення питомих сил тертя, які виникають при МАО різними магнітно-абразивними порошками при різних умовах МАО [7].

Дослідження сил лобового опору, які виникають при МАО аналогічних зразків, наведені в [8, 9] показали, що важливими факторами є магнітні властивості матеріалів зразків, виготовлених з магнітних (феромагнітних) і немагнітних (пара- і діамагнітних) матеріалів. Наприклад, для зразків з немагнітних матеріалів, таких як Д16Т, БрОЦ, ВТ8 вони практично однакові в наведених межах зміни умов МАО і не відрізняються для різних розмірів зразків. Експериментальні дослідження показали відсутність суттєвої різниці в значеннях лобового опору при МАО зразків виготовлених як з магнітних, так і немагнітних матеріалів для швидкостей переміщення в діапазоні 1–3 м/с. Важливо відзначити, що мають місце специфічні особливості формування МАІ при визначенні сил опору, що виникають при МАО зразків з магнітних матеріалів у порівнянні з немагнітними і пов'язані з силами магнітного походження, пондеромоторними силами [9], що потребує їх більш ретельного аналізу.

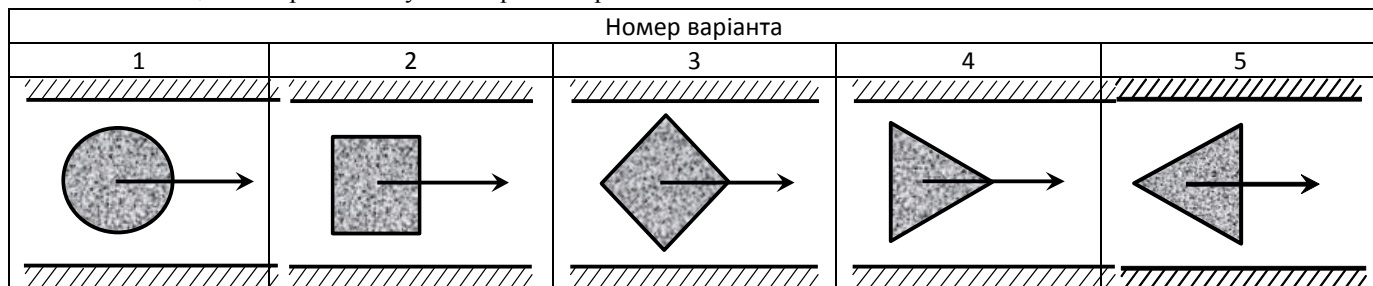
Зважаючи на вищезазначене метою роботи було визначення умов МАО (швидкості оброблення, типу і розмірів використаних магнітно-абразивних порошоків, напруженості магнітного поля), форми і розмірів зразків з магнітних і немагнітних матеріалів на сили опору і визначення механізмів взаємодії окремих груп частинок, з яких формується при МАО магнітно-абразивний інструмент, з оброблюваними поверхнями.

Експериментальні дослідження проводили на установці типу кільцева ванна [4, 10] з шириною робочої зони 35 мм і висотою 30 мм. Установка має вимірювальний модуль і блок для фіксації реальних значень сил опору, що виникають з боку МАІ при МАО досліджуваних зразків.

В якості зразків використовували стовбчасті елементи висотою 30 мм виготовленні з феромагнітної сталі 40Х13 і немагнітного сплаву ВТ8. В поперечному перетині зразки мали круглу форму – циліндри з діаметром 8, 12 і 16 мм, – рівнобічний трикутник з довжиною сторони 8, 12 і 16 мм, – квадрат з довжиною сторони 8, 12 і 16 мм.

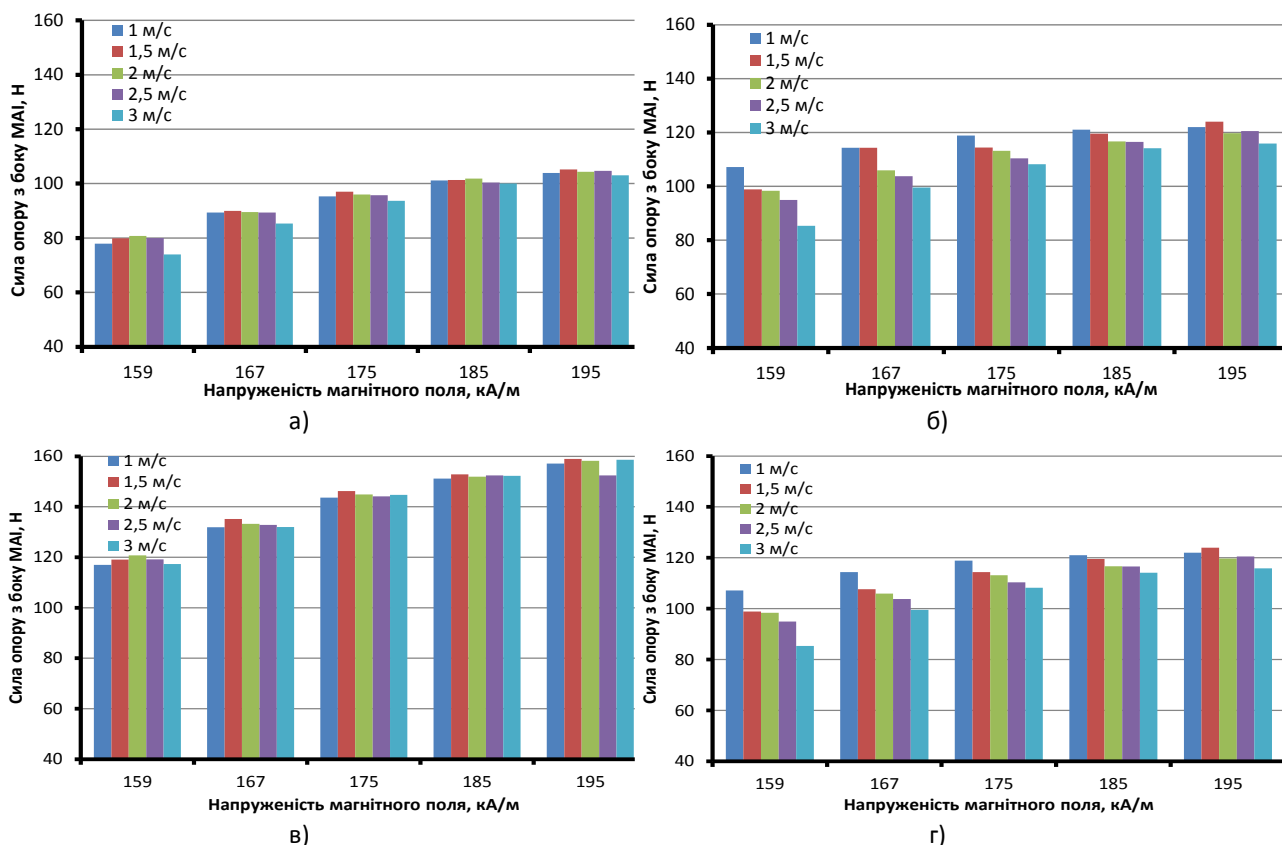
При дослідженнях зразки розташовували в вимірювальному пристосуванні в середній частині робочого зазору установки. Варіанти базування зразків по відношенню до напрямку руху в кільцевій ванні представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти базування зразків в робочій зоні



В якості магнітно-абразивних порошків використовували рівновісні оскольчасті порошки Феромап з розміром частинок 200/100 і 400/315 мкм та округлі рівновісні порошки Полімам-М аналогічних розмірів [10, 11]. Коефіцієнт заповнення робочої зони дорівнював 0,8. Для відновлення форми і властивостей МАІ в процесі оброблення і підтримання його в стабільному стані застосовували відновлювальний елемент [4, 12]. Процес МАО здійснювали при швидкостях переміщення зразків в кільцевій ванні, яка змінювалась в діапазоні 1–3 м/с при напруженості магнітного поля в робочому зазорі 0–200 кА/м.

Експериментальні дослідження зміни сил опору в залежності від швидкості переміщення в процесі МАО зразків різної форми, розмірів та виготовлених з магнітних і немагнітних матеріалів дозволили підтвердити попередні результати досліджень, виконаних на циліндричних зразках [13]. Характерні гістограми зміни сил опору при різних швидкостях переміщення зразків різних розмірів і за умов різних варіантів їх базування в робочому зазорі при дослідженнях наведено на рис. 1.



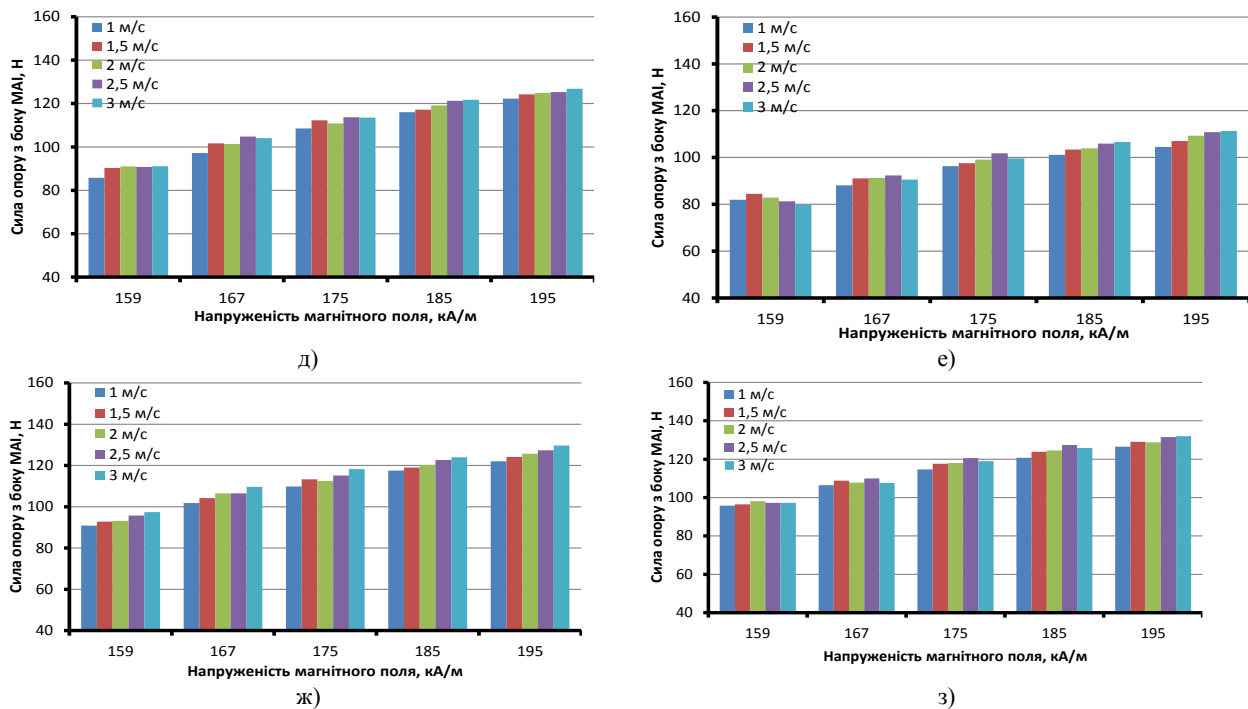


Рис. 1 – Гістограми зміни сил опору з боку МАІ при MAO зразків з поперечними перерізами у вигляді циліндру – а), б), квадрата в), г) і трикутника – д), е), ж), з) з характерним розміром 8 мм – а), 12 мм – б), в), г), 16 мм – д), е), ж), з), виготовлених з ферромагнітного – а), б), г), е), з), немагнітного – а), в), д), ж) матеріалів при різних варіантах їх базування в робочих зазорах – варіант 1 – а), б), 2 – в), г), 5 – д), е), варіант 4 – ж), з), порошками Полімам-М (400/315 мкм – а), в), Полімам-М (200/100 мкм) д), ж), Ферромап (400/315 мкм) – б), г), Ферромап (200/100 мкм) е), з) при різних швидкостях MAO і напруженості магнітного поля в робочому зазорі

Підтверджено [8, 9, 13], що швидкість MAO майже не впливає на сили опору з боку МАІ, що діють на оброблювані зразки в досліджуваному діапазоні їх швидкостей переміщення, тому при подальшому аналізі результатів вимірювань з певною точністю можна використовувати середні значення сил опору для діапазону швидкостей переміщення зразків 1–3 м/с.

Аналіз впливу розмірів частинок магнітно-абразивного матеріалу показав, що при використанні порошків з розміром частинок 400/315 мкм при обробленні як магнітних, так і немагнітних зразків величина сил опору як правило більша ніж при MAO порошками з розміром частинок 200/100 мкм. Відносна величина на яку збільшуються сили опору зі зростанням розмірів частинок МАІ складає при використанні порошку Полімам-М 1,25–1,65, а порошку Феромап – 1,25–1,5, що є достатньо близькими значеннями. Більші величини лобового опору, який створює при MAO МАІ, сформований з порошків Полімам-М, пояснюється більшою величиною намагніченості зазначених порошків і їх утворень у порівнянні з Феромап [10] і відповідно більшою жорсткістю магнітно-абразивного інструменту, більшою здатністю опиратися переформуванню під час MAO.

Результати експерименту показали, що для зразків циліндричної форми і у вигляді паралелепіпеду з квадратом в поперечному перерізі з характерним розміром 8 мм при варіантах їх базування в робочих зонах при MAO – 1, 2 та 3 (таблиця 1) сили опору, який створює МАІ при переміщенні, практично однакові як для магнітних, так і немагнітних зразків. Різниця в величинах отриманих результатів не перевищує похибки експерименту і змінюється від 20 до 110 Н в залежності від напруженості магнітного поля. Аналогічні результати мають місце при MAO зразків аналогічної форми з характерним розміром – 12 мм при варіантах їх базування в робочих зонах 1 та 2 і не перевищують 150 Н, а при варіанті базування – 3 сила опору дещо більша, але не перевищує величини 180 Н. Причому більші значення отримано при MAO магнітних зразків. Сили лобового опору з характерним розміром 16 мм і варіантом базування в робочій зоні – 5 практично однакові з величиною сил опору, отриманих на зразках з характерним розміром 12 мм. Проте має місце суттєве збільшення сил опору для зразків з характерним розміром 16 мм при варіанті їх базування 2 і 3, особливо виготовлених з магнітної сталі, які досягають 250–300 Н. Пояснення зазначеного факту полягає в особливостях структурування МАІ в робочих зонах і характером взаємодії структурних елементів МАІ з поверхнею зразків [4, 10, 12]. У випадку зазначених варіантів базування зразків з характерним розміром 16 мм в процесі MAO відбувається активне переміщення порцій порошку під дією динамічних сил в напрямку до полюсних наконечників. При цьому відбувається збільшення величини майже нерухої "мертвої зони" [4] до величини 10–12 мм, що утворюється біля поверхні полюсних наконечників. Особливо характерне таке збільшення величини "мертвої зони" при MAO ферромагнітних зразків, для яких в зазорі між поверхнею зразка і полюсним наконечником має місце концентрація магнітного потоку, підвищена на 20–30% величина магнітної індукції [8], що сприяє гальмуванню руху порошкових утворень, які рухаються перед зразком утворюючи фронт збурень в МАІ [4, 12]. При цьому в зазначеній зоні відбувається ущільнення порошку.

Зважаючи на вище відзначене можна припустити, що процес взаємодії МАІ з оброблюваними поверхнями зразків з характерними розмірами до 12 мм у кільцевій ванні шириною 35 мм відбувається в режимі "вільного обтікання", в той час, як МАО зразків з характерними розмірами більше 12 мм відбувається в режимі "обтікання" і "заклинювання" представницьких об'ємів МАІ між полюсним наконечником і оброблюваною поверхнею – в зоні сформованої малорухомої мертвої зони [4, 12], аналогічно процесу МАО, що реалізується в схемах з малими робочими зазорами [14, 15].

Встановлено, що сили лобового опору зразків різних розмірів, з різних матеріалів, за умов різних варіантів їх базування в робочій зоні певною мірою залежать від величини магнітної індукції в магнітних зазорах верстата. За умов достатньої точності (похибка не перевищує 7%) отримані залежності зміни величини сил опору від реальної величини магнітної індукції – з врахуванням величини відносної магнітної проникливості МАІ, що сформовано з певного магнітно-абразивного порошку можна апроксимувати лінійними функціями в досліджуваних діапазонах зміни технологічних параметрів процесу МАО. Такі функції мають вигляд $F_L = R_B \times B + F_0$, де B – величина магнітної індукції в робочих зазорах, F_0 – сила лобового опору при $B=0$ Тл, R_B – параметр, який показує вплив величини магнітної індукції – B на силу лобового опору F_L . Порівняння результатів, отриманих в результаті експериментальних досліджень, виконаних на зразках різних за розміром, формою, при різних варіантах їх базування в робочих зонах доцільно виконувати після перерахунку по відношенню до міделевого перерізу зразків, тобто визначення модуля питомого тиску МАІ на оброблювану поверхню в залежності від реальної величини магнітної індукції – $r_B = R_B/S$, де S – величина міделевого перерізу зразка, який піддається лобовому тиску. Значення параметрів r_B наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення параметрів r_B , МПа/Тл

Характерний розмір зразка, мм	Форма і варіант базування при МАО	Порошок магнітно-абразивний		Магнітні властивості матеріалу зразка	
		Тип	Розмір частинок, мкм	магнітний	немагнітний
				r_B , МПа/Тл	r_B , МПа/Тл
8	1	Полімам-М	200/100	1,1	1,33
			400/315	1,68	1,98
		Феромап	200/100	1,12	1,23
			400/315	1,57	1,6
	2	Полімам-М	200/100	1,16	1,32
			400/315	1,8	1,92
		Феромап	200/100	1,18	1,23
			400/315	1,66	1,51
12	1	Полімам-М	200/100	1,14	1,16
			400/315	1,53	1,63
		Феромап	200/100	1	0,93
			400/315	1,25	1,37
	2	Полімам-М	200/100	1,23	0,96
			400/315	1,74	1,38
		Феромап	200/100	1,24	1,02
			400/315	1,42	1,25
	3	Полімам-М	200/100	1,19	0,84
			400/315	1,36	1,27
		Феромап	200/100	1,1	0,84
			400/315	1,3	1,04
16	1	Полімам-М	200/100	1,39	1,04
			400/315	1,63	1,4
		Феромап	200/100	1,09	0,86
			400/315	1,33	1,04
	2	Полімам-М	200/100	1,58	1,41
			400/315	1,96	1,46
		Феромап	200/100	1,43	1,06
			400/315	1,77	1,39
	3	Полімам-М	200/100	1,4	1,04
			400/315	1,49	1,44
		Феромап	200/100	1,39	1,12
			400/315	1,5	1,34
	4	Полімам-М	200/100	1,16	1,02
			400/315	1,48	1,35
		Феромап	200/100	1,02	1,03
			400/315	1,31	1,04
	5	Полімам-М	200/100	0,92	1,02
			400/315	1,24	1,25
		Феромап	200/100	0,87	0,88
			400/315	1,25	1,24

Аналіз отриманих значень параметру r_B дозволив встановити, що найбільша величина r_B притаманна зразкам з квадратним поперечним перетином при варіанті 2 їх розташування в робочому зазорі при МАО. Пояснення цього факту полягає в тому, що на величину сил опору з боку МАІ і відповідно модуль питомого тиску впливають особливості взаємодії структурних елементів МАІ з оброблюваними поверхнями. Зазначенні особливості полягають в тому, що певна частина порошку зміщується з ущільненої зони перед зразком в зони між плоскою боковою поверхнею і полюсними наконечниками, де вже сформована малорухома мертва зона. При цьому відбувається не тільки збільшення її товщини, а підвищення в ній щільності порошкового середовища, що сприяє активізації ефекту заклинювання і, як наслідок, до зростання загальних сил опору з боку МАІ.

Висновок. Виконано дослідження впливу умов МАО, форми та розмірів магнітних та немагнітних зразків на сили опору, що діють на них під час руху вздовж робочого зазору верстата з великим магнітним зазором, та визначено механізм взаємодії окремих груп частинок МАІ з оброблюваними поверхнями. Сили лобового опору майже не залежать від швидкості переміщення вздовж робочого зазору, в досліджуваному діапазоні, а залежать певною мірою від магнітної індукції. Визначено, що при використанні порошків з розміром частинок 400/315 мкм величина сил опору більша ніж для порошків 200/100 мкм як для магнітних, так і для немагнітних зразків. Встановлено, що для зразків з характерним розміром до 12 мм взаємодія МАІ з оброблюваними поверхнями відбувається в режимі "вільного обтікання", а для зразків з розміром більше 12 мм – в режимі "обтікання" та "заклинювання" представницьких об'ємів МАІ між оброблюваними поверхнями та полюсними наконечниками в малорухомій зоні, аналогічно процесам, які відбуваються при схемах МАО з малими робочими зазорами. Визначено модуль питомого тиску в залежності від реальної величини магнітної індукції, найбільша його величина притаманна для зразка квадратного перетину при його розташуванні плоскою поверхнею відносно вектора руху.

Список літератури:

1. Майборода В. С. Магнітно-абразивна обробка осьового і кінцевого різального інструменту. 5. Дослідження впливу умов базування деталей на зміну геометричних характеристик різальних кромки свердел при магнітно-абразивній обробці / В.С. Майборода, Д.В. Хроновский, В.І. Солодкий, Н. В. Ульяненко / Наукові вісті НТУУ "КПІ", 2002. – №5. – С.69–73.
2. Джулій Д. Ю. Підвищення якості багатограничних непереточуваних твёрдосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Джулій Дмитро Юрійович. – Київ, 2014. – 175 с.
3. Тарган Д. В. Підвищення якості мітчиків із швидкохідальної сталі магнітно-абразивним методом: дис. ... док. філософії / Тарган Дмитро Валентинович. – Київ, 2021. – 165 с.
4. Майборода В. С., Слободянюк И. В., Джулій Д. Ю. Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы. Житомир: ПП "Рута", 2017. 272 с.
5. Гейчук В. М. Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 "Процеси механічної обробки, верстата та інструменти" / Гейчук Володимир Миколайович – Київ, 2012. – 40 с.
6. Майборода В. С. Особливості магнітно-абразивного оброблення твёрдосплавного інструмента з захисними фасками на різальних кромках / В. С. Майборода, Д.Ю. Джулій, І. В. Слободянюк, Ю. Й. Бесарабець // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Технології в машинобудуванні / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2022. – № 1 (5) 2022. – С. 66–73.
7. Майборода В. С. Особливості взаємодії магнітно-абразивного інструменту з оброблюваною поверхнею в умовах кільцевої ванни / Р. Б. Жук, В. С. Майборода, К.О. Заставський, Р. Б. Жук // Технічна інженерія – Житомир, 2021. – № 2 (88). – С.3–13.
8. Майборода В. С. Дослідження сил лобового опору, що виникають в магнітно-абразивному інструменті при обробленні циліндричних деталей в кільцевій ванні / В. С. Майборода, Д. Ю. Джулій, Ю.Й. Бесарабець, І. В. Слободянюк, К. О. Заставський // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: НТУ "ХПІ", 2022. № 2 (6) 2022. – С. 16–22.
9. Заставський К. О. Вплив розміру деталей на сили лобового опору при магнітно-абразивному обробленні / К. О. Заставський, В. С. Майборода // Mechanics and Advanced Technologies. – Київ, 2022. – Том 6, № 2 (2022) – С.168–177.
10. Майборода В. С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович. – Київ, 2001. – 404 с.
11. Ткачук І. В. Геометричні характеристики магнітно-абразивних порошків / І. В. Ткачук, В. С. Майборода // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наук. праць. – Краматорськ, 2014. – Вип. 34 – С. 49 – 55.
12. Ткачук І. В. Формування магнітно-абразивного інструменту зі стабільними властивостями в робочих зонах кільцевого типу: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Ткачук Іванна Валентинівна. – Київ, 2015. – 164 с.
13. Dzhulii D. Y. Analysis of the forces acting from the side of the magneto-abrasive tool on parts being machined during magneto-abrasive machining in conditions of the annular bath with large working gaps / D. Y. Dzhulii, V. S. Maiboroda, K. O. Zastavskiy // Mechanics and Advanced Technologies. – 2023. – Vol.7. – №1. – с.49-55.
14. Сакулевич Ф. Ю. Основы магнітно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.
15. Барон Ю. М. Магнітно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Ленинград: Машиностроение, 1986. 176 с.

References (transliterated)

1. Maiboroda V. S., Khronovskij D. V., Solodkij V. I., Ulyanenko N. V. *Magnitno-abrazivna obrobka osovogo i kinczevogo rizalnogo instrumentu. 5. Doslidzhennya vplivu umov bazuvannya detalej na zminu geometrichnikh kharakteristik rizalnikh kromok sverdel pri magnitno-abrazivnij obrobci* [Magneto-abrasive machining of axial and end cutting tools. 5. Research of influence of conditions of basing

- of parts on change of geometrical characteristics of cutting edges of drills at magneto-abrasive machining] / *Naukovi visti NTUU "KPI"* [Scientific news of NTUU "KPI"]. Kyiv. №5. 69–73 (2002).
2. Dzhulii D. Yu. *Pidvishchennya yakosti bagatogrannikh neperetochuvanikh tverdosplavnykh plastin pri magnitno-abrazivnomu obroblenni v kilceviznykh vannakh* [Increasing quality of multisided not sharpened hard-alloy plates by using magneto-abrasive machining in ring-type working area]: dis. cand. tech. sciences. – Kyiv. 175 p (2014).
 3. Tarhan D. V. *Pidvyshchennia yakosti mitchykyv iz shvydkorizalnoi stali mahnitno-abrazivnym metodom* [Improving the quality of taps made of high-speed steel using the magneto-abrasive method]: dis. PhD. – Kyiv. 165 p (2021).
 4. Maiboroda V. S., Slobodianiuk I. V., Dzhulii D. Yu. *Magnitno-abrazivnaya obrabotka detalej slozhnoy formy* [Magneto-abrasive machining of parts of complex shape]: monografiya. – Zhytomyr: PP "Ruta". 272 p (2017).
 5. Geichuk V. M. *Syntezy kinematyky protsesu mahnitno-abrazivnoi obraboty v kiltseviznykh vannakh* [Synthesis of the kinematics of the magneto-abrasive machining process in an annular bath]: Autoref. doc. tech. sciences. – Kyiv. 40 p (2012).
 6. Maiboroda V. S., Dzhulii D. Yu., Slobodianiuk I. V., Besarabets Yu. Jo. *Osoblyvosti mahnitno-abrazivnoho obroblennia tverdosplavnoho instrumenta z zakhysnymy faskamy na rizalnykh kromkakh* [Specific features of magneto-abrasive machining of carbide tools with protective chamfers on the cutting edges] / *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Tekhnologii v mashynobuduvanni* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Technologies in mechanical engineering] / *Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t"* [National technical Kharkiv Polytechnic University]. Kharkiv. № 1 (5). 66–73 (2022).
 7. Maiboroda V. S., Zastavskiy K. O., Zhuk R. B. *Osoblyvosti vzaiemodii mahnitno-abrazivnoho instrumentu z obrobljuvanouiu poverkhnieu v umovakh kiltsevoi vanny* [Peculiarities of the interaction of the magneto-abrasive tool with the machined surface in the conditions of the annular bath] / *Tekhnichna inzheneriia* [Technical engineering]. Zhytomyr. № 2 (88). 3–13 (2021).
 8. Maiboroda V. S., Dzhulii D. Yu., Besarabets Yu. Jo., Slobodianiuk I. V., Zastavskiy K. O. *Doslidzhennia syl lobovoho oporu, shcho vynykaiut v mahnitno-abrazivnomu instrumenti pry obroblenni tsylindrychnykh detalei v kiltseviznykh vannakh* [Investigation of the drag forces arising in the magneto-abrasive tool during the finishing of cylindrical parts in the annular bath] / *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Tekhnologii v mashynobuduvanni* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Technologies in mechanical engineering] / *Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t"* [National technical Kharkiv Polytechnic University]. Kharkiv. № 2 (6). 16–22 (2022).
 9. Zastavskiy K. O., Maiboroda V. S. *Vplyv rozmiru detalei na syly lobovoho oporu pry mahnitno-abrazivnomu obroblenni* [The influence of the parts size on the drag forces during magneto-abrasive finishing] / *Mechanics and Advanced Technologies*. Kyiv. № 2 (2022). 168–177 (2022).
 10. Maiboroda V. S. *Osnovi stvorennia i vikoristannya poroshkovogo magnitno-abrazivnoho instrumentu dlya finishnoyi obrabki fasonnykh poverkhon* [Fundamentals of creating and using of the powder magneto-abrasive tool for finishing of shaped surfaces]: dis. doc. tech. sciences. – Kyiv. 404 p (2001).
 11. Tkachuk I. V., Maiboroda V. S. *Heometrychni kharakterystyky mahnitno-abrazivnykh poroshkiv* [Geometric characteristics of magneto-abrasive powders] / *Nadiinist instrumentu ta optymizatsiia tekhnolohichnykh system. Zbirnyk nauk. prats* [Reliability of the tool and optimization of technological systems. Collection of sciences. Works]. Kramatorsk. № 34. 49 – 55 (2014).
 12. Tkachuk I. V. *Formuvannya magnitno-abrazivnoho instrumentu zi stabilnimi vlastivostyami v robochikh zonakh kilceviznoho tipu* [Formation of the magneto-abrasive tool with stable properties in working zones of ring type]: dis. cand. tech. sciences. – Kyiv. 164 p (2015).
 13. Dzhulii D.Y., Maiboroda V. S., Zastavskiy K. O. *Analysis of the forces acting from the side of the magneto-abrasive tool on parts being machined during magneto-abrasive machining in conditions of the annular bath with large working gaps* / *Mechanics and Advanced Technologies*. Kyiv. Vol.7. №1. 49–55 (2023).
 14. Sakulevich F. Yu. *Osnovy magnitno-abrazivnoy obrabotki* [Fundamentals of magneto-abrasive machining]. – Minsk: Science and technology. 328 p (1981).
 15. Baron Yu. M. *Magnitno-abrazivnaya i magnitnaya obrabotka izdeliy i rezhushchikh instrumentov* [Magnetic-abrasive and magnetic machining of products and cutting tools]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1986. 176 p.

Поступила (received) 15.02.2023р.

Відомості про авторів / About the Authors

Майборода Віктор Станіславович (Maiboroda Viktor Stanislavovych) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри конструювання машин Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-6928>; e-mail: maiborodavs@gmail.com.

Джулії Дмитро Юрійович (Dzhulii Dmytro Yuriyovych) – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8863-626X>; e-mail: dmytro.dzhulii@gmail.com.

Заставський Костянтин Олегович (Zastavskiy Kostiantyn Olegovich) – аспірант кафедри конструювання машин Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-3372-369X>; e-mail: zastavskiy96@gmail.com.