

УДК 621.923

**В.С. Майборода, д.т.н., проф.****О.С. Демченко, студ.****О.А. Івановський, аспір.***Національний технічний університет України «КПІ»*

## **ВПЛИВ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН НА ВЛАСТИВОСТІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА**

*Досліджено вплив змащувально-охолоджуючих технологічних рідин різних типів – олійної, емульсій – на триботехнічні властивості магнітно-абразивного інструмента (МАІ), який сформовано з порошків різних розмірів. Визначено значення в'язкості МАІ для умов підвищених швидкостей магнітно-абразивної обробки. Показано, що на властивості МАІ найсуттєвіше впливає змащувально-охолоджуюча рідина (ЗОР) при застосуванні дрібних магнітно-абразивних порошків, причому величина магнітної індукції в зонах обробки при застосуванні ЗОР практично не впливає на властивості МАІ, а визначальною є швидкість обробки.*

**Вступ.** Ефективність процесу магнітно-абразивної обробки (МАО), особливо деталей складної просторової конфігурації, в умовах великих магнітних щілин значною мірою визначається триботехнічними властивостями магнітно-абразивного інструмента (МАІ). Зазначений взаємозв'язок пов'язаний з особливостями формування порошкового магнітно-абразивного матеріалу в МАІ в умовах слабких магнітних полів, коли магнітна індукція в робочих зонах магнітних щілин верстатів не перевищує 0,4 Тл. При таких магнітних індукціях основним важелем, який визначає процес МАО поверхонь, стає швидкість відносно переміщення оброблюваних поверхонь і МАІ, здатність інструмента нівелювати відносно оброблюваної поверхні і забезпечувати рівномірну обробку. Крім того, рівномірність обробки складних поверхонь буде істотно залежати від траєкторії їх руху в робочих зонах верстатів, сил тертя, що виникають як в парі МАІ–оброблювана поверхня, так і між окремими частинками та мікроформуваннями в порошковому інструменті. Введення до складу МАІ змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР) при МАО буде суттєво впливати і на процес обробки, і на особливості переформування МАІ при МАО – перемішування, здатність відновлювати свою форму та експлуатаційні властивості. Зазначена дія ЗОР в складі МАІ, в умовах слабких магнітних полів і підвищених

швидкостей MAO повинна, перш за все, впливати на триботехнічні властивості інструмента.

**Метою роботи** було дослідження реологічних і триботехнічних властивостей MAI з ЗОР різних типів при MAO в умовах великих магнітних щілин і слабких магнітних полів.

**Основний матеріал.** *Експериментальні дослідження* виконували на установці і за методикою, що наведена в [1], в діапазоні швидкостей обробки 1÷11 м/с, величиною магнітної індукції в робочих щілинах, вільних від MAI – 0,2÷0,41 Тл. Зазначимо, що обмеження діапазону вибраних магнітних індукцій пов'язано з магнітними властивостями MAI, а саме – величиною його індукції насичення [2]. З метою уникнення впливу додаткових ефектів, пов'язаних з процесами намагнічування–перемагнічування оброблюваної поверхні, MAO піддавали диск, виготовлений з парамагнітного матеріалу. Величина магнітної щілини між полюсними наконечниками верстата і поверхнею деталі визначалась з урахуванням умов оптимального формування MAI [3] і складала 6 мм. Коефіцієнт засипки дорівнював 1. За магнітно-абразивний порошок використовували Ферромап з розміром частинок 630/400, 315/200 і 160/100 мкм. Застосовували ЗОР двох типів:

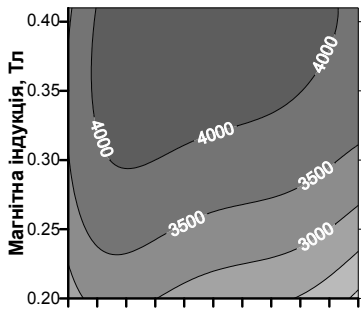
– олійну Асфол, що є сумішшю мінеральної та рапсової олій з поверхнево активними добавками. Умовна в'язкість за віскозиметром ВЗ-246 при кімнатній температурі складає не менше 20 (ТУ У 24727511.004-97);

– 5 %-ні емульсії на базі концентратів ЗОР типу Ферробетол–М і Унизор–М. Умовна в'язкість за віскозиметром ВЗ-246 при кімнатній температурі складає не менше 43 для концентрату Ферробетол–М (ТУ У 24727511.005-97) і 11 для концентрату Унизор–М (ТУ У 24.6-30309233-006-2001).

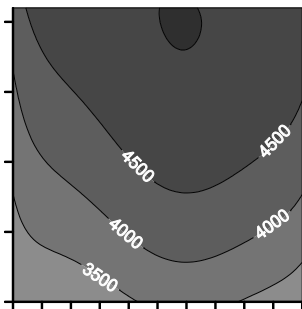
Вказані ЗОР застосовуються при механічній обробці. За своїми експлуатаційними властивостями вони значно перевищують відомі зразки ЗОР типу Сульфозфрезол, Укринол, Аквол, Авітол тощо.

Визначення дії ЗОР на властивості MAI виконували у порівнянні з властивостями сухого MAI без застосування ЗОР. При проведенні експериментальних досліджень, з метою усунення випадкових похибок, кожне вимірювання виконували при ідентичних умовах 5÷7 разів. Після кожної серії експериментів виконували тарування вимірвальної схеми. Отримані результати піддавали статистичній обробці. Графічне представлення отриманих результатів у вигляді топограм поверхонь залежностей питомих сил тертя  $f_{num}$  від швидкості MAO та магнітної індукції в робочих щілинах для різних

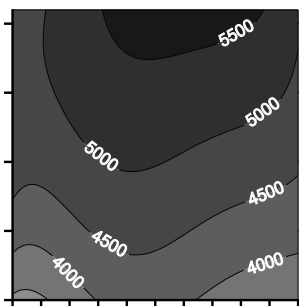
фракцій порошку і типів ЗОР, що використовували, виконували за допомогою пакета SURFER. Отримані результати наведено на рис. 1. Показано, що для порошоків з розміром частинок 630/400 мкм введення в склад МАІ ЗОР призводить до незначного підвищення сил питомого тертя від  $2,5 \div 4$  кН/м<sup>2</sup> до  $3,5 \div 5,5$  кН/м<sup>2</sup> практично в усьому досліджуваному діапазоні для зазначених вище типів ЗОР. Зменшення розмірів частинок МАІ до 315/200 мкм і 160/100 мкм призводить до деяких змін у величині питомих сил тертя в залежності від швидкості обробки та магнітної індукції. Це може бути пов'язано зі зміною в'язкості порошкового середовища, особливо при введенні до складу МАІ олійного ЗОР з підвищеною в'язкістю, а саме: при використанні олійної ЗОР типу Асфол при швидкостях МАО  $V = 4 \div 5$  м/с має місце зростання величини  $f_{num}$ , в той час як при підвищених значеннях  $V - (5 \div 11)$  м/с виявляється різке зниження  $f_{num}$ . Аналогічна зміна питомих сил тертя має місце у МАІ з 5 %-ою емульсією на базі Унізор-М і для МАІ з порошку 160/100 мкм з емульсією Ферробетол-М. Для більш детального визначення умов МАО, в яких проявляється зростання та зниження величини  $f_{num}$  в залежності від швидкості і магнітної індукції, нами були виконані розрахунки й побудовані топограми поверхонь функцій, які відображають різницю в значеннях  $f_{num}$  для МАІ з використанням ЗОР і без використання її –  $\Delta f_{num}$ . Отримані результати наведено на рис. 2.



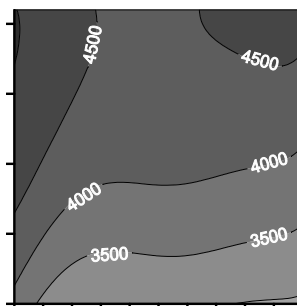
а)



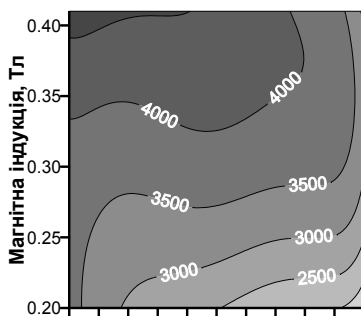
б)



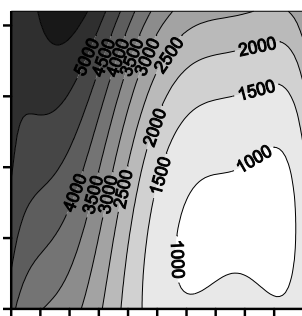
в)



г)



д)



е)

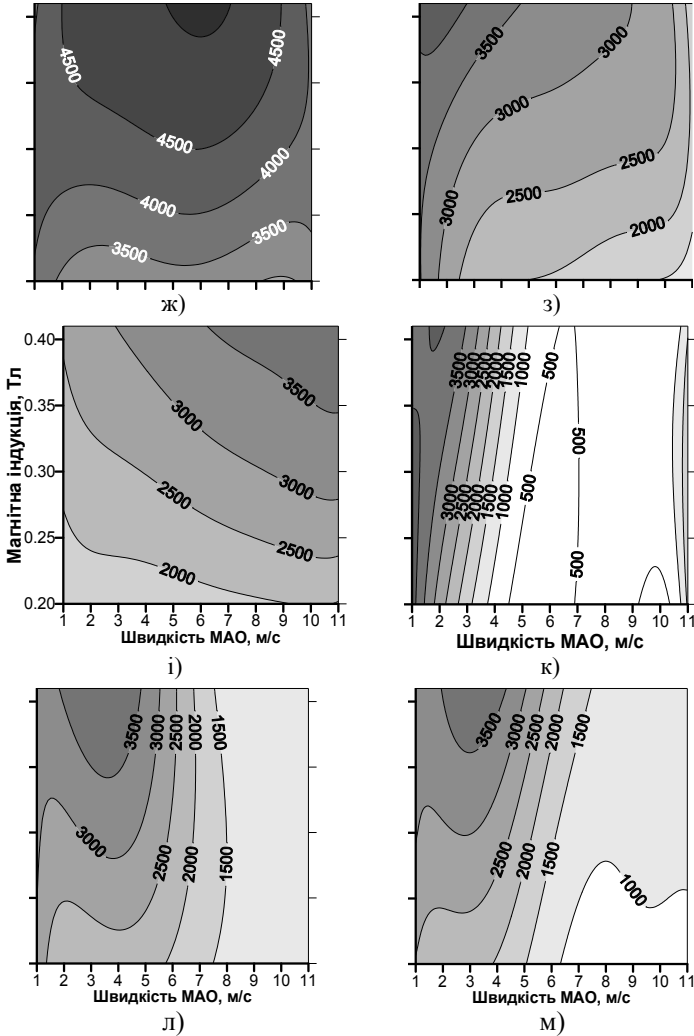
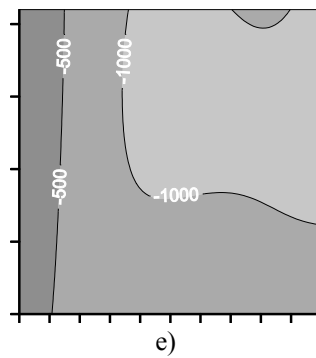
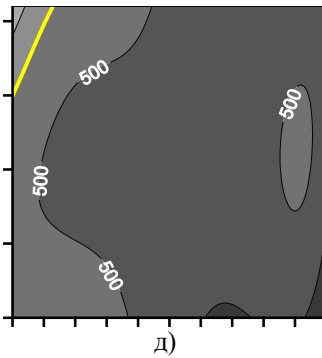
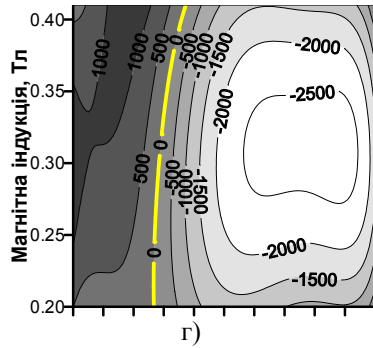
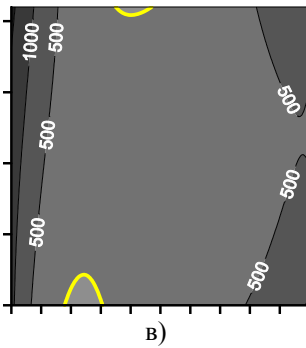
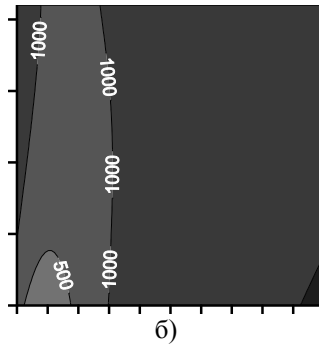
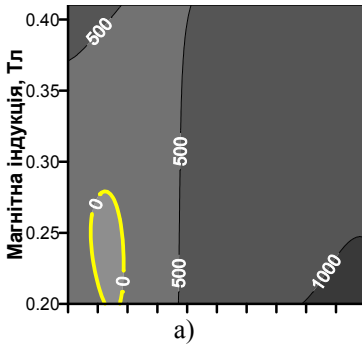


Рис. 1. Топограми залежностей питомих сил тертя  $f_{\text{нм}}$  ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ) від швидкості MAO і магнітної індукції в робочих щілинах при використанні магнітно-абразивного порошку з розміром частинок 630/400 мкм (а, б, в, г); 315/200 мкм (д, е, ж, з); 160/100 мкм (і, к, л, м) і різних типів ЗОР (а, д, і) – без застосування ЗОР; (б, е, к) – олійна ЗОР Асфол; в, ж, л – 5 %-на емульсія на базі концентрату Ферробетол-М; г, з, м – 5 %-на емульсія на базі концентрату Унізор-М



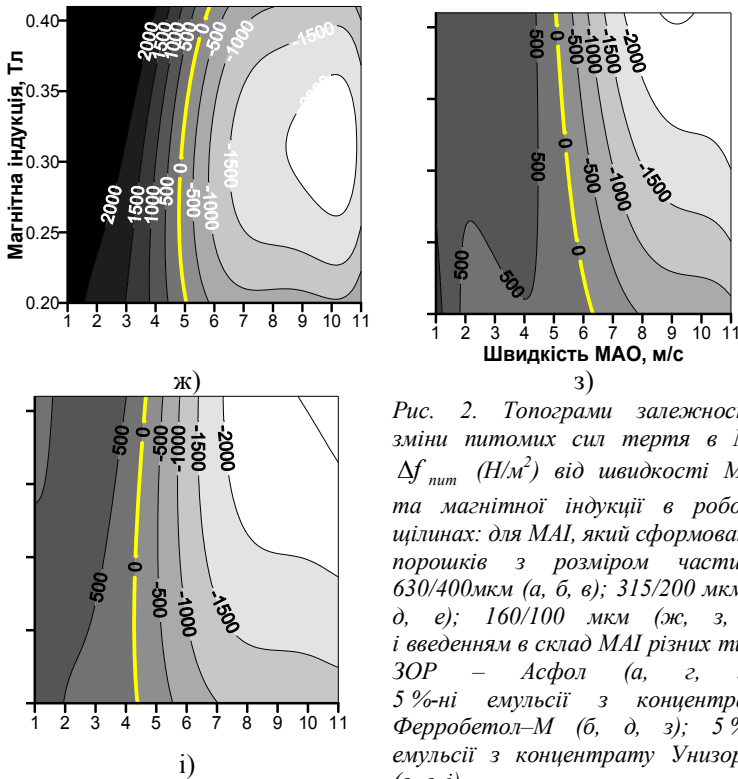


Рис. 2. Топограми залежностей зміни питомих сил тертя в МАІ  $\Delta f_{\text{шт}}$  ( $\text{H/m}^2$ ) від швидкості MAO та магнітної індукції в робочих щілинах: для МАІ, який сформовано з порошків з розміром частинок 630/400мкм (а, б, в); 315/200 мкм (г, д, е); 160/100 мкм (ж, з, і); і введенням в склад МАІ різних типів ЗОР – Асфол – для МАІ, сформованого з порошків з розміром частинок, менших за 315/200 мкм, і у МАІ з 5 %-ми емульсіями з порошку 160/100 мкм. Для зазначених вище умов MAO зміна знаку величини  $\Delta f_{\text{шт}}$  відбувається при величині  $V$  у діапазоні 4÷6 м/с. Причому на вказаний діапазон швидкостей практично не впливає величина магнітної індукції в робочих щілинах. Від’ємні значення  $\Delta f_{\text{шт}}$  свідчать про те, що в МАІ відбувається своєрідний процес псевдозрідження, пов’язаний з дією пондеромоторних сил в ньому. При цьому відбувається активний рух частинок МАІ у напрямку, перпендикулярному до оброблюваної

Зона переходу від умов зростання питомих сил тертя (позитивні значення) до умов їх зниження (негативні значення) на рис. 2 виділена світлою смугою з позначками "0". Найбільш суттєве зниження питомих сил тертя в МАІ з використанням ЗОР виявляється при використанні олійної ЗОР – Асфол – для МАІ, сформованого з порошків з розміром частинок, менших за 315/200 мкм, і у МАІ з 5 %-ми емульсіями з порошку 160/100 мкм. Для зазначених вище умов MAO зміна знаку величини  $\Delta f_{\text{шт}}$  відбувається при величині  $V$  у діапазоні 4÷6 м/с. Причому на вказаний діапазон швидкостей практично не впливає величина магнітної індукції в робочих щілинах. Від’ємні значення  $\Delta f_{\text{шт}}$  свідчать про те, що в МАІ відбувається своєрідний процес псевдозрідження, пов’язаний з дією пондеромоторних сил в ньому. При цьому відбувається активний рух частинок МАІ у напрямку, перпендикулярному до оброблюваної

поверхні, який проявляється в активній ударній взаємодії частинок МАІ з оброблюваною поверхнею. Така поведінка МАІ під час МАО при підвищених швидкостях свідчить про зміну сил тертя між шарами МАІ з ЗОР, а саме – підвищена рухливість частинок свідчить про зниження сил питомого тертя між шарами порошку, його окремими частинками і макроформуваннями.

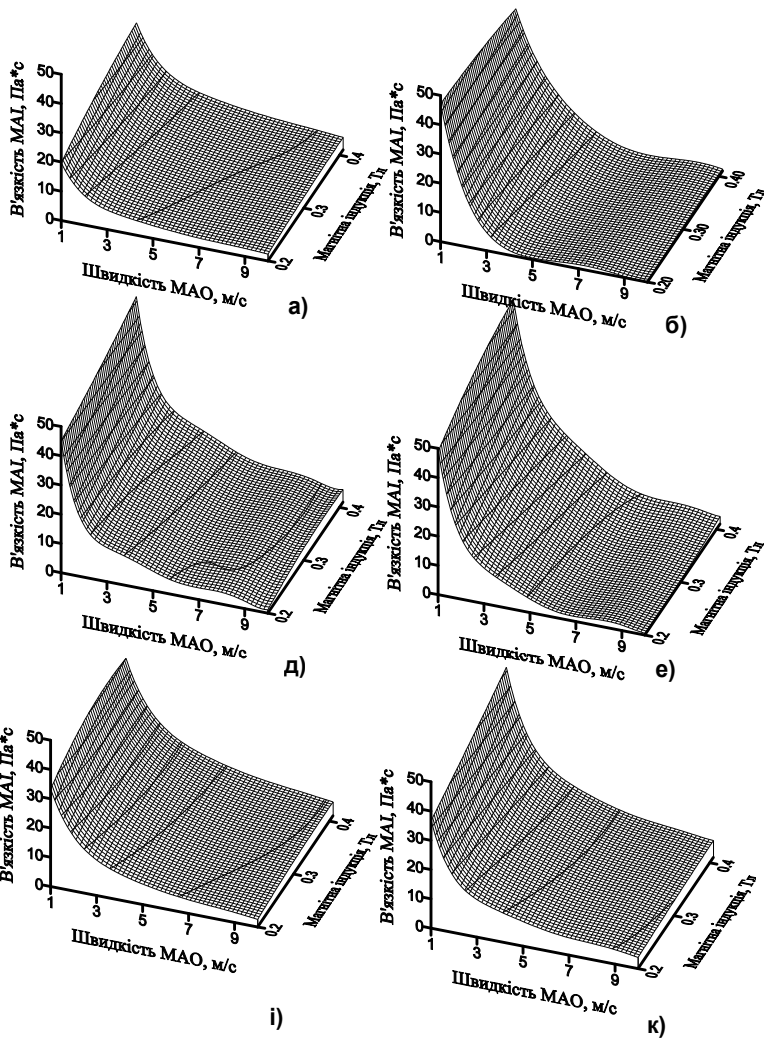
В [3] показано, що МАІ, який формується у великих щілинах, має властивості в'язко-пластичного середовища. Тому важливою характеристикою, що істотно впливає на процес МАО, особливо на спроможність МАІ відновлювати свою форму та нівелювати відносно поверхні, що оброблюється, забезпечуючи рівномірну обробку складних просторових поверхонь, є в'язкість порошкового інструмента, яка є змінною величиною. Причому одними з основних важелей, які впливатимуть на її величину, будуть швидкість переміщення оброблюваних деталей в магнітно-абразивному порошковому середовищі – збурюючий фактор – і величина магнітної індукції в робочих щілинах з порошком – стабілізуючий фактор. Саме ці два параметри будуть істотно впливати на дію пондеромоторних сил, які є причиною виникнення ефекту псевдозрідження МАІ при підвищених швидкостях МАО.

При визначенні величини динамічної в'язкості МАІ в [4] було зроблено припущення, що градієнт швидкості переміщення частинок магнітно-абразивного порошку має лінійну залежність. Вважалося, що на поверхні полюсних наконечників швидкість переміщення частинок дорівнює нулю, а на оброблюваній поверхні деталі – швидкості МАО. Аналіз розподілення щільності МАІ після циклу МАО [5] і запропонована в [3] модель МАІ свідчать про те, що попередньо виконані розрахунки величини в'язкості дещо спрощені внаслідок неврахування механізму деформування конусоподібних формувань в МАІ при МАО. Так під час МАО конусоподібні стовпчики будуть вигинатися і розтягуватися в напрямку руху оброблюваної поверхні. Їх деформація буде аналогічна до деформації консольно закріплених конусних стрижнів з перемінною за висотою жорсткістю. Вигин таких формувань буде відбуватися за параболічним законом. Відповідно і градієнт швидкості переміщення частинок МАІ теж повинен змінюватися за параболою. Підтвердженням такого припущення є зовнішній вигляд зліпків МАІ та залежності зміни складових величини швидкості окремих макроформувань порошкового інструмента, що наведені в [5]. З урахуванням зазначеного величину градієнта швидкості розраховували за лінійною залежністю, в якій коефіцієнт пропорційності залежить від величини швидкості МАО і визначається експериментально, наприклад, за характером розподілення щільності в



МАІ, або зміною величин нормальної і тангенціальної складових швидкості частинок магнітно-абразивного порошку. Характер зміни величини в'язкості сухого МАІ і з використанням ЗОР різних типів наведено на рис. 3.

Аналіз отриманих залежностей зміни величини в'язкості МАІ від швидкості МАО та магнітної індукції для порошкового інструмента, який сформовано з порошків різних розмірів і з використанням різних типів ЗОР, показав, що для умов формування інструмента при швидкості 1–(3–4) м/с виявляється підвищена в'язкість в межах 10–60 Па·с. Причому найсуттєве зростання в'язкості у зазначеному діапазоні характерно для МАІ з олійною ЗОР. Зазначимо, що величина магнітної індукції практично не впливає на в'язкість внаслідок наявності обмежень, пов'язаних з індукцією насичення МАІ [2]. У порівнянні з сухим МАІ зміна величини в'язкості МАІ з ЗОР, що аналогічна зміні питомих сил тертя (рис. 2). Найбільша зміна в'язкості має місце для дрібних порошків від (-5–18) Па·с для МАІ з олійною ЗОР з підвищеною в'язкістю, (0–4) Па·с – при використанні 5 %-ої емульсії з концентрату Унізор–М і (-5–10) Па·с – при використанні 5 %-ої емульсії значно вищої в'язкості, ніж Унізор–М, – на базі концентрату Ферробетол–М. Практично не впливає на в'язкість МАІ введення ЗОР для порошків з розміром частинок 630/400 мкм. Визначається лише незначне її зростання при малих швидкостях до 2 м/с. Зазначені зміни в'язкості пов'язані з особливостями взаємодії частинок в МАІ як в межах представницьких об'ємів МАІ, так і представницьких об'ємів між собою [6], [7].



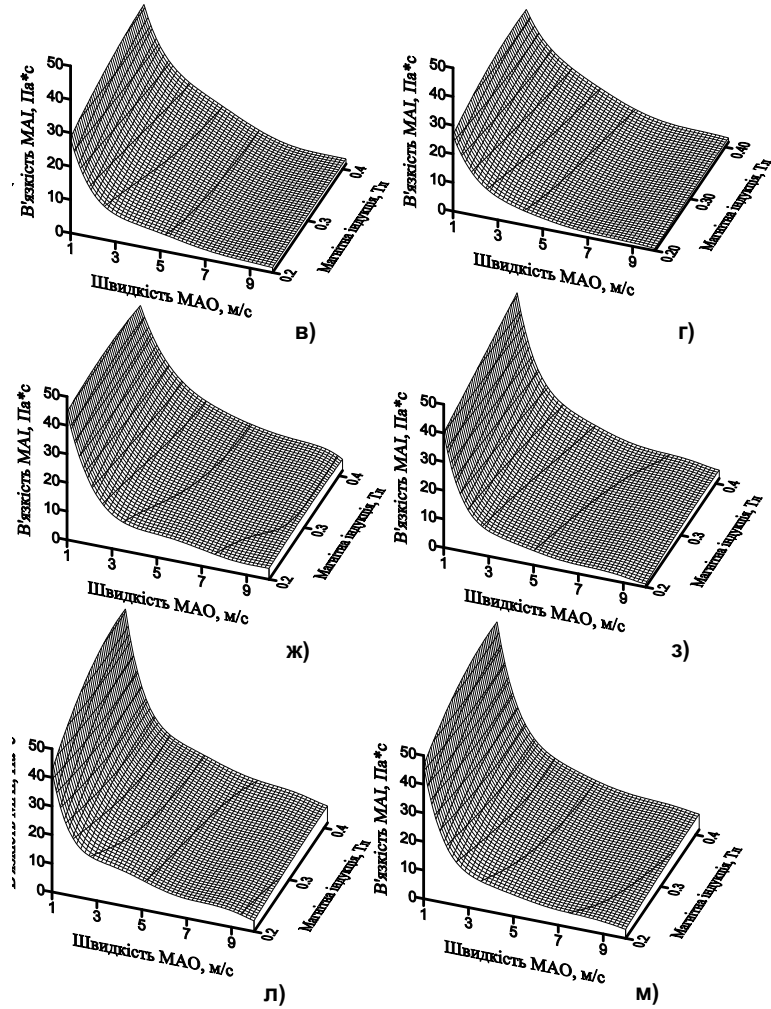


Рис. 3. Залежності зміни величини в'язкості МАІ від швидкості MAO і магнітної індукції в робочих циліндрах при застосуванні маснітно-абразивних порошків з розміром частинок 160/100 мкм (а, б, в, з); 315/200 мкм (д, е, ж, з); 630/400 мкм (и, к, л, м) для сухого МАІ (а, д, и); МАІ з 5%-ою емульсією на базі концентрату ЗОР Афсол (б, е, к); МАІ з 5%-ою емульсією на базі концентрату Ферробетон-М (в, ж, л); МАІ з 5%-ою емульсією на базі концентрату Унізор-М (з, з, м)

Зниження в'язкості при швидкостях МАО, більших за  $3 \times 3,5$  м/с до величини (1–4) Па·с, свідчить про позитивний вплив ЗОР, особливо олійної, з точки зору підвищення рухливості МАІ, підвищення його рівномірності та однорідності. Найсуттєвіше це проявляється для дрібних порошоків, коли відбувається зниження сил тертя на плямах контактів між окремими частинками в МАІ, виникають своєрідні прошарки з ЗОР, яка обволочує частинки магнітно-абразивного порошку. Отримані результати важливі при розробці технології МАО деталей складної просторової форми в умовах великих магнітних щільн, наприклад, на установках типу кільцева ванна, коли актуальним є збереження та відновлення технологічних властивостей МАІ при МАО.

**Висновки.** Досліджено вплив ЗОР різноманітних типів на технологічні властивості МАІ в умовах великих магнітних щільн та підвищених швидкостей обробки. З аналізу зміни величини динамічної в'язкості порошкового магнітно-абразивного інструмента визначені умови, при яких відбувається процес псевдозрідження. Встановлено, що введення до складу МАІ ЗОР (в прийнятих умовах досліджень) робить МАІ нечутливим до зміни магнітної індукції. При цьому основними факторами, що впливають на питомі сили тертя в МАІ, є швидкість МАО і пондеромоторні сили. Введення до складу МАІ змашувально-охолоджуючих рідин, особливо олійного типу, дозволяє при швидкостях МАО, більших за 3 м/с, знизити в'язкість порошкового середовища не менше, ніж у 2 рази, а при швидкостях МАО до 3 м/с – навпаки – забезпечити суттєве її підвищення. Зазначений ефект активно виявляється при використанні дрібних магнітно-абразивних порошоків, коли розмір частинок не перевищує 200 мкм. Для МАІ, сформованого з порошоків з розміром частинок, більших за 400/315 мкм, ефект зміни в'язкості проявляється тільки при швидкостях МАО, менших 2 м/с.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дослідження особливостей тертя порошкового магнітно-абразивного інструмента об поверхню деталей при магнітно-абразивній обробці / В.С. Майборода, О.А. Хоменко, В.М. Гейчук та ін // Вестник Национального технического университета Украины "КПІ" / Машиностроение. – Вып. 41. – 2001. – С. 113–119.
2. *Майборода В.С., Степанов О.В., Шлюко В.Я.* Влияние магнитного поля на магнитные характеристики магнитно-

- абразивного порошкового інструмента // Сб. научных и методич. трудов КПИ к 50-летию инж.-физ. факультета, Ч. 2. – 1994. – Киев: Знание. – С. 88–94.
3. *Майборода В.С.* Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструмента для фінішної обробки фасонних поверхонь: Дис...д.т.н. – Київ, 2001. – 404 с.
  4. *Майборода В.С., Хоменко Е.А.* Исследование триботехнических характеристик ферроабразивных порошков при магнитно-абразивной обработке// Порошковая металлургия. – 2003. – № 9/10. – С. 107–113.
  5. *Майборода В.С.* Магнитно-абразивная обработка специальных деталей (на примере лопаток компрессоров ГТД): Автореф. дис...к.т.н. – Киев, 1988. – 19 с.
  6. *Майборода В.С.* Особенности формирования и взаимодействия порошкового магнитно-абразивного инструмента с поверхностью деталей в кольцевых зазорах // Порошковая металлургия. – 1999. – № 7/8. – С. 117–121.
  7. *Майборода В.С.* Внутрішнє тертя у магнітно-абразивному інструменті // Наукові вісті НТУУ КПІ. – № 3. – 2000. – С. 40–43.

МАЙБОРОДА Віктор Станіславович – доктор технічних наук, професор кафедри інструментального виробництва ММІ Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- різання матеріалів;
- технологія машинобудування;
- реологія дискретно-безперервних середовищ.

ДЕМЧЕНКО Олександр – студент ММІ Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– різання матеріалів.

ІВАНОВСЬКИЙ Олексій Анатолійович – аспірант ММІ Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– різання матеріалів.

Подано 27.05.2005

УДК 621.923

В.С. Майборода, О.С. Демченко, О.А. Івановський

Вплив змащувально-охолоджуючих рідин на властивості магнітно-абразивного інструмента

Досліджено вплив змащувально-охолоджуючих технологічних рідин різних типів – олійної, емульсій – на триботехнічні властивості магнітно-абразивного інструмента (МАІ), який сформовано з порошків різних розмірів. Визначено значення в'язкості МАІ для умов підвищених швидкостей магнітно-абразивної обробки. Показано, що найбільш суттєвий вплив на властивості МАІ має змащувально-охолоджуюча рідина (ЗОР) при застосуванні дрібних магнітно-абразивних порошків, причому величина магнітної індукції в зонах обробки при застосуванні ЗОР практично не впливає на властивості МАІ, а визначальною є швидкість обробки.