

## ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ОБРОБЛЮВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ В УМОВАХ КІЛЬЦЕВОЇ ВАННИ

Магнітно-абразивне оброблення (МАО) це один з перспективних методів фінішного оброблення деталей як простої, так і складної форми. Але активне впровадження методу МАО у виробництво стримується відсутністю достатньої кількості даних про особливості взаємодії магнітно-абразивного порошку, сформованого при МАО в магнітно-абразивний інструмент (МАІ), величину зусиль, які виникають в процесі оброблення і їх природу. Саме ця інформація дозволяє виконувати цілеспрямоване керування ефективністю процесу.

Експериментальні дослідження виконували на установці типу кільцева ванна при швидкостях обертання робочої головки  $V$ , яка встановлена в шпindel верстата в діапазоні 100–300 об/хв., магнітній індукції в робочих зонах коаксіальної магнітної системи 0,17 та 0,24 Тл, та швидкості обертання мінішпинделя з контрольним зразком, встановлених на корпусі робочої головки, яку змінювали від 100 до 1000 об/хв. Процес МАО виконували в умовах формування стабільного МАІ. Зміна швидкості обертання мінішпинделя забезпечувалась за рахунок зміни напруги  $U$  на двигуні постійного струму, який є індивідуальним приводом мінішпинделя в діапазоні від 3 до 15 В з кроком 1 В. Для дослідження використовувались циліндричні зразки діаметром 16 мм та довжиною 30 мм встановлені паралельно осі головки і магнітної кільцевої ванни, виготовлені з алюмінію, бронзи, титанового сплаву (парамагнітні матеріали) та сталі 40Х13 (феромагнітна). При МАО зразки встановлювали таким чином, щоб відстань від їх поверхні до полюсних наконечників, які формують кільцеву ванну була однаковою.

Методика досліджень полягала в визначенні ефективного моменту –  $M_{ef}$  через напругу  $U$ , силу струму  $I$ , та швидкість обертання деталі навколо своєї осі  $\omega$ . На першому етапі було визначено момент холостого ходу за формулою (1):

$$M_{xx} = \frac{U_{xx} \cdot I_{xx} - I_{xx}^2 \cdot r_{\partial e}}{\omega} \quad (1)$$

де  $M_{xx}$  – момент холостого ходу,  $U_{xx}$  – напруга холостого ходу (В),  $I_{xx}$  – сила струму холостого ходу (А),  $r_{\partial e}$  – опір двигуна (Ом),  $\omega$  – швидкість обертання зразка (об/хв). За формулою (2) розраховували безпосередній момент на двигуні при обробленні деталей.

$$M_{\partial e} = \frac{U_{роб} \cdot I_{роб} - I_{роб}^2 \cdot r_{\partial e}}{\omega} \quad (2)$$

де  $M_{дв}$  – робочий момент,  $U_{роб}$  – робоча напруга,  $I_{роб}$  – робоча сила струму. Ефективний момент –  $M_{ef}$  визначали як

$$M_{ef} = M_{\partial e} - M_{xx} \quad (3)$$

Зусилля, що виникають при МАО залежать від особливостей взаємодії оброблюваної деталі з МАІ. При цьому важливим параметром є магнітні властивості оброблюваного матеріалу. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при МАО сталевих – феромагнітних зразків має місце майже лінійне зростання величини  $M_{ef}$  до частоти обертання мінішпинделя з зразком 60–70 с<sup>-1</sup>. Збільшення частоти обертання призводить до активного зростання ефективного моменту, який характеризує умови взаємодії в парі МАІ-оброблювана поверхня. Показано, що при обробленні феромагнітної сталі спостерігається зниження величини  $M_{ef}$  при збільшенні швидкості обертання навколо осі ванни (рис. 1). Це може бути пов'язано зі зменшенням площі активного контакту МАІ з оброблюваними поверхнями. Процес зростання величини  $M_{ef}$  при частотах обертання мінішпинделя більших за 60–70 с<sup>-1</sup> відбувається за рахунок зміни механізму взаємодії частинок МАІ з поверхнею деталей, який пов'язаний з зміною кутів різання і активним провертанням частинок в безпосередній близькості до оброблюваних поверхонь. Встановлено, що зі збільшенням величини магнітної індукції присутнє незначне збільшення ефективного моменту. Зазначені закономірності мають місце при використанні порошоків різної зернистості.

Для парамагнітних матеріалів, таких як титан (рис. 2), алюміній (рис. 3) та бронза (рис. 4), при обробці порошком зернистістю 400/315 мкм спостерігаються такі самі залежності як і для сталі. А саме, зменшення  $M_{ef}$  при збільшенні швидкості обертання навколо осі ванни, та незначний вплив зміни величини магнітної індукції. При обробленні парамагнітних матеріалів порошком зернистістю 200/100 мкм має місце аномальна зміна ефективного моменту при зміні швидкості обертання навколо осі ванни. Це може бути зумовлено дією пондеромоторних сил, а саме формуванням локальних мікрополів між окремими зернами порошку що збільшують або зменшують загальну величину магнітного поля в робочій зоні. Для всіх парамагнітних матеріалів при збільшенні швидкості обертання деталі навколо власної осі більше 80 с<sup>-1</sup> спостерігається різке підвищення величини  $M_{ef}$ . Це відбувається за рахунок переорієнтації частинок і мікрооб'ємів МАІ в зоні контакту з оброблюваною поверхнею, тобто зміна положення зерна відносно поверхні деталі та зміна

величини площини реального контакту частинок з поверхнею. Такого різкого зростання моменту при обробленні сталевих деталей не спостерігається, оскільки сили магнітної взаємодії між порошком і деталлю перевищують сили, які приймають участь при формуванні МАІ не дозволяючи зернам активно переорієнтуватися.

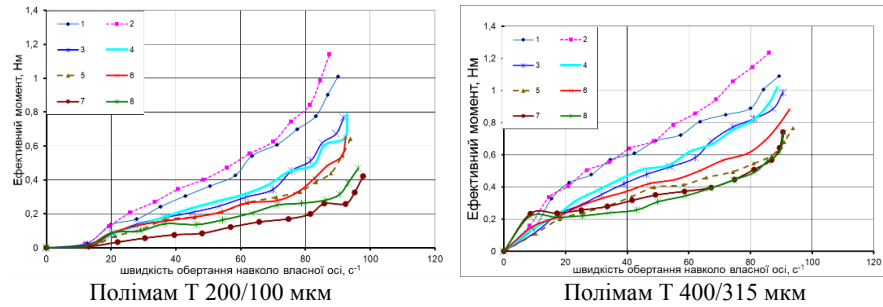


Рис. 1. Залежність ефективного моменту від швидкості обертання зразків зі сталі навколо власної осі. 1 –  $V=100$  об/хв,  $B=0,17$  Тл; 2 –  $V=100$  об/хв,  $B=0,24$  Тл; 3 –  $V=150$  об/хв,  $B=0,17$  Тл; 4 –  $V=150$  об/хв,  $B=0,24$  Тл; 5 –  $V=200$  об/хв,  $B=0,17$  Тл; 6 –  $V=200$  об/хв,  $B=0,24$  Тл; 7 –  $V=300$  об/хв,  $B=0,17$  Тл; 8 –  $V=300$  об/хв,  $B=0,24$  Тл

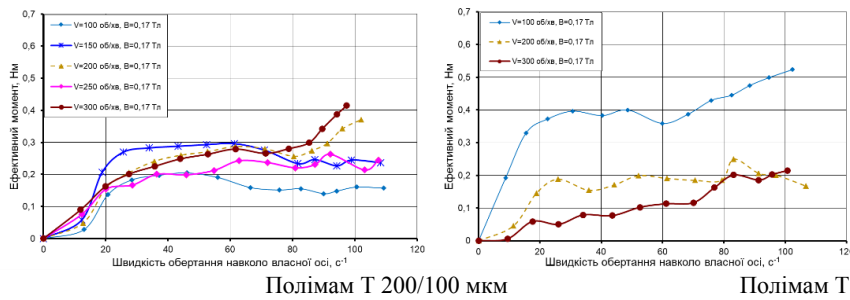


Рис. 2. Залежність ефективного моменту від швидкості обертання зразків з титану навколо власної осі

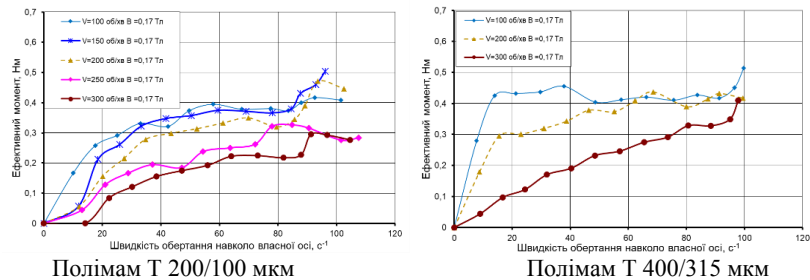


Рис. 3. Залежність ефективного моменту від швидкості обертання зразків з алюмінію навколо власної осі

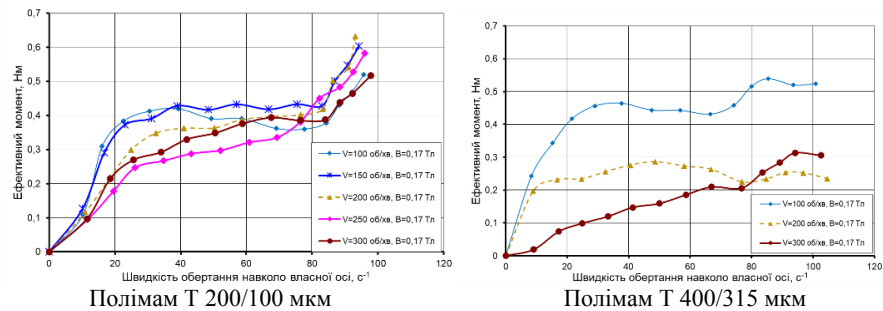


Рис. 4. Залежність ефективного моменту від швидкості обертання зразків з бронзи навколо власної осі