

УДК 621.762:691:921

В.С. Майборода, д.т.н., проф.**Т.М. Капушак, інж.***Національний технічний університет України "КПІ"*

МАГНІТНО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА ТВЕРДОСПЛАВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУРОВИХ ДОЛІТ

Виконано дослідження можливостей застосування магнітно-абразивної обробки для полірування і зміцнення твердосплавних бурових зубків. Показано, що МАО забезпечує формування шорсткості поверхні з $Ra < 0,5$ мкм, наклепування поверхневого шару деталей та подрібнення в ньому карбідних складових.

Вступ. Можливості керування та цілеспрямованої зміни властивостей поверхневого шару твердосплавних виробів на фінішних етапах виготовлення є одними з перспективних шляхів забезпечення підвищеної їх працездатності. Вирішення зазначеної проблеми умовно можна поділити на два основних напрямки, а саме:

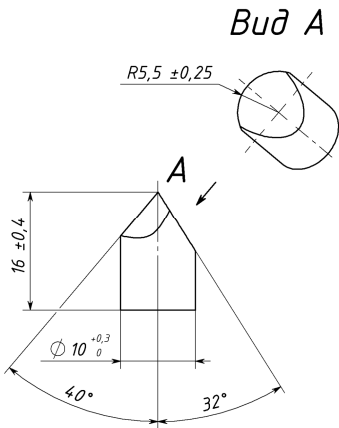
✓ зниження мікро- й макродефектності поверхні твердосплавних деталей та формування на ній спеціальних захисних покриттів із застосуванням різноманітних методів; таких як, наприклад, фізичне або хімічне осадження, дифузійне насичення, електроіскрове чи лазерне легування тощо;

✓ фізико-механічні методи впливу на властивості поверхневого шару, що призводять до формування в ньому заданих залишкових напружень і характеру їх розповсюдження по товщині шару, зміни зернистої будови, перерозподілу елементів в тонких шарах поверхні, активації дифузійних процесів при невисоких температурах.

Стан проблеми. Традиційні методи механічної поверхневої обробки твердосплавних виробів, які використовують після спікання, як правило, є безрозмірними і вирішують задачі, пов'язані з видаленням облою, розпушеного тонкого поверхневого шару, залишків технологічних засипок, застосованих при спіканні, часткового заокруглення гострих кромek, а також забезпечують певне наклепування поверхневого шару. Найпоширенішими в промисловості є методи вібро- й струминно-абразивної обробки. Для забезпечення розмірної обробки практично єдиними є методи алмазно-абразивного шліфування і полірування та їх модифікації. Вони дозволяють не тільки отримати необхідні розміри, забезпечити точність і шорсткість, а й проводити зміцнюючу обробку за умов чіткого дотримання технологічних рекомендацій. Сучасні перспективні шляхи розвитку

цих напрямків розглянуто в роботах М.Г. Лошака, М.В. Новікова, А.І. Грабченка, А.С. Верещаки та інших. Значна увага приділяється застосуванню комбінованих методів фінішної обробки, які використовують комплексну дію різноманітних технологічних процесів і фізичних явищ, здатних тим чи іншим чином впливати та забезпечувати зміну властивостей твердих сплавів, підвищуючи їх якість. Одним з перспективних методів фінішної обробки виробів з твердих сплавів є метод магнітно-абразивної обробки (МАО) в умовах великих магнітних щілин типу “кільцева ванна” [1], [2], [3]. Його використання на фінішних етапах виготовлення твердосплавних виробів дозволяє поєднувати в одній технологічній операції як направлену дію абразивних і зміцнюючих елементів, що притаманна методам струминної й вібро-абразивної обробки, забезпечуючи зміцнення поверхневих шарів, так і методи полірування і вигладжування абразивними частинками, які знаходяться в рухомо-скоординованому стані і займають проміжний стан між вільним і жорстко зв'язаним абразивним інструментом. При цьому роль “віртуальної” зв'язки відіграє постійне магнітне поле, яке формує між полюсами кільцевої ванни магнітно-абразивний інструмент (МАІ), здатний нівелювати відносно оброблюваної поверхні, дозволяючи виконувати ефективну обробку деталей складної просторової форми.

Об'єкт і методи досліджень, мета роботи. Нами було використано метод МАО для фінішної обробки бурових зубків (рис. 1), виготовлених з твердого сплаву ВК-25. Попередні дослідження показали можливість позитивного ефективного впливу процесу МАО на стан і властивості поверхневого шару непереточуваного твердосплавного інструмента. Було доведено, що ефективність процесу МАО як поліруючо-зміцнюючої операції суттєво залежить від використаного магнітно-абразивного порошку, його типу й, особливо, розміру частинок та форми [4], кінематики процесу обробки [5], швидкості МАО – V [6], [7], часу обробки – t , наявності в складі МАІ додаткових абразивних складових [3], [6].



*Рис. 1. Ескіз
бурового зубка
(форма Г23 ГОСТ 880-75)*

Виходячи з існуючої інформації, **метою роботи** було визначення можливостей керованого впливу на стан поверхні і поверхневого шару, а саме: поверхневу твердість, мікротвердість і мікроструктуру поверхневих шарів бурових зубків при MAO; і на стан поверхневого шару, порівняно з алмазною і вібро-абразивною обробками.

Згідно з кресленнями (рис. 1) і технологією виготовлення бурових зубків, до них після спікання застосовувалась об'ємна вібро-абразивна обробка з подальшим алмазним шліфуванням циліндричної частини.

Контроль стану поверхні і поверхневого шару зубків здійснювали за величиною шорсткості – R_a , станом мікрогеометрії – відносною величиною опорної поверхні t_p на різних відносних рівнях мікропрофілю p , поверхневою твердістю, мікротвердістю поверхневого шару та його мікроструктури. Поверхневу твердість, мікротвердість досліджуваних зразків і металографічний аналіз виконували за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 при збільшенні у 520 разів. Реєстрацію структури травлених в розчині Мураками зразків виконували за допомогою цифрової камери. Шорсткість поверхні і характер зміни величини t_p на різних рівнях мікропрофілю визначали за допомогою профілографа-профілометра Калібр–252.

Експериментальні дослідження. Розробка нових методів обробки, зокрема деталей складної форми, потребує досить зваженого підходу до аналізу ефективності того чи іншого методу. В зв'язку з цим, на першому етапі досліджень доцільним є проведення моделювання процесу з урахуванням особливостей кінематики і динаміки обробки, існуючих результатів і методик попередніх досліджень. Моделювання ефективності процесу MAO бурових зубків

з використанням методики, наведеної в [5], було виконано за допомогою спеціально розробленої програми на мові C++ і скомпільованої вільно розповсюджуваним компілятором. Для опису геометрії заготовок був використаний незалежний формат STL, який не прив'язаний до жодних пакетів. Перевагою цього формату є можливість підготовки даних в таких пакетах, як, наприклад, SolidWorks, CATIA, AutoCAD та інших.

Було проведено попередні розрахунки оцінки інтенсивності впливу МАО в різних точках оброблюваних деталей при обробці в умовах кільцевої ванни залежно від параметрів обробки. Вхідними даними для програми є геометрія оброблюваної деталі (рис. 1) та параметри базування її в технологічному пристосуванні. Для подальших розрахунків геометрія деталі описується у вигляді поверхні, складеної з трикутних полігонів, з наведенням вектора нормалі і зберігається в зовнішньому файлі. При цьому параметри розташування деталі в пристосуванні виставляються в робочому вікні програми (рис. 2).

Робоче вікно програми поділено на дві частини: верхню, де розташовані елементи керування з відображенням результатів розрахунку, та нижню, де розміщені елементи керування для задання вихідних параметрів розрахунку. При роботі програми спочатку відкривається вікно вибору файла з заданою геометрією деталі (формату "STL").

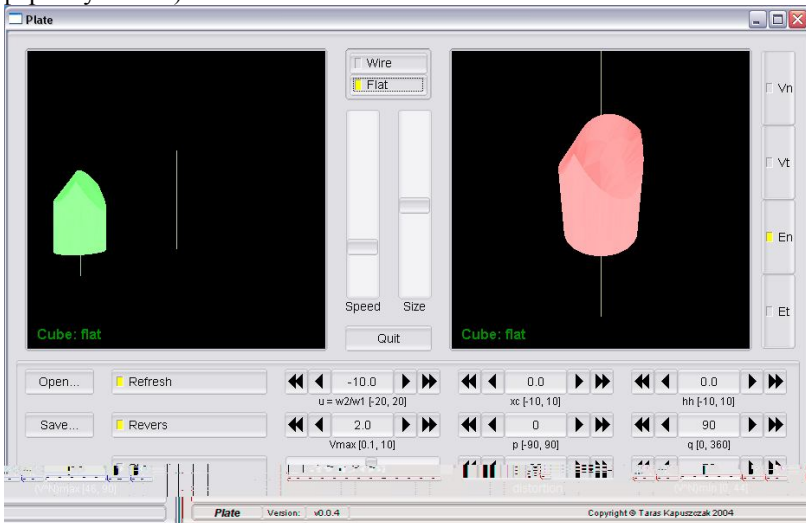


Рис. 2. Видяг робочого вікна програми

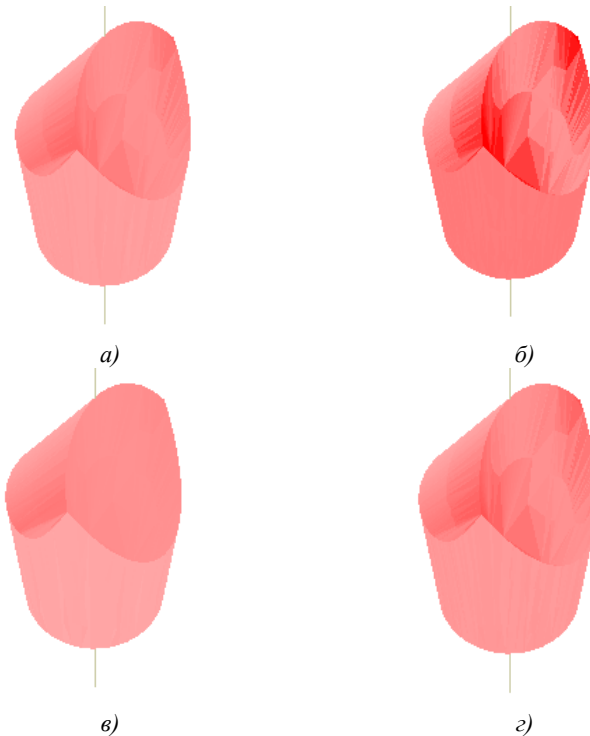
Після вибору геометрії активується основне вікно програми, в якому у верхній частині зліва відображається схема обробки деталі і де можна спостерігати за зміною характеру руху деталі при різноманітних параметрах MAO. В центральній частині робочого вікна розташовані ковзаючі повзунки, котрі дозволяють змінювати швидкість анімації та масштаб відображення деталі. Справа відображаються результати розрахунку – інтенсивність обробки відображається насиченістю кольору. Крім того, в правій частині розміщені “кнопки” перемикання відображення інтенсивностей впливу MAO на поверхню деталей, розрахованих з урахуванням швидкості обробки та кінетичної енергії, яку отримує кожна точка оброблюваної поверхні деталі окремо за нормальними і дотичними їх складовими.

В нижній частині розміщені елементи керування параметрами розрахунку. Лівий нижній блок використовується для завантаження геометрії нової деталі та збереження результатів розрахунку в файл. Результати зберігаються в текстовому файлі, де фіксуються координати кожної заданої розрахункової точки, напрямок вектора нормалі та розрахована інтенсивність впливу обробки (чотири оцінки). В нижній центральній частині розміщені кнопки перемикання перерахунку (дозволяє відключати перерахунок після кожної зміни одного з параметрів), реверсивності обробки та відображення результатів у вигляді деформацій деталі. У нижньому правому блоці розміщені елементи задання параметрів розташування деталі у технологічній наладці установки та параметри її налагодження: співвідношення швидкостей обертання (u), зміщення деталі відносно осі обертання при установці (x_s), зміщення точки нахилу та повороту деталі по вертикалі (hh), орієнтовне максимальне значення швидкості (V_{max} , даний параметр не є необхідним при розрахунку, а є масштабним коефіцієнтом, який дає змогу ліпше бачити зміну інтенсивності залежно від меж її варіювання), кут нахилу оправки (p), кут повороту оправки (q), граничні значення активного кута ($(V^{\wedge}N)_{min}$, $(V^{\wedge}N)_{max}$).

Після завантаження файла з геометрією деталі програма відображає результати розрахунку. При зміні параметрів установки деталі програма перераховуватиме результати. Порівнюючи отримані результати, можна прогнозувати і визначати параметри інтенсивності процесу MAO різноманітних деталей. Потрібні результати розрахунку можна зберігати для подальшої обробки й оптимізації.

Нами було проведено чисельний експеримент з вивчення впливу умов базування деталей в зоні обробки і співвідношення швидкостей окремих її рухів при МАО в умовах кільцевої ванни на ефективність процесу обробки. Окремі отримані результати наведено на рис. 3.

На рис. 3, *а* зображено результати розрахунку інтенсивності за кінетичною енергією від нормальної складової швидкості для схеми обробки, коли власна вісь обертання деталі та вісь кільцевої ванни паралельні ($q = 0$). Співвідношення швидкостей обертання $u = -10$ (обертання в різні боки). Зміщення деталі відносно осі обертання $x_s = 0$. За результатами розрахунку можна прогнозувати, що при цій схемі матимемо досить рівномірний зміцнюючий вплив обробки на передню і задню поверхні зубка, але всередині він буде дещо меншим.



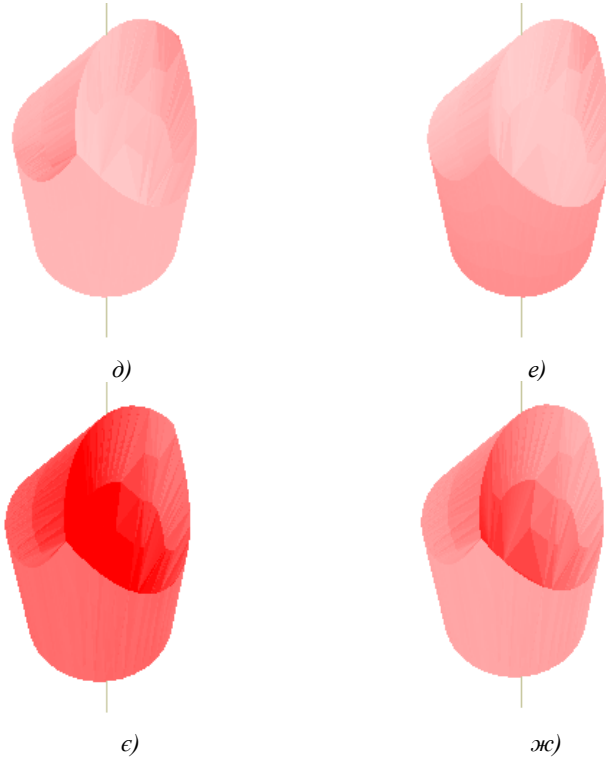


Рис. 3. Результати моделювання процесу MAO бурових зубців при різних умовах базування деталей в робочих зонах і параметрах обробки:

- a) $u = -10; xc = 0; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 1,8;$
- б) $u = -20; xc = 0; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 1,8;$
- в) $u = -5; xc = 0; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 1,8;$
- з) $u = 10; xc = 0; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 1,8;$
- д) $u = -10; xc = 0; hh = 0; p = 45^\circ; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ; (V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ;$
 $V_{max} = 1,8;$
- е) $u = -10; xc = 0; hh = 0; p = 45^\circ; q = 135^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ; (V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ;$
 $V_{max} = 1,8;$
- є) $u = -10; xc = 7; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 1,8;$
- жс) $u = -10; xc = 7; hh = 0; p = 0; q = 90^\circ; (V^{\wedge}N)_{min} = 20^\circ;$
 $(V^{\wedge}N)_{max} = 70^\circ; V_{max} = 2,3$

На рис. 3, б зображено результати розрахунку для $u = -20$. Вони показують, що в цьому випадку вплив обробки дещо зростає, але маємо значну нерівномірність розподілу інтенсивності обробки по поверхні зубків.

При зміні співвідношення швидкостей обертання до $u = -5$ (рис. 3, в) обробка дає більш рівномірний розподіл по передній і задній поверхням, але інтенсивність значно зменшується за абсолютною величиною.

На рис. 3, г зображено результати розрахунку для випадку коли обертальні рухи мають однаковий напрям $u = 10$. В цьому випадку інтенсивність обробки за величиною близька до випадку, коли обертальні рухи мають різний напрям, але можна бачити більшу нерівномірність її розподілу по поверхні.

На рис. 3, д та е показано результати розрахунків, коли нахилється вісь обертання деталі ($p = 45^\circ$) та змінюється напрям цього нахилу ($q = 135^\circ$). Для цих випадків можна прогнозувати, що різні боки зубка оброблятимуться нерівномірно.

На рис. 3, є показано результати розрахунку при установці деталі з ексцентриситетом. Хоча загальний вплив зміцнюючої обробки сильно зростає, але при зміні масштабного коефіцієнта $V_{max} = 2,3$ (рис. 3, ж) показано, що передня поверхня обробляється дуже нерівномірно.

На рис. 4 зображено приклад обробки результатів розрахунку в програмі Microsoft Excel для схеми обробки, зображеної на рис. 3, а. Після імпортування даних були відфільтровані значення для точок, що знаходяться на висоті від 10 до 12 мм від основи зубка і побудоване графічне відображення оцінок інтенсивності за кінетичною енергією від нормальної і дотичної складових вектора швидкості. Яскравішим кольорам (більш світлим) відповідають точки з більшою інтенсивністю обробки.

Для перевірки результатів чисельного експерименту було реалізовано процес MAO в умовах кільцевої ванни ідентично до умов, відображених на рис. 3, а. З метою конкретизації умов обробки, при яких очікується переважна поліруюча або зміцнююча дія при MAO використовували магнітно-абразивні порошки з суттєво різними розмірами частинок: 630/400 мкм і 200/160 мкм. Причому для підвищення поліруючої спроможності й зменшення величини середнього радіуса різальних кромek частинок MAI [3], сформованих з порошку Полимам-Г з розміром частинок 200/160 мкм, до його складу вводили алмазну пасту АСМ 3/2 в кількості до 3–5 % [2]. MAO бурових зубків виконували при швидкості 3 м/с з реверсом. Зазначена швидкість MAO є найбільш оптимальною при порівнюванні

поліруючого і зміцнюючого впливу [4], [6]. Зразки при MAO рухалися навколо вертикальної власної осі та осі кільцевої ванни за умов співвідношення відповідних частот обертання $u = -10$. Досліджували вплив часу MAO у діапазоні 2–7 хвилин. При двох значеннях магнітної індукції B у робочих щілинах, вільних від порошку, – 0,18 і 0,32 Тл.

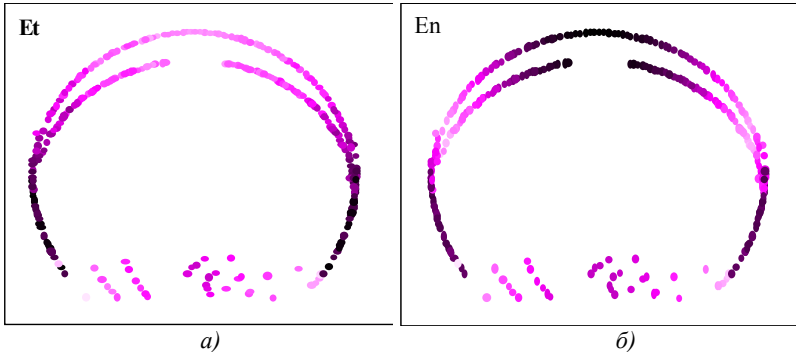
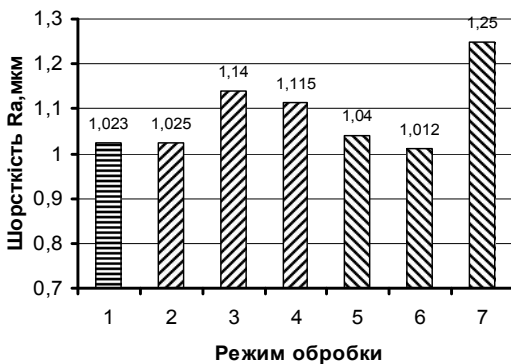


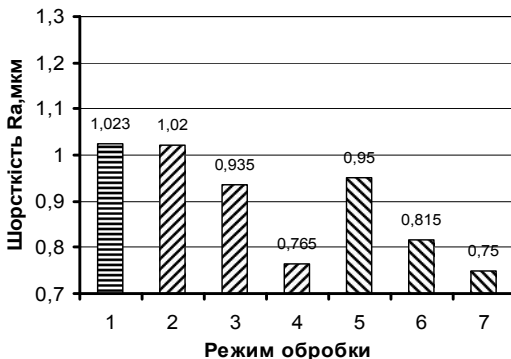
Рис. 4. Обробка результатів розрахунку в програмі MSEExcel

Результати зміни шорсткості поверхні після MAO великим і дрібним порошками при зазначених величинах магнітної індукції в робочих щілинах наведено на рис. 5. Аналіз отриманих результатів показав, що найкращу поліруючу здатність має дрібний порошок з додатками алмазної пасти, що підтверджує дані, наведені в [3]. Зазначимо, що дослідження залежностей зміни величини відносної опорної поверхні мікропрофілю не дозволили визначити суттєво нових змін у вимірюваних характеристиках, як до, так і після MAO і за отриманими результатами підтверджують дані, наведені в [8]. Отримані результати притаманні як поверхням зубків, що оброблювались вібро-абразивним методом, так і поверхням після алмазного шліфування, не зважаючи на різну вихідну величину шорсткості Ra – 1,42 мкм і 1,02 мкм відповідно – і суттєву різницю в стані мікрогеометрії: згладжений профіль і профіль з гострими мікроступами. Аналіз зміни мікропрофілю і величини відносної опорної поверхні показав, що застосування порошку 630/400 мкм призводить тільки до незначного вигладжування гострих мікроступів на шорсткуватій поверхні переважно за рахунок їх сколювання (викришування) внаслідок ударної взаємодії частинок МАІ з поверхнею деталей при MAO. При застосуванні порошку з розміром частинок 200/160 мкм і доданням алмазної пасти відбувається активне зниження шорсткості. При цьому спостерігається практично однакова обробка всього мікропрофілю як в області

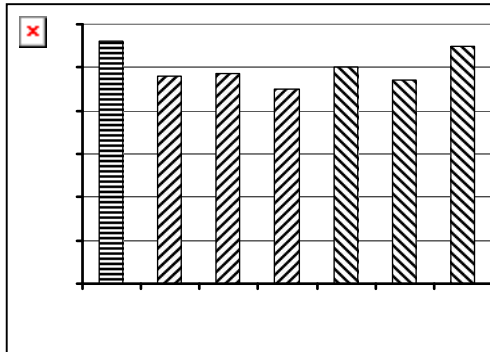
мікрориступів, так і в області мікробугорків. Причому наявність псевдорегулярного рельєфу на алмазно шліфованій боковій поверхні не дозволяє отримати ідентичну шорсткість після MAO, порівняно з вібро-абразивно обробленими передніми і задніми поверхнями. Це пов'язано з ефектом спадковості обробки. Для забезпечення більшого поліруючого ефекту від MAO на зазначених поверхнях доцільним є введення в кінематику процесу MAO додаткового руху – ускладнення процесу переміщення деталі в MAI або забезпечення можливості руху частинок MAI не тільки вздовж, а й впоперек мікрориступів – фактично реалізація схеми, наведеної в чисельному експерименті на рис. 3, *д* та *е*. Найкращі показники зі стану мікрогеометрії поверхні притаманні зразкам бурових зубків після обробки методом MAO впродовж 7 хвилин при попередній вібро-абразивній обробці без наявності регулярних складових у вихідному мікропрофіль.



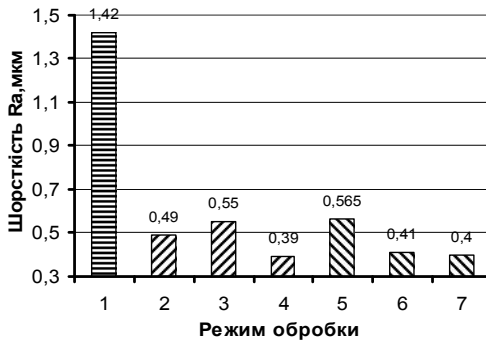
a)



б)



а)



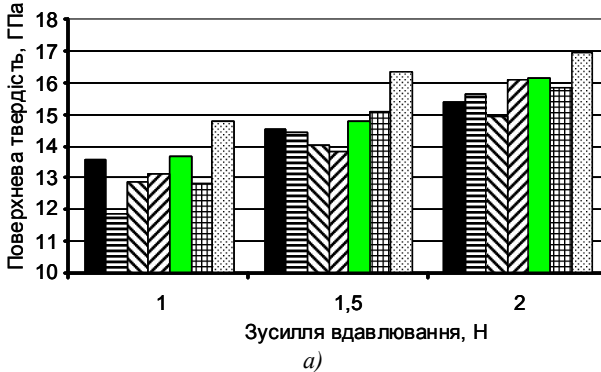
б)

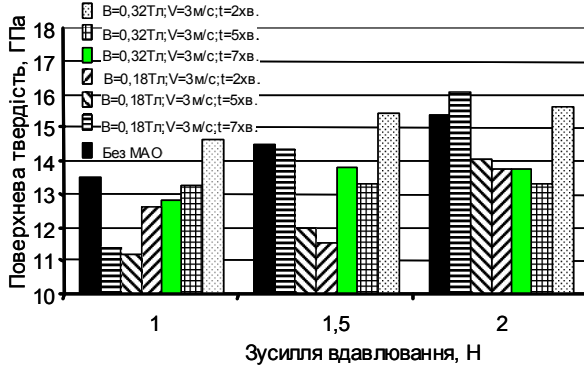
Рис. 5. Зміна шорсткості поверхні бурових зубків для різних робочих поверхонь а); б) – циліндрична поверхня, в); г) – плоска передня поверхня після МАО порошком 630/400 мкм – а); в) і порошком 200/160 мкм – б); г) за режимами обробки: 1 – без МАО після алмазної або віброабразивної обробки; 2 – $t = 2$ хв.; $V = 0,18$ Тл; 3 – $t = 5$ хв.; $V = 0,18$ Тл; 4 – $t = 7$ хв.; $V = 0,18$ Тл; 5 – $t = 2$ хв.; $V = 0,32$ Тл; 6 – $t = 5$ хв.; $V = 0,32$ Тл; 7 – $t = 7$ хв.; $V = 0,32$ Тл

Дослідження зміни поверхневої твердості зразків після МАО виконували за методом Вікерса при зусиллях вдавлювання індентора 1Н, 1,5 Н і 2 Н. Отримані результати вимірювань після статистичної обробки наведено на рис. 6.

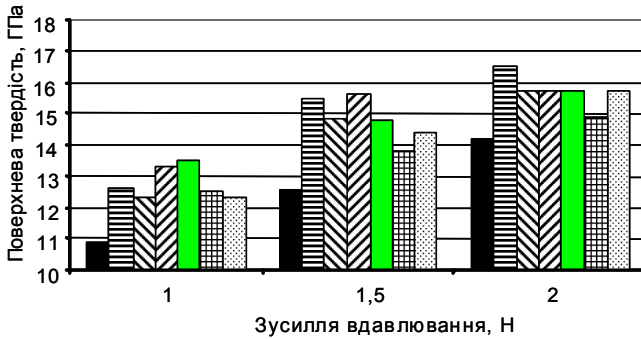
Їх аналіз показує, що тонкий поверхневий шар різних поверхонь деталей має суттєво різні фізико-механічні властивості внаслідок різної фінішної (заключної) обробки перед МАО. Застосоване силове алмазно-абразивне шліфування забезпечує формування поверхневої твердості на циліндричних поверхнях на рівні 13,5–15,2 ГПа на

глибині до 1,5–2,2 мкм. В той час, як вібро-абразивна обробка призводить до формування поверхневої твердості у тому ж шарі на рівні 11–14 ГПа. Причому з підвищенням глибини проявляється зростання твердості. Процес MAO як алмазно-, так і вібро-абразивно оброблених поверхонь призводить до вирівнювання поверхневої твердості – дещо знижуючи її після алмазного шліфування і підвищуючи у шарі біля поверхні (на глибині 1–1,5 мкм) до 13–14 ГПа після вібро-абразивної обробки. Після MAO з використанням дрібного порошку з додаванням алмазної пасти на циліндричній боковій поверхні відзначається зниження твердості біля самої поверхні, що може бути пов'язано з видаленням тонкого наклепаного шару, який переважно сформовано в межах мікропрофілю. Більш глибокі шари – на глибині більше 2 мкм – не піддаються суттєвим змінам при визначенні поверхневої твердості. Зазначимо, що виявляється зв'язок часу MAO і магнітної індукції в робочих щілинах з поверхневою твердістю. Як зростання часу MAO, так і підвищення в зонах обробки магнітної індукції в досліджуваних межах призводить до росту твердості. Отримані дані не суперечать результатам, наведеним в [1, 2, 4, 7, 8, 9], і є додатковим їх підтвердженням

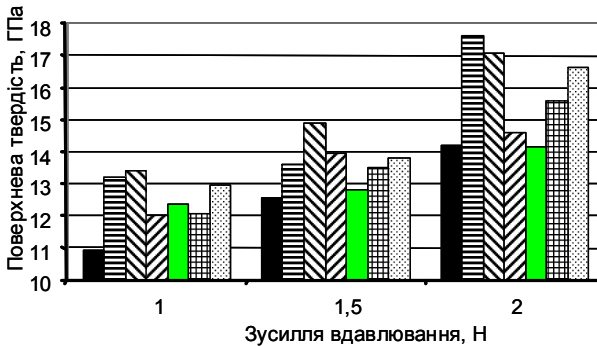




б)



в)



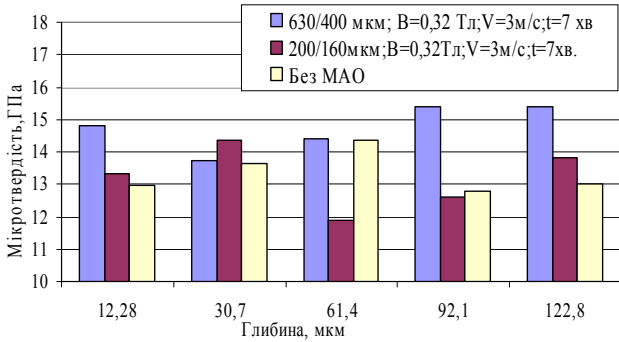
з)

Рис. 6. Зміна поверхньої твердості бурових зубків для різних робочих поверхнь а); б) – циліндрична поверхня, в); з) – плоска передня поверхня після МАО з використанням порошку з розміром частинок 630/400 мкм – а); в) і

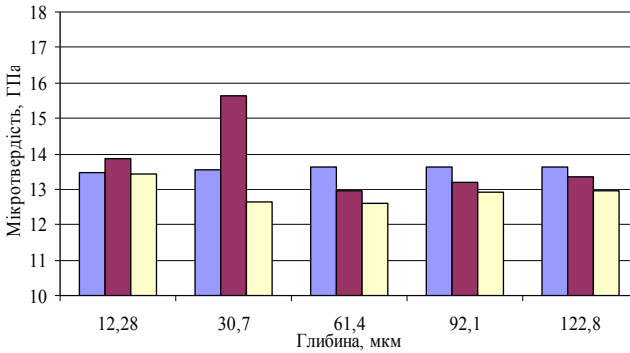
200/160 мкм – б); з)

Для вібро-абразивно оброблених поверхонь виявляється значне підвищення поверхневої твердості до 13–17 ГПа з аналогічним взаємозв'язком між часом МАО і магнітною індукцією. Таке підвищення при МАО виявляється при використанні як дрібного, так і великого порошоків, і найбільш чітко визначається при вимірюванні поверхневої твердості при зусиллі вдавлювання індентора 2 Н. Різниця у впливі МАО із застосуванням різних за розміром порошоків полягає в тому, що крупний магнітно-абразивний порошок забезпечує більш значне зростання твердості до 15–17 ГПа при меншому часі МАО, що пов'язано з більшою кінетичною енергією, яка передається оброблюваній поверхні при використанні МАІ сформованого з частинок магнітно-абразивного порошку та їх груп більшої маси і щільності. Подібне, стабільне за товщиною тонкого поверхневого шару, зростання типове для часу МАО 7 хвилин при обробці деталей з реверсом. В багатьох випадках тонкий поверхневий шар – до 2–3 мкм – виявляє свої властивості переважно при експлуатації на етапах припрацювання інструменту. При подальшій експлуатації у стаціонарному режимі важливою характеристикою буде не тільки поверхнева твердість, а і мікротвердість поверхневих шарів на глибині до 100 мкм і більше. Для аналізу мікротвердості були вибрані зразки бурових зубків з найкращим поєднанням показників мікрогеометрії поверхні і поверхневої твердості, з яких виготовлено шліфи. На отриманих шліфах вивчали зміну мікротвердості поверхневих шарів і структурні зміни матеріалу зубків. Результати вимірювання мікротвердості наведено на рис. 7.

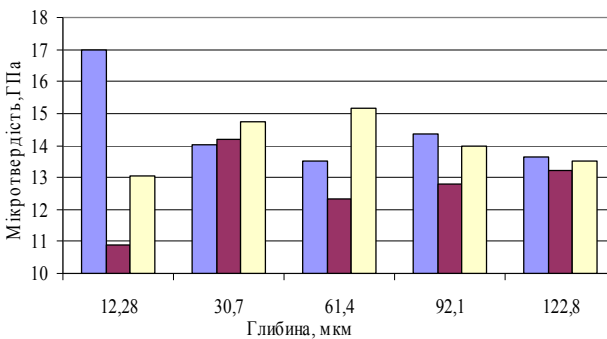
По-перше, відзначимо, що якісно (за інтегральною оцінкою) результати чисельного експерименту досить чітко співпадають з отриманими даними з мікротвердості і поверхневої твердості (рис. 6) для бокової – циліндричної – і передньої – плоскої – поверхонь, особливо при використанні порошку з розміром частинок 630/400 мкм, який застосовано для виявлення зміцнюючого ефекту, пов'язаного з ударним впливом, аналогічно до вібро- і струминних методів обробки.



а)



б)



в)

Рис. 7. Мікротвердість поверхневого шару бурових зубків після різних умов обробки: а) в центрі на передній (плоскій) поверхні; б) на боковій (циліндричній) поверхні; в) на задній поверхні

Аналіз отриманих залежностей підтвердив попередні як розрахункові і експериментальні результати, так і дані досліджень щодо особливостей впливу при MAO розміру частинок магнітно-абразивного порошкового інструмента на формування наклепаної зони [4], [6], [7]. Показано, що застосування порошку з розміром частинок 630/400 мкм забезпечує значне наклепування поверхневого шару на глибині до 15–20 мкм з боку передньої та задньої поверхонь зубків в результаті підвищених нормальних складових сил взаємодії при MAO. На боковій циліндричній поверхні підвищена твердість виявляється у підшаровій зоні на глибині в межах 30 мкм при застосуванні дрібного порошку, коли активно виявляється інтегральна дія нормальних і зсувних складових сил, що виникають при взаємодії магнітно-абразивного інструмента з оброблюваним мікропрофілем.

Для визначення особливостей, які відбуваються з мікроструктурою бурових зубків було проведено металографічний аналіз окремих ділянок зубків з різних боків: в середній частині, з боку передньої задньої і бокових робочих поверхонь залежно від умов обробки. Типові фотографії мікроструктур при збільшенні у 520 разів наведено на рис. 8.

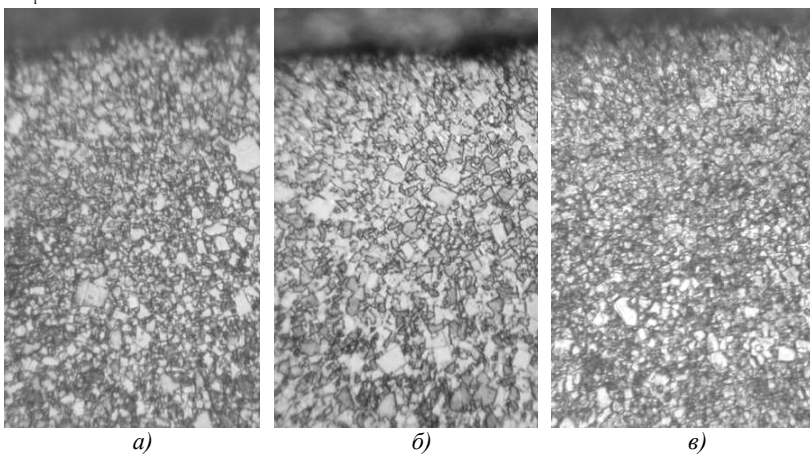


Рис. 8. Мікроструктури зразків бурових зубків після різних умов обробки: а) після алмазного шліфування; б) після MAO порошком з розміром частинок 200/160 мкм; в) після MAO порошком з розміром частинок 630/400 мкм

Встановлено, що після MAO порошком 630/400 мкм на глибині 3–5 мкм має місце подрібнення карбідної складової твердого сплаву. Застосування при MAO для формування MAI з порошку з розміром частинок 200/160 мкм відбувається подрібнення карбідів на глибині до

1–2 мкм. При порівнянні результатів металографії та величини зміни мікротвердості з глибини поверхневого шару можна припустити, що подрібнення карбідів у приповерхневому шарі безпосередньо корелює з мікротвердістю. В результаті MAO і процесів, які виникають при подрібненні карбідних складових сплаву, відбувається в поверхневих зонах перерозподіл складових, особливо кобальтової зв'язки твердого сплаву [6]. Процеси подрібнення і перерозподілу призводять до зміни напруженого стану і, як наслідок, отримання різних показників наклепування.

Висновки. В результаті проведених досліджень показано, що чисельне моделювання процесу MAO твердосплавних бурових зубків дозволяє досить коректно прогнозувати процес обробки в умовах великих магнітних щільностей на установках типу кільцева ванна. Експериментальні дослідження показали, що магнітно-абразивна обробка забезпечує можливість керованого впливу на стан поверхневого шару та його структуру. Причому проведення поліруючо-зміцнюючої обробки забезпечує формування шорсткості поверхні з $R_a < 0,5$ мкм і наклепаного шару з підвищеною поверхневою і мікротвердістю до 15–16 ГПа з глибиною 30 мкм і більше. При цьому суттєву роль відіграють розміри і мікрогеометрія застосованих магнітно-абразивних порошків. Показано, що в процесі MAO в поверхневому шарі деталей відбувається подрібнення карбідних складових твердих сплавів, яке призводить до зміни ступеню їх наклепу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Барон Ю.М.* Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.:Машиностроение, 1986. – 176 с.
2. *Майборода В.С.* Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. Дисс...д.т.н. – К., 2001. – 404 с.
3. *Оликер В.Е.* Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.
4. *Майборода В.С., Ульяновко Н.В., Дюбнер Л.Г., Ивановський О.А.* Застосування магнітно-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту // Вісник ЖДТУ. – 2003. – № 3 (27). – С. 95–103.
5. *Майборода В.С., Капуцак Т.М.* Кінематика процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних багатогранних

- непереточуваних пластин в умовах кільцевої робочої зони // Вісник ЖДГУ – 2004. – № 4 (31). – Т. 1. – С. 57–65.
6. Бобіна М.М., Майборода В.С., Ульяненко Н.В. Магнітно-абразивна обробка багатограних непереточуваних твёрдосплавних пластин // Металознавство та обробка матеріалів. – № 3. – 2002. – С. 72–75.
 7. Гейчук В.Н., Майборода В.С., Ульяненко Н.В. Магнітно-абразивная обработка неперетачиваемых твёрдосплавных пластин // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2002. – Вып. 44. – С. 118–121.
 8. Майборода В.С., Ульяненко Н.В. Кинетика формирования микропрофиля поверхности твёрдосплавного режущего инструмента при магнитно-абразивной обработке // Вісник Сумського державного університету (Технічні науки). – 2003. – № 2 (48). – С. 104–111.
 9. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – М.: Наука и техника, 1981. – 328 с.

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

Наукові інтереси:

– реологія порошкових середовищ в слабких магнітних полях, різання матеріалів, методи зміцнення виробів.

КАПУЦАК Тарас Миколайович – інженер.

Наукові інтереси:

– різання матеріалів, методи зміцнення виробів, математичне моделювання.

Подано 10.02.2006