

В.С. Майборода, д.т.н., проф.

Т.М. Капушак, інж.

Національний технічний університет України "КПІ"

КІНЕМАТИКА ПРОЦЕСУ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТВЕРДОСПЛАВНИХ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИН В УМОВАХ КІЛЬЦЕВОЇ РОБОЧОЇ ЗОНИ

Розроблено методика оцінки з кінематичної точки зору інтенсивності магнітно-абразивної обробки в умовах кільцевої робочої щільності багатогранних непереточуваних пластин за зміною швидкості та кінетичної енергії в заданій точці оброблюваної задньої робочої поверхні в залежності від умов обробки та характеру їх розташування в зоні обробки.

Вступ

Обробка твердосплавних виробів методом магнітно-абразивної обробки (МАО) дозволяє суттєво підвищити їх експлуатаційні характеристики за рахунок зміни мікрогеометрії поверхні та фізико-механічних характеристик поверхневого шару [1–3]. Залежно від параметрів обробки можна керувати зменшенням шорсткості, підвищенням мікротвердості робочих поверхонь та експлуатаційної стійкості твердосплавного інструменту [4–6]. Перспективним є застосування МАО для обробки багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНТП) в умовах великих робочих зазорів, при цьому стає можливою обробка деталей різних за формою і конфігурацією. Але необхідність отримання рівномірної обробки в усіх точках робочої поверхні змушує особливу увагу звертати на кінематику процесу МАО, котра визначає можливість отримання потрібного результату.

Стан проблеми і задачі досліджень

Досвід попередніх досліджень показує, що на кінцеву якість обробки БНТП методом МАО має вплив ряд факторів: тривалість обробки, характеристики магнітно-абразивного порошку, величина та конфігурація магнітного поля в робочій зоні. Але найважливішим фактором є траєкторія руху виробу в робочому зазорі. Відносна швидкість переміщення окремої точки на поверхні оброблюваної деталі та магнітно-абразивного інструменту визначає інтенсивність обробки в даній точці та її характер (полірування чи ударна, зміцнююча дія). Для отримання максимально рівномірної обробки всіх поверхонь багатогранної пластини необхідно добиватися рівномірної зміни швидкостей різних точок поверхні за один оберт оброблюваної пластини. З метою забезпечити необхідний рух деталі була спроектована універсальна чотиришпиндельна головка для МАО, в конструкцію якої закладений рух оправки з оброблюваною деталлю в кільцевій ванні з одночасним обертанням оправки, причому вісь обертання оправки має можливість нахилу в межах визначеного кута. Метою дослідження було визначення впливу параметрів обробки, а саме: співвідношення швидкостей обертання навколо осі оправки та осі кільцевої ванни і кута нахилу оправки, на зміну інтенсивності обробки вздовж робочих поверхонь БНТП.

Методика розрахунку

Для оцінки інтенсивності впливу МАО в кожній окремій точці оброблюваної деталі було використано інтегральну оцінку зміни швидкості та кінетичної енергії для кожної точки на задній поверхні БНТП за один оберт пластини окремо для нормальній та дотичній складових відносно оброблюваної деталі.

Для визначення вектора швидкості окремої точки в заданий момент часу вводимо такі системи координат (рис. 1):

- система координат $X_B Y_B Z_B$ зв'язана з кільцевою ванною і обертається зі швидкістю $\overline{\omega_B}$ навколо осі Z_B ;

- система координат $X_O Y_O Z_O$ зв'язана з оправкою. Вісь Z_O є віссю обертання оправки. Дана система координат повернута навколо осі Y_B на кут p , а потім навколо вертикальної осі на кут q , що дозволяє нахилати оброблювану деталь в довільному напрямку. Крім того, дана система координат зміщена відносно початку координат системи $X_B Y_B Z_B$ на величину $\overline{A_w}$;

- система координат $X_D Y_D Z_D$ зв'язана з оброблюваною деталлю. Дана система координат обертається зі швидкістю $\overline{\omega_O}$ навколо осі Z_O .

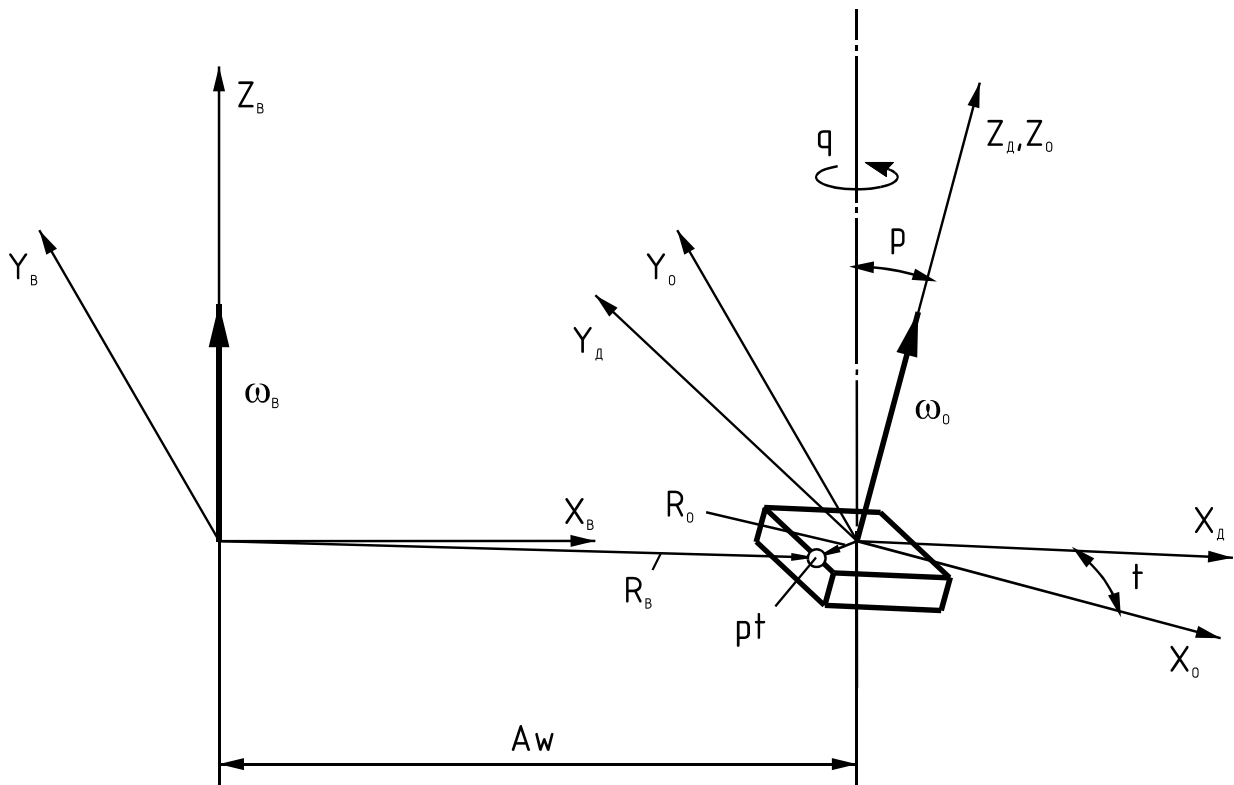


Рис. 1. Системи координат при визначенні складових швидкостей окремих точок БНТП в умовах MAO в кільцевій зоні

Кутова швидкість обертання деталі навколо осі оправки $\overline{\omega}_O$ зв'язана з кутовою швидкістю обертання оправки навколо осі кільцевої ванни $\overline{\omega}_B$ співвідношенням:

$$\overline{\omega}_O = u \cdot \overline{\omega}_B, \tag{1}$$

де u – співвідношення швидкостей обертання деталі навколо осей оправки та кільцевої ванни ($u > 0$ – коли напрямки швидкостей обертання співпадають, і $u < 0$ – коли напрямки обертання протилежні).

Координати точки на поверхні оброблюваної деталі $\overline{pt}_D \alpha$ та напрямок вектора нормалі до поверхні в даній точці $\overline{N}_D \alpha$ позначимо як:

$$\overline{pt}_D \alpha = \begin{pmatrix} x \alpha \\ y \alpha \\ z \alpha \end{pmatrix}, \quad \overline{N}_D \alpha = \begin{pmatrix} N_x \alpha \\ N_y \alpha \\ N_z \alpha \end{pmatrix}.$$

Координати заданої точки та напрямок вектора нормалі в системі координат $X_O Y_O Z_O$ при повороті деталі на кут t визначаються як:

$$\overline{pt}_O t = r_z t \cdot \overline{pt}_D \alpha, \quad \overline{N}_O t = r_z t \cdot \overline{N}_D \alpha, \tag{2}$$

де r_z – матриця повороту вектора навколо осі Z :

$$r_z t = \begin{pmatrix} \cos t & -\sin t & 0 \\ \sin t & \cos t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{3}$$

а координати точки та напрямок вектора нормалі в системі координат $X_B Y_B Z_B$ при нахилі оправки на кут p та поворотом на кут q , як:

$$\overline{pt}_B = r_z q \cdot r_y p \cdot \overline{pt}_O t + \overline{A}_w; \quad \overline{N}_B = r_z q \cdot r_y p \cdot \overline{N}_O t, \tag{4}$$

де r_y – матриця повороту вектора навколо осі Y :

$$r_{y \ p} = \begin{pmatrix} \cos p & 0 & \sin p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin p & 0 & \cos p \end{pmatrix}; \quad (5)$$

A_w – радіус кільцевої ванни.

Абсолютну швидкість руху точки знаходимо за формулою:

$$\bar{V} = \bar{V}_B + \bar{V}_O, \quad (6)$$

де \bar{V}_B – лінійна швидкість руху точки деталі навколо осі кільцевої ванни;

\bar{V}_O – лінійна швидкість руху точки деталі навколо осі оправки.

Лінійна швидкість руху точки навколо осі кільцевої ванни:

$$\bar{V}_B = \bar{\omega}_B \times \bar{R}_B, \quad (7)$$

де \bar{R}_B – відстань від заданої точки на робочій поверхні БНТП до осі обертання Z_B :

$$\bar{R}_B = \begin{pmatrix} pt_{Bx} \\ pt_{By} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Лінійну швидкість руху точки навколо осі оправки (в системі координат $X_B Y_B Z_B$) знаходимо за формулою:

$$\bar{V}_O = r_z \ q \cdot r_{y \ p} \cdot \bar{\omega}_O \times \bar{R}_O, \quad (8)$$

де \bar{R}_O – відстань від точки до осі обертання Z_O :

$$\bar{R}_O = \begin{pmatrix} pt_{Ox} \\ pt_{Oy} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Кут β між вектором швидкості та вектором нормалі в заданій точці можна визначити зі співвідношення:

$$\cos \beta = \frac{\bar{V} \cdot \bar{N}_B}{|\bar{V}| \cdot |\bar{N}_B|}. \quad (9)$$

Тоді величини нормальної та дотичної складових вектора швидкості відносно оброблюваної поверхні будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} V_n &= |\bar{V}| \cdot \cos \beta; \\ V_\tau &= |\bar{V}| \cdot \sin \beta. \end{aligned} \quad (10)$$

Залежно від того, як направлені вектори швидкості та нормалі до оброблюваної поверхні можливий різний характер її взаємодії з магнітно-абразивним інструментом і, відповідно, в певний момент часу у визначеній точці може відбуватися процес полірування, процес зміцнення поверхневого шару [4] або поверхня може взагалі не оброблятися, тобто на поверхні будуть виникати „тіньові зони”. Для врахування цього вводимо функцію:

$$akt \ \beta = \begin{cases} 0, & \beta < \beta_{\min} \\ 1, & \beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max} \\ 0, & \beta_{\max} < \beta \end{cases}. \quad (11)$$

Дана функція визначає межі активного кута, тобто кута, в межах якого здійснюється обробка заданої точки поверхні. Значення β_{\min} і β_{\max} – граничні значення активного кута; вважається, що коли кут між вектором швидкості та вектором нормалі до поверхні в заданій точці виходить за межі цих значень, то

інтенсивність обробки в даний момент часу рівна нулю. Значення β_{\min} і β_{\max} обираються залежно від того, який характер взаємодії маємо на меті дослідити.

Для інтегральної оцінки інтенсивності обробки за один оберт пластини в окремій точці оброблюваної деталі для нормальних та дотичних складових швидкості та кінетичної енергії використовуємо функції:

$$I_{V_n} = \int_0^{2\pi} V_n t \cdot akt \beta t dt ; \quad (12a)$$

$$I_{V_\tau} = \int_0^{2\pi} V_\tau t \cdot akt \beta t dt ; \quad (12б)$$

$$I_{E_n} = \int_0^{2\pi} V_n^2 t \cdot akt \beta t dt ; \quad (13a)$$

$$I_{E_\tau} = \int_0^{2\pi} V_\tau^2 t \cdot akt \beta t dt , \quad (13б)$$

де I_{V_n} , I_{V_τ} – оцінка інтенсивності обробки за зміною швидкості, відповідно за нормальною та дотичною складовими швидкості;

I_{E_n} , I_{E_τ} – оцінка інтенсивності обробки за кінетичною енергією, відповідно за нормальною та дотичною складовими швидкості.

Результати досліджень

Розрахунки виконувались для БНТП трикутної форми з радіусом вписаного кола $R=8$ мм, радіус кільцевої ванни $A_v=100$ мм, для випадку обробки за реверсивною схемою – зі зміною напрямків обертання на протилежні, що дає змогу обробляти деталі симетрично.

На рис. 2 зображено результати розрахунків за визначенням впливу на інтенсивність обробки співвідношення швидкостей обертання u . Граничні значення активного кута обрані з метою оцінити загальну інтенсивність обробки (і зміцнюючий, і поліруючий вплив).

Отримані результати показують, що зі збільшенням u за абсолютним значенням, при оцінці за нормальною складовою швидкості, зростає і нерівномірність обробки вздовж грані, але при малих значеннях невисокою є загальна інтенсивність обробки. Крім того, видно, що протилежні напрямки обертання навколо осей оправки та кільцевої ванни ($u < 0$) дають рівномірніший розподіл інтенсивності обробки.

При переважних умовах ударної взаємодії частинок магнітно-абразивного інструменту з поверхнею оброблюваної деталі характер зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні відношення швидкостей обертання u наведено на рис. 3.

Перевірку виконаних розрахунків в експериментальних умовах при $p=0$ проводили при МАО БНТП зі сплаву ТТ10К8-Б на установці „МАРС” і на установці типу кільцева ванна, описаній в [3] при величині $u=500$ і $u=10$ відповідно. Отримані результати зміни поверхневої твердості вздовж грані пластини наведені на рис. 4.

Результати впливу кута нахилу оброблюваної деталі p наведені на рис. 5, 6, 7 для різних значень кута q : $q=0$ – деталь нахилена в напрямку, перпендикулярному до напрямку руху (рис. 4); $q=45^\circ$ – нахил деталі під кутом до напрямку руху (рис. 5); $q=90^\circ$ – деталь нахилена в напрямку руху (рис. 6). Розраховувалась оцінка ударного (зміцнюючого) впливу МАІ на поверхню оброблюваної деталі.

При нахилі оправки в напрямку, перпендикулярному до напрямку руху, інтенсивність обробки практично не залежить від кута нахилу оправки (рис. 5).

При нахилі оправки під кутом 45° до напрямку руху нерівномірність інтенсивності обробки вздовж грані за нормальною складовою зростає зі збільшенням кута p за рахунок зменшення інтенсивності обробки в середній частині грані (рис. 6). Але при цьому рівномірнішою стає інтенсивність обробки при оцінці за дотичною складовою швидкості. Тобто нахил пластини спричиняє нахил вектора швидкості відносно нормалі до оброблюваної поверхні, що має означати збільшення поліруючого впливу обробки.

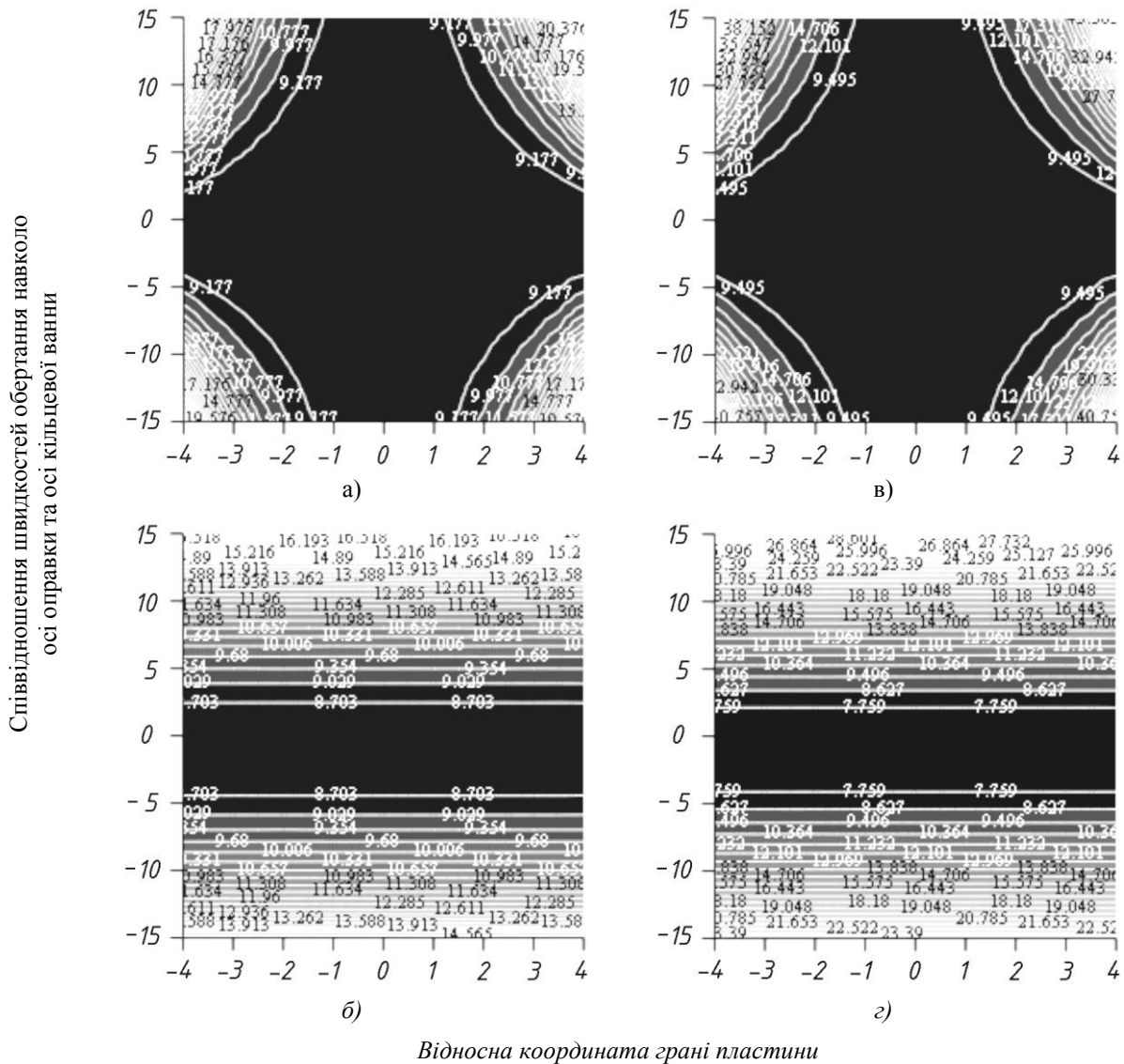


Рис. 2. Топограми зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні відношення швидкостей обертання від -15 до 15 , для кута нахилу оправки $\rho=0$, активний кут прийнятий в межах $90^\circ \geq \beta \geq 0$:

- а) оцінка розподілу інтенсивності обробки за зміною швидкості по нормальній складовій I_{Vn} ;
- б) оцінка розподілу інтенсивності обробки за зміною швидкості по дотичній складовій I_{Vt} ;
- в) оцінка розподілу інтенсивності обробки за кінетичною енергією по нормальній складовій швидкості I_{En} ;
- г) оцінка розподілу інтенсивності обробки за кінетичною енергією по дотичній складовій швидкості I_{Et}

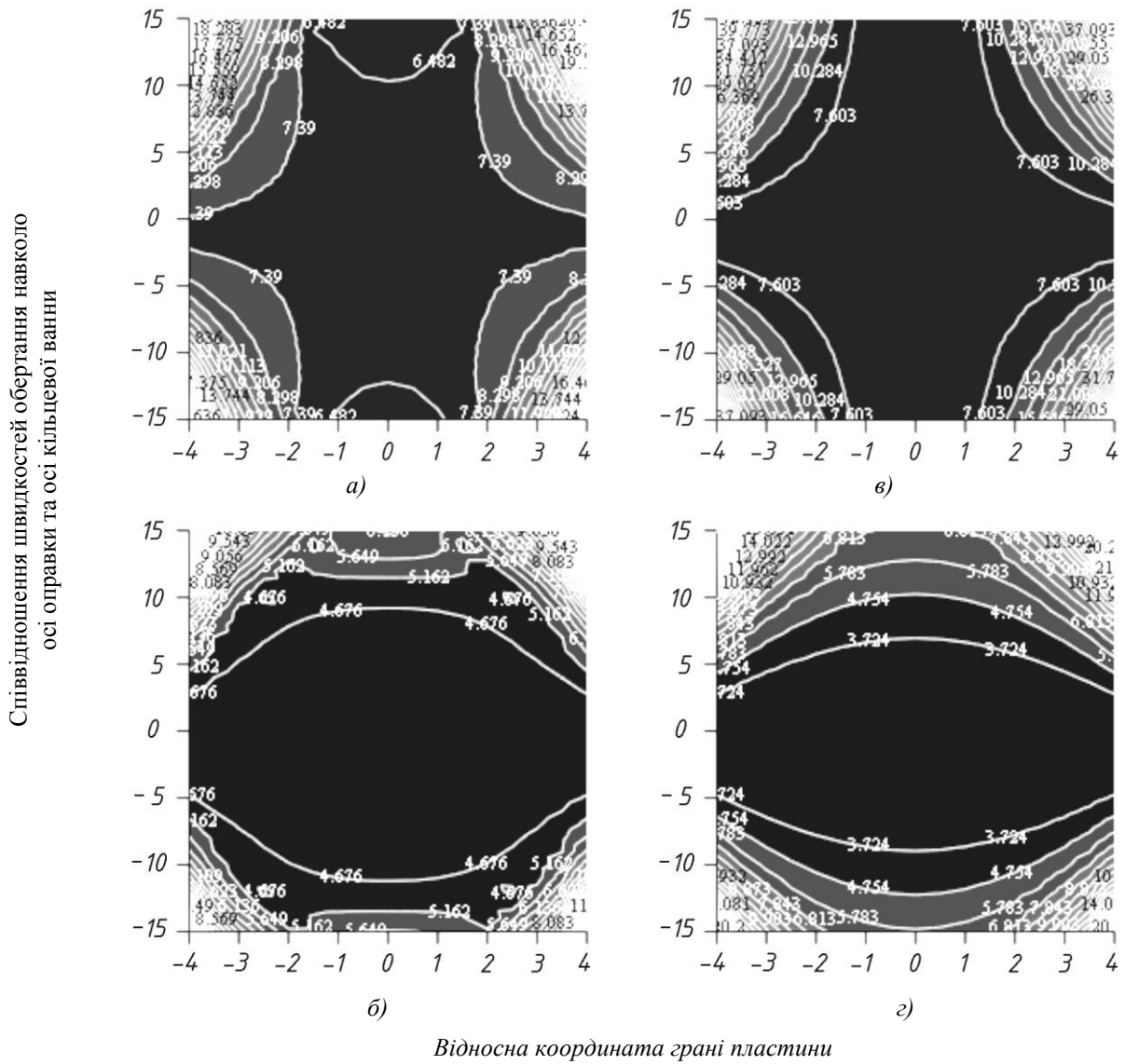


Рис. 3. Топограми зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні відношення швидкостей обертання від -15 до 15 , для кута нахилу оправки $\rho = 0$, активний кут прийнятий в межах $60^\circ \geq \beta \geq 0$; а), б), в), г) – аналогічно до рис. 2

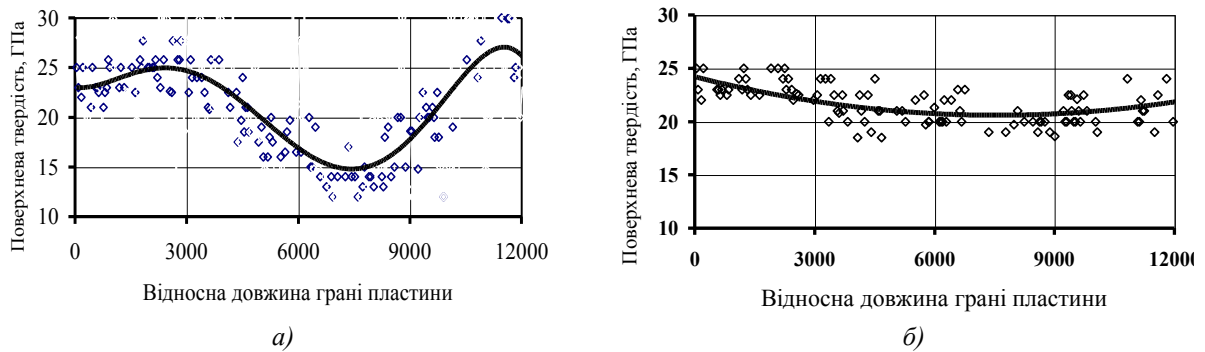


Рис. 4. Залежності зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні відношення швидкостей обертання – $u = 500$ а) і $u = 10$ – б), для кута нахилу оправки $\rho = 0$

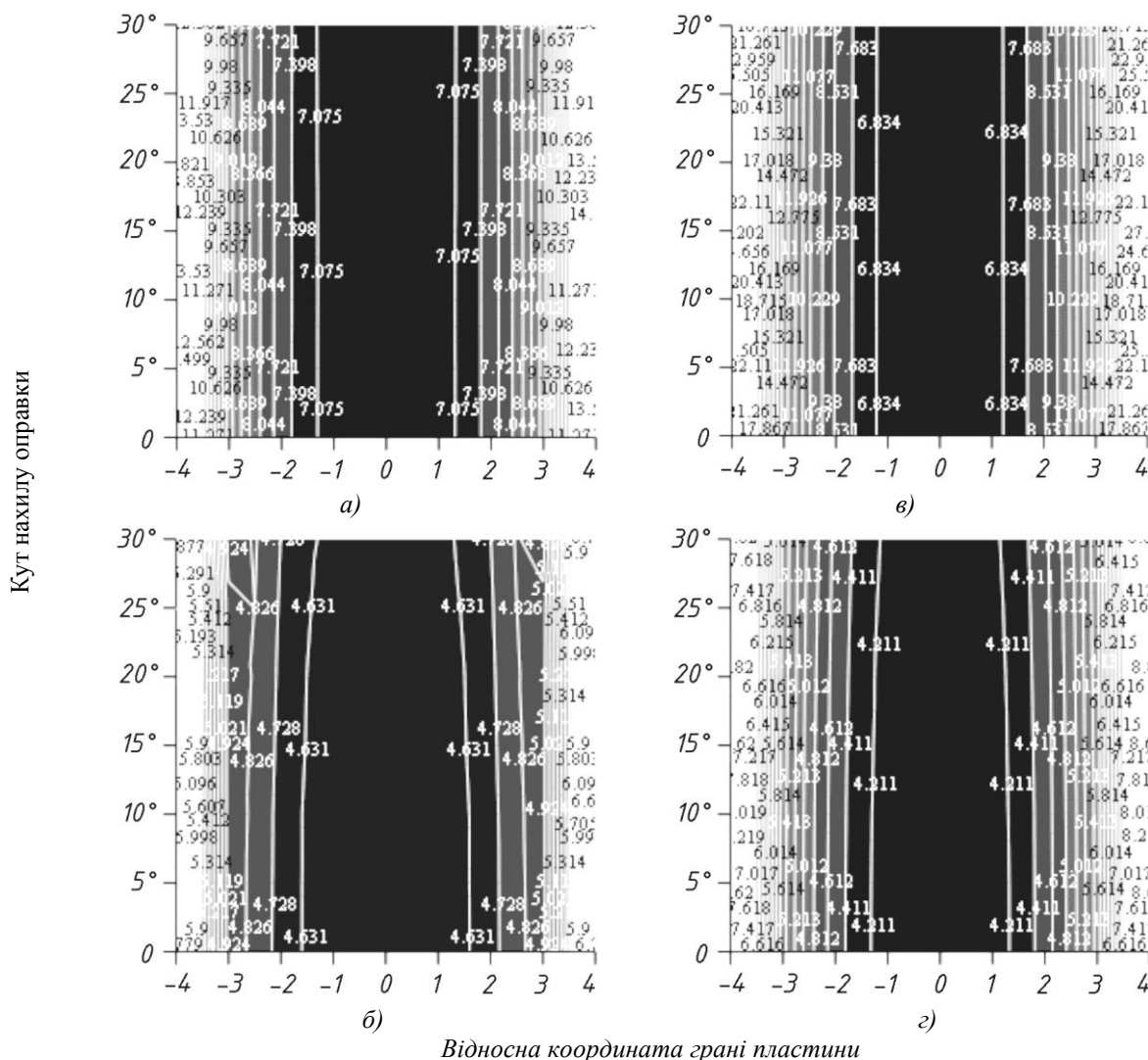
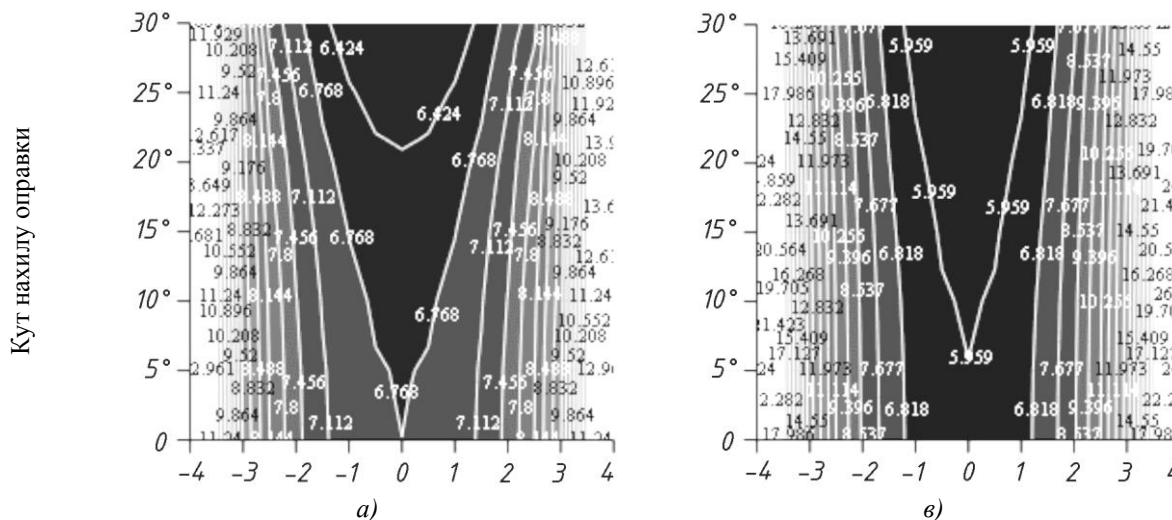


Рис. 5. Топограми зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні кута нахилу оправки від 0 до 30°, для $q = 0^\circ$, співвідношення швидкостей обертання $u = -10$, активний кут прийнятий в межах $60^\circ \geq \beta \geq 0^\circ$; а), б), в), г) – аналогічно до рис. 2

При нахилі оправки в напрямку руху ефекти, виявлені для значення кута $q = 45^\circ$, проявляються ще характерніше.



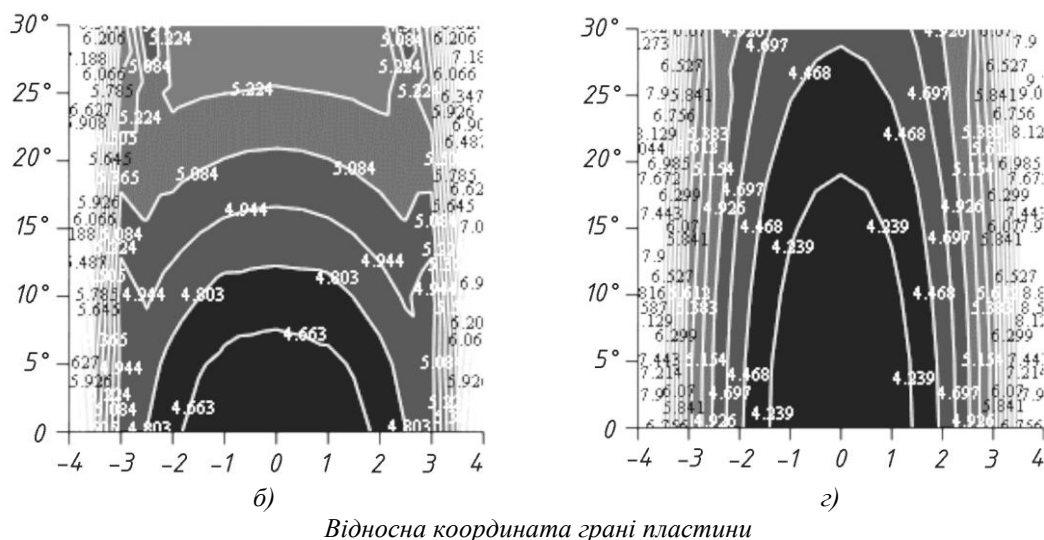


Рис. 6. Топограми зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні кута нахилу оправки від 0 до 30°, для $q=45^\circ$, співвідношення швидкостей обертання $u=-10$, активний кут прийнятий в межах $60^\circ \geq \beta \geq 0$; а), б), в), г) – аналогічно до рис. 2

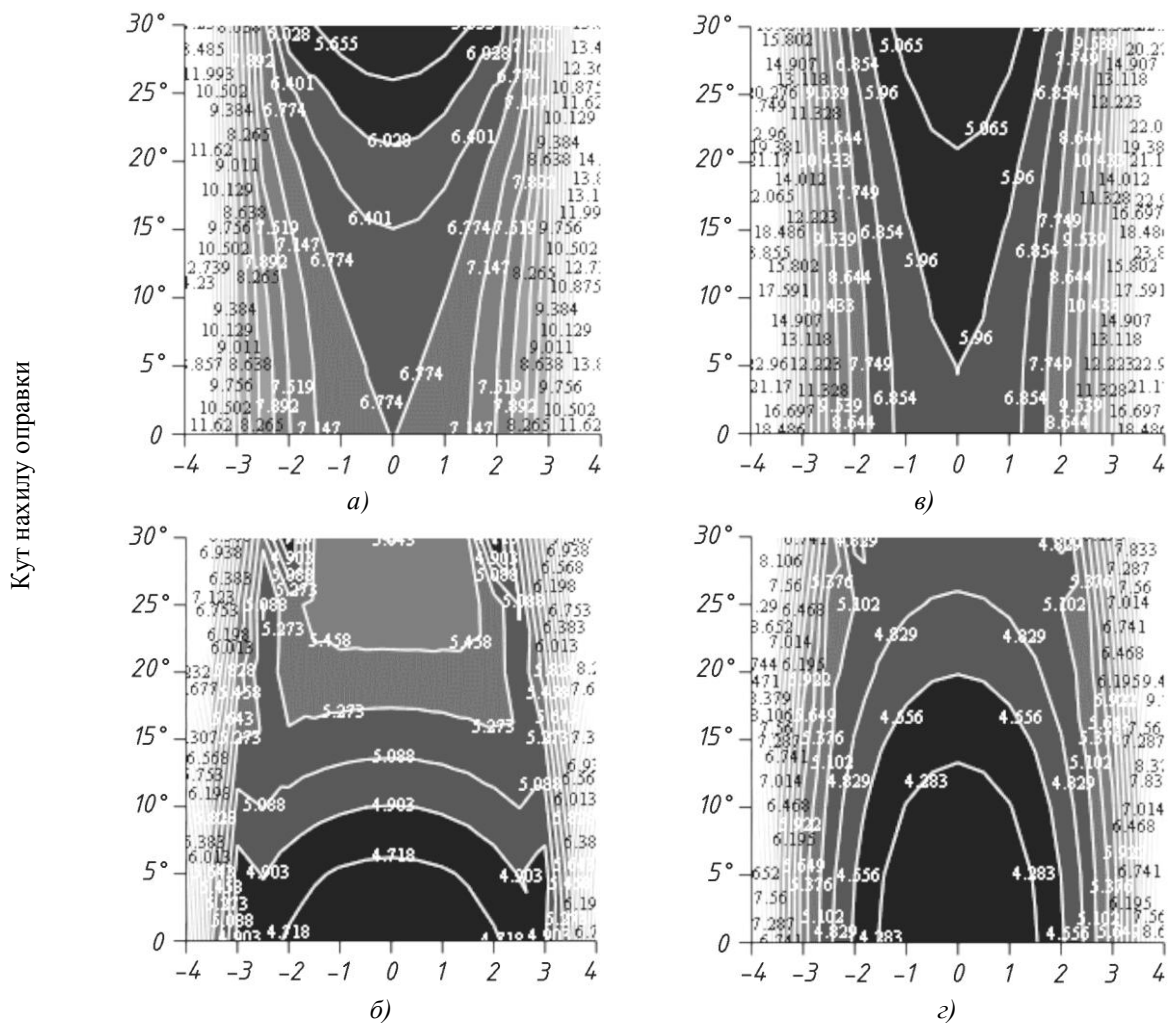


Рис. 7. Топограми зміни інтенсивностей обробки вздовж грані при зміні кута нахилу оправки від 0 до 30°, для $q=90^\circ$, співвідношення швидкостей обертання $u=-10$, активний кут – $60^\circ \geq \beta \geq 0$; а), б), в), г) – аналогічно до рис. 2

Висновки

Виконані розрахунки показують, що зі збільшенням співвідношення швидкостей обертання оброблюваної деталі навколо осі оправки та навколо осі кільцевої ванни за абсолютною величиною нерівномірність інтенсивності обробки деталі вздовж грані зростає, але при малих співвідношеннях суттєво знижується загальна інтенсивність обробки. Коли напрямки обертання співпадають, крайні точки грані обробляються значно інтенсивніше. Тому оптимальними слід вважати значення в межах $u = -12 \dots -8$. Вказані значення дають змогу досягти хорошої якості обробки, що підтверджується експериментальними даними.

Нахил осі обертання оправки в напрямку руху оброблюваної деталі в кільцевій ванні спричиняє нерівномірність зміцнюючого впливу обробки і рівномірніший поліруючий вплив за рахунок середини грані. Але при цьому слід враховувати, що це дає можливість обробляти БНТП не лише по задній поверхні, але і по передній, яка при нульовому куті нахилу практично не обробляється, тому остаточні висновки слід робити лише після детального аналізу розподілу інтенсивності обробки по всій поверхні оброблюваної деталі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Кобчиков В.С.* Технология магнитно-абразивного полирования изделий из твердых сплавов: Автореф.: ... канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1983 – 16 с.
2. *Барон Ю.М.* Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
3. *Гейчук В.Н., Майборода В.С., Ульяненко Н.В.* Магнитно-абразивная обработка неперетачиваемых твердосплавных пластин // Вестник НТУУ “КПИ” / Машиностроение. – № 43. – 2002. – С. 115–118.
4. Застосування магнітно-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту / В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко, Л.Г. Дюбнер, О.А. Івановський // Вісник ЖДТУ. – 2003. – № 3 (27). – С. 22–31.
5. *Майборода В.С., Ульяненко Н.В.* Кинетика формирования микропрофиля поверхности твердосплавного режущего инструмента при магнитно-абразивной обработке // Вісник Сумського державного університету / Технічні науки. – 2003. – № 2 (48). – С.104–111.
6. *Дюбнер Л.Г., Майборода В.С., Ульяненко Н.В.* Магнітно-абразивна обробка твердосплавного інструменту з покриттям на основі TiN // Наукові праці ДНТУ / Машинобудування і машинознавство. – 2004. – № 71. – С. 35–40.

МАЙБОРОДА Віктор Степанович – доктор технічних наук, професор кафедри ІВ ММІ Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- різання;
- технологія машинобудування.

КАПУЩАК Т.М. – інженер Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- обробка твердосплавних виробів.

Подано 17.09.2004

Майборода В.С., Капушак Т.М. Кінематика процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних багатограних непереточуваних пластин в умовах кільцевої робочої зони.

Майборода В.С., Капушак Т.М. Кинематика процесса магнитно-абразивной обработки твердосплавных многогранных неперетачиваемых пластин в условиях кольцевой рабочей зоны.

Maiboroda V.S., Kapuschak T.M. Kinematics of magneto-abrasive processing of carbide cutting plates for annular working area

УДК 621.762:691:921

Кінематика процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних багатограних непереточуваних пластин в умовах кільцевої робочої зони / В.С. Майборода, Т.М. Капушак

Розглянуто методику розрахунку вектора швидкості окремої точки оброблюваної деталі для магнітно-абразивної обробки БНТП в кільцевій ванні. Запропоновано оцінку інтенсивності обробки за зміною швидкості та кінетичної енергії в заданій точці оброблюваної поверхні та виконано оцінку впливу кінематичних параметрів на зміну інтенсивності обробки в різних точках оброблюваної поверхні.

УДК 621.762:691:921

Кинематика процесса магнитно-абразивной обработки твердосплавных многогранных неперетачиваемых пластин в условиях кольцевой рабочей зоны / В.С. Майборода, Т.М. Капушак

Рассмотрено методику расчета вектора скорости отдельной точки обрабатываемой детали для магнитно-абразивной обработки многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин в кольцевой ванне. Предложено оценку интенсивности обработки за изменением скорости и кинетической энергии в заданной точке обрабатываемой поверхности, а также выполнено оценку влияния кинематических параметров на изменение интенсивности обработки в разных точках обрабатываемой поверхности.

УДК 621.762:691:921

Kinematics of magneto-abrasive processing of carbide cutting plates for annular working area / V.S. Maiboroda, T.M. Kapuschak

Calculation of velocity vector at a given point for magneto-abrasive processing of carbide cutting plate in annular working area has been reviewed. Processing rate estimation through varying of velocity and kinetic energy at a given point of processed surface was offered. An influence of kinematics parameters on processing rate for different points of processed area was analyzed.