

УДК 621.923

В.М. Гейчук, к.т.н., доц.

В.С. Майборода, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

КІНЕМАТИКА МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН У МАГНІТНІЙ СИСТЕМІ ТИПУ "КІЛЬЦЕВА ВАННА"

Розроблено математичну модель кінематики процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних непереточуваних пластин у магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів з урахуванням реальної геометрії пластини. За її допомогою на прикладі пластин типів SNMM 120412 та SNMG 120412 MITSUBISHI квадратної форми досліджена кінематика процесу і встановлені його основні закономірності. Розроблені інтегральні критерії оцінки і вибору кінематичних параметрів процесу.

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень. Під час полірування виробів складної форми зв'язаним абразивом за допомогою еластичних кругів і полотен через нерівномірний контактний тиск оброблена поверхня має неоднорідні показники як за шорсткістю, так і за фізико-механічними властивостями поверхневого шару.

Вільними від недоліків, властивих фінішним операціям із застосуванням жорстко закріпленого і зв'язаного абразиву, є методи обробки вільним абразивом. До них відносяться: струминна абразивно-рідинна обробка, полірування в барабанах, що обертаються, обробка ущільненим потоком вільного абразиву. В цьому випадку стабільність процесу обробки не залежить від кваліфікації робітника, не потрібне забезпечення точного базування.

Залежно від магнітної індукції в робочому зазорі процес магнітно-абразивної обробки (МАО) в магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів може наближатись до обробки з жорстко закріпленим або вільним абразивним зерном, використовуючи переваги того або іншого методу.

Як наголошується в роботах [1, 2, 3], при ранжируванні чинників, що визначають процес, за їх впливом на зміну шорсткості поверхні і величину розмірного знімання, на одному з перших місць знаходяться кінематичні характеристики процесу. За допомогою кінематики обробки можна управляти не тільки кількісною стороною процесу

різання (величиною поверхні, отримуваною в одиницю часу), але і якісною (змінювати динаміку процесу, форму стружки, знос інструмента, якість обробленої поверхні), і, крім того, забезпечувати певну точність форми. Проте дослідження в цих роботах проводилися тільки для циліндричних і сферичних поверхонь.

У роботах [2, 3] наголошується, що одні схеми об'ємної МАО забезпечують меншу шорсткість поверхні за рахунок "м'якого кінематичного режиму", інші схеми, маючи "більш динамічніший кінематичний режим", не дають такої низької шорсткості, зате сприяють більш рівномірній в часі обробці фасонних поверхонь обертання. У роботах [1, 2] розглядається формоутворення поверхонь, що мають елементи сфери. Встановлено, що для збереження форми необхідне створення ідентичності умов обробки в усіх точках робочої зони. Рівномірність обробки забезпечується за умови дотримання певного співвідношення швидкостей обертання полюсних наконечників і заготовки для того, щоб зерно не здійснювало різання по траєкторії, що "повторюється". У всіх роботах указується, що відносні і переносні швидкості впливають на продуктивність процесу, зміну тиску порошку в різних ділянках робочої зони.

Процес МАО більшості деталей в магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів виконується при індукціях магнітного поля величиною $B = 0,25 \div 0,6$ Тл. Крім того, тверді сплави мають невисоку магнітну проникність ($\mu = 2 \div 12$) (для кобальтових сплавів за даними компанії Sandvik) у порівнянні з швидкорізальними сталями ($\mu = 40 \div 240$ при $B = 0,2 \div 0,6$ Тл [4]). В таких умовах сили різання забезпечуються за рахунок швидкості руху деталі відносно магнітно-абразивного порошку (МАП). Тобто в даних умовах процес МАО багатограничних непереточуваних пластин (БНТП) можна віднести до методів обробки вільним абразивом.

Одним із дуже важливих кінематичних параметрів методів обробки вільним абразивом є кут атаки [5, 6, 7].

При струминно-абразивній обробці якість і продуктивність обробки значною мірою залежать від кута нахилу струменя [5]. Залежності знімання та шорсткості від кута атаки носять екстремальний характер. Найбільш ефективними є обробки при кутах нахилу струменя в межах $\alpha = 25 \div 50^\circ$. Знімання матеріалу максимальне при куті атаки близькому до 45° . При кутах менших 25° , коли абразивні частинки недостатньо заглиблюються в оброблювану поверхню, набуває чинності відношення глибини впровадження зерна h до радіуса скруглення r його різального кромки ($h/r \leq 0,5$) і

продуктивність процесу зменшується. Зміна шорсткості поверхні залежно від кута атаки знаходиться в широких межах, але найбільше зменшення її в порівнянні з початковою знаходиться у встановленому діапазоні кутів $\alpha = 25 \div 50^\circ$ (для загартованої сталі 45). Для сталі 10 ця залежність є монотонною спадаючою.

Але таке положення справедливе тільки при обробці пластичних матеріалів. При обробці крихких матеріалів, наприклад, скла, встановлено, що найбільш інтенсивне руйнування мікрорельєфу поверхні спостерігається при кутах атаки струменя в межах $\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$. Цим, на думку автора, підтверджується те, що пластичні метали руйнуються переважно за рахунок мікрорізання і повторного пластичного відтиснення, а крихкі – за рахунок інтенсивного розвитку крихких тріщин.

В [7] зазначено, що під час зношування від абразивних частинок в потоці рідини або газу при кутах атаки не вище кута тертя на характер пошкодження поверхні сильно впливає дотична складова імпульсу і опір матеріалу дії дотичних сил на поверхню. Залежно від співвідношення твердості абразиву і поверхні, що зношується, швидкість зношування може безперервно зростати або досягати максимуму при деякому куті атаки, а потім убавати. Наприклад, для сталі Ст3 інтенсивність зношування зростає в 1,2...2,7 рази залежно від кута атаки.

Для MAO в магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів також виявлений значний вплив кутів атаки на якість обробки та встановлені аналогічні залежності [8, 9, 10, 11]. В роботах [8, 9] вперше для MAO встановлено значний вплив кута атаки на якість процесу. Під час дослідження MAO циліндричних зразків, кінцевих та осьових інструментів із швидкорізальних сталей встановлено, що залежність шорсткості від кута атаки носить екстремальний характер і найвищу якість забезпечують кути атаки в діапазоні $20^\circ \div 40^\circ$. В роботах [10, 11] зроблена спроба виконати теоретичний аналіз кутів атаки для твердосплавних пластин, але тільки для задньої та передньої плоских поверхонь без врахування їх фактичної геометрії. Тому запропоновані інтегральні характеристики інтенсивності обробки за один оберт пластини [10] не дають можливості адекватно оцінити кінематику процесу і вибрати оптимальні технологічні параметри процесу для всіх оброблюваних поверхонь пластини.

Мета роботи. Тому метою роботи є дослідження кінематики процесу MAO БНТП на роторних верстатах з магнітною системою типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів.

Результати виконаних досліджень. Для дослідження кінематики процесу MAO БНТП застосовано математичну модель процесу, яка була розроблена для кінематики MAO кінцевих та осьових інструментів [12].

Кут атаки на оброблюваній поверхні в даній точці визначається як кут між вектором сумарної швидкості різання в даній точці та дотичною площиною до цієї поверхні.

Для дослідження кінематики процесу MAO БНТП в якості типового представника було вибрано двосторонню пластину квадратної форми з довжиною сторони 12,7 мм, форма якої представлена на рис. 1.

Таку форму і розміри мають пластини типів SNMM 120412 ГОСТ 19052-80 (вир-во Кіровоград) та SNMG 120412 MITSUBISHI (вир-во SANDVIK).

Кути атаки визначались на всіх робочих поверхнях: задніх плоскій та циліндричній (у вершині), передній плоскій, передній у вершині, фасках прямих та дугових.

Для рівномірної обробки робочих поверхень пластини на роторних верстатах з магнітною системою типу "кільцева ванна" вони повинні здійснювати наступні рухи (рис. 2):

- головний рух різання при обертанні ротора навколо осі кільцевої ванни зі швидкістю \vec{V}_P ;
- обертання пластини навколо осі симетрії (або оправки) зі швидкістю \vec{V}_S .

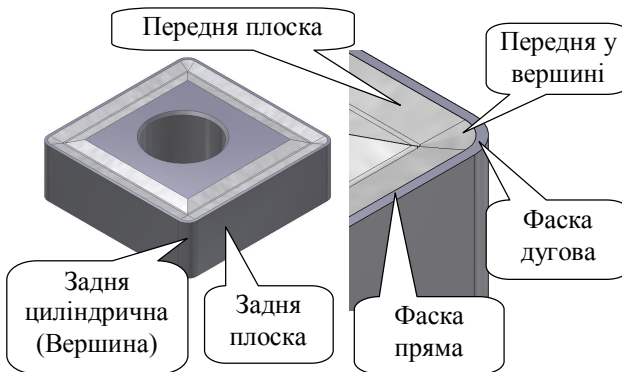


Рис. 1. Загальний вигляд обробленої пластини

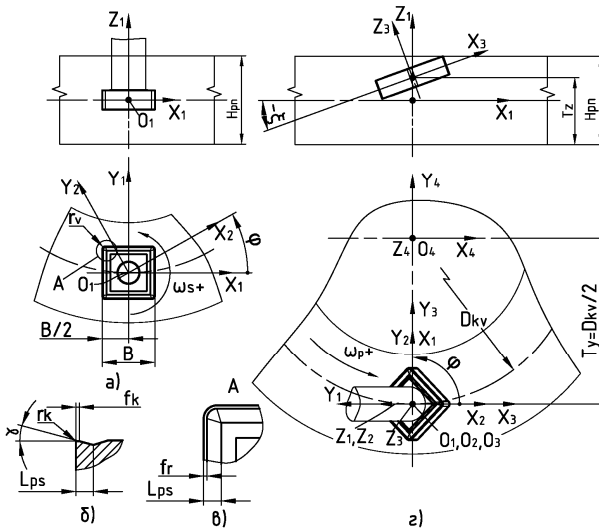


Рис. 2. Загальний вигляд оброблюваної пластини

Сумарна швидкість різання будь-якої точки пластини при даній схемі MAO складається із двох складових: швидкість руху вздовж кільцевої ванни \vec{V}_p (головний рух різання – $\vec{V}_p \approx 2,5 \div 5,0$ м/с), обертання навколо своєї осі \vec{V}_s (рух кругової подачі $\vec{V}_s \approx (0,1 \div 0,8) \vec{V}_p$).

Системи координат.

За вихідне положення пластини прийемо її вертикальне положення з нижнім розташуванням робочої частини. Початок O_1 системи координат X_1, Y_1, Z_1 (рис. 2) розташований на перетині осі отвору пластини і площини симетрії, яка паралельна базовій площині пластини. Вісь X_1 направлена вгору, а вісь Y_1 направлена до осі магнітної системи. При цьому площина $X_1O_1Y_1$ співпадає з серединною площиною робочої зони магнітної системи типу "кільцева ванна", яка паралельна торцям полюсних наконечників і знаходиться на відстані $H_{pn}/2$ від них. Вихідна система координат X_1, Y_1, Z_1 використовується для опису просторової геометрії пластини.

Для визначення положення поверхонь пластини в її обертальному русі навколо осі оправки з кутовою швидкістю ω_S використовується система координат $X_2Y_2Z_2$, яка повернута відносно системи координат $X_1Y_1Z_1$ на кут φ навколо осі Z_1 .

Для обчислення положення поверхонь пластини після її установки у робоче положення, яке характеризується кутом нахилу ξ осі оправки відносно вертикалі, використовується система координат $X_3Y_3Z_3$, яка повернута відносно системи координат $X_2Y_2Z_2$ на кут ξ навколо осі Y_2 .

Початок O_4 системи координат $X_4Y_4Z_4$, яка описує робоче положення пластини в "кільцевій ванні", знаходиться на осі "кільцевої ванни" на відстані $H_{pn}/2$ від нижнього або верхнього торця кільцевої ванни. Тобто площина $X_4O_4Y_4$ співпадає з площиною $X_1O_1Y_1$. Вісь Z_4 співпадає з віссю "кільцевої ванни" і направлена вверх. Напрямок осей X_4 та Y_4 відповідає правилу правої руки.

Зміщення T_Y та T_Z пластини в системі координат $X_4Y_4Z_4$ вибираються таким чином, щоб після установки пластини у робоче положення вона була повністю занурена у "кільцеву ванну", а точка O_1 початку системи координат $X_1Y_1Z_1$, що зв'язана з пластиною, знаходилась на лінії перетину площини $X_4O_4Y_4$ та серединного циліндра "кільцевої ванни". В цьому випадку величини T_X , T_Y та T_Z визначаються як:

$$T_X = 0; T_Y = -\frac{D_{kv}}{2}; \tag{1}$$

$$T_Z = \frac{H_{pn} - [B \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(|\xi|) + h \cdot \cos(|\xi|)]}{2}, \tag{2}$$

де B – довжина сторони пластини; h – висота пластини. Інші змінні відповідають позначенням на рис. 1.

Опис геометрії пластини.

Розрахунки виконувались з використанням операцій з матрицями, тому опис поверхонь потрібно виконувати у векторному вигляді.

Описували четвертину нижньої частини пластинки, що знаходиться в другому квадранті, оскільки обробці підлягає нижня частина, оскільки пластинка має вісесиметричну форму.

Всі поверхні пластини мають нескладну форму, окрім передньої поверхні у вершині пластини. Передню поверхню в вершині пластини

представимо у вигляді конуса, дотичного до суміжних передніх плоских поверхонь. Його параметри (рис. 3):

- кут при вершині конусу $\rho = 67,5^\circ$;
- передній кут при вершині $\gamma_2 = 90 - \gamma_1 - \rho$.

Для того, щоб вихідна поверхня конуса стала дотичною до двох суміжних передніх поверхонь з переднім кутом $\gamma = 15^\circ$, потрібно виконати такі переміщення в системі координат $X_1Y_1Z_1$:

- поворот навколо осі Y_1 на кут $\gamma_2 = 90 - \gamma_1 - \rho$ ($\gamma_1 = 13,5^\circ$);
- поворот навколо осі Z_1 на кут $\beta = 45^\circ$;
- переміщення в точку $X_k = -l_{xk}$; $Y_k = l_{yk}$; $Z_k = -l_{zk}$.

Величини переміщень визначаються за формулами:

$$l_{xk} = B/2 - l_k; \quad l_{yk} = B/2 - l_k; \quad l_{zk} = h/2 - h_k, \quad (3)$$

де $l_k = 1,06$ мм – відстань від задньої поверхні до дна канавки; $h_k = 0,23$ мм – відстань від площини $X_1O_1Y_1$ до дна канавки.

Для опису вихідної поверхні конуса застосуємо проміжну систему координат $X_0Y_0Z_0$. По суті вона співпадає з системою $X_1Y_1Z_1$.

Параметричне рівняння конуса в системі $X_0Y_0Z_0$:

$$\begin{aligned} x_0(t, r_k) &= r_k \cdot \cos(t); \\ x_0(t, r_k) &= r_k \cdot \sin(t); \\ x_0(t, r_k) &= -r_k / \operatorname{tg}(p). \end{aligned} \quad (4)$$

Використовувати як параметр r_k незручно, тому що як параметр для циліндричної фаски використовується параметр r (рис. 3). Тому виразимо r_k через r .

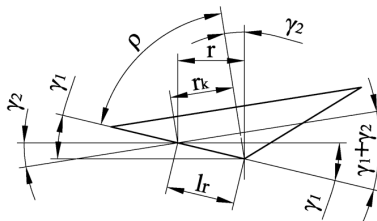


Рис. 3. Розрахункова схема конуса

Зі схеми випливає, що

$$\begin{aligned} l_r &= r / \cos(\gamma_1); \\ l_k &= r / \sin(\rho). \end{aligned} \quad (5)$$

Прирівняємо праві сторони виразів (5) і отримаємо:

$$r_k = r \cdot \frac{\sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)}. \quad (6)$$

Після підстановки в (4) і скорочень отримаємо параметричне рівняння конуса в системі координат $X_1 Y_1 Z_1$:

$$\begin{aligned} x_0(t, r) &= r \cdot \frac{\sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)} \cdot \cos(t); \\ x_0(t, r_k) &= r \cdot \frac{\sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)} \cdot \sin(t); \\ x_0(t, r_k) &= -r \cdot \frac{\sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Матриці переміщень та поворотів мають вигляд:

- поворот навколо осі Y_1 на кут γ_2 :

$$MRY_0 = \begin{pmatrix} \cos(\gamma_2) & 0 & \sin(\gamma_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\gamma_2) & 0 & \cos(\gamma_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (8)$$

- поворот навколо осі Z_1 на кут β :

$$MRZ_0 = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (9)$$

- переміщення в точку $\{X_k, Y_k, Z_k\}$:

$$MTX_0 Y_0 Z_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{Xk} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Yk} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Zk} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

В результаті опис конуса в системі координат $X_1 Y_1 Z_1$ буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 x_1(t, r) &= l_{xk} - r[A - B \cdot \cos(t)] \cos(\beta) - rC \cdot \sin(t); \\
 y_1(t, r) &= l_{yk} - r[A - B \cdot \cos(t)] \sin(\beta) - rD \cdot \sin(t); \\
 z_1(t, r) &= l_{zk} - r[E - F \cdot \cos(t)],
 \end{aligned} \quad (11)$$

де

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\cos(\rho) \cdot \sin(\gamma_2)}{\cos(\gamma_1)}; \quad B = \frac{\sin(\rho) \cdot \sin(\gamma_2)}{\cos(\gamma_1)}; \\
 C &= \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)}; \quad D = \frac{\cos(\beta) \cdot \sin(\rho)}{\cos(\gamma_1)}; \\
 E &= \frac{\cos(\rho) \cdot \cos(\gamma_2)}{\cos(\gamma_1)}; \quad F = \frac{\sin(\rho) \cdot \sin(\gamma_2)}{\cos(\gamma_1)}.
 \end{aligned}$$

Параметри t та r для цієї поверхні змінюються в таких межах:
 $t = 135 \div 225^\circ$; $r = 0 \div 0,6$ мм.

Для інших поверхонь параметри змінюються в межах:

- задньої плоскої поверхні $y = \mp 5,55$ мм; $z = \mp 2,33$ мм;
- задня циліндрична поверхня $t = 90^\circ \div 180^\circ$; $z = \mp 2,33$ мм;
- передня плоска поверхня $x = -0,2 \div 1,06$ мм; $y = \mp 5,55$ мм;
- прямолінійна фаска $x = \mp 6,335$ мм; $y = \mp 5,55$ мм;
- дугова фаска $t = 90^\circ \div 180^\circ$; $r = 0,6 \div 0,785$ мм.

Кінематика процесу за відсутності кругової подачі.

Дослідження кінематики процесу MAO БНТП за відсутності кругової подачі ($V_S = 0$) проводилось за таких вихідних умов: швидкість головного руху $V_p = 5$ м/с (швидкість руху точки O_1 початку системи координат $X_1Y_1Z_1$ в обертальному русі навколо осі Z_4 системи координат $X_4Y_4Z_4$). При цьому за початкове положення ($\varphi = 0^\circ$) взяте положення, коли нормаль до однієї із задніх плоских поверхонь пластини з вектором головного руху складають кут ζ .

Кути атаки на задній плоскій поверхні. На рис. 4 представлені залежності кутів атаки χ на задній плоскій поверхні (вздовж головної різальної кромки) від кута φ при різних кутах ξ нахилу пластини.

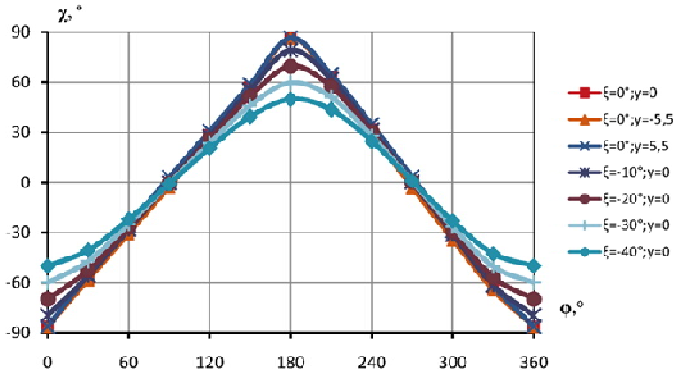


Рис. 4. Кут атаки на задній плоскій поверхні

Вісь абсцис ділить залежності на дві частини. В нижній частині знаходяться кутові положення, при яких точки поверхонь знаходяться в так званих "тіньових" зонах. "Тіньові зони" – це зони, в яких поверхня взаємодіє з магнітно-абразивним порошком не за рахунок набігання порошку, а за рахунок руху порошку вздовж поверхні під дією на нього мас порошку, які вже зіткнулись з поверхнями деталі, які передують даній поверхні при даному напрямку швидкості різання.

Перші три залежності кутів атаки в трьох характерних точках різальної кромки (дві крайні і середня) при $\xi = 0^\circ$ майже повністю повторюють одна одну. При ненульових значеннях кута нахилу пластини ($\xi = 0^\circ \div -45^\circ$) максимальна різниця кутів атаки для різних точок різальної кромки (при однакових кутах ξ та φ) не перевищує 7° (рис. 5).

Максимальна різниця $\Delta\chi_{\max}$ має місце при кутах $\varphi = 90^\circ$ та $\varphi = 270^\circ$. При збільшенні модуля кута нахилу ξ значення $\Delta\chi_{\max}$ зменшується. Тобто рівномірність обробки при більших кутах нахилу пластини повинна бути більшою.

Кут атаки на задній циліндричній поверхні. Залежності кутів атаки від кутового положення пластини при різних кутах нахилу на циліндричній частині задньої поверхні (у вершині пластини) ідентичні кривим залежностей кутів атаки на задній плоскій поверхні (рис. 4). Для точок різальної кромки з різними кутовими координатами t ці залежності зсунуті по фазі на кут t . Максимальні величини кутів атаки близькі до значень $\chi = 90^\circ - |\xi|$.

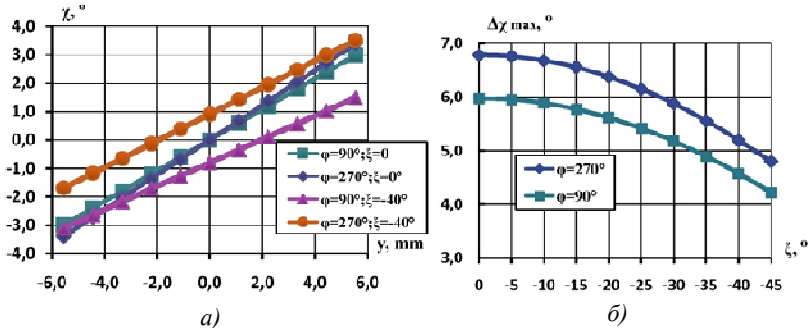


Рис. 5. Куты атаки на задній плоскій поверхні: а) розподіл кутів атаки вздовж різальної кромки; б) залежність розкиду кутів атаки вздовж різальної кромки на задній поверхні від кута нахилу пластини

Під час експериментальних досліджень впливу MAO кутів нахилу в діапазоні $\xi = 0^\circ \div 40^\circ$ на якість обробки пластин CNMG 120412 та SNMG 120412 (шорсткість, величини відносної опорної поверхні мікропрофілю, радіус округлення різальних кромки), порошком ФЕРРОМАП з розміром частинок 400/315 мкм і додаванням діамантовою пасти АСМ 3/2, при величині магнітної індукції в робочих зазорах 0,25 Тл, встановлено, що найкращі результати забезпечуються при куті нахилу $\xi = 30^\circ$ [13]. Тому подальші дослідження кінематики будемо проводити в основному при куті нахилу $\xi = 30^\circ$.

Куты атаки на фасці передньої поверхні. Ширина фаски на передній поверхні вздовж різальної кромки має малу величину в порівнянні з радіусом обертання навколо осі магнітної системи та половиною ширини пластини (0,2 % та 3,1 % відповідно). Тому при відсутності обертання розглянемо залежність кутів атаки на цих поверхнях від кутового положення пластини тільки в двох точках: в вершині пластини та в середній точці прямолинійної різальної кромки (рис. 6). При відсутності нахилу пластини ($\xi = 0^\circ$) куты атаки на цій поверхні в будь-якій точці при будь-якому кутовому положенні дорівнюють нулю.

Мінімальне значення кута атаки в вершині дорівнює $\chi = 29,876^\circ$ при $\varphi = 231^\circ$, а максимальне – 30° при $\varphi = 126^\circ$ та $\varphi = 324^\circ$. Тобто максимальне відхилення від $\chi = 30^\circ$ складає 0,042 %.

Такі малі відхилення обумовлені малими розмірами пластини (порівняно з радіусом "кільцевої ванни") та відсутністю обертання (або його дуже малою величиною).

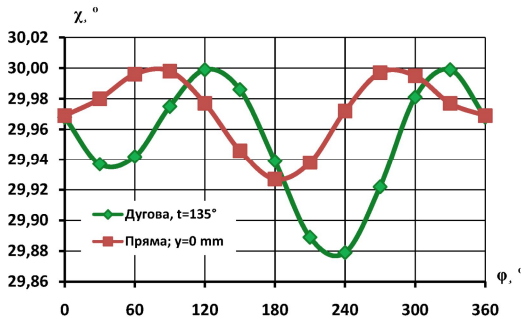


Рис. 6. Кути атаки на фасці передньої поверхні ($\xi = 30^\circ$)

Кути атаки на передній плоскій поверхні. На рис. 7 представлені залежності кутів атаки на передній поверхні пластини (передній кут $\gamma = 15^\circ$).

З отриманих залежностей випливає, що мінімальні значення кутів атаки на передній поверхні мають місце тоді, коли проекція прямолінійної різальної кромки на площину X_4Y_4 стане перпендикулярною вектору швидкості головного руху даної точки різальної кромки. Наприклад, при $\xi = 0^\circ$ мінімальний кут $\chi_{\min} = -\gamma$ при $\phi \approx 183,53^\circ$, а при $\xi = -30^\circ$ $\chi_{\min} = -14,93^\circ$ при $\phi \approx 183,72^\circ$.

Починаючи з кута нахилу $\chi_{\min} = -\gamma$ при всіх кутових положеннях пластини, кути атаки є додатними, тобто передня поверхня знаходиться в активній зоні (рис. 7, а). Середнє значення кутів атаки за один оберт приблизно дорівнює номінальному значенню кута нахилу пластини, не зважаючи на те, що передня поверхня нахилена під кутом $\gamma = 15^\circ$. Відхилення складають від 9,8 % при $\xi = -30^\circ$ до 0,86 % при $\xi = -40^\circ$ (рис. 8). Розмах кутів атаки постійний і складає приблизно 30° (рис. 7, б).

Кути атаки на передній поверхні у вершині пластини. Різниця значень кутів атаки розрахованих теоретично в одній точці – в кінцевій точці прямолінійної різальної кромки на передній поверхні та в початковій точці кінчної поверхні в вершині пластини складає не більше $1,5^\circ$. Тобто апроксимація передньої поверхні в вершині пластини кінчною поверхнею виконана з задовільною точністю.

На рис. 9 представлені залежності кутів атаки в вершині пластини від кутового положення пластини при різних кутах нахилу пластини.

З порівняння залежностей рис. 7, а та рис. 9, а випливає, що характер залежностей на передній плоскій та кінчній поверхнях

схожий. Різниця полягає в значеннях екстремальних та середніх значень кутів і зсуві за фазою кривих.

В вершині пластини ($t = 135^\circ$) максимальні значення кутів атаки не перевищують 64° , а розмах – 48° . При кутах нахилу пластини $\xi \geq -17,35^\circ$ при будь-якому кутовому положенні всі точки вершини знаходяться в активній зоні.

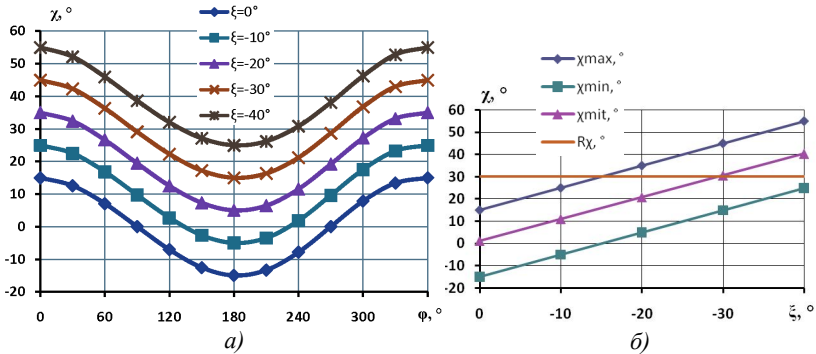


Рис. 7. Кути атаки на передній поверхні: а) на прямолінійній різальній кромці ($y = 0,0$ мм); б) максимальні (χ_{max}), мінімальні (χ_{min}) та середні (χ_{mit}) значення, R_χ – розмах

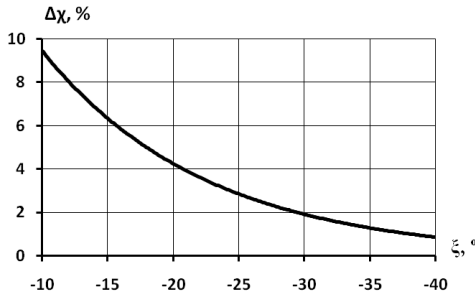


Рис. 8. Залежність відхилення кута атаки від кута нахилу $|0|$

Аналізуючи приведену інформацію про кути атаки на оброблюваних поверхнях пластинки при відсутності кругової подачі, можна зробити висновок про те, що обробку і подальші дослідження кінематики MAO пластин потрібно виконувати при куті нахилу пластинки $\xi = -30^\circ$:

- середні значення кутів атаки за один оберт при $\xi = -30^\circ$ на всіх поверхнях, крім задніх, близькі до 30° ;

- середні значення кутів атаки за один оберт при $\xi = -30^\circ$ на задніх поверхнях знижуються з 90° до приблизно 60° .

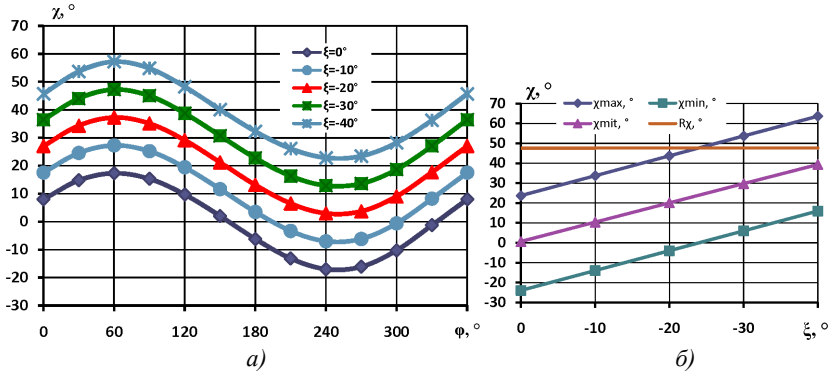


Рис. 9. Куты атаки в вершині пластини: а) на конічній поверхні (точка на перетині бісектриси та радіусної фаски, $t = 180^\circ$);

б) максимальні (χ_{max}), мінімальні (χ_{min}) та середні (χ_{mit}) значення, R_{χ} – розмах в вершині пластини ($t = 135^\circ$)

Кінематика процесу за наявності кругової подачі.

Дослідження кінематики процесу МАО БНПІ за наявності кругової подачі проводилось за таких вихідних умов:

- швидкість головного руху $V_{P0} = 5 \text{ м/с}$. В кутових одиницях для радіуса серединного циліндра кільцевої ванни $R = 100 \text{ мм}$ це складає $\omega_{P0} = 50 \text{ с}^{-1}$;

- швидкість кругової подачі змінюється в межах $\omega_S = \pm(0,1 \div 0,8)\omega_P$. В лінійних одиницях цей діапазон складає, враховуючи розміри пластини за найбільшою відстанню від між віссю обертання та профілем пластини $V_S = \pm(0,04 \div 0,32)V_P$;

- кут нахилу пластини $\xi = -30^\circ$.

Куты атаки на задній плоскій поверхні. На рис. 10 представлені залежності кутів атаки на задній плоскій задній поверхні.

З порівняння залежностей, представлених на рис. 4 та 10 випливає, що наявність кругової подачі призводить до:

- збільшення абсолютних значень екстремальних кутів атаки;
- збільшення нерівномірності значень кутів атаки вздовж різальної кромки. Кути атаки в точках з від'ємною ординатою збільшуються, а з додатною навпаки збільшуються, при додатній швидкості кругової подачі. Для від'ємної швидкості кругової подачі картина змінюється на протилежну.

- зміщення ординати з максимальними значеннями в додатному напрямку осі φ , а ординати з мінімальними значеннями – в протилежному для додатних швидкостей кругової подачі. Для від'ємної швидкості кругової подачі картина змінюється на протилежну.

Але при цьому середні значення кутів атаки за один оберт залишаються майже однаковими (рис. 11). Спостерігається невелике зростання середньої величини максимум на 21 % або на 1° .

Швидкості різання на задній плоскій поверхні. Розглянуті зміни кутів атаки пов'язані зі змінами напрямку сумарної швидкості різання.

На рис. 12 представлена залежність швидкості головного руху трьох характерних точок різальної кромки на задній поверхні.

Максимальне відхилення швидкості головного руху від номінальної складає 0,41 м/с, або 8,2 %. Згідно з даними [13] при обробці твёрдосплавних пластин зі сплаву Т14К8 при зміні швидкості головного руху на 1 % відносна величина опорної довжини профілю t_p мікропрофілю змінюється в середньому на 4,6 %.

При кутових положеннях пластини $\varphi = 90^\circ$ та $\varphi = 270^\circ$ швидкості головного руху мають дуже близькі значення. Різниця в швидкостях тут складає не більше $\Delta V_p = 0,06$ м/с. Причиною цього є те, що задня плоска поверхня при цих кутових положеннях пластини розташовується перпендикулярно осі Y_4 .

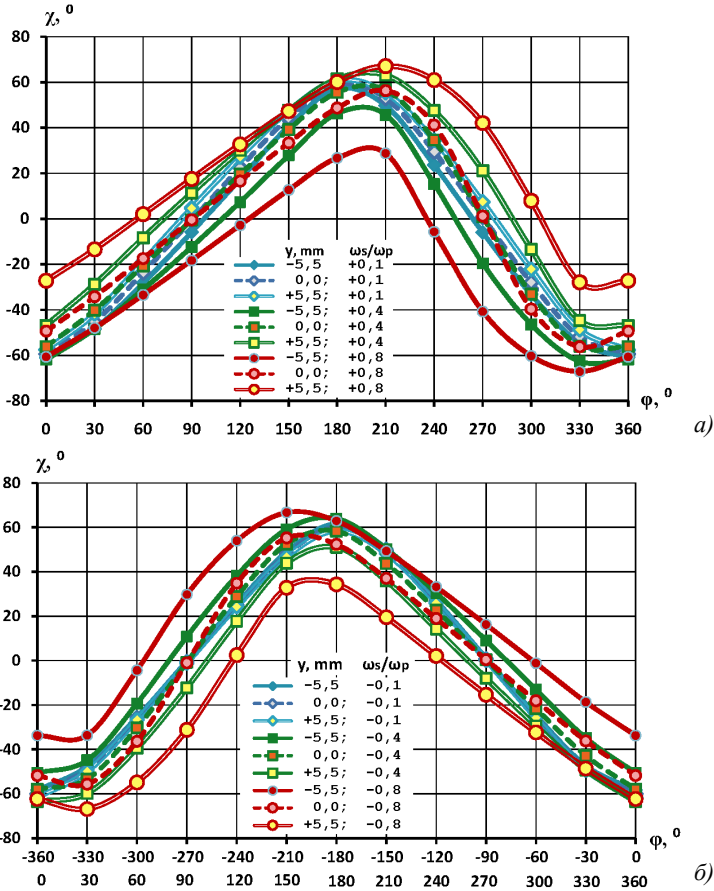


Рис. 10. Кути атаки на задній плоскій поверхні:

а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

На рис. 13 представлені залежності сумарної швидкості різання середньої точки різальної кромки ($y = 0$ мм) на задній поверхні.

Додатні величини швидкості кругової подачі призводять до збільшення абсолютного значення відхилення сумарної різання від номінальної. Максимально допустиме відхилення 15 % забезпечує тільки відношення $\omega_s/\omega_p = 0,1$. При цьому максимальне відхилення сумарної швидкості різання складає 0,78 м/с при куті повороту пластини $\phi = 90^\circ$ та $\phi = 270^\circ$.

Від'ємні величини швидкості кругової подачі призводять до дещо складнішої залежності. До величини відношення $\omega_S/\omega_P = -0,1$ сумарна швидкість повільно зростає і має додатні відхилення приблизно до $180,03^\circ$. При відношеннях $\omega_S/\omega_P < -0,1$ швидкість зростання стає такою ж, як і для додатної швидкості кругової подачі. В результаті при від'ємній швидкості кругової подачі при $\omega_S/\omega_P = -0,1$ сумарна швидкість стає близькою до номінальної. Розмах відхилення складає $R_\chi = 0,1$ м/с або 2,2 %.

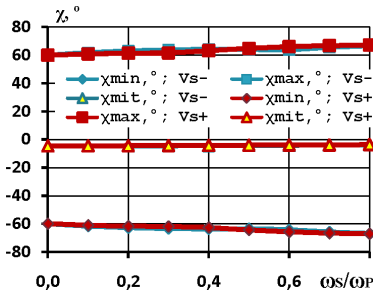


Рис. 11. Залежність мінімальних, максимальних та середніх кутів атаки на задній плоскій поверхні від величини та знаку швидкості кругової подачі

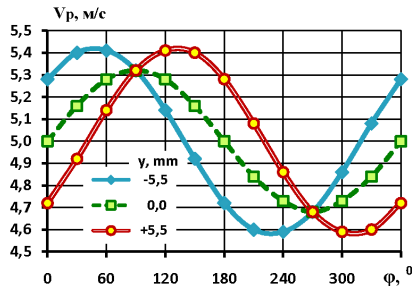


Рис. 12. Швидкість головного руху на задній плоскій поверхні

Кути атаки на задній циліндричній поверхні.

На рис. 14 представлені залежності кутів атаки на задній циліндричній поверхні від кутового положення пластини та швидкостей кругової подачі.

Загальний характер зміни кутів атаки від кутового положення пластини та від швидкості кругової подачі такий же, як і на плоскій задній поверхні.

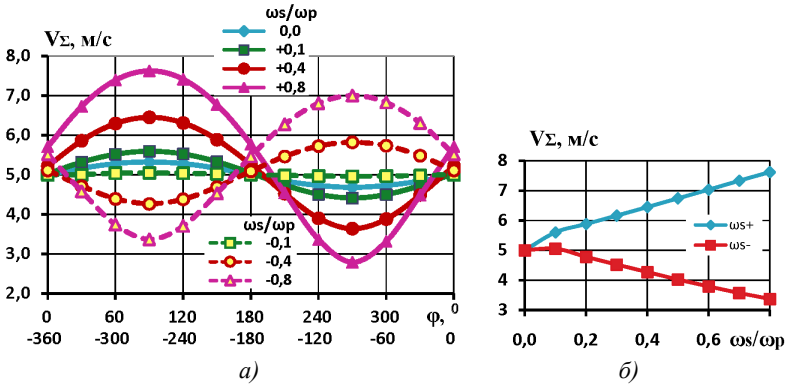


Рис. 13. Сумарна швидкість різання на задній циліндричній поверхні ($\varphi = 90^\circ$)

Збільшення швидкості кругової подачі збільшує нерівномірність величин кутів атаки по дузі вершини пластини. Однак це збільшення є невеликим, оскільки радіус вершини теж є невеликим. При збільшенні швидкості кругової подачі з $\omega_s = 0,1\omega_p$ до $\omega_s = 0,8\omega_p$ зростання різниці між кутами атаки вздовж кромки при не перевищує $\chi = 5^\circ$. При деяких кутових положеннях пластини кути атаки мають однакові значення, незважаючи на значне зростання швидкості кругової подачі. Наприклад, для точки з параметром $t = 90^\circ$ це кут $\varphi = 120^\circ$. Причиною цього є те, що поверхня циліндричного сегмента задньої поверхні розташовується таким чином, що швидкості кругової подачі зазначених точок розташовуються паралельно вектору швидкості головного руху. В результаті значення сумарної швидкості змінюється, а напрямок – ні.

Швидкості різання на задній циліндричній поверхні. На рис. 15 представлені залежності швидкості головного руху характерних точок різальної кромки в вершині пластини. Через малі розміри радіуса вершини пластини розкид швидкості незначний – до 0,05 м/с, а при кутах $\varphi = 136^\circ$ та $\varphi = 316^\circ$ цей розкид ще менший – до 0,01 м/с. Зменшення розкиду пов'язане з тим, що при цих кутових положеннях хордальна площина циліндричного сегмента стає перпендикулярною осі Y_4 .

Характер залежностей сумарної швидкості різання від кутового положення пластини аналогічний залежностям, представленим на рис. 13, а для плоскої задньої поверхні. Відмінністю є абсолютні значення швидкостей.

Модулі сумарних швидкостей зростають при від'ємних та додатних швидкостях кругової подачі завдяки збільшенню відстані точок кромки вершини до осі обертання пластини: до 8,5 м/с і $-2,5$ м/с при $\omega_S = -0,8\omega_P$ та 7,8 м/с і $-3,0$ м/с при $\omega_S = +0,8\omega_P$.

Кути атаки та швидкості різання на прямолінійній та дуговій фасці. На рис. 16 представлені залежності кутів атаки на дуговій фасці пластини. Середні значення кутів атаки за повний оберт пластини при обох напрямках швидкості кругової подачі близькі до 30° (рис. 17). При збільшенні абсолютного значення V_S мінімальні значення кутів атаки повільно зменшуються, а максимальні стрімко збільшуються після $\varphi = 270^\circ$. При цьому при додатній швидкості кругової подачі зростання більше: максимальний кут атаки досягає $67,6^\circ$ при $\omega_S = 0,8\omega_P$.

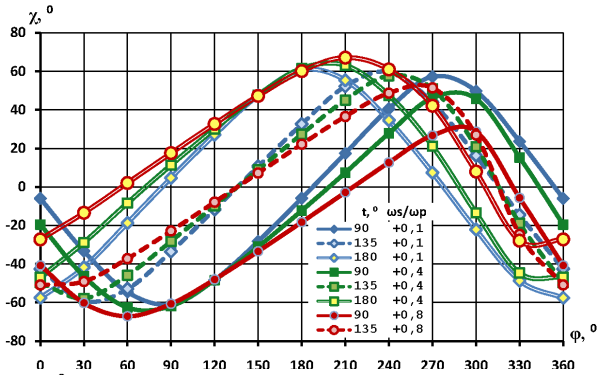
При $\varphi < 150^\circ$ і $\omega_S > 0$ кути атаки плавно знижуються до мінімуму (рис. 16, а), а при $180^\circ < \varphi < 270^\circ$ плавно збільшуються, приймаючи приблизно ті ж значення, які вони мали при $\varphi = 0^\circ$.

При $\varphi > 270^\circ$ кути атаки стрімко зростають до максимуму при кутових положеннях пластини $\varphi = 310^\circ \div 320^\circ$.

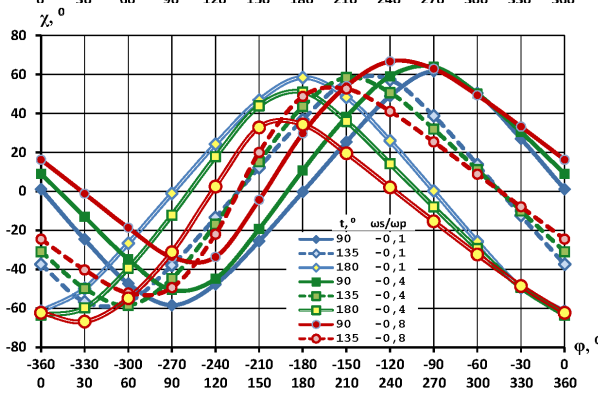
Причиною зниження кутів атаки в при $\varphi < 150^\circ$ та $\varphi > -180^\circ$ є наступне. На фасці швидкість кругової подачі \vec{V}_S лежить в площині фаски і під час обертання пластини вона за напрямком то наближається до швидкості головного руху \vec{V}_P (рис. 18, а), то віддаляється (рис. 18, б).

При наближенні сумарна швидкість \vec{V}_Σ збільшується, а при віддаленні – навпаки. Розкид значень максимумів кутів для різних точок фаски стає помітним при величинах кутових швидкостей кругової подачі ω_S співвимірних швидкості головного руху ω_P .

Залежності швидкості головного руху та сумарної швидкості різання середньої точок дугової фаски від кутового положення пластини при різних швидкостях кругової подачі мають такий же характер, як і залежності для задньої циліндричної поверхні у вершині пластини і лише на кілька процентів відрізняються від них кількісно.



a)



b)

Рис. 14. Кутти атаки на задній циліндричній поверхні:

a) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

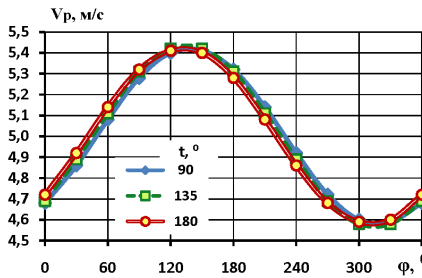


Рис. 15. Швидкість головного руху на задній циліндричній поверхні

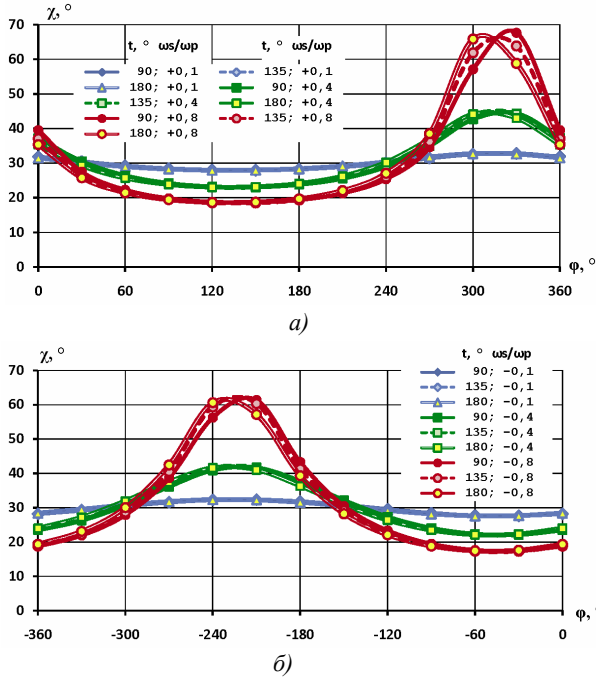


Рис. 16. Куты атаки на дуговій фасці передньої поверхні:

а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

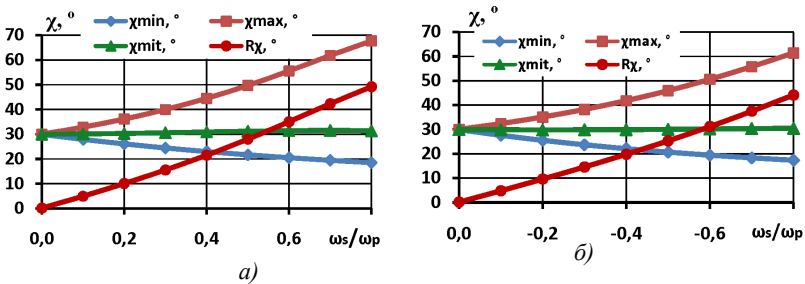


Рис. 17 Максимальні (χ_{max}), мінімальні (χ_{min}), середні (χ_{mit}) значення кутів атаки

та їх розмах R_{χ} на дуговій фасці: а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

На рис. 19 представлені залежності кутів атаки на прямолінійній фасці пластини.

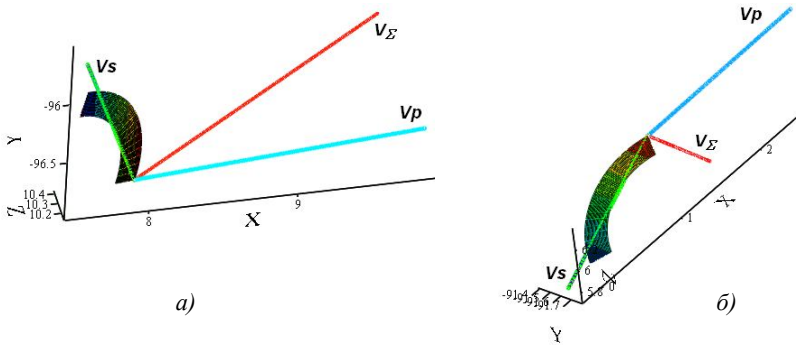


Рис. 18. Вектори швидкостей точки дугової фаски з параметром $t = 90^\circ$ ($\omega_s = 0,8\omega_p$): а) $\varphi = 250^\circ$; б) $\varphi = 320^\circ$

Ці залежності мають характер, який має спільні риси з залежностями для дугової фаски (рис. 14) та для передньої площини (рис. 20). З першими залежностями їх об'єднує плавність змін кутів атаки в діапазоні $-180^\circ < \varphi < 180^\circ$. З іншими залежностями їх об'єднує симетричність максимумів кутів атаки при $\varphi \cong \pm 240^\circ$ та $\varphi \cong \pm 300^\circ$ для точок $y = \pm 5,55$ мм відносно максимуму точки $y = 0,0$ мм.

Середні значення кутів атаки за повний оберт пластини при обох напрямках швидкості кругової подачі близькі до 30° . При збільшенні абсолютного значення V_s мінімальні значення кутів атаки повільно зменшуються, а максимальні збільшуються значно швидше.

На першому півоберті кути атаки повільно знижуються до мінімуму, а на другому стрімко зростають до максимуму при кутових положеннях пластини $\varphi \cong \pm 240^\circ$ та $\varphi \cong \pm 300^\circ$ для двох крайніх точок різальної кромки.

Причиною зниження кутів атаки в першій половині оберту ($\varphi < 180^\circ$ та $\varphi > -180^\circ$) є те, що різальна кромка на передній поверхні при цих кутових положеннях розташовується таким чином, що швидкості кругової подачі зазначених точок направлені вверх від площини X_4Y_4 . Але сюди ж нахилена передня поверхня пластини, тому спад кутів атаки в першій половині оберту не такий стрімкий, як зростання в другій половині оберту.

Причиною стрімкого зростання до максимумів є те, що різальна кромка на передній поверхні при цих кутових положеннях розташовується таким чином, що швидкості кругової подачі

зазначених точок направлені вниз від площини X_4Y_4 і в від'ємному напрямку осі X_4 . Швидкість головного руху направлена вниз від площини X_4Y_4 і в додатному напрямку осі X_4 . При величинах ω_S співвимірних кутовій швидкості головного руху ω_P вектор сумарної швидкості різання \vec{V}_Σ значно відхиляється вниз (від напрямку вектора \vec{V}_P), що і призводить до зростання кута атаки. У середньої точки максимум менший на $8 \div 15^\circ$ за рахунок меншого радіуса обертання в русі кругової подачі.

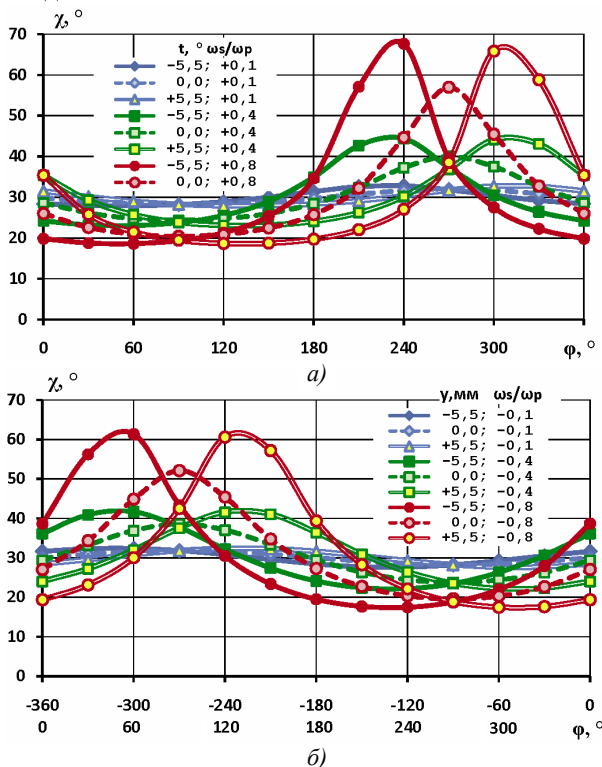


Рис. 19. Кутти атаки на прямолінійній фасці передньої поверхні:

а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

Максимальне відхилення швидкості головного руху точок різальної кромки на передній плоскій поверхні від номінальної складає 0,82 м/с, або 16,4 %. Такі зміни швидкості різання мають помітний

вплив на якість обробки – шорсткість може збільшуватись на $Ra = 0,1 \div 0,3$ мкм, особливо на перших 180 с обробки [13].

З аналізу залежностей сумарної швидкості різання точок передньої плоскої поверхні від кутового положення пластини випливає, що прийнятні відхилення сумарної швидкості різання від номіналу забезпечує від’ємна кутова швидкість кругової подачі величиною $\omega_S = 0,1\omega_P$. При цьому максимальне відхилення сумарної швидкості різання $V_\Sigma = 0,06$ м/с або 1,2 %.

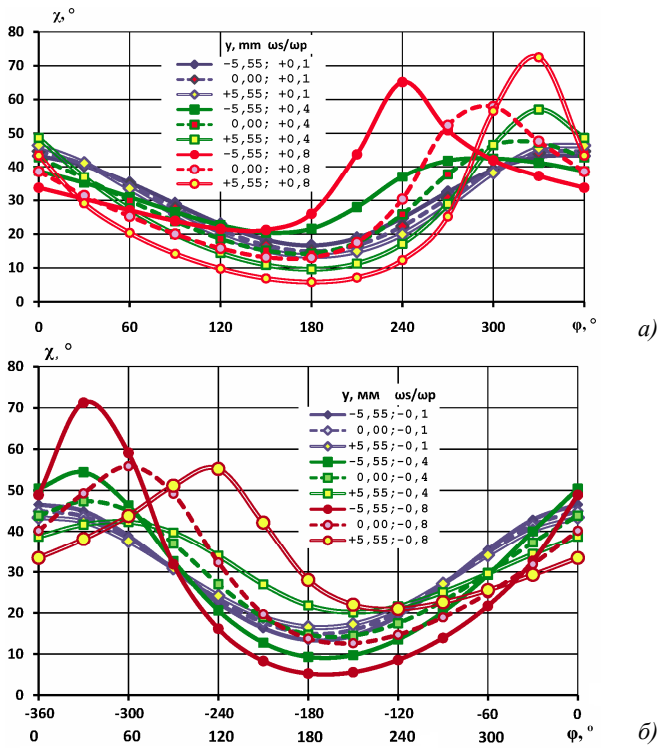


Рис. 20. Кути атаки на передній плоскій поверхні:

а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

Кути атаки та швидкості різання на передній поверхні у вершині пластини. На рис. 22 представлені залежності кутів атаки на передній поверхні в вершині пластини. Середні значення кутів атаки за повний оберт пластини при обох напрямках швидкості кругової подачі

близькі до 30° . При збільшенні абсолютного значення ω_s мінімальні значення кутів атаки повільно зменшуються, а максимальні збільшуються значно швидше.

Поведінка залежностей на рис. 22 схожа на поведінку залежностей кутів атаки на передній плоскій поверхні (рис. 20).

Особливості поведінки залежностей пояснюються особливістю геометрії поверхні у вершині пластини.

Залежності кутів атаки в точці з параметром $t = 180^\circ$ ведуть себе таким же чином, як і кути атаки в точці $y = +5,55$ мм передній поверхні (оскільки це, по суті, одна і та ж точка) (рис. 20). На першому півобертті кути атаки повільно знижуються до мінімуму, а на другому стрімко зростають до максимуму при кутових положеннях пластини $\varphi \cong \pm 300^\circ$ та $\varphi \cong \pm 240^\circ$.

Причиною зниження кутів атаки в першій половині оберту є те, що точка з параметром $t = 180^\circ$ при $\varphi < 180^\circ$ розташовується таким чином, що швидкості кругової подачі зазначених точок направлені в від'ємному напрямку осі Y_4 , а швидкість головного руху в додатному напрямку осі X_4 . Лінія, яка з'єднує початкову і кінцеву точки різальної кромки (позначимо її як L_{90-180}), розташована в цей час вздовж осі Y_4 .

В результаті сумарна швидкість різання нахилиється до конічної поверхні, тобто кути атаки зменшуються. Так як лінія L_{90-180} при $90^\circ < \varphi < 180^\circ$ повертається від паралельного до перпендикулярного положення до осі Y_4 , то зменшення кутів атаки уповільнюється.

При $180^\circ < \varphi < 270^\circ$ хордальна площина конічного сектора знаходиться під невеликим кутом до площини X_4Y_4 і до площини, в якій лежать вектори швидкостей різання. В результаті кут атаки повільно зростає до $\chi = 27,2^\circ$ при $\varphi = 270^\circ$ і $\omega_s = 0,8\omega_p$ (рис. 22, а).

При $270^\circ < \varphi < 330^\circ$ і $\omega_s = 0,8\omega_p$ кути атаки в точці з параметром $t = 180^\circ$ зростають до $\chi = 70,84^\circ$.

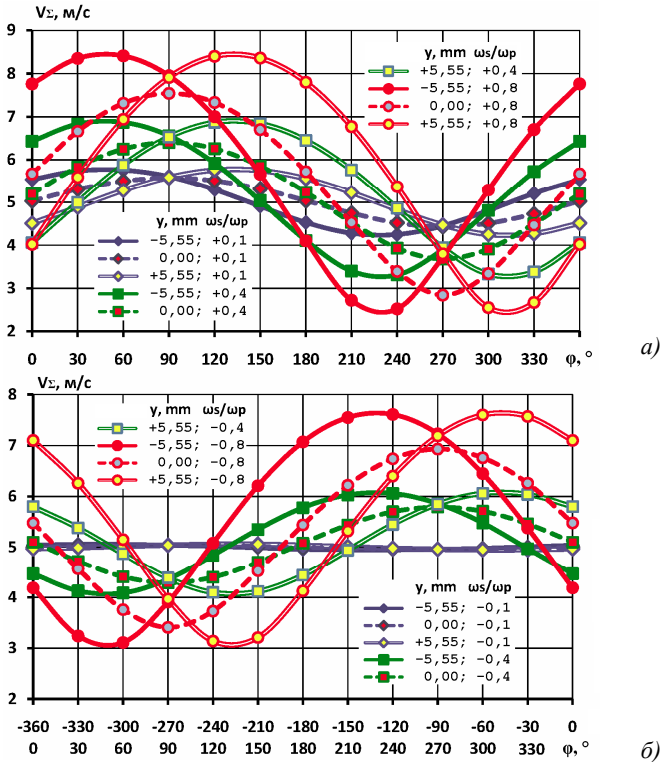


Рис. 21. Сумарна швидкість різання на передній плоскій поверхні:
 а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

Причиною стрімкого зростання кутів до максимумів є те, що ця точка при цих кутових положеннях розташовується таким чином, що швидкість головного руху близька до паралельного положення площині X_4Y_4 і направлена в додатному напрямку осі X_4 , хордальна площина конусного сегмента нахилена до площини X_4Y_4 під кутом близьким до 30° , а вектор кругової подачі направлений вниз від площини X_4Y_4 в від'ємному напрямку осі X_4 . При величинах ω_s співвимірних кутовій швидкості головного руху ω_p вектор сумарної швидкості різання \vec{V}_Σ значно відхиляється вниз від напрямку вектора \vec{V}_P (рис. 23), що і призводить до зростання кута атаки.

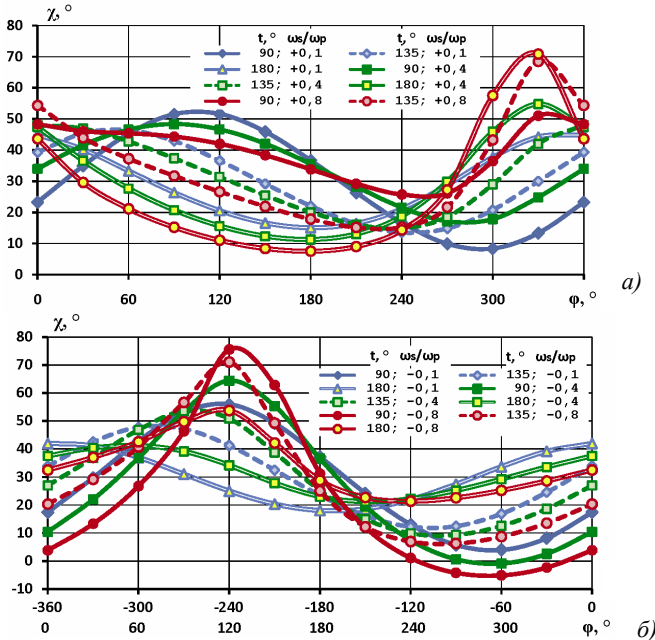


Рис. 22. Кути атаки на передній поверхні у вершині пластини: а) $\omega_s > 0$; б) $\omega_s < 0$

Залежності кутів атаки в точках з параметрами $t = 90^\circ$ та $t = 135^\circ$ мають деякі особливості. При $\varphi < 120^\circ$ кути атаки в цих точках зменшуються значно повільніше, або навіть зростають, а максимуми при $\varphi \cong 330^\circ$ менші, ніж для точки з параметром $t = 180^\circ$.

Залежності $V_P = f(\varphi)$ швидкості головного руху та сумарної швидкості різання $V_\Sigma = f(\varphi)$ точок різальної кромки на передній поверхні у вершині практично повторюють аналогічні залежності для точок задньої та передньої плоских поверхонь (рис. 12 та рис. 13). Оскільки радіус закруглення вершини пластини не перевищує 1 мм, то швидкості головного руху для різних точок різальної в кутку пластини на передній поверхні практично зливаються в одну – різниця між швидкостями точок за повний оберт складає $\pm 0,06$ м/с або $\pm 1,2$ %. Максимальне відхилення швидкості головного руху від номінальної складає 0,82 м/с, або 16,4 %.

Прийнятні відхилення сумарної швидкості різання від номіналу забезпечує від'ємна швидкість кругової подачі величиною

$\omega_S = -0,1\omega_P$. При цьому максимальне відхилення сумарної швидкості різання $V_\Sigma = 0,06$ м/с або 1,2 %.

Критерії оцінки кінематичних параметрів процесу.

Через складність процесу кінематики МАО БНТП для оцінки ефективності кінематичних параметрів та їх вибору необхідно розробити певні критерії оцінки.

Оскільки кінематичні параметри (кути атаки, швидкості) для різних поверхонь пластини та для різних точок однієї поверхні помітно відрізняються і за оберт пластини різко змінюються, то потрібні інтегральні критерії. Для створення комплексного критерію потрібні відносні часткові показники.

Базою для оцінки приймемо один із головних параметрів якості процесу МАО – шорсткість.

З розглянутих параметрів важливими є:

- значення кутів атаки, а саме відхилення $R_{\chi_{opt}}$ кутів атаки від оптимального кута χ_{opt} за один оберт пластини, тобто середнє відхилення кута атаки за оберт (рис. 24):

$$R_{\chi_{opt}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \chi(\varphi) d\varphi - \chi_{opt}. \quad (12)$$

Відносним показником буде відносне відхилення кута атаки за оберт:

$$\varepsilon R_{\chi_{opt}} = \frac{1}{\pi \cdot \chi_{opt}} \int_0^{2\pi} \chi(\varphi) d\varphi - 1; \quad (13)$$

- частка від повного оберту пластини, протягом якого дана поверхня знаходиться в "активній" зоні, а саме під дією потоку порошку під оптимальним кутом атаки χ_{opt} . Назвемо цей параметр відносним активним кутом. Визначимо його аналогічно опорній довжині профілю за виразом:

$$t_{p\chi_{opt}} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (14)$$

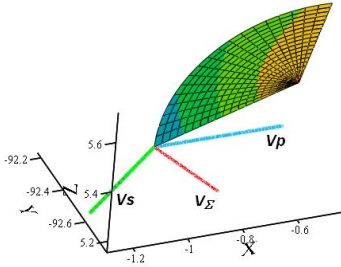


Рис. 23. Вектори швидкостей точки на передній поверхні у вершині пластини з параметром $t = 180^\circ$ ($\varphi = 330^\circ$; $\psi_s = 0,8 \psi_p$)

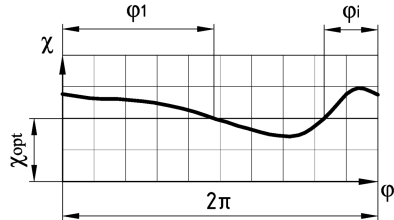


Рис. 24. До визначення відносного активного кута

Максимальне значення цього параметра $t_{p\chi_{opt} \max} = 1$, коли оброблювальна точка/поверхня знаходиться в активній зоні, при цьому кут атаки дорівнюють оптимальним. Мінімальне значення параметра $t_{p\chi_{opt} \min} = 0$, коли точка/поверхня знаходиться в "тіньовій" зоні. Прийнятним значенням цього параметра будемо вважати значення $t_{p\chi_{opt} \text{ доп}} = 0,5$, коли половину оберту оброблювальна точка/поверхня знаходиться в активній зоні, а половину – в "тіньовій" зоні.

Комплексний критерій може бути створений із часткових множенням або додаванням. Для визначення способу створення оцінимо граничні значення часткових критеріїв:

$$- \varepsilon R_{\chi_{opt} \min} = -4, \quad \varepsilon R_{\chi_{opt} \max} = 2; \quad t_{p\chi_{opt} \min} = 0, \quad t_{p\chi_{opt} \max} = 1.$$

Бажаним значенням відносного відхилення є $\varepsilon R_{\chi_{opt}} = 0$. Допустимими значеннями відносного відхилення згідно з [8, 13] є значення $\varepsilon R_{\chi_{\text{доп}}} = \varepsilon R_{\chi_{opt}} \pm \frac{10^\circ}{\chi_{opt}}$. Для $\chi_{opt} = 30^\circ$ $\varepsilon R_{\chi_{\text{доп}}} = \pm 1/3$.

Назвемо комплексний критерій умовно критерієм кінематичної ефективності процесу MAO $k_{кеф}$.

Якщо комплексний критерій отримати множенням часткових критеріїв

$$k_{кеф} = \varepsilon R_{\chi_{opt}} \cdot t_{p\chi_{opt}},$$

то оптимальне його значення буде дорівнювати $k_{кеф \text{ опт}} = 0,0 \cdot 1,0 = 0$. Але в цьому випадку відносний активний кут може бути будь-яким.

Тому таке значення критерію ефективності кінематики не придатне для оцінки і вибору.

Якщо комплексний критерій отримати додаванням часткових критеріїв

$$k_{кеф} = \varepsilon R_{\chi_{опт}} + t_{P\chi_{опт}}, \quad (15)$$

то оптимальне, допустимі та граничні його значення будуть дорівнювати:

- оптимальне: $k_{кеф} = \varepsilon R_{\chi_{опт}} + t_{P\chi_{опт}} = 1,0$;
- мінімальне значення $k_{кеф\min} = \varepsilon R_{\chi_{опт\min}} + t_{P\chi_{опт\min}} = -4,0$;
- максимальне значення $k_{кеф\max} = \varepsilon R_{\chi_{опт\max}} + t_{P\chi_{опт\max}} = 3,0$;
- нижнє допустиме значення $k_{кеф\доп-} = \varepsilon R_{\chi_{доп-}} + t_{P\chi_{доп-}} \approx 0,2$;
- верхнє допустиме значення $k_{кеф\доп+} = \varepsilon R_{\chi_{доп+}} + t_{P\chi_{доп+}} \approx 0,7$;
- нижнє раціональне значення $k_{кеф\доп-} = \varepsilon R_{\chi_{доп-}} + t_{P\chi_{доп-}} \approx 0,7$;
- верхнє раціональне значення $k_{кеф\доп+} = \varepsilon R_{\chi_{доп+}} + t_{P\chi_{доп+}} \approx 1,3$.

Оцінимо кінематичну ефективність процесу для задньої поверхні та передньої поверхні у вершині пластини, залежності кутів атаки яких за оберт пластини наведені на рис. 10 та рис. 22 відповідно. На рис. 25 представлена залежність середнього значення критерію ефективності від кругової швидкості подачі на плоскій задній (рис. 25, а) та передній у вершині (рис. 25, б) поверхнях. Критерій кінематичної ефективності $k_{кеф}$ на задній поверхні знижується від значення $k_{кеф} = -0,695$ до $k_{кеф} = -0,719$ для додатної кругової подачі та від значення $k_{кеф} = -0,694$ до $k_{кеф} = -0,711$ для від'ємної кругової подачі при зростанні абсолютного значення швидкості кругової подачі в діапазоні $\omega_S = (0,1 \div 0,8)\omega_P$. Тобто, на задній поверхні критерій значно менший ніжнього допустимого значення ($k_{кеф} = 0,2$). Від'ємна швидкість трохи підвищує критерій кінематичної ефективності, особливо на високих швидкостях кругової подачі.

Критерій кінематичної ефективності $k_{кеф}$ на передній поверхні у вершині збільшується від значення $k_{кеф} = 0,42$ до $k_{кеф} = 0,619$ для додатної кругової подачі та зменшується від значення $k_{кеф} = 0,44$ до $k_{кеф} = 0,352$ для від'ємної кругової подачі в тому ж діапазоні зміни абсолютного значення швидкості кругової подачі.

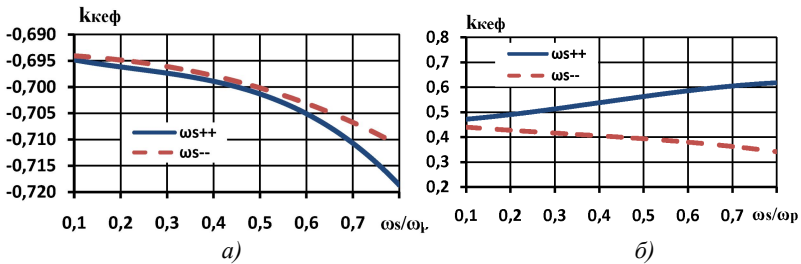


Рис. 25. Критерій кінематичної ефективності процесу MAO БНТП: а) на задній плоскій поверхні; б) на передній поверхні у вершині пластини

Тобто, на передній поверхні в вершині критерій в допустимому діапазоні значень ($k_{кеф} = 0,2 \div 0,7$). Додатна висока швидкість кругової подачі наближає критерій кінематичної ефективності до нижньої раціональної межі.

Крім кутів атаки та абсолютної величини сумарної швидкості різання, важливою характеристикою є напрямок сумарної швидкості різання відносно кромки пластини. Напрямок сумарної швидкості різання в певних точках оброблюваних поверхонь в певній мірі вказує напрямок переміщення магнітно-абразивного порошку відносно цих поверхонь.

Сукупний аналіз кутів атак та векторів сумарних швидкостей при $\xi = -30^\circ$ на різальній кромці при $\varphi = 90^\circ \div 270^\circ (-90^\circ \div -270^\circ)$ (кути при яких задня поверхня знаходиться в активній зоні) дозволяє стверджувати, що задня поверхня знаходиться у відносно сприятливих умовах обробки. При $\omega_S = \pm 0,1\omega_P$ максимальні кути атаки тут не перевищують 60° . Вектори \vec{V}_Σ направлені в основному знизу вверх і більшу частину зазначеного діапазону кутових положень пластини направлені вздовж різальної кромки або під гострим кутом до неї. І

лише при кутах близьких до $\varphi \pm 180^\circ$ направлені знизу вверх під кутом близьким до 90° . Передня поверхня і в зазначеному діапазоні і взагалі за повний оберт знаходиться в сприятливих умовах обробки: середні кути атаки складають 30° , вектори \vec{V}_Σ направлені в основному знизу вверх і більшу повного оберту – вздовж різальної кромки або під гострим кутом до неї. Напрямок векторів \vec{V}_P і наявність канавки перед передньою поверхнею сприяє концентрації потоку порошку в кутках пластини.

Висновки.

1. Рациональними значеннями параметрів кінематики процесу MAO багатограних пластин квадратної форми є:

- значення швидкості кругової подачі $\omega_S = \mp 0,1\omega_P$;

- кут нахилу пластини $\xi = 30^\circ$.

2. Кінематичними параметрами процесу MAO БНТП доцільно керувати за рахунок зміни значення і напрямку швидкості кругової подачі.

3. В найбільш несприятливих умовах обробки знаходиться задня поверхня пластини і для підвищення ефективності її обробки потрібно розробити закон зміни значень та напрямку швидкості кругової подачі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Сакулевич Ф.Ю. Объемная магнитно-абразивная обработка / Ф.Ю. Сакулевич, Л.М. Кожуро. – Мн. : Наука и техника. – 1978. – 168 с.
2. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Мн. : Наука и техника, 1981. – 328 с.
3. Литвиненко В.А. Финишная обработка фасонных поверхностей с высокими требованиями к качеству методом МАП с вращающейся рабочей зоной : дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1985. – 259 с.
4. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л. : Машиностроение, 1986. – 176 с.
5. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К. : Техника, 1989. – 177 с.
6. Портнов С.В. Повышение производительности и качества обработки асимметричных деталей в центробежно-уплотненном потоке свободного абразива : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / С.В. Портнов : С.-Пб., 2003. – 150 с.

7. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (износ и безызносность) : учебник / *Д.Н. Гаркунов.* — М. : Издательство МСХА, 2001. — 616 с.
8. Спосіб магніто-абразивної об'ємної обробки : пат. України на винахід № 25441 А, МПК В 24 В 31/112 / *В.С. Майборода, В.М. Гейчук, О.В. Степанов.* —15.12.98, Бюл. № 6.
9. *Майборода В.С.* Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструмента для фінішної обробки фасонних поверхонь : дис. ... д-ра. техн. наук / *В.С. Майборода.* — К., 2001. — 404 с.
10. *Майборода В.С.* Кінематика процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних багатограних непереточуваних пластин в умовах кільцевої робочої зони / *В.С. Майборода, Т.М. Капуцак* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. — 2004. — № 4 (31). — Т. 1. — С. 57–65.
11. *Ульяненко Н.В.* Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів : дис. ... канд. техн. наук / *Н.В. Ульяненко.* — К., 2006. — 160 с.
12. *Гейчук В.М.* Роторні верстати для магнітно-абразивної обробки на базі магнітної системи типу "кільцева ванна" : кінематика обробки спіральних свердел / *В.М. Гейчук* // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2008. — № 2 (49). — Ч. 2. — С. 45–50.
13. Магнитно-абразивная обработка многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин в условиях больших рабочих зазоров / *В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий, Б.М. Фесюн, А.В. Анисимова, В.Н. Гейчук* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. — Вип. 6 (154). — Донецьк : ДонНТУ, 2009. — С. 157–165.

ГЕЙЧУК Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів та машин Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- дослідження магнітно-абразивної обробки;
- розробка обладнання для магнітно-абразивної обробки.

Тел. (роб.): (044)454–94–60; (044)454–94–61;

(моб.): 067–436–98–44.

E-mail: geychukw@mail.ru, poroshin@online.ua

МАЙБОРОДА Віктор Станіславович – доктор технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- дослідження магнітно-абразивної обробки;
- зміцнення матеріалів.

Тел. (роб.): (044)454–95–28;

(моб.): 067–924–40–86.

E-mail: maiborodavs@mail.ru; maiborodavs@bigmir.net

Подано 12.10.2009