

УДК 621.923

Гейчук В.М.

(Національний технічний університет України "Київський політехнічний Інститут")

ВЕРСТАТИ ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ НА БАЗІ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ТИПУ "КІЛЬЦЕВА ВАННА" З РАДІАЛЬНИМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ: КІНЕМАТИКА ОБРОБКИ ДИСКОВИХ ФРЕЗ

Ранее разработана математическая модель и проведены исследования кинематики магнитно-абразивной обработки дисковых фрез на роторных станках с магнитной системой типа "кольцевая ванна" с торцевой загрузкой фрезы. Установлено, что передняя и боковые поверхности зуба находятся в неблагоприятных условиях. Результаты проведенных исследований дают возможность управлять величинами углов атаки на поверхностях зубьев фрезы за счет выбора определенных размеров ротора, магнитной системы и изменения значений составляющих суммарной скорости резания. В данной работе разработана математическая модель кинематики обработки дисковых фрез в "кольцевой ванне" с радиальной загрузкой.

The mathematical sample piece is earlier developed and explorations of kinematics of magnetic-abrasive handling of side milling cutters on rotor machine tools with magnetic system of type "ring bath" with face batch of a hob are carried out. It is installed, that the lobby and cog lateral areas are in unfavorable requirements. Results of the spent explorations give the chance to run magnitudes of angles of attack on surfaces of teethes of a hob at the expense of sampling of certain sizes of a curl, magnetic system and a modification of values of components of the net velocity of cutting. In the given operation the mathematical sample piece of kinematics of handling of side milling cutters in "a ring bath" with radial batch is developed.

Вступ

Розроблена математична модель кінематики обробки дискових фрез [1] на роторних верстатах з магнітною системою типу "кільцева ванна" дозволила провести дослідження, в результаті яких визначені основні залежності розмірів ротора та магнітної системи верстата від кінематичних параметрів процесу обробки [2]. Встановлено, що при традиційних співвідношеннях величин складових сумарної швидкості обробки передня та бокові поверхні зуба знаходяться несприятливих умовах. Результати проведених досліджень дають змогу керувати величинами кутів атаки на поверхнях зубів фрези за рахунок вибору певних розмірів ротора і магнітної системи і варіювання складовими сумарної швидкості різання.

Магнітні системи типу "кільцева ванна" мають робочу зону у вигляді кільця традиційно прямокутного поперечного перерізу. Магнітні системи, у яких робочі поверхні полюсних наконечників є циліндричними і завантаження деталі виконується з торцевої сторони робочої зони, назовемо "системами з торцевим завантаженням", а верстат, в складі якого використовуються ці МС (фіг. 3), називатимемо "Роторний верстат з торцевим завантаженням". Магнітні системи, у яких робочі поверхні полюсних наконечників є торцями цього кільця, занурення оброблюваних деталей може виконуватись тільки з зовнішньої циліндричної сторони в радіальному напрямку. Назвемо ці системи "системами з радіальним завантаженням", а верстат, в складі якого використовуються ці МС (фіг. 1) називатимемо "Роторний верстат з радіальним завантаженням".

Встановлено також [2], що у роторних верстатів з магнітними системами типу "кільцева ванна" з торцевим завантаженням оброблюваної деталі у робочу зону максимальний кут коливання залежить від:

- розмірів кільцевої ванни: ширини робочої зони та середнього радіусу кільцевої ванни;
- розмірів дискової фрези: діаметру, висоти зуба (кількості зубів) та ширини;
- положення дискової фрези відносно середнього радіусу;
- значення радіусу коливань.

Крім того, положення дискової фрези відносно середнього радіусу, при якому можливі кути коливання максимальні при даних розмірах "кільцевої ванни", залежать від розмірів дискової фрези (діаметру та ширини) та розмірів її зубів (від кількості зубів).

Якщо ж застосувати магнітну систему з радіальним завантаженням, то, очевидно, що максимальний кут коливання фрези в такій магнітній системі не залежить від радіальних розмірів робочої зони, а тільки від її ширини (від відстані між її торцевими поверхнями) і при заданій ширині робочої зони він максимальним, якщо фреза розташована посередині робочої зони. Але залишаються нез'ясованими важливі питання:

– у якій магнітній системі при одній і тій же ширині робочої зони максимальний кут коливання?

– в якій магнітній системі при однакових розмірах робочої зони умови обробки більш сприятливі (значення кутів атаки, можливість керування топологією магнітного поля за рахунок форми робочих поверхонь полюсних наконечників і т.п.)?

– як впливає вид робочої зони на кінематику та конструкцію верстата?

Постановка завдання

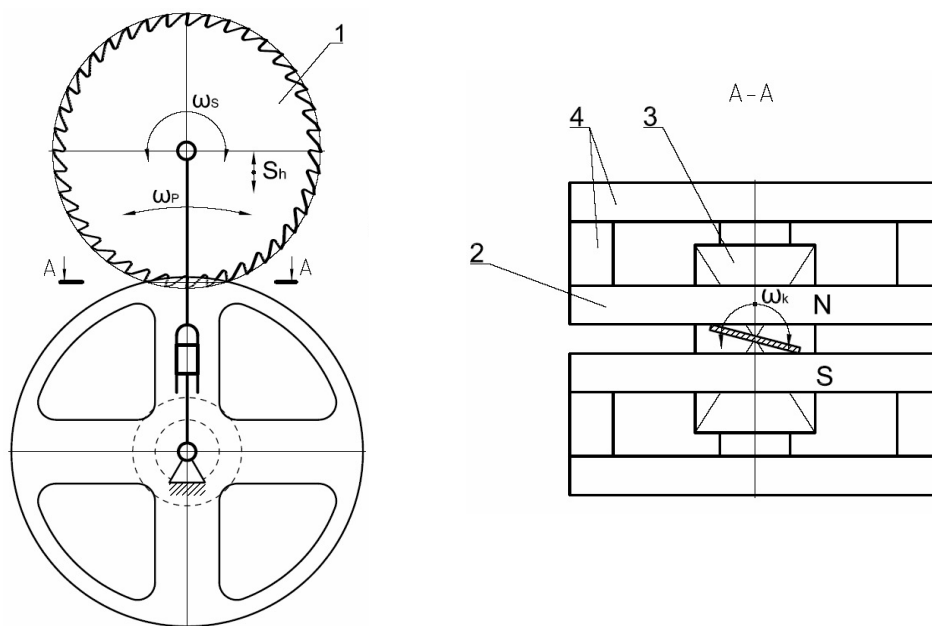
Тому метою роботи є дослідження кінематики процесу магнітно-абразивної обробки дискових фрез та пил на роторних верстатах з магнітною системою типу "кільцева ванна" з радіальним завантаженням.

Для дослідження кінематики процесу MAO дискових фрез та пил, необхідно розробити відповідну математичну модель.

Основна частина

Розрахункова схема.

На рис. 1 показана схема обробки дискових фрез в магнітній системі типу "кільцева ванна" з радіальним завантаженням.



1 – дискова фреза; 2 – полюсний наконечник;

3 – котушка; 4 – магнітопроводи;

ω_P – кутова швидкість основного руху;

ω_S – кутова швидкість кругової подачі;

ω_k – кутова швидкість коливального руху; S_h – радіальна подача

Рис. 1. - Схема MAO дискових фрез в магнітній системі типу "кільцева ванна" з радіальним завантаженням

Дискова фреза в початковому положенні встановлюється посередині між нижнім і верхнім полюсним наконечниками, її середня площина паралельна торцям полюсних наконечників і занурюється в кільцеву ванну на величину h_z [1]. При цьому міжцентрова відстань визначається виразом:

$$R_{ц} = \frac{D_{зН} + D_{фр}}{2} - h_z. \quad (1)$$

Для аналізу процесу коливань фрези в робочому зазорі магнітної системи замість коливання диску діаметром $D_{фр}$ та висотою $B_{фр}$, розглянемо коливання перерізу диску фрези з діаметром $D_{фр}$ площиною, яка проходить через лінії перетину циліндричних поверхонь диску фрези з діаметром $D_{фр}$ та зовнішньої поверхні полюсного наконечника радіусом $R_{зН}$ (рис. 2).

Цей переріз є прямокутником з довжиною S_x та шириною $B_{фр}$, де S_x - довжина хорди кола, яка утворюється в результаті перетину зазначеної площини та кола з діаметром $D_{фр}$.

Довжина хорди S_x визначається за формулою [1]:

$$S_x = 2\sqrt{D_{фр} \cdot h_{фр} - h_{фр}^2}, \quad (2)$$

де $h_{фр}$ - відстань від точки $K_{фр}$ до хорди.

Її величину будемо визначати за формулою:

$$h_{фр} = \frac{D_{зН} \cdot h_z - h_z^2}{D_{зН} + D_{фр} - 2h_z}, \quad (3)$$

де h_z - глибина занурення фрези в магнітно-абразивний порошок (МАП) (відстань від точки $K_{фр}$ до точки $K_{ПН}$). Глибина занурення визначається згідно з рекомендаціями [1].

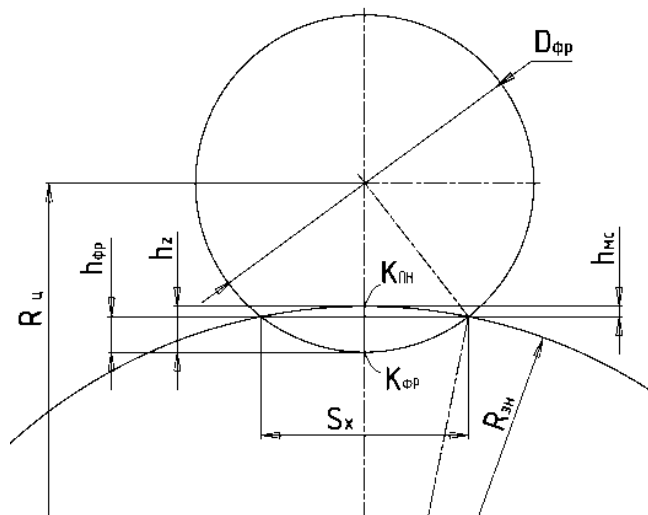


Рис. 2. - Схема установки дискової фрези в кільцеву ванну

Максимальний кут коливання визначимо за формулою:

$$\alpha_{\max} = \arcsin\left(\frac{H}{\sqrt{S_x^2 + B_{фр}^2}}\right) - \arctg\left(\frac{B_{фр}}{S_x}\right). \quad (4)$$

Приведене допущення при визначенні максимального кута коливання призводить до похибки, яка не перевищує $\Delta\alpha = -0,4^\circ$. Тобто максимальний кут коливання повинен бути

меншим від визначеного за формулою (4) на величину $\Delta\alpha$. Для визначення точного кута потрібно розглядати задачу перетину двох циліндрів (диска фрези та кільцевої зони). Однак, при цьому потрібно врахувати наступне:

- обчислення та результуюча залежності будуть набагато складнішими;
- між оброблюваною деталлю та робочими поверхнями полюсних наконечників потрібен зазор до 2 мм.

Тому зазначена точність обчислення кута коливання для практичних розрахунків є задовільною.

Центральний кут φ_C хорди визначає точки входу/виходу зубів дискової фрези в МАП. Він визначається за формулою:

$$\varphi_C = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{S_X}{D_{\text{фр}}}\right). \quad (5)$$

Система координат.

Далі розрахунки виконаємо з використанням перетворення координат при переміщенні та повороті систем координат [1].

Дискова фреза в процесі обробки виконує ті ж три незалежних рухи:

- головний рух різання при обертанні ротора вздовж кільцевої ванни зі швидкістю \vec{V}_p ;
- обертання фрези навколо своєї осі зі швидкістю \vec{V}_s ;
- коливання фрези зі швидкістю \vec{V}_k .

Тому використовуємо три системи координат: XYZ , $\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$ та $\overline{X}'\overline{Y}'\overline{Z}'$.

За початок абсолютної системи координат O_1 (рис. 3) виберемо точку перетину осі кільцевої ванни (або роторної головки) з площиною, перпендикулярною цій осі, яка лежить посередині між торцями нижнього і верхнього полюсних наконечників на відстані $H/2$, де H – ширина кільцевої ванни. В цій площині розмістимо площину XO_1Y абсолютної системи координат. Вісь Z співпадає з віссю магнітної системи і направлена вгору.

Другу систему координат $\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$ зв'яжемо з віссю коливання фрези. Вісь \overline{Z} цієї системи співпадає з віссю обертання фрези та направлена вгору. Початок O_2 системи $\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$ координат – в точці перетину осі \overline{Z} з площиною XO_1Y .

Третя систему координат $\overline{X}'\overline{Y}'\overline{Z}'$ співпадає з другою. З нею зв'яжемо обертання фрези навколо своєї осі. Всі системи координат є правими декартовими системами. Відстань між системами координат XYZ та $\overline{X}'\overline{Y}'\overline{Z}'$ ($\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$) дорівнює RC , тобто відстані між віссю магнітної системи та віссю обертання фрези.

Визначення координат точок на передній поверхні зуба.

Координати точки T на передній поверхні зуба в системі координат $\overline{X}'\overline{Y}'\overline{Z}'$ такі:

$$\begin{cases} \overline{X}'_T = \frac{D_{\text{фр}}}{2} - h; \\ \overline{Y}'_T = h \cdot \text{tg}\gamma_3; \\ \overline{Z}'_T = z_B - \frac{B_{\text{фр}}}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

де: h – відстань від вершини зуба (точки T_1) до заданої точки на передній поверхні по висоті зуба; z_B – відстань від вершини зуба до заданої точки на передній поверхні по ширині зуба; γ_3 – передній кут зуба фрези. При цьому значення кута γ_3 потрібно підставляти зі знаком.

Поворот фрези на кут φ під час кругової подачі.

Поворот виконується в площині $\bar{X}'O_3\bar{Y}'$ (рис. 4), тому при повороті фрези координата Z не змінюється.

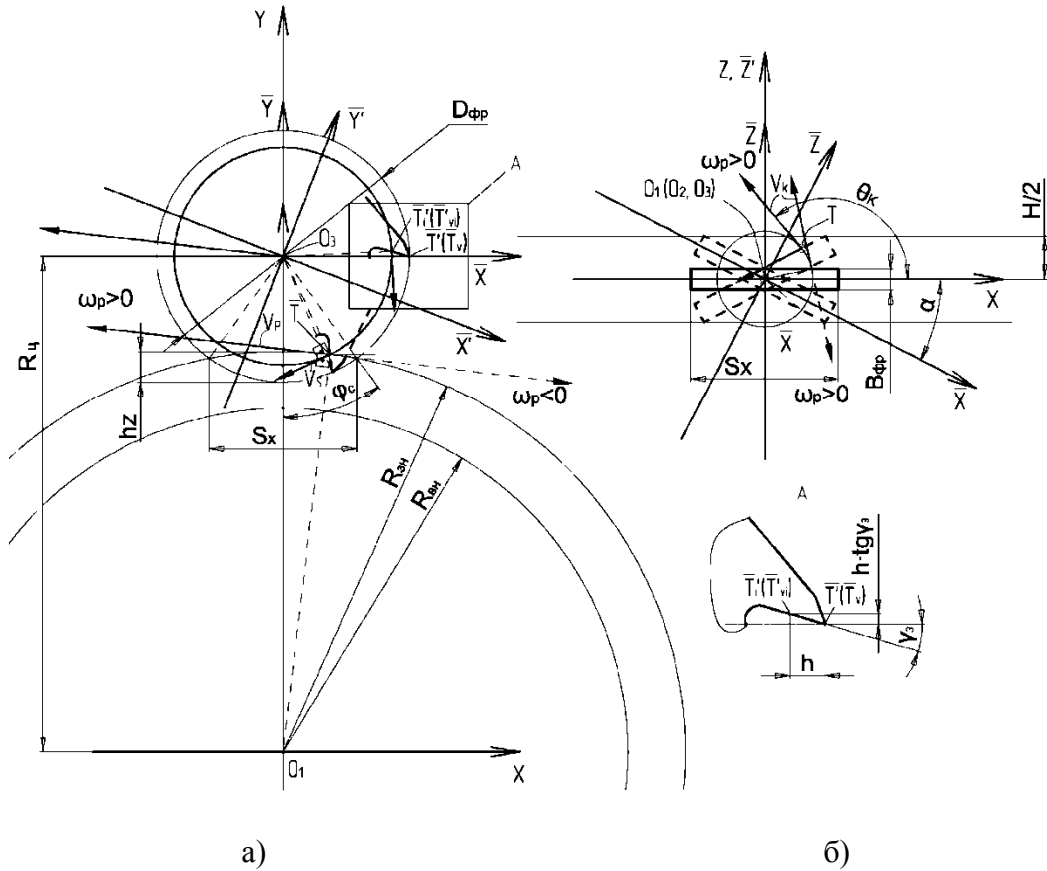


Рис. 3. - Система координат рухів фрези

Координати точки T після повороту на кут φ визначаються виразами:

$$\begin{cases} \bar{X}_T = \bar{X}_0 + \bar{X}'_T \cdot \cos \varphi - \bar{Y}'_T \cdot \sin \varphi; \\ \bar{Y}_T = \bar{Y}_0 + \bar{X}'_T \cdot \sin \varphi + \bar{Y}'_T \cdot \cos \varphi; \\ \bar{Z}_T = \bar{Z}'_T = z_B - \frac{B_{\text{фр}}}{2}. \end{cases} \quad (7)$$

Після підстановки (6) в (7), і враховуючи, що $\bar{X}_0 = 0, \bar{Y}_0 = 0$, одержимо:

$$\begin{cases} \bar{X}_T = \left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - h \cdot \text{tg} \gamma_3 \cdot \sin \varphi; \\ \bar{Y}_T = \left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - h \right) \cdot \sin \varphi + h \cdot \text{tg} \gamma_3 \cdot \cos \varphi; \\ \bar{Z}_T = z_B - \frac{B_{\text{фр}}}{2}. \end{cases} \quad (8)$$

Поворот фрези на кут α під час коливання.

Поворот виконується в площині XO_1Z , тому при коливанні фрези на кут α координата Y не змінюється (рис. 2).

Координати точки T після повороту на кут α визначаються виразами:

$$\begin{cases} X_T = X_0 + \bar{X}_T \cdot \cos \alpha - \bar{Z}_T \cdot \sin \alpha; \\ Y_T = Y_0 + \bar{Y}'_T; \\ Z_T = Z_0 + \bar{X}_T \cdot \sin \alpha + \bar{Z}_T \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (9)$$

Після підстановки (8) в (9), враховуючи, що $X_0 = 0, Y_0 = 0, Z_0 = 0$, одержимо:

$$\begin{cases} X_T = \left[\left(\frac{D_{\phi p}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - h \cdot \operatorname{tg} \gamma_3 \cdot \sin \varphi \right] \cdot \cos \alpha - \\ - \left(z_B - \frac{B_{\phi p}}{2} \right) \cdot \sin \alpha; \\ Y_T = R_{II} + \left(\frac{D_{\phi p}}{2} - h \right) \cdot \sin \varphi + h \cdot \operatorname{tg} \gamma_3 \cdot \cos \varphi; \\ Z_T = \left[\left(\frac{D_{\phi p}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - h \cdot \operatorname{tg} \gamma_3 \cdot \sin \varphi \right] \cdot \sin \alpha + \\ + \left(z_B - \frac{B_{\phi p}}{2} \right) \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (10)$$

Визначення координат точок на задній поверхні зуба.

Координата точки W на задній поверхні зуба (рис. 4) в системі координат $\bar{X}'\bar{Y}'\bar{Z}'$ такі:

$$\begin{cases} \bar{X}'_W = \frac{D_{\phi p}}{2} - h; \\ \bar{Y}'_W = h / \operatorname{tg} \alpha_3; \\ \bar{Z}'_W = z_B - \frac{B_{\phi p}}{2}. \end{cases} \quad (11)$$

де α_3 – задній кут зуба фрези.

Поворот фрези на кут φ під час кругової подачі.

Поворот виконується в площині $\bar{X}'O_3\bar{Y}'$ паралельній площині XO_1Y , тому при повороті фрези координата Z не змінюється.

Координати точки W після повороту на кут φ визначаються виразами:

$$\begin{cases} \bar{X}_W = \bar{X}_0 + \bar{X}'_W \cdot \cos \varphi - \bar{Y}'_W \cdot \sin \varphi; \\ \bar{Y}_W = \bar{Y}'_W + \bar{X}'_W \cdot \sin \varphi + \bar{Y}'_W \cdot \cos \varphi; \\ \bar{Z}_W = \bar{Z}'_W = z_B - \frac{B_{\phi p}}{2}. \end{cases} \quad (12)$$

Після підстановки (11) в (12), враховуючи, що $\bar{X}_0 = 0, \bar{Y}_0 = 0, \bar{Z}_0 = 0$, одержимо:

$$\begin{cases} \bar{X}_W = \left(\frac{D_{\phi p}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha_3} \cdot \sin \varphi; \\ \bar{Y}_W = \left(\frac{D_{\phi p}}{2} - h \right) \cdot \sin \varphi + \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha_3} \cdot \cos \varphi; \\ \bar{Z}_W = z_B - \frac{B_{\phi p}}{2}. \end{cases} \quad (13)$$

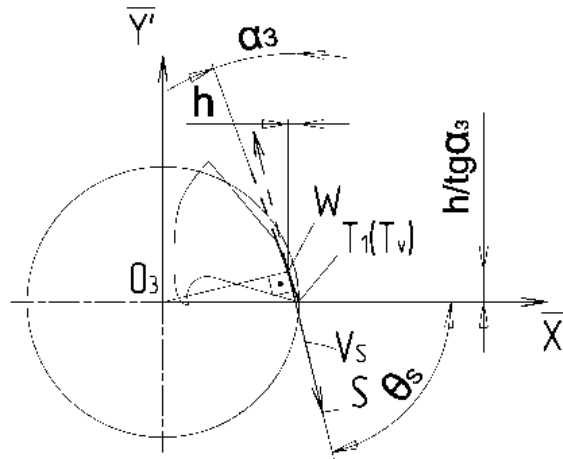


Рис. 4 - Схема обертання фрези при обробці задньої поверхні

Поворот фрези на кут α під час коливання.

Поворот виконується в площині XO_1Z , тому при коливанні фрези на кут α координата Y не змінюється.

Координати точки W після повороту на кут α визначаються виразами:

$$\begin{cases} X_W = X_0 + \bar{X}_W \cdot \cos \alpha - \bar{Z}_W \cdot \sin \alpha; \\ Y_W = Y_0 + \bar{Y}_0; \\ Z_W = Z_0 + \bar{X}_W \cdot \sin \alpha + \bar{Z}_W \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (14)$$

Після підстановки (13) в (14), враховуючи, що $X_0 = 0, Y_0 = 0, Z_0 = 0$, одержимо:

$$\begin{cases} X_W = \left[\left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - \frac{h}{\text{tg} \alpha_3} \cdot \sin \varphi \right] \cdot \cos \alpha - \\ - \left(z_B - \frac{B_{\text{фр}}}{2} \right) \cdot \sin \alpha; \\ Y_W = -R_u + \left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - h \right) \cdot \sin \varphi + \frac{h}{\text{tg} \alpha_3} \cdot \cos \varphi; \\ Z_W = \left[\left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - h \right) \cdot \cos \varphi - \frac{h}{\text{tg} \alpha_3} \cdot \sin \varphi \right] \cdot \sin \alpha + \\ + \left(z_B - \frac{B_{\text{фр}}}{2} \right) \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (15)$$

Визначення координат точок на бічній поверхні зуба.

Для дослідження кутів атаки на боковій поверхні зуба фрези в якості характерних точок виберемо точки на бокових ріжучих кромках, координати яких можна визначити за формулами (10) при $z_B=0$ (для внутрішньої бічної поверхні) та $z_B=B_{\text{фр}}$ (для зовнішньої бічної поверхні), та кромках перетину задньої та бокових поверхонь зуба, які визначаються за формулами (15) при $z_B=0$ (для внутрішньої бічної поверхні) та $z_B=B_{\text{фр}}$ (для зовнішньої бічної поверхні).

Кути атаки.

Кути атаки визначимо за формулою [1]:

$$\chi = \arcsin \frac{A \cdot a_x + B \cdot a_y + C \cdot a_z}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}, \quad (16)$$

де A, B, C, D – коефіцієнти характеристичного рівняння площини, в якій лежить відповідна робоча поверхня зуба фрези.

Вони визначаються за координатами точок поверхонь зуба згідно рекомендацій [1]; a_x , a_y , a_z – компоненти вектора сумарної швидкості різання в заданій точці, як направленою відрізку. Вони дорівнюють:

$$\begin{aligned} a_x &= V_{\Sigma x} = V_{Px} + V_{Sx} + V_{Kx}; \\ a_y &= V_{\Sigma y} = V_{Py} + V_{Sy} + V_{Ky}; \\ a_z &= V_{\Sigma z} = V_{Pz} + V_{Sz} + V_{Kz}. \end{aligned} \quad (17)$$

Визначення швидкостей різання та їх компонент.

Для визначення кута атаки в заданій точці на заданій поверхні зуба фрези потрібно визначити також сумарну швидкість різання в заданій точці. Складові сумарної швидкості різання можна задати виразами:

$$\begin{aligned} \vec{V}_P &= \vec{\omega}_P \cdot R_P \\ \vec{V}_S &= \vec{\omega}_S \cdot R_S \\ \vec{V}_K &= \vec{\omega}_K \cdot R_K \end{aligned} \quad (18)$$

де $R_P = f(\varphi, \alpha)$ – проекція відрізка O_1T на площину XO_1Y ; $R_S = l_{O_3T} = const$; $R_K = f(\varphi)$ – проекція відрізка O_2T на площину XO_1Y . В даному випадку T – будь-яка задана точка на поверхні зуба (рис. 3 та 4).

Величини радіусів R_P , R_K та R_S можна визначити за формулами:

$$\begin{aligned} R_S &= \sqrt{\bar{X}_T'^2 + \bar{Y}_T'^2} \\ R_K &= \sqrt{\bar{X}_T'^2 + \bar{Z}_T'^2} \\ R_P &= \sqrt{X_T^2 + Y_T^2} \end{aligned} \quad (19)$$

Тобто радіус-вектор точки кожної із складових сумарної швидкості різання (швидкість руху вздовж кільцевої ванни V_P , обертання навколо своєї осі V_S та коливальний рух V_K) є відстанню від заданої точки до осі обертання у відповідному русі: для V_S – в системі координат $\bar{X}'\bar{Y}'\bar{Z}'$, для V_K – в системі координат $X'Y'Z'$, для V_P – в системі координат XYZ .

Компоненти вектора \vec{V}_S :

$$\begin{cases} V_{Sx} = V_S \cdot \cos \theta_S \cdot \cos \alpha; \\ V_{Sy} = V_S \cdot \sin \theta_S; \\ V_{Sz} = V_S \cdot \cos \theta_S \cdot \sin \alpha; \end{cases} \quad (20)$$

де $\theta_S = \text{sign}(\omega_S) \cdot \left(90 + \arctg \left(\frac{\bar{Y}_T'}{\bar{X}_T'} \right) \right) + \varphi$ – кут між віссю X та вектором \vec{V}_S (рис. 3 та рис. 5); $\text{sign}(\omega_S)$ – знак кутової швидкості ω_S .

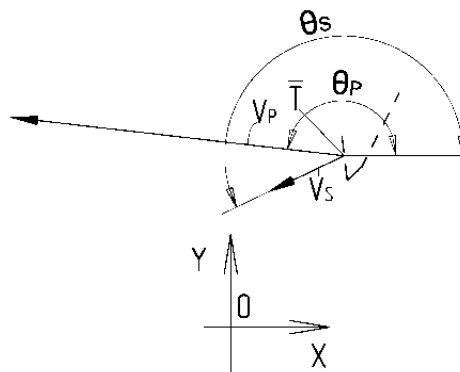


Рис. 5. - До визначення кутів між віссю X та векторами \vec{V}_P та \vec{V}_S

Компоненти вектора \vec{V}_p :

$$\begin{cases} V_{Px} = V_p \cdot \cos \theta_p; \\ V_{Py} = V_p \cdot \sin \theta_p; \\ V_{Pz} = 0; \end{cases} \quad (21)$$

де $\theta_p = \begin{cases} \text{sign}(\omega_p) \cdot \text{arctg} \frac{X_T}{Y_T}, & \text{якщо } \omega_p < 0; \\ 180 - \text{arctg} \frac{X_T}{Y_T}, & \text{якщо } \omega_p > 0; \end{cases}$ – кут між віссю X та вектором \vec{V}_p (рис. 3).

Компоненти вектора \vec{V}_k :

$$\begin{cases} V_{Kx} = V_k \cdot \cos \theta_k; \\ V_{Ky} = 0; \\ V_{Kz} = V_k \cdot \sin \theta_k; \end{cases} \quad (22)$$

де $\theta_k = -\text{sign}(\omega_k) \cdot 90 + \text{arctg} \left(\frac{\bar{Y}_T}{\bar{X}_T} \right) + \alpha$ – кут між віссю X та вектором \vec{V}_k (рис.3).

Висновки

1. Адекватність розробленої математичної моделі перевірялась співставленням результатів розрахунків та результатів твердотільного параметричного моделювання в САПР Inventor фірми Autodesk.

2. Задачами подальших досліджень є:

- дослідження впливу розмірних параметрів дискових фрез, основних розмірів верстата та швидкостей руху фрези на кути атаки на різних поверхнях зуба фрези;
- аналіз результатів досліджень і на їх основі розробка рекомендацій з призначення величин окремих складових сумарної швидкості різання;
- порівняльний аналіз результатів досліджень кінематики MAO дискових фрез та пил на роторних верстатах з магнітними системами з торцевим та радіальним завантаженням;
- розробка методики визначення основних розмірів ротора та магнітної системи верстата.

Література

1. Гейчук В.М., Шевчук В.А., Гаврушкевич А.Ю. Верстати для магнітно-абразивної обробки на базі магнітної системи типу "кільцева ванна": кінематика обробки дискових фрез//Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут“. Машинобудування. – 2006. - вип. 48, с. 121-131.

2. Гейчук В.М. Верстати для магнітно-абразивної обробки на базі магнітної системи типу "кільцева ванна": аналіз кінематики обробки дискових фрез//Научно-технический журнал "Технологические системы" ВАТ "Український науково-дослідний інститут авіаційних технологій", м. Київ – 2007. – вип. № 2(38), с. 33-42.