

Н.С. Равська, д.т.н., проф.
В.В. Вовк, к.т.н., ст. викл.
А.В. Мельник, магістант

Національний технічний університет України "КПІ"

ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ФАСОННИХ ФРЕЗ

Вирішене завдання та отримано залежності для визначення дотичного вектора до різальної кромки фасонних фрез. Отримано залежності для розрахунку величин статичних переднього та кута нахилу різальної кромки при відомих кутах в інструментальній системі координат. Розглянута геометрія задньої поверхні фасонних гострозаточених та затілваних фрез, отримано залежності для розрахунку величин статичних задніх кутів в різних точках різальної кромки.

Ключові слова: фасонна фреза; різальна кромка; геометричні параметри; затілвана фреза; гострозаточена фреза.

Вступ. Постановка проблеми. Фасонні фрези є розповсюдженим різальним інструментом, який використовується при обробці фасонних циліндричних поверхонь, обертання та гвинтових поверхонь.

Працездатність фасонних фрез, як і інших різальних інструментів, залежить від геометричних параметрів різальної частини, тобто від величин передніх і задніх кутів, головного кута в плані та кута нахилу різальної кромки в різних її точках.

Відповідно до ДСТУ 2249-93, геометричні параметри розглядаються в інструментальній, статичній та кінематичній системах координат. У літературних джерелах [1, 2] найчастіше геометричні параметри різальної частини фасонних фрез розглядаються в інструментальній системі в перерізах, перпендикулярних осі фрези, що наближено характеризує процес різання. Більш точно відображають процес різання будь-яким інструментом, в тому числі і фасонними фрезами, їх статичні геометричні параметри. Тому визначення статичних геометричних параметрів різальної частини фасонних фрез при відомих геометричних параметрах в інструментальній системі координат є важливим завданням, що вирішується в даній статті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У фасонних фрез геометричні параметри різальної частини на кресленнях задаються в базовій точці. Проте у процесі різання геометрія інструменту розглядається відносно поверхні різання [3], яка дотична до різальної кромки. У фасонних фрез зі зміною положення дотичної до різальної кромки змінюється і положення площини різання, а отже і значення статичних та кінематичних геометричних параметрів.

Кінематичні кути найбільше визначають умови протікання процесу різання. Зважаючи на те, що при фрезеруванні фасонних поверхонь швидкість головного руху значно перевищує рух подачі, різниця між статичними і кінематичними кутами різальної частини інструменту є незначущою.

У [4, 5] наведена методика визначення статичних геометричних параметрів різальної частини інструментів; вона розглянута на прикладі визначення геометричних параметрів призматичних та радіальних фасонних різців з нахиленим розташуванням бази кріплення. Значення цих кутів залежить не лише від форми різальної кромки та виду інструменту, а й від кінематики процесу. Для знаходження значень статичних кутів фасонних фрез в будь-якій точці різальної кромки, перш за все, необхідно визначити вектор, дотичний до різальної кромки в досліджуваній точці.

Метою роботи є визначення залежностей для розрахунку статичних геометричних параметрів різальної частини фасонних фрез в будь-якій точці різальної кромки за відомих їх значення в інструментальній системі координат.

Визначення вектора, дотичного до різальної кромки фрези в досліджуваній точці. Методика визначення вектора \vec{P} , дотичного до різальної кромки, базується на тому, що різальна кромка є лінією перетину передньої поверхні та вихідної інструментальної поверхні. Тому вектор \vec{P} може бути визначений як векторний добуток нормалі \vec{N}_Π до передньої поверхні і вектора нормалі \vec{N}_Σ до вихідної інструментальної поверхні в досліджуваній точці різальної кромки.

Найчастіше як передня поверхня фасонних фрез приймається площина. Розглянемо випадок (рис. 1), коли передня площина R в. йде паралельно осі фрези, положення котрої визначається заданою величиною інструментального кута γ_i в базовій точці А різальної кромки.

Інструментальний передній кут вимірюється в площині перпендикулярній осі фрези. В системі XYZ \vec{N}_Π буде:

$$\vec{N}_\Pi = \vec{i} \cos \gamma_i + \vec{k} \sin \gamma_i. \quad (1)$$

Вихідна інструментальна поверхня фасонних фрез є поверхнею обертання при обробці фасонних циліндричних поверхонь, поверхонь обертання та гвинтових поверхонь і визначається при їх профілюванні. При аналізі геометричних параметрів різальної частини фрез вихідну інструментальну поверхню, тобто її профіль CF вважаємо відомими. В обраному перерізі I , перпендикулярному осі, точкою різальної кромки буде точка B перетину радіуса R_i і перпендикулярної площини P_γ .

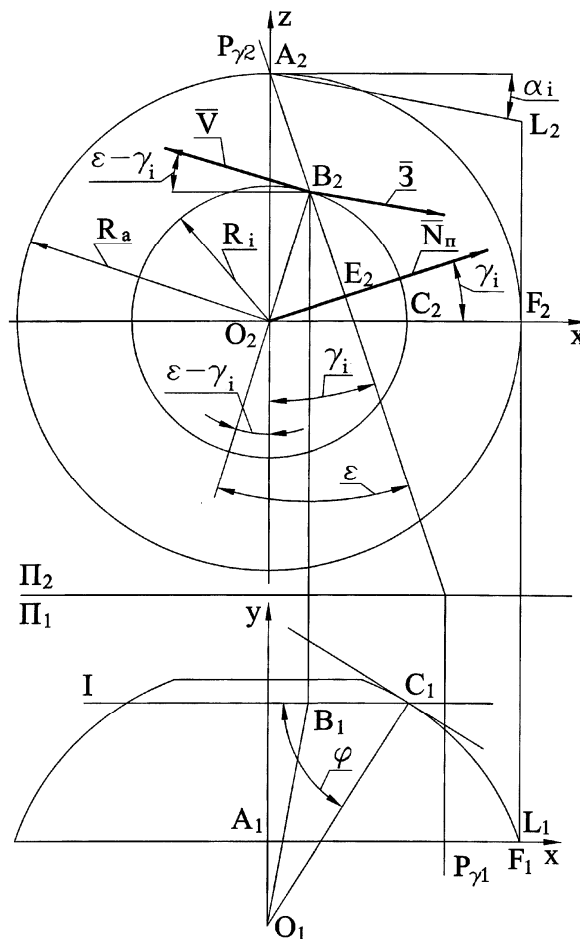


Рис. 1. Визначення дотичної до різальної кромки

Переріз I перетинається з вихідною інструментальною поверхнею по колу радіус R_i . Якщо в точках цього кола провести нормалі до вихідної інструментальної поверхні, то одержимо круглий конус нормалей з вершиною в точці O . Лінія OB буде нормаллю \bar{N}_Σ до вихідної інструментальної поверхні в точці B .

За побудовою (рис. 1), розглядаючи трикутники $O_2E_2B_2$ та $O_2A_2E_2$, маємо:

$$\sin \varepsilon = \frac{Ra \cdot \sin \gamma_i}{Ri}, \quad (2)$$

$$\bar{N}_\Sigma = \bar{i} \sin(\varepsilon - \gamma_i) + \bar{j} \operatorname{tg} \varphi + \bar{k} \cos(\varepsilon - \gamma_i), \quad (3)$$

де Ra – радіус базової точки різальної кромки; φ – кут нахилу дотичної до профілю вихідної інструментальної поверхні.

Вектор \bar{P} , що йде по дотичній до різальної кромки в точці B буде:

$$\bar{P} = [\bar{N}_\pi \times \bar{N}_\Sigma] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \cos \gamma_i & 0 & \sin \gamma_i \\ \sin(\varepsilon - \gamma_i) & \operatorname{tg} \varphi & \cos(\varepsilon - \gamma_i) \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Розкриваючи визначник, одержимо:

$$\bar{P} = \bar{i}(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma_i) - \bar{j} \cos \varepsilon + \bar{k} \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \gamma_i. \quad (5)$$

Визначення статичного переднього кута в нормальному до різальної кромки перерізі. Статичний передній кут γ_{HC} в нормальному до різальної кромки перерізі знаходиться між нормаллю \bar{N}_p до статичної площини різання і передньою площиною. Таким чином, кут між нормаллю \bar{N}_p і нормаллю \bar{N}_n до передньої площини буде дорівнювати $90^\circ - \gamma_{HC}$. Кут між векторами \bar{N}_p і \bar{N}_n становить:

$$\cos(90^\circ - \gamma_{HC}) = \sin \gamma_{HC} = \frac{(\bar{N}_p \cdot \bar{N}_n)}{|\bar{N}_p| \cdot |\bar{N}_n|}. \quad (6)$$

Вектор \bar{V} швидкості головного руху різання, тобто швидкості обертання точки B навколо осі фрези, буде дорівнювати:

$$\bar{V} = -\bar{i} + k \operatorname{tg}(\varepsilon - \gamma_i). \quad (7)$$

Вектор нормалі \bar{N}_p до статичної площини різання буде:

$$\bar{N}_p = [\bar{P} \times \bar{V}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin \gamma_i & -\cos \varepsilon & \operatorname{tg}\varphi \cdot \cos \gamma_i \\ -1 & 0 & \operatorname{tg}(\varepsilon - \gamma_i) \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Розкриваючи визначник і перетворюючи його, одержимо:

$$\bar{N}_p = -\bar{i} \sin(\varepsilon - \gamma_i) - \bar{j} \operatorname{tg}\varphi - \bar{k} \cos(\varepsilon - \gamma_i). \quad (9)$$

Скалярний добуток векторів \bar{N}_n і \bar{N}_p запишеться:

$$(\bar{N}_n \cdot \bar{N}_p) = -\sin(\varepsilon - \gamma_i) \cdot \cos \gamma_i - \cos(\varepsilon - \gamma_i) \cdot \sin \gamma_i = -\sin \varepsilon. \quad (10)$$

Модуль вектора \bar{N}_n дорівнює:

$$|\bar{N}_n| = \pm 1. \quad (11)$$

Модуль вектора \bar{N}_p :

$$|\bar{N}_p| = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}. \quad (12)$$

Тоді модуль вектора \bar{N}_p дорівнює:

$$|\bar{N}_p| = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}. \quad (13)$$

Статичний передній кут γ_{HC} в нормальному до різальної кромки перерізі буде дорівнювати:

$$\sin \gamma_{HC} = \sin \varepsilon \cdot \cos \varphi = \frac{Ra}{Ri} \cdot \sin \gamma_i \cdot \cos \varphi. \quad (14)$$

При $\varphi = 90^\circ$ кут γ_{HC} різальної кромки в точці B буде $\gamma_{HC} = 0$, а в базовій точці кут γ_{HC} буде дорівнювати $\gamma_{HC} = \gamma_i$, тобто збігатися з інструментальним.

Для визначення статичного переднього кута γ_c в головній січній площині, крім γ_{HC} необхідно знати величину статичного кута нахилу різальної кромки λ_c .

Визначення статичного кута нахилу різальної кромки λ_c . Статичний кут нахилу різальної кромки λ_c – це кут в статичній площині різання між різальною кромкою і статичною основною площиною, котра перпендикулярно швидкості \bar{V} . Тому кут між швидкістю \bar{V} і вектором \bar{P} , дотичним до різальної кромки буде дорівнювати $90^\circ - \lambda_c$ відповідно:

$$\sin \lambda_c = \frac{(\bar{V} \cdot \bar{P})}{|\bar{V}| \cdot |\bar{P}|}. \quad (15)$$

Скалярний добуток векторів \bar{V} і \bar{P} буде:

$$(\bar{V} \cdot \bar{P}) = \operatorname{tg}\varphi \cdot \sin \gamma_i + \operatorname{tg}\varphi \cdot \cos \gamma_i \operatorname{tg}(\varepsilon - \gamma_i) = \frac{\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin \varepsilon}{\cos(\varepsilon - \gamma_i)}. \quad (16)$$

Модуль вектора \bar{V} дорівнює:

$$|\bar{V}| = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\varepsilon - \gamma_i)} = \frac{1}{\cos(\varepsilon - \gamma_i)}. \quad (17)$$

Модуль вектора \bar{P} дорівнює:

$$|\bar{P}| = \sqrt{\operatorname{tg}^2\varphi + \cos^2\varepsilon}. \quad (18)$$

Таким чином:

$$\sin\lambda_c = \frac{\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \gamma_i)}{\cos(\varepsilon - \gamma_i) \cdot \sqrt{\operatorname{tg}^2\varphi + \cos^2\varepsilon}} = \frac{\sin\varepsilon}{\sqrt{1 + \cos^2\varepsilon / \operatorname{tg}^2\varphi}}. \quad (19)$$

Знаючи кут λ_c , за формулою $\operatorname{tg}\gamma_c = \operatorname{tg}\gamma_{nc} / \cos\lambda_c$ знаходиться значення статичного переднього кута в головній січній площині.

Визначення статичного заднього кута в нормальному до різальної кромки перерізі гострозаточеної фрези. Розглянемо гострозаточену фасонну фрезу, у котрої задня поверхня є фасонною циліндричною поверхнею, твірні якої лежать в площинах, перпендикулярних осі фрези. Так твірною в базовій точці A різальної кромки буде пряма AL , положення якої визначається обраною величиною інструментального заднього кута α_i . Вектор \bar{Z} , що іде по твірній задній поверхні, становить:

$$\bar{Z} = \bar{i} \cos\alpha_i - \bar{k} \sin\alpha_i. \quad (20)$$

Вектор нормалі \bar{N}_3 до задньої поверхні буде:

$$\bar{N}_3 = [\bar{Z} \times \bar{P}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \cos\alpha_i & 0 & -\sin\alpha_i \\ -\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\gamma_i & -\cos\varepsilon & \operatorname{tg}\varphi \cdot \cos\gamma_i \end{vmatrix}. \quad (21)$$

Розкриваючи та перетворюючи визначник, одержимо:

$$\bar{N}_3 = \bar{i}(-\sin\alpha_i \cdot \cos\varepsilon) - \bar{j}\operatorname{tg}\varphi \cdot \cos(\alpha_i + \gamma_i) - \bar{k} \cos\alpha_i \cdot \cos\varepsilon. \quad (22)$$

Статичний задній кут α_{nc} в нормальному до різальної кромки перерізі знаходиться між нормаллю \bar{N}_p до поверхні різання і нормаллю \bar{N}_3 до задньої поверхні. Кут α_{nc} між зазначеними векторами дорівнює:

$$\cos\alpha_{nc} = \frac{(\bar{N}_p, \bar{N}_3)}{|\bar{N}_p| \cdot |\bar{N}_3|}. \quad (23)$$

Скалярний добуток векторів \bar{N}_p і \bar{N}_3 буде:

$$(\bar{N}_p, \bar{N}_3) = \cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \gamma_i - \alpha_i) + \operatorname{tg}^2\varphi \cdot \cos(\alpha_i + \gamma_i). \quad (24)$$

Модуль вектора \bar{N}_p :

$$|\bar{N}_p| = \frac{1}{\cos\varphi}. \quad (25)$$

Модуль вектора \bar{N}_3 дорівнює:

$$|\bar{N}_3| = \sqrt{\cos^2\varepsilon + \operatorname{tg}^2\varphi \cdot \cos^2(\alpha_i + \gamma_i)}. \quad (26)$$

Таким чином, статичний задній кут α_{nc} в нормальному до різальної кромки перерізі буде дорівнювати:

$$\cos\alpha_{nc} = \frac{[\cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \gamma_i - \alpha_i) \cdot \operatorname{tg}^2\varphi \cdot \cos(\alpha_i + \gamma_i)] \cdot \cos\varphi}{\sqrt{\cos^2\varepsilon + \operatorname{tg}^2\varphi \cdot \cos^2(\alpha_i + \gamma_i)}}. \quad (27)$$

Перетворюючи, одержимо:

$$\cos\alpha_{nc} = \frac{\cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \gamma_i - \alpha_i) \cdot \cos^2\varphi + \sin^2\varphi \cdot \cos(\alpha_i + \gamma_i)}{\sqrt{\cos^2\varepsilon \cdot \cos^2\varphi + \sin^2\varphi \cdot \cos^2(\alpha_i + \gamma_i)}}. \quad (28)$$

В окремому випадку, коли $\varphi = 0$:

$$\cos\alpha_{nc} = \cos(\varepsilon - \gamma_i - \alpha_i). \quad (29)$$

Звідси:

$$\alpha_{nc} = \pm(\varepsilon - \gamma_i - \alpha_i), \quad (30)$$

$$\alpha_{nc} = \alpha_i + \gamma_i - \varepsilon. \quad (31)$$

При $\varphi = 90^\circ$:

$$\cos\alpha_{nc} = \frac{\cos(\alpha_i + \gamma_i)}{\cos(\alpha_i + \gamma_i)} = 1. \quad (32)$$

Тобто $\alpha_{in} = 0$.

Розглянемо геометрію задньої поверхні фасонної фрези при радіальному затилуванні.

Визначення статичного заднього кута в нормальному до різальної кромки перерізі затіланих фрез. Задня поверхня зубів фрези утворюється шляхом затилування фасонним різцем. Схема радіального затилування містить прямолінійно-поступальних рух різця зі швидкістю \bar{V}_p , перпендикулярною осі фрези і рівномірне обертання фрези навколо її осі з кутовою швидкістю ω_p . Поряд з цим рух різця має радіальний рух подачі, який в момент формування задньої поверхні вимикається, тому цей рух при визначенні форми задньої поверхні не враховується. У результаті сукупності двох рухів з рівномірними швидкостями \bar{V}_p і ω_p , будь-яка точка різальної кромки затилувального різця описує спіраль Архімеда, сукупність котрих утворює задню поверхню зуба фрези. При затилуванні фрез задаються інструментальним заднім кутом α_{ie} в базовій точці A різальної кромки в перерізі, перпендикулярному до осі фрези (рис. 2). Величина кута α_{ie} визначається за залежністю:

$$\operatorname{tg}\alpha_{ie} = \frac{V_p}{\omega_p \cdot R_a}. \quad (33)$$

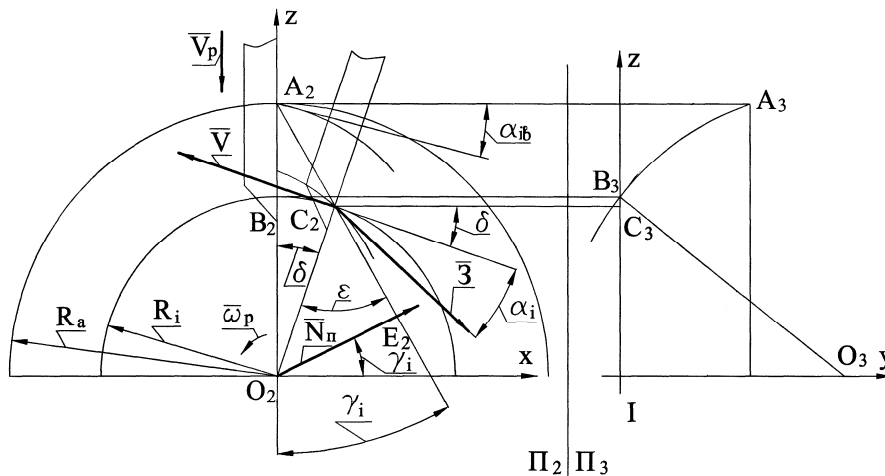


Рис. 2. Геометрія задньої поверхні при радіальному затилуванні

У досліджуваній точці C різальної кромки величина інструментального заднього кута α_i в перерізі, перпендикулярному осі фрези буде дорівнювати:

$$\operatorname{tg}\alpha_i = \frac{V_p}{\omega_p \cdot R_i}. \quad (34)$$

Таким чином:

$$\operatorname{tg}\alpha_i = \frac{R_a}{R_i} \cdot \operatorname{tg}\alpha_{ie}. \quad (35)$$

Для визначення α_{nc} затіланих фрез необхідно знати нормалі до площини різання \bar{N}_p та задньої площини \bar{N}_3 . Вектор \bar{Z} , дотичний до задньої поверхні зуба в досліджуваній точці C (рис. 2) в системі XYZ буде:

$$\bar{Z} = \bar{i} \cdot \cos(\alpha_i + \delta) - \bar{k} \cdot \sin(\alpha_i + \delta), \quad (36)$$

де $\delta = \varepsilon - \gamma_i$.

Вектор нормалі до задньої поверхні \bar{N}_3 :

$$\bar{N}_3 = [\bar{P} \times \bar{Z}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin \gamma_i & -\cos \varepsilon & \operatorname{tg}\varphi \cdot \cos \gamma_i \\ \cos(\alpha_i + \delta) & 0 & -\sin(\alpha_i + \delta) \end{vmatrix}. \quad (37)$$

Розкриваючи і перетворюючи визначник, одержимо:

$$\bar{N}_3 = \bar{i} \cdot \sin(\alpha_i + \delta) \cdot \cos \varepsilon + \bar{j} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos(\alpha_i + \varepsilon) + \bar{k} \cdot \cos(\alpha_i + \delta) \cdot \cos \varepsilon. \quad (38)$$

Вектор нормалі до статичної площини різання буде:

$$\bar{N}_p = [\bar{V} \times \bar{P}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\cos \delta & 0 & \sin \delta \\ -\operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma_i & -\cos \varepsilon & \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \gamma_i \end{vmatrix}, \quad (39)$$

де вектор \bar{V} (рис. 2) буде дорівнювати:

$$\bar{V} = -\bar{i} \cdot \cos \delta + \bar{k} \cdot \sin \delta. \quad (40)$$

Розкриваючи та перетворюючи визначник, одержимо:

$$\bar{N}_p = \bar{i} \cdot \sin \delta + \bar{j} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \bar{k} \cdot \cos \delta. \quad (41)$$

Оскільки $\cos \alpha_H$ визначається відношенням скалярного добутку $(\bar{N}_p \cdot \bar{N}_3)$ і добутком модулів цих нормалей, то запишемо їх значення.

Так $(\bar{N}_p \cdot \bar{N}_3) = \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha_i + \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos(\alpha_i + \varepsilon)$, а модуль \bar{N}_p і \bar{N}_3 дорівнюють:

$$|\bar{N}_p| = \frac{1}{\cos \varphi}; \quad |\bar{N}_3| = \sqrt{\cos^2 \varepsilon + \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos^2(\alpha_i + \varepsilon)}. \quad (42)$$

Таким чином статичний задній кут α_H в нормальному до різальної кромки перерізі буде дорівнювати:

$$\cos \alpha_{nc} = \frac{[\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha_i + \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos(\alpha_i + \varepsilon)] \cdot \cos \varphi}{\sqrt{\cos^2 \varepsilon + \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos^2(\alpha_i + \varepsilon)}}. \quad (43)$$

В окремих випадках при $\gamma_i = 0$ значення ε і δ також дорівнюють 0, тоді:

$$\cos \alpha_{nc} = \frac{\cos \alpha_i}{\cos \varphi \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha_i}}, \quad (44)$$

або після перетворення:

$$\operatorname{tg} \alpha_{nc} = \operatorname{tg} \alpha_i \cdot \sin \varphi. \quad (45)$$

При $\varphi = 90^\circ$ кут α_{nc} також дорівнює нулю.

Знаючи кут нахилу різальної кромки, можна визначити статичний задній кут α_{nc} в головній січній площині за залежністю $\operatorname{tg} \alpha_c = \operatorname{tg} \alpha_{nc} \cos \lambda_c$.

Висновки. Вирішене завдання та отримані залежності для визначення дотичного вектора до різальної кромки фасонних фрез з плоскою передньою поверхнею. Визначена величина статичного переднього кута нахилу різальної кромки при відомих кутах в інструментальній системі координат. Розглянута геометрія задньої поверхні фасонних гострозаточених та затилованих фрез та визначені величини статичних задніх кутів в різних точках різальної кромки.

Список використаної літератури:

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р. Родин. – К. : Вища школа, 1990. – 420 с.
2. Режущий инструмент / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников и др. – М. : Машиностроение, 2007. – 326 с.
3. Основы теории резания материалов : учебник / М.П. Мазур, Ю.В. Внуков, В.Л. Доброскок та ін. ; за заг. ред. М.П. Мазура. – Львів : Новий Світ–2000, 2010. – 422 с.
4. Равская Н.С. Теория графического определения параметров режущей части инструмента / Н.С. Равська // Современные технологии в машиностроении : сб. науч. статей. – Харьков : НТУ «ХТИ», 2008. – С. 12–22.
5. Равська Н.С. Методика аналітичного визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту / Н.С. Равська, Т.П. Ніколаєнко, Д.О. Сільченко // Наукові праці Донецького техніч. ун-ту ; Серія : Машинобудування: машинознавство. – Вип. 6 (154). – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – С. 118–129.
6. Равська Н.С. Геометричні параметри призматичних та радіальних фасонних різців з нахилним розташуванням бази кріплення в статичній системі координат / Н.С. Равська, Т.П. Ніколаєнко, С.В. Корбут // Наукові праці Донецького нац. ун-ту. – Вип. 92. – Донецьк, 2005. – С. 23–28.

РАВСЬКА Наталія Сергіївна – доктор технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій

машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструментів.

ВОВК Вячеслав Володимирович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструментів.

МЕЛЬНИК Артем Васильович – магістрант кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– дослідження геометрії фасонних інструментів.

Стаття надійшла до редакції 17.08.2015