

ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ ВРІЗАННЯ ТА ВИХОДУ У ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ПОХИЛИХ ПОВЕРХОНЬ СФЕРИЧНИМИ КІНЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ

(Представлено к.т.н., доц. Юмашевим В.С.)

Запропоновано метод аналітичного визначення значень кутів врізання зуба фрези в тіло заготовки та виходу зуба фрези з тіла заготовки під час обробки сферичними кінцевими фрезами похилих поверхонь. Зміна зазначених кутів розглядається як функція від зміни радіуса фрези, кута упередження (нахилу поверхні, що обробляється), радіальної глибини різання та величини перекриття сусідніх рядків. Окремо значення кутів врізання та виходу визначаються для висхідної обробки та для низхідної обробки.

Кут контакту між зубом фрези та тілом заготовки, який характеризує пляму контакту, має безпосередній вплив на динамічну стійкість процесу різання. Вплив цей полягає в різному фазовому зміщенні коливальних рухів системи за різних значень кута контакту. Так, згідно з наведеними рівняннями, за менших значень радіальної глибини різання та за більших кутів нахилу поверхні, що обробляється, кут контакту (різниця між кутами врізання та виходу) матиме менші значення. Це означає, що в процесі різання зуб фрези менший час буде задіяний для різання і більший – для холостого руху. Можна зробити припущення, що коливання в такому випадку менше самозбуджуватимуться внаслідок впливу природнього затухання.

Ключові слова: вібрації під час різання; сферичні кінцеві фрези; теорія діаграм стійкості; верстати з ЧПК.

Вступ. Постановка проблеми. Процес різання є складним з точки зору його динаміки. Особливо складною є динаміка процесу фрезерування сферичними кінцевими фрезами через змінний миттєвий шар, що зрізується, змінні швидкість різання та сили різання за різних глибин різання тощо. У процесі різання нерідко виникають механічні коливання як фрези, так і заготовки, основною складовою яких є автоколивання з різними гармоніками. Останнім часом як інструмент для попередження виникнення вібрацій успішно зарекомендувала себе теорія діаграм стійкості. Даний математичний апарат базується на теорії динамічної стійкості, і прогнозування умов стійкості потребує визначення певних початкових умов.

Відомо, що аналіз динамічної стійкості процесу фрезерування потребує точного визначення кутів врізання зуба фрези в тіло заготовки та виходу зуба фрези з тіла заготовки [1–6]. Існує два шляхи їх визначення – аналітичне обчислення та моделюванням процесу. У даній роботі розглядається спосіб аналітичного визначення кутів врізання та виходу в процесі обробки похилих поверхонь сферичними кінцевими фрезами.

Мета роботи. Обґрунтувати спосіб визначення кутів врізання зуба фрези в тіло заготовки та виходу зуба фрези з тіла заготовки для випадку висхідної та низхідної обробки похилої площини сферичними кінцевими фрезами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Незважаючи на змінність кутів врізання та виходу зуба фрези у разі зміни радіальної глибини різання, кута нахилу поверхні та величини перекриття сусідніх рядків, під час аналізу динамічної стійкості процесу різання сферичними кінцевими фрезами для визначення зазначених кутів застосовують спрощені рівняння, які доцільно використовувати тільки для обробки циліндричними кінцевими фрезами [1]. В той самий час, їхнє точне визначення є необхідним для визначення кута контакту між зубом фрези та заготовкою. У свою чергу, кут контакту зумовлює зміну фазового зміщення коливання фрези під час проходження поточного зуба відносно попереднього зуба фрези.

У роботі [7] викладено рівняння для визначення кута врізання зуба фрези для конкретного випадку. Але є потреба систематизувати та узагальнити визначення кутів врізання та виходу для всіх можливих випадків обробки похилих поверхонь сферичними кінцевими фрезами.

Викладення основного матеріалу. Серед початкових умов, необхідних для аналізу динамічної стійкості процесу фрезерування, є кути врізання зуба фрези в тіло заготовки та виходу зуба фрези з тіла заготовки. Аналітичне визначення цих кутів є простим для випадку обробки плоских поверхонь (горизонтальні дільники чи вертикальні стінки) циліндричними кінцевими фрезами. Причому завжди кут врізання $\Phi_{st} = 0$ при зустрічному фрезеруванні, і кут виходу $\Phi_{ex} = \pi$ при попутному фрезеруванні (рис. 1).

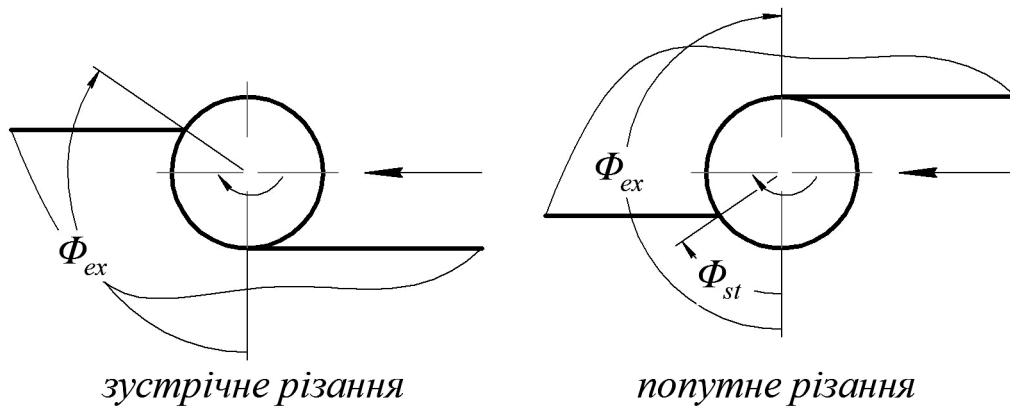


Рис. 1. Кути врізання та виходу під час фрезерування циліндричною кінцевою фрезою

Проте аналітичне визначення цих кутів значно ускладнюється, якщо мова йде про обробку похилих площин сферичними кінцевими фрезами. Це пов'язано з нестаціонарністю припуску (шару, що зрізується) при обробці фрезами даного типу. Для характеристики шару, що зрізується, прийнято користуватись терміном «пляма контакту» (рис. 2). Це геометричне місце точок, в яких відбувається контакт між різальною кромкою різального інструмента та припуском заготовки.

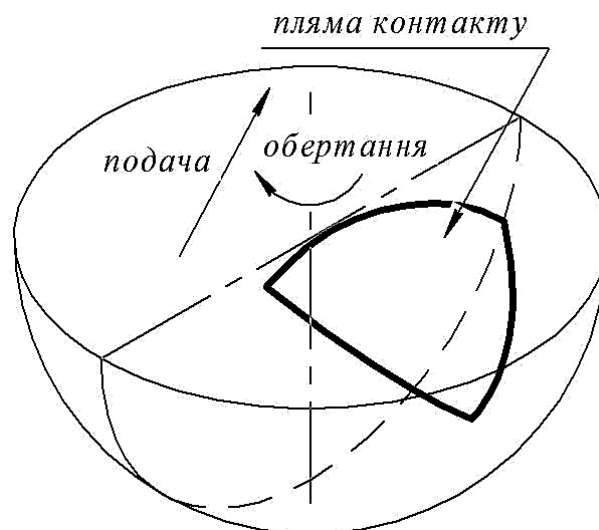


Рис. 2. Пляма контакту під час висхідного зустрічного фрезерування сферичною кінцевою фрезою

Пляма контакту фрези та заготовки залежить від кута упередження φ , величини радіальної глибини різання a_r та величини перекриття сусідніх рядків a_z (рис. 3). Видно, що зовнішні контури плями контакту утворені еліпсами.

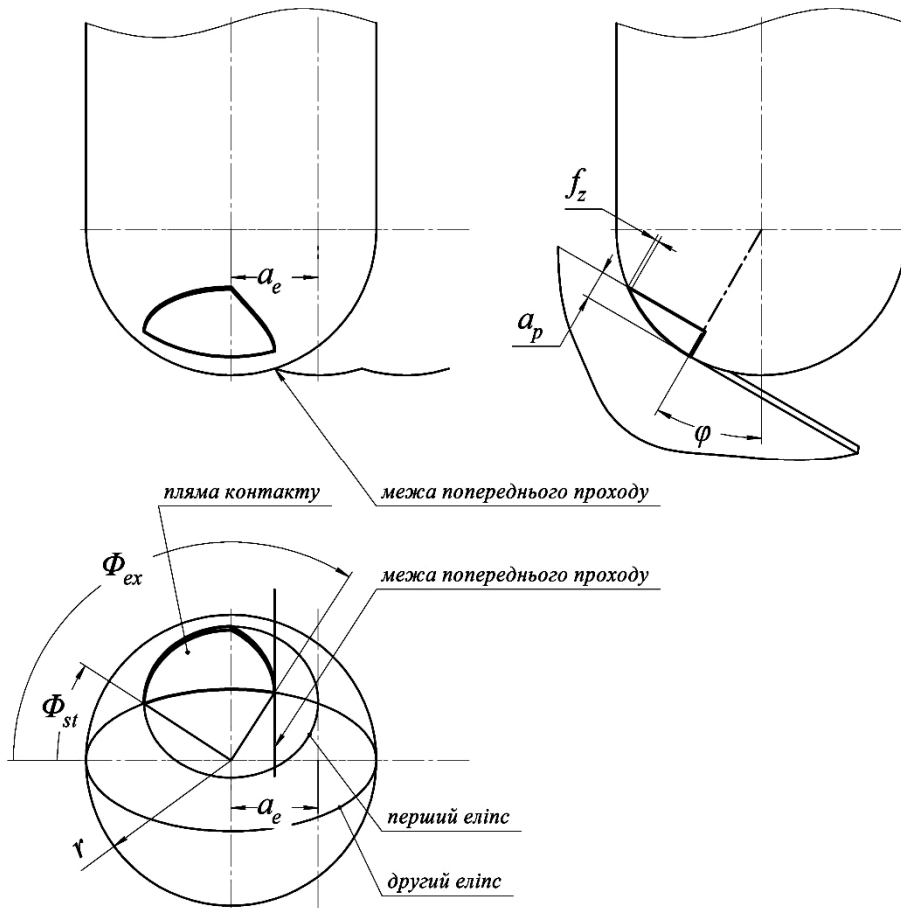


Рис. 3. Куті врізання та виходу під час висхідного зустрічного фрезерування сферичною кінцевою фрезою

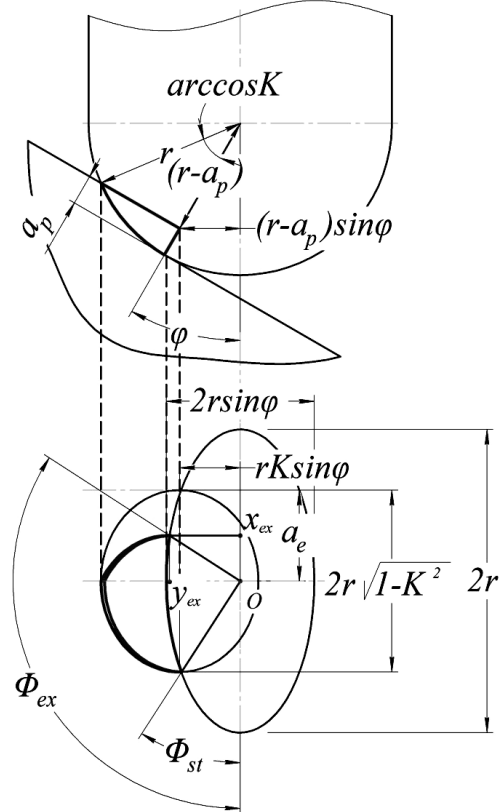


Рис. 4. Визначення кутів врізання та виходу

Для визначення кутів врізання та виходу розглянемо детальніше геометрію цих еліпсів (рис. 4). На даному рисунку зображена висхідна обробка, зустрічне фрезерування. З нижньої частини зображення видно, що:

$$\Phi_{st} = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-K^2}}{K \sin \varphi}, \quad (1)$$

де $K = 1 - \frac{a_p}{r}$.

Координати точки виходу зуба фрези з тіла заготовки є $(x_{ex}; y_{ex})$. Кут виходу Φ_{ex} визначимо з рівняння еліпса (для більшого еліпса):

$$\Phi_{ex} = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{x_{ex} - x_0}{y_{ex} - y_0} \right); \quad (2)$$

$$\left(\frac{x_{ex} - x_0}{r} \right)^2 + \left(\frac{y_{ex} - y_0}{r \sin \varphi} \right)^2 = 1. \quad (3)$$

З рисунка 4 видно, що $x_{ex} - x_0 = \frac{a_e}{2}$. Тому $y_{ex} - y_0$ можемо визначити як:

$$y_{ex} - y_0 = r \sin \varphi \sqrt{1 - \left(\frac{a_e}{2r} \right)^2}. \quad (4)$$

Підставивши рівняння (4) в рівняння (2), отримаємо рівняння для визначення кута виходу зуба з тіла заготовки під час висхідного зустрічного фрезерування:

$$\Phi_{ex} = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{a_e}{r \sin \varphi \sqrt{4 - \left(\frac{a_e}{r} \right)^2}} \right). \quad (5)$$

За аналогією визначаються рівняння для визначення кутів врізання та виходу за попутного фрезерування, а також за низхідного фрезерування для зустрічної та попутної схем обробки. Відповідні рівняння наведені в таблиці 1.

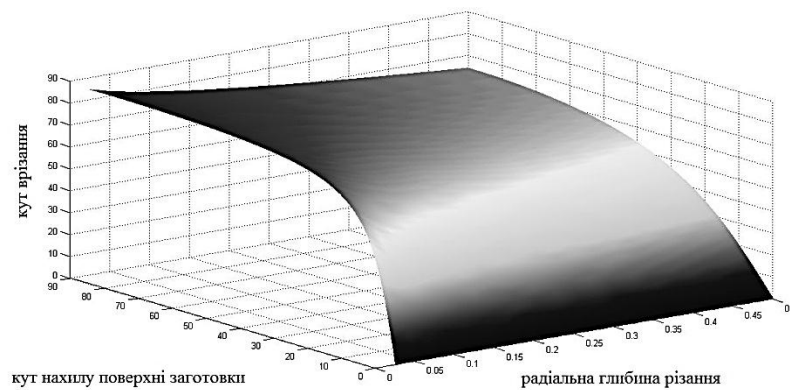
Таблиця 1

Рівняння для аналітичного визначення кутів врізання та виходу за різних схем різання

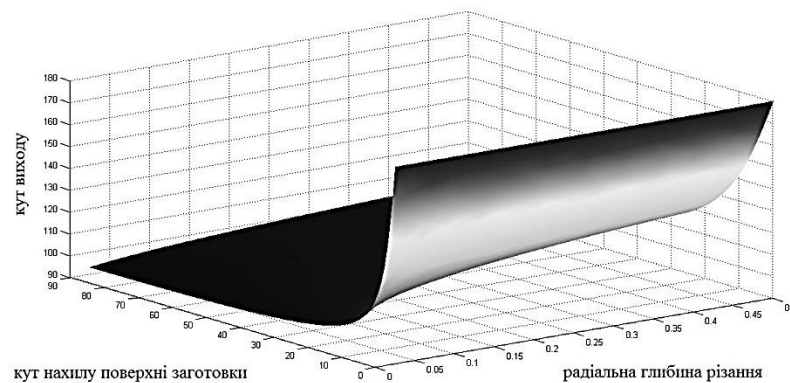
Напрямок	Схема різання	
	зустрічна	попутна
Висхідна	$\Phi_{st} = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-K^2}}{K \sin \varphi}$	$\Phi_{st} = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{a_e}{r \sin \varphi \sqrt{4 - \frac{a_e^2}{r^2}}} \right)$
	$\Phi_{ex} = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{a_e}{r \sin \varphi \sqrt{4 - \frac{a_e^2}{r^2}}} \right)$	$\Phi_{ex} = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-K^2}}{K \sin \varphi}$

Напрямок	Схема різання	
	зустрічна	попутна
Низхідна	$\Phi_{st} = -\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-K^2}}{K \sin \varphi}$	$\Phi_{st} = -\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{a_e}{r \sin \varphi \sqrt{4 - \frac{a_e^2}{r^2}}} \right)$
	$\Phi_{ex} = \frac{3\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{a_e}{r \sin \varphi \sqrt{4 - \frac{a_e^2}{r^2}}} \right)$	$\Phi_{ex} = \frac{3\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-K^2}}{K \sin \varphi}$

Для наочності продемонструємо у вигляді об'ємного графіку те, як змінюються кути врізання та виходу за різних кутів нахилу поверхні заготовки та радіальних глибин різання (рис. 5). На даному рисунку зображено графіки для випадку висхідної обробки зустрічним фрезеруванням.



а)



б)

Рис. 5. Зміна кутів врізання (а) та виходу (б) при висхідному зустрічному фрезеруванні

Висновки. У роботі запропоновано та обґрунтовано спосіб визначення кутів врізання зуба фрези в тіло заготовки та виходу зуба фрези з тіла заготовки для випадку висхідної та низхідної обробки похилої площини сферичними кінцевими фрезами. Початковими умовами для визначення зазначених кутів є радіус фрези, кут упередження (нахилу поверхні, що обробляється), радіальна глибина різання та величина перекриття сусідніх рядків.

Запропоновані рівняння для аналітичного визначення кутів наведені в таблиці 1 (6а)–(6г). Як видно із зазначених рівнянь та графіків на рисунку 5, пляма контакту суттєво змінюється у разі зміни як кута

нахилу поверхні, що обробляється, так і радіальної глибини різання. Так, найбільшою пляма контакту є за обробки з нульовим значенням кута упередження. Кут контакту зуба фрези та тіла заготовки, тобто різниця кутів врізання та виходу в такому випадку сягає 180° . У разі збільшенні кута упередження загальний кут контакту зуба фрези та тіла заготовки зменшується. В той самий час, чим більшим є припуск (радіальна глибина різання), тим більшим є кут контакту зуба фрези та тіла заготовки для одного й того самого значення кута упередження.

Водночас вплив величини подачі та кута нахилу зуба фрези на значення кутів врізання та виходу є дуже незначним, тому ними можна знехтувати.

Список використаної літератури:

1. Predicting the dynamic behaviour of torus milling tools when climb milling using the stability lobes theory / *M.Mousseigne et al.* // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2013. – Т. 65. – С. 47–57.
2. *Budak E.* Analytical models for high performance milling. Part I : cutting forces, structural deformations and tolerance integrity / *E.Budak* // International Journal of Machine Tools and Manufacture 46 (2006) 1478–1488.
3. *Budak E.* Analytical models for high performance milling. Part II : process dynamics and stability / *E.Budak* // International Journal of Machine Tools and Manufacture 46 (2006) 1489–1499.
4. *Inspurger T.* Updated semi-discretization method for periodic delay-differential equations with discrete delay / *T.Inspurger, G.Stepan* // International Journal for Numerical Methods in Engineering 61 (2004) 117–141.
5. *Budak E.* Modeling and simulation of 5-axis milling processes / *E.Budak, E.Ozturk, L.T. Tunc* //CIRP Annals-Manufacturing Technology. – 2009. – Т. 58. – №. 1. – С. 347–350.
6. *Kim S.J.* Prediction of chatter in NC machining based on a dynamic cutting force model for ball end milling / *S.J. Kim, H.U. Lee, D.W. Cho* // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – Т. 47. – № 12. – С. 1827–1838.
7. *Юмашев В.Є.* Аналіз вібрацій при різанні радіусними кінцевими фрезами із застосуванням теорії діаграм стійкості / *В.Є. Юмашев О.О. Штегін* // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – № 1(68). – 2014. – С. 21–30.

ШТЕГІН Олексій Олександрович – асистент кафедри Технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- верстати з ЧПК;
- вібрації в металообробці.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2014