

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ СФЕРИЧНИМИ КІНЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ЗГИНУ ФРЕЗИ ПРИ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

З огляду на динаміку процесу обробки сферичними кінцевими фрезами просторово-складних поверхонь (наприклад, робочих поверхонь прес-форм та ливарних форм) цікавою для вивчення є непостійність припуску як на напівчистових, так і на чистових етапах обробки, та коливання інструменту, спричинені різними факторами.

Враховуючи попередньо отримані результати, проаналізуємо процес чистової обробки просторово-складної поверхні сферичною кінцевою фрезой.

В попередніх роботах було досліджено процес різання сферичною кінцевою фрезой, базуючись на зміні кінетичної енергії. Кінетична енергія різання витрачається на роботу сил зсуву та тертя – на передній поверхні та на задній поверхні. Аналізуючи роботу сили зсуву, було отримано формулу для визначення миттєвої площі, на яку діє сила зсуву для висоти припуску h_{np} , подачі на зуб S_z і змінної глибини ΔZ :

$$A = h_{np} \cdot S_z \cdot \cos \Omega \cdot \sqrt{(S_z \cdot \cos \Omega)^2 + (\Delta Z)^2}. \quad (1)$$

Відповідно, сила зсуву визначатиметься як:

$$F_s = G \cdot h_{np} \cdot S_z \cdot \cos \Omega \cdot \frac{\sqrt{(S_z \cdot \cos \Omega)^2 + (\Delta Z)^2}}{\sqrt{K_a^2 - 1}}. \quad (2)$$

Коефіцієнт потовщення стружки K_a пропонується визначити експериментальним шляхом.

Сила тертя на передній поверхні виникає безпосередньо в наслідок дії сили зсуву, і в першому наближенні коефіцієнт тертя μ залежить від матеріалів поверхонь тертя.

$$F_{TP}^{ПП} = \mu \cdot F_s \cdot \frac{K_a}{\sqrt{K_a^2 - 1} - \mu}. \quad (3)$$

Сила тертя на задній поверхні виникає внаслідок пружної деформації обробленої поверхні, і є тим більша, чим більша фаска зношування на задній поверхні. Виходячи з таких міркувань, сила тертя на задній поверхні при чистовій обробці сферичними кінцевими фрезами вкрай несуттєва за величиною у порівнянні з силою зсуву та силою тертя на передній поверхні. Тому вона до уваги не братиметься.

Після визначивши меттеву геометрію зрузованого шару та площу, на яку діє сила зсуву, виникає інша проблема – визначити площину прикладання результуючої сили відносно криволінійної різальної кромки зуба фрези. Базуючись на тому ствердженні, що епіюра вздовж криволінійної кромки функціонально повторюватиме її кривизну (тобто, це буде дуга), можна визначити, прибігаючи до чисельних методів, площину прикладання результуючої сили.

При зрізуванні ступінчастого припуску, який обмежується глибинами різання t_{\min} і t_{\max} результуюча сила прикладена в поперечній площині на глибині t_{cp} , для якої виконується умова:

$$\int_{t_{\min}}^{t_{cp}} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t^2} dt = \int_{t_{cp}}^{t_{\max}} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t^2} dt = \frac{1}{2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t^2} dt. \quad (4)$$

Іншими словами, шукана площина має розбивати епіюру на дві частини з рівними площинами.

Проінтегрувавши формулу (4), отримуємо наступну тотожність:

$$\begin{aligned} t_{cp} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t_{cp}^2} + R_{\phi p}^2 \arcsin \frac{t_{cp}}{R_{\phi p}} = \\ = \frac{1}{2} \left(t_{\max} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t_{\max}^2} + t_{\min} \sqrt{R_{\phi p}^2 - t_{\min}^2} + R_{\phi p}^2 \arcsin \frac{t_{\max}}{R_{\phi p}} + R_{\phi p}^2 \arcsin \frac{t_{\min}}{R_{\phi p}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Чисельним методом визначимо значення аргументу, для якого значення функції рівне 0. Для цієї операції можна використовувати програмне забезпечення MATLAB або аналогічне.

Знаючи площину прикладення результуючої сили F_{XY} та параметри матеріалу інструмента (густина ρ , модуль Юнга E), можна визначити відтискання фрези, спричинене цією силою:

$$\Delta_{XY} = 2 \cdot \rho \cdot \frac{F_{XY} \cdot l^4}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (6)$$

$$l = l_{\text{фр}} - R_{\text{фр}} + t_{\text{сп}}.$$

Осьовий момент інерції можна визначити в CAD-середовищі з віртуальної моделі фрези. Таким чином, важливою умовою для точного розрахунку є якомога точніше відтворення геометрії фрези у CAD-середовищі.

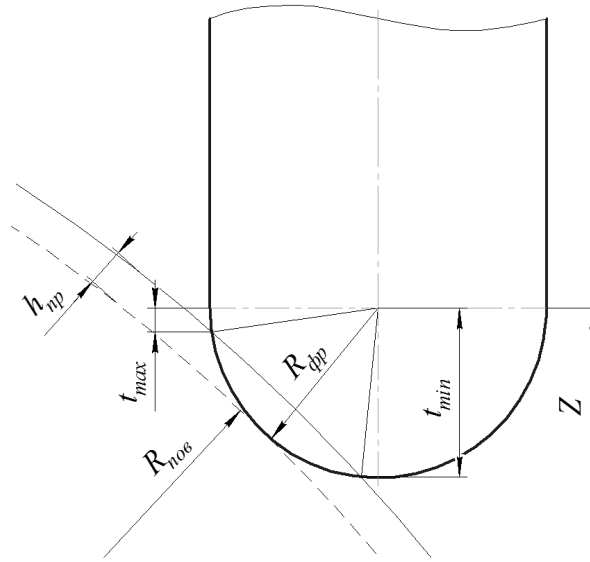


Рис.1. Схема для визначення t_{\min} і t_{\max}

Для обробки сферичної поверхні певного радіуса $R_{\text{нос}}$ з постійним припуском $h_{\text{нр}}$ для визначення t_{\min} і t_{\max} в кожній точці з координатою Z (див.рис.1) можна скористатися формулами (7):

$$\begin{cases} t_{\min} = R_{\text{фр}} \cdot \cos\left(\arccos \frac{Z}{R_{\text{нос}} + R_{\text{фр}}} - \arccos \frac{R_{\text{фр}} - h_{\text{нр}}}{R_{\text{фр}}}\right) \\ t_{\max} = R_{\text{фр}} \cdot \cos\left(\arccos \frac{Z}{R_{\text{нос}} + R_{\text{фр}}} + \arccos \frac{R_{\text{фр}} - h_{\text{нр}}}{R_{\text{фр}}}\right) \end{cases} \quad (7)$$

Маючи дані про залежність відтискання фрези від різних параметрів процесу обробки, з'являється можливість враховувати це на етапі створення управляючої програми для верстата з ЧПК з метою покращення геометрії обробленої поверхні та її шорсткості.