

УДК. 621.757:882.082.8

Д.В. Артем`єв, Л.М. Данилова

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Розрахунок похибки оброблення різьби фрезеруванням

Механічне оброблення гвинтової поверхні (шліфування або фрезерування) - це широко розповсюджений процес, що використовується для створення спіралеподібних поверхонь свердел, кінцевих фрез, черв'ячних фрез, гвинтових механізмів тощо. Це надзвичайно складна операція що виконується дисковими (шліфувальний круг, дискова фреза) або осьового типу (різці, кінцеві фрези) різальними інструментами, що відтворюють рух по гвинтовій траєкторії.

При цьому різальний інструмент обертається і рухається вздовж заготовки, тоді як заготовка обертається навколо своєї осі. Комбінований відносний рух заготовки і інструмента в результаті призводить до спірального руху. Геометрія гвинтової поверхні залежить не тільки від геометрії інструменту, але і від робочих параметрів (налаштування верстата). Ідентичні поверхні можна виготовляти в кардинально різних умовах стосовно налаштування верстата та геометрії інструменту.

Класичними сферами застосування фасонних фрез є також нарізання зубчастих коліс та виготовлення гвинтових канавок, наприклад, різьбових. Що стосується нарізання різьби, то фрезерування є вигідним у порівнянні з обробленням мітчиками з кількох причин. По-перше, фрезерування здійснюється при значно більшій швидкості різання. По-друге, фрезерування різьби - це рішення для нарізання різьби у великих отворах.

Для фрезерування різьби по-перше верстат має бути здатним до спіральної інтерполяції. По-друге, різьбовий профіль фрези має бути відмінним від профіля різьби через гвинтовий рух інструмента і тому, що витки фрези є кільцевими. Інші аспекти, які слід врахувати при фрезеруванні різьби, - це питання правих / лівих, внутрішніх / зовнішніх різьб та багатозахідних різьб.

Профіль фрези, як обвідної поверхні, що дотична до послідовних миттєвих положень рухомої деталі, визначається профілем різьби деталі і відносним рухом між фрезою та заготовкою. Таким чином, профілювання

фрези базується на профілюванні лінії контакту і твірних ліній рухомої фрези при гвинтовому відносному русі між фрезою та заготовкою.

Основою методу є гвинтова проекція витка різьби (Рис.1). Якщо за приклад прийняти метричну різьбу, то вона характеризується двома конструктивними параметрами, кроком p та великим діаметром D , у площині, яка проходить через ось гвинтової різьби. Крім того H - висота основного трикутника, D_2 - діаметр кроку, а D_1 - малий діаметр зовнішньої різьби. Основним профілем є теоретичний профіль різьби. Важливим принципом є те, що фактичні профілі як внутрішньої, так і зовнішньої різьби ніколи не повинні перетинати теоретичний профіль. Отже, зовнішня різьба завжди буде дорівнювати або менше розмірів базового теоретичного профілю. Внутрішня різьба завжди буде дорівнювати або перевищувати основний профіль.

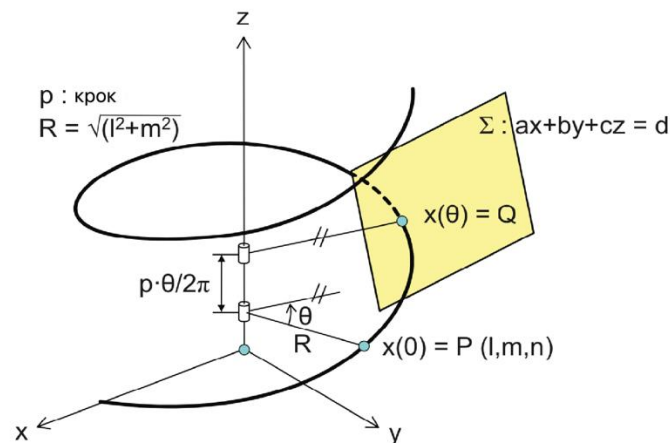


Рис. 1. Траєкторія спірального руху та проекція спіралі на площину

Криволінійна проекція тривимірних точок на 2D площину вздовж спіралі з визначеними віссю та кроком є гвинтовою проекцією. На відміну від лінійної проекції, гвинтова проекція з'єднує відповідні точки вздовж гвинтових кривих, які можуть мати спільний крок, але різні радіуси спіралі.

Сімейство твірних, яке характеризується параметром кута θ [рад], і відображує точки у відповідній декартовій системі координат відповідно до

$$P \rightarrow x(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot P + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ p \cdot \theta / 2\pi \end{bmatrix} \quad (1)$$

є однопараметричною групою спіральних рухів, якщо $p \neq 0$. Рівномірний спіральний рух - це комбінація рівномірного обертання та вектора

повздожнього руху $(0,0,p/2\pi)$. Лінія $x=y=0$ являється віссю, а p відповідно її кроком (див. Рис. 1).

Для довільної точки P з рис. 1

$$P = (l \ m \ n) = (R \cos\varphi \quad R \sin\varphi \quad n)$$

$$\text{де } \cos\varphi = \frac{l}{\sqrt{l^2+m^2}}, \quad \sin\varphi = \frac{m}{\sqrt{l^2+m^2}}, \quad \varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \quad (2)$$

де, спіраль $x(\theta)$ з кроком p може бути переписана з урахуванням рівнянь (1) та (2) як:

$$x(\theta) = (R\cos(\theta + \varphi) \quad R\sin(\theta + \varphi) \quad n + p \cdot \theta/2\pi), \quad \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right],$$

$$x(\theta) = (l\cos\theta - m\sin\theta \quad m\cos\theta + l\sin\theta \quad n + p \cdot \theta/2\pi), \quad \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right],$$

$$\text{Де } x(0) = P \quad (3)$$

Проекція точки спіралі Q на площину Σ знаходиться з урахуванням рівняння (3). $(a \ b \ c) \cdot \overrightarrow{OX} = d$

$$(a \ b \ c) \cdot \overrightarrow{OX} = (a \ b \ c) \cdot x(\theta) =$$

$$(a \ b \ c)(R\cos(\theta + \varphi) \quad R\sin(\theta + \varphi) \quad n + p \cdot \theta/2\pi) = d \quad (4)$$

$$\text{де } \cos\alpha = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}, \quad \sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}, \quad \alpha \in \left[\frac{\pi}{2}, \pi\right]$$

$$\cos\varphi = \frac{l}{\sqrt{l^2+m^2}}, \quad \sin\varphi = \frac{m}{\sqrt{l^2+m^2}}, \quad \varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$$

Визначення кута θ обмежується інтервалом $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$.

Обвідна поверхня представляє собою контактну поверхню, уздовж якої фреза торкається поверхні різьби. Цей профіль створює контур заготовки, що залежить виключно від геометрії та руху інструменту.

Таким чином, для розрахунку параметрів інструментального профілю (параметри його корекції) спочатку розраховуються параметри отриманого різьбового профілю на основі заданого інструментального. Для вирішення цієї задачі спочатку слід вивчити кінематику різьбової фрези. Потім на основі аналізу розподілу швидкостей інструменту можна визначити профіль обвідної поверхні.

Під час фрезерування різьби фреза рухається по гвинтовій траєкторії навколо циліндричної поверхні. На рис. 2 показано відносне положення різьбової фрези, яка утворює різьбу, крок різьби фрези відповідає кроку різьби, що нарізається.

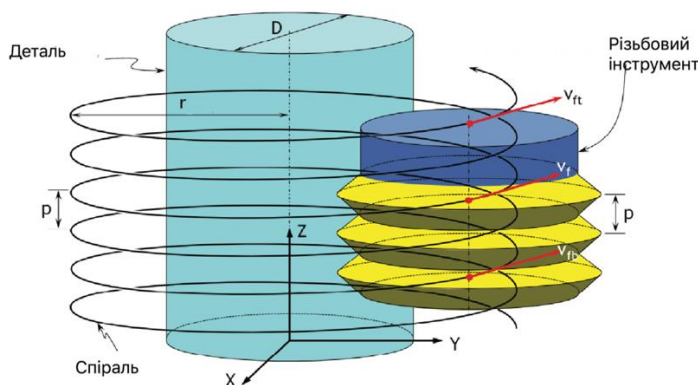


Рис. 2. Відносне розташування різьбонарізного інструменту до заготовки при фрезеруванні різьби

Оскільки при русі інструменту вздовж спіралі відстань його осі залишається не змінною по відношенню до осі заготовки, то вектори швидкості на вершині V_{ft} та западині V_{fb} різьби ідентичні вектору результуючої швидкості V_f , як показано на рис. 3, V_f обчислюється через співвідношення між кроком гвинтової різьби P і відстанню $r_{спир.}$, яке вимірюється від осі заготовки до осі фрези. Вектор швидкості V_p будь-якої точки P на поверхні інструменту співпадає з V_f ($V_p = V_f$). [1]

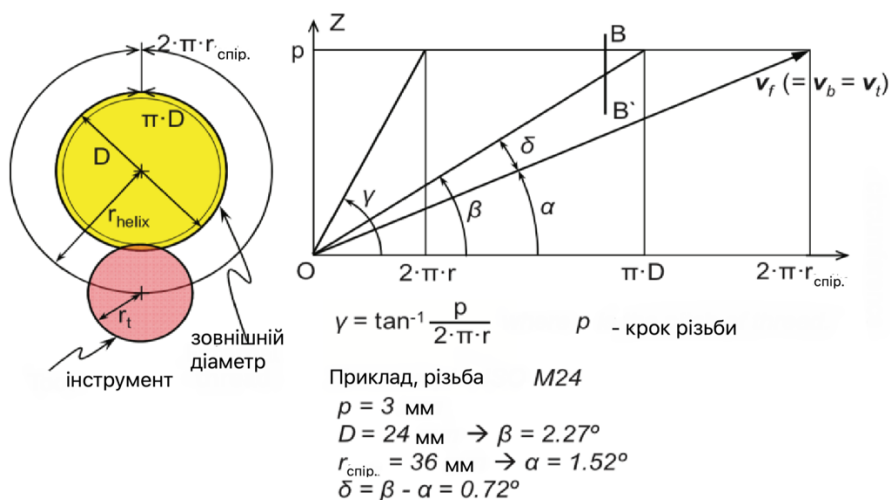


Рис. 3. Визначення вектору подачі V_f

На рисунку 4 показаний лише один зуб, але принцип застосовується також і до інших зубів. Розглянута точка P розміщена на зубі, спочатку одержують одиничний вектор нормалі в заданій точці P на поверхні зуба (з обох сторін це нормалі n_u і n_d). Умова контакту передбачає перпендикулярність

нормалі і вектора результуючого руху, що теж зображений на рисунку 4. Знаходять точки, що задовольняють умові дотику, тобто є точками, що належать профілю обвідної поверхні на поверхні зуба інструмента.

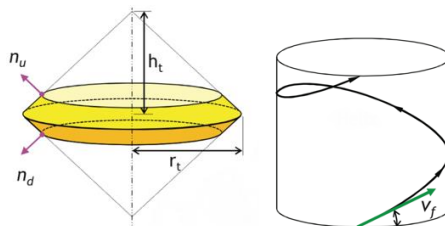


Рис. 4. Вектори нормалі до поверхні витка фрези і вектора взаємного руху

Висновки. У цій роботі використано методологію проектування профілю різьбової поверхні відніманням від заготовки об'єму різьбової фрези, що здійснює рух по спіралі і порівняння поточного профілю різьби та заданого профілю різьби. [2] Імітаційне 3D-моделювання дозволяє постійно віднімати від заготовки об'єм різьбового фрези, що зазнає спірального руху, та обчислювати віртуальну заготовку.

Література

406

1. Seok Won Lee, Andreas Nestler «Simulation-aided Design of Thread Milling Cutter» *Proceedings of the 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012*, December 15, 2012, Volume 1, Pages 1-684,
2. G. Valiño, D. Blanco, B. J. Álvarez and S. Mateos «Machining Error Predictive Model in a CAPP system for turning: Formulation and Initial Tests» *Proceedings of the World Congress on Engineering WCE 2008*, July 2 - 4, 2008, Vol II London, U.K.
3. Данилова ЛМ Застосування T-FLEX для розрахунку параметрів різьбоформування /ЛМ Данилова, ЄЮ Чепурко//Вісник НТУУ «КПІ». *Машинобудування: збірник наукових праць.*–2009.–№ 57.–С. 192–197.