

УДК 621.941.9.06-529

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор

Романов Я.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[yetrakov.86@gmail.com](mailto:yetrakov.86@gmail.com)

## КОРЕКЦІЯ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Зміна умов різання за формоутворюючою траєкторією при контурному фрезеруванні провокує виникнення похибок, які не можливо компенсувати простим підналадженням (на розмір) управляючої програми, оскільки вона змінюється за контуром в широкому діапазоні. Встановлено [1], що лівова частка похибки формоутворення – це пружні зсуви технологічної обробної системи (ТОС) під дією сили різання.

Для забезпечення необхідної точності при контурному фрезеруванні на верстатах з ЧПК розроблений комбінований метод корекції управляючої програми в частині траєкторії формоутворення, який поєднує управління за апріорною та апостеріорною інформацією. Апріорна інформація про процес різання у вигляді аналога швидкості видалення матеріалу (Material Removal Rate – MRR) отримується в результаті моделювання, а апостеріорна інформація потребує деяких вимірювань в процесі циклу оброблення.

Таким чином, реалізація запропонованого методу вимагає застосування спеціальної технології. В одиничному виробництві відповідальних деталей припуск на останньому проході ділиться навпіл і після оброблення першої половини виконуються вимірювання безпосередньо на верстаті за технологією OMV – On Machine Verification. Результати вимірювань використовуються в спеціально створеній програмі, яка побудована на базі апріорної інформації і в процесі моделювання автоматично створює скориговану траєкторію, за якою обробляється друга половина припуску. В серійному виробництві немає потреби розбивати припуск на останньому проході – така процедура виконується для останнього проходу першої деталі, а всі наступні обробляються за скоригованою управляючою програмою. Моделювання відбувається з використанням розроблених комп'ютерних програм [2].

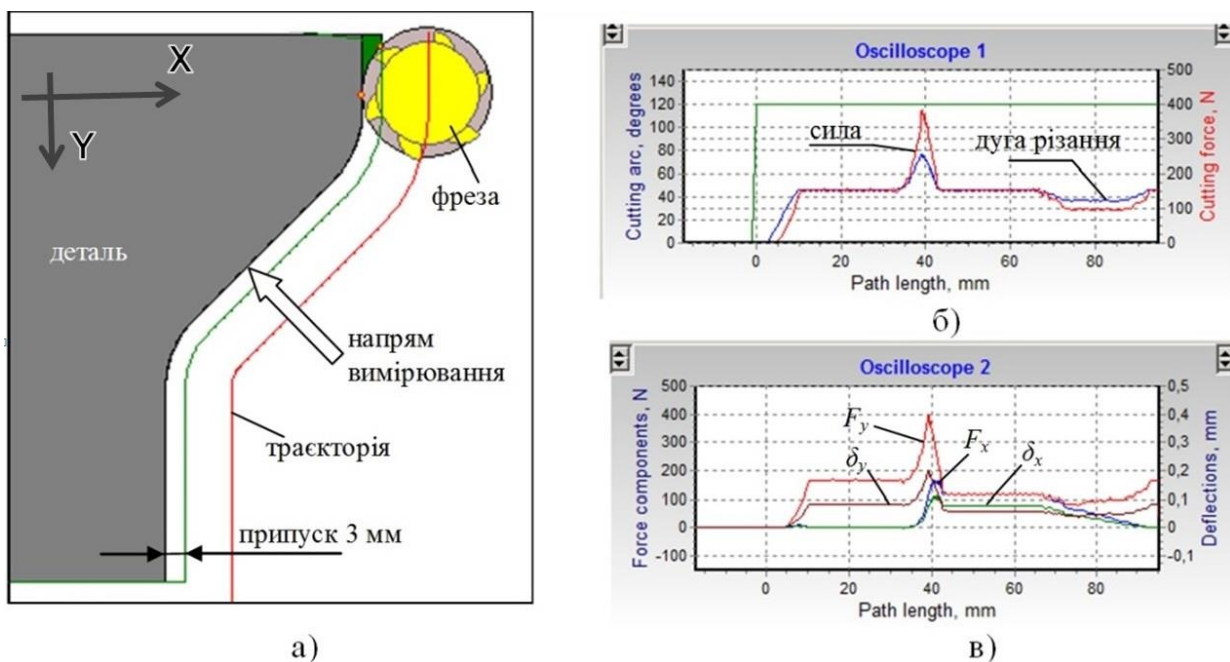


Рис. 1 – Результати моделювання фрезерування контуру: а) графічне вікно б) середня сила та дуга різання в) складові сили різання і деформації за осями координат

Для отримання апостеріорної інформації визначення пружних характеристик ТОС після оброблення необхідно зробити вимірювання в напрямку, що позначений стрілкою на рис. 1, а.

Пружні деформації визначаються як:

$$\delta_x = h \cos(\pi/2 - \alpha) - (x_c - x_a), \quad \delta_y = h \sin(\pi/2 - \alpha) - (y_c - y_a), \quad (1)$$

де  $h$  – задана глибина різання,

$\alpha$  – кут нахилу дільниці контуру,

$x_c, y_c$  – координати за управляючою програмою;

$x_a, y_a$  – координати обробленого контуру.

Отже, для того, щоб величина переміщення  $x_a$  за координатою  $X$  дорівнювала заданій  $x_c$  можна використовувати принцип методу управління за апіорною інформацією, структура якого показана на рис. 2.

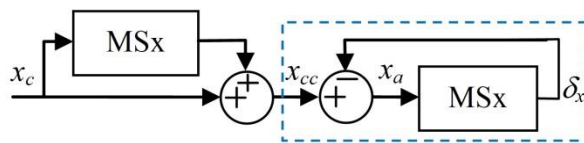


Рис. 2 – Схема управління за апіорною інформацією

У відповідності до схем вимірювань передатна функція  $MSx$  може бути визначена як:

$$MSx = \frac{\delta_x}{x_c - \delta_x}. \quad (2)$$

Аналогічні розрахунки будуть справедливими і для координати  $y$ . Таким чином, проектування скоригованої траєкторії на другому проході виконується чисельним способом у відповідності до схеми рис. 2 за формулами:

$$\begin{cases} x_{cc}[i] = (MSx_c[i] + 1)x_c[i] \\ y_{cc}[i] = (MSy_c[i] + 1)y_c[i] \end{cases}. \quad (3)$$

В подальшому для реалізації скоригованої програми необхідно спроектувати управляючу програму скоригованої траєкторії в G-кодах. Для цього можна використовувати розроблені алгоритми представлення масиву даних (3) у вигляді геометричних примітивів – пряма, дуга кола або у вигляді сплайнів.

Апробація розробленого методу корекції траєкторії формоутворення при контурному фрезеруванні за допомогою комп'ютерного моделювання довела його ефективність і спроможність компенсувати похибки, викликані пружними зсувами під дією сили різання. Значною перевагою розробленого методу слід вважати відсутність необхідності застосування експериментальних даних про ТОС, які важко вимірювати на реальному верстаті (жорсткості за координатними осями) та даних, що визначають силові характеристики процесу різання.

Наразі планується натурний експеримент з контролем точності оброблення контуру на фрезерному верстаті з ЧПК.

#### Список посилань

1. Niu J., Xu J., Ren F., et al. A short review on milling dynamics in low-stiffness cutting conditions: Modeling and analysis Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology 1 (2021) DOI: <https://doi.org/10.51393/j.jamst.2020004> .

2. Petrakov, Y. V., Myhovich, A. V. (2020). IMachining technology analysis for contour milling. Mechanics and Advanced Technologies, 2 (89). doi: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.202065>