

Д.І. Луценко, здобувач 1-го курсу магістратури,
спеціальність G9 Прикладна механіка

В.А. Дербаба, завідувач кафедри технологій машинобудування
та матеріалознавства, к.т.н., доцент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ СИМЕТРИЧНИХ ПРОФІЛІВ НА ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

Сучасні вимоги до виробництва прецизійних деталей, зокрема в медичній індустрії, вимагають застосування високотехнологічного обладнання, здатного інтегрувати точіння та фрезерування в єдиному циклі. У статті проведено порівняльний аналіз двох технологічних підходів до фрезерування складних симетричних профілів на торцях малорозмірних деталей на токарно-фрезерних верстатах поздовжнього точіння швейцарського типу. Об'єктом дослідження є розробка та порівняльний аналіз технологічних стратегій фрезерування чотирьохпелюсткового профілю (рис. 1) на торці деталі з використанням кінцевої діаметром 1 мм, що зафіксована у позиції інструменту T11.

На верстаті Cincom L12 (2M10) кінцева фреза встановлюється в кутовий приводний блок на поперечному

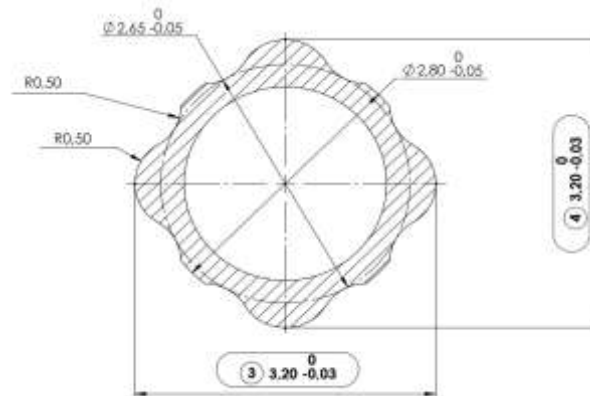


Рис. 1. Фрагмент креслення

супорті, що забезпечує співвісність осі фрези з віссю заготовки (рис. 2) [1].

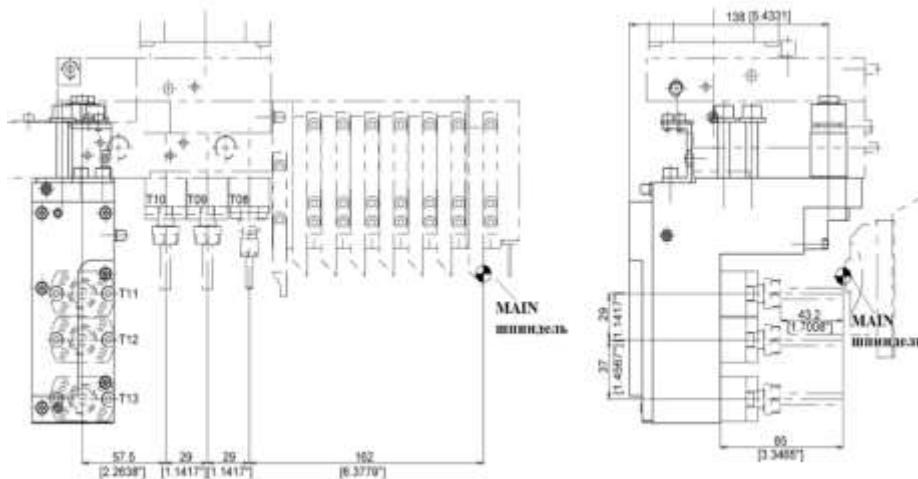


Рис. 2. Кінематична схема компанування верстата Cincom L12 2M10
для «MAIN шпиндель»

Варіант 1: Фрезерування у площині X-Y, де деталь є нерухомою. Ця стратегія базується на керуванні двома лінійними осями X та Y в площині G17, при цьому вісь Z визначається та фіксується (M18 C0) [2]. Обробка складної криволінійної траєкторії вимагає постійної синхронізації X та Y осей, де контур профілю необхідно апроксимувати великою кількістю лінійних сегментів(G1), які проходять через ключові точки модуляції радіуса. Фрагмент коду для цього типу обробки СЕГМЕНТУ 1 (від 0° до 90°):

```
G1 X3.200 Y0.000 (R=1.60)
G1 X2.586 Y0.536 (R=1.40)
G1 X1.874 Y0.937 (R=1.325)
G1 X1.072 Y1.293 (R=1.40)
G1 X0.000 Y1.600 (R=1.60)
```

Головним недоліком даної стратегії є зниження точності обробленої поверхні. Фізично, формування криволінійної траєкторії вимагає безперервної взаємодії керуючих сигналів сервоприводів осей X-Y. Будь-яка неточність або динамічна затримка у ланцюгу "керуючий сигнал – сервопривід – привідний механізм" призводить до похибки позиціонування по вектору радіуса, що є критичним для поверхонь з високими допусками. Крім того, з точки зору налагодження, одночасне керування двома лінійними осями для коригування складної криволінійної траєкторії є ускладненим для оператора.

Альтернативним варіантом є фрезерування з обертанням заготовки X-C. Ця стратегія використовує функцію G12.1 (Milling Interpolation) для активації режиму, де вісь C (заготовка) контролюється як лінійна координата, а вісь X забезпечує радіальну подачу. Контур формується синхронізованим обертанням заготовки та модуляцією радіальної координати X [2].

G1 X3.200 C0.0 (R=1.60)
G1 X2.800 C22.5 (R=1.40)
G1 X2.650 C45.0 (R=1.325)
G1 X2.800 C67.5 (R=1.40)
G1 X3.200 C90.0 (R=1.60)

Ця стратегія фрезерування є технологічно досконалішою для обробки радіально-симетричних контурів. Її ефективність базується на спрощенні кінематики керування та підвищенні жорсткості динамічної системи. Траєкторія модуляції контуру описується зміною лише однієї лінійної координати X (радіус) та обертової координати C (кут), яка керується як лінійна вісь. Таке розділення функцій між осями забезпечує значне зменшення обсягу керуючого коду і, відповідно, мінімізує ймовірність програмних помилок. Підвищення точності обробки обумовлено тим, що для системи ЧПК значно легше контролювати та стабілізувати одну лінійну координату X в парі з високоточним електронним перетворювач кутових переміщень осі C, аніж синхронізувати дві незалежні лінійні осі X та Y як це вимагалось у попередньому методі. Оскільки основна модуляція профілю здійснюється вздовж радіальної осі X яка, як правило, має вищу статичну та динамічну жорсткість порівняно з віссю Y, вдається ефективно мінімізувати пружні відхилення інструменту, що підвищує фактичну точність профілю. При налагодженні верстата цей метод надає відчутну перевагу, оскільки керування однією лінійною віссю X та ротаційною віссю C значно спрощує процес внесення технологічних коригувань (наприклад, компенсації зносу інструменту) для оператора.

Список літератури:

1. Citizen Machinery Co., Ltd. *Instruction Manual Cincom L12-2M10*. Citizen Machinery.
2. *Fanuc 31i/32i-B Series CNC Milling Control System Programming Manual*. Fanuc Corporation, 2018.
3. V. Ruban, V., Derbaba, O., Bohdanov, & Y. Shcherbyna. (2023). OPTIMIZATION OF PRODUCT PROCESSING MODES IN MODELING AND PROGRAMMING OF MACHINING ON MACHINE TOOLS WITH PROGRAM CONTROL. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, (72), 222-238. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.222>
4. Дербаба, В.А., Григоренко, В.У. & Рубан, В.М. (2023). Розвиток елементів комп'ютерного програмування у складових наскрізних технологіях виготовлення механічного обладнання в машинобудуванні. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка»*, (72), 212-221. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.212>