

Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.

Т.М. Скрипник, магістрант

Національний технічний університет України «КПІ»

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАЄКТОРІЙ ПРИ КОНТУРНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Проведений аналіз динамічних характеристик дільниць технологічних траєкторій при виконанні рухів навколо особливих точок при контурному фрезеруванні на верстатах з ЧПУ. Визначений критерій оптимальності, створена прикладна програма моделювання швидкостей і прискорень при найбільш розповсюджених стратегіях виконання таких рухів. Доведено, що траєкторія руху за кривою третього порядку дозволяє мінімізувати прискорення рухів і динамічні навантаження на приводи верстата з ЧПУ. Представлені залежності для проектування такої траєкторії.

Вступ. Важливою задачею, що вирішується на етапі підготовки програми оброблення фрезеруванням є розрахунок еквідистанти контуру деталі. Така задача вирішується автоматично при застосуванні САМ-систем (Computer Aided Manufacturing) автоматизації технологічної підготовки виробництва на верстатах з ЧПУ. Причому в сучасних САМ-системах траєкторія формоутворюючого руху залежить не тільки від геометрії оброблюваного контуру і діаметра фрези, а й від обраної стратегії зрізування припуску [1]. Оскільки стратегія обирається технологом-програмістом в «ручному» режимі, необхідні чіткі інструкції для вибору оптимальної стратегії, яких наразі немає. Тому дослідження, спрямовані на автоматизацію вирішення такої задачі є актуальними.

Постановка задачі. Постановку задачі зручно проілюструвати на прикладі контурної обробки фрезеруванням деталі, яка має у своєму контурі так звані «кишені» (рис. 1). При зрізуванні припуску, наприклад, за два проходи, траєкторія руху фрези будується як еквідистанта, проте містить деякі дільниці, форма яких обирається технологом. Так, при виконанні першого проходу технологічна траєкторія руху фрези складається з еквідистантних прямих і добудованих до них технологічних траєкторій, які обрані як дуги кола (дільниці

b_1-c_1 і c_1-f_1). Причому на дільниці $c_1-d_1-e_1-c_1$ рух фрези призведе до підрізання контуру і тому ця дільниця має бути виключена з технологічної траєкторії. На другому, чистовому проході, всі дільниці

технологічної траєкторії мають бути запрограмовані в управляючій програмі.

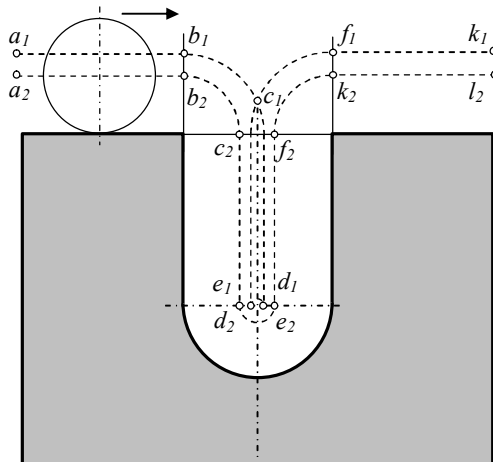


Рис. 1. До розрахунку еквідистанти

Таким чином, алгоритм розрахунку траєкторії центру інструменту повинен враховувати всі виявлені особливості побудови еквідистанти. Алгоритм працює у два цикли [1]. У першому циклі розраховується масив еквідистанти, визначаються особливі точки і масив доповнюється дільницями, описаними, наприклад, дугами кіл. У другому циклі проводиться перевірка отриманого масиву на наявність самоперетинань траєкторії з метою виключення дільниць, що приводять до підрізання контуру та невірних браку.

Якщо побудова геометричної еквідистанти до довільного контуру в та виключення з траєкторії місць самоперетинань вирішуються автоматично в сучасних САМ-системах, то побудова траєкторій в особливих точках контуру виконується за вибором технолога-програміста відповідної стратегії з числа наявних у САМ-системі. Причому тут не надається чітких інструкцій з вибору конкретної траєкторії, не кажучи вже про оптимальну траєкторію виходячи з класичних понять оптимізації за обраним критерієм. Отже задача може бути сформульована наступним чином: розробити методику вибору оптимальних траєкторій руху фрези при контурному фрезеруванні в місцях побудови еквідистанти в особливих точках.

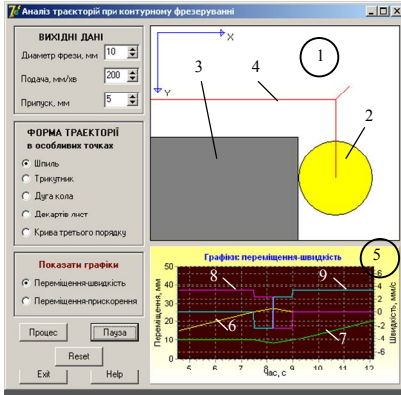
Вирішення задачі. Оскільки при виконанні рухів приводами верстату за технологічною траєкторією в особливих точках напрям

руху, як правило, змінюється, доцільно у якості критерію оптимальності прийняти динамічні характеристики такої траєкторії, а саме прискорення за осями координат. Отже оптимальною вважається траєкторія, яка матиме найменше значення прискорення. Не менш важливим є відсутність розривів у зміні других похідних, що завжди негативно відбивається на виконанні програми, призводить до її затримки, навіть зупинки руху та може викликати брак на оброблюваній поверхні.

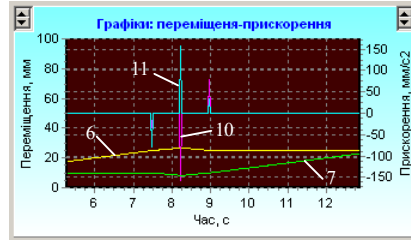
Наразі в сучасних САМ системах технолог не може вплинути на вибір технологічної еквідистанти. Цей вибір робить САМ система автоматично без врахувань недоліків чи переваг. Найпопулярнішими технологічними траєкторіями в сучасних САМ системах є лінійні траєкторії. Але останнім часом з'явилися програмні продукти (наприклад Mastercam), які використовують добудову в вигляді дуги кола. Така добудова позиціонується, як велика перевага над конкурентами. Очевидно, що силові, в тому числі ударні, навантаження на механізм подач верстату в різних випадках будуть різні, що може суттєво вплинути на термін експлуатації верстату, швидкість обробки, вібрації при обробці та якість поверхні деталі.

Для дослідження різних стратегій проходження особливих точок була створена прикладна програма, інтерфейс якої представлений на рисунку 2.

За допомогою такої програми можна дослідити характеристика руху (переміщення, швидкість і прискорення) за двома координатами при виконанні траєкторій обходу особливої точки. Вибір траєкторії здійснюється з поля інтерфейсу «Форма траєкторії», результати моделювання відображаються у графічному вікні 1, де фреза 2 виконує рух вздовж контуру деталі 3 за траєкторією 4, а на осцилографі 5 виводяться графіки переміщень, швидкостей або прискорень. Оскільки моделювання виконується для одного значення подачі при всіх формах траєкторій, то порівняння їх динамічних характеристик вважається забезпеченим.



a)

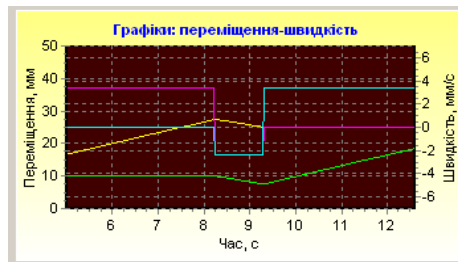
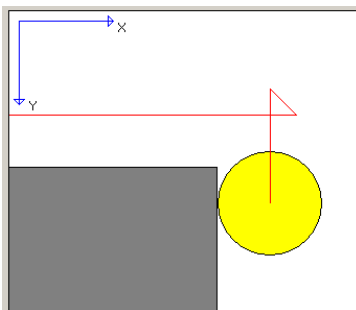


б)

Рис. 2. Інтерфейс прикладної програми (а) при моделюванні траєкторії обходу особливої точки типу «шпиль» і графіки прискорень (б)

На рисунку 2, а зафіксований момент моделювання траєкторії руху «шпиль», де лініями 6 і 7 позначені графіки зміни координат x і y , лініями 8 і 9 – швидкості руху за тими ж координатами відповідно. На рисунку 2, б представлені графіки переміщень (ти ж самі позначення, що і на рис. 2, а) і графіки прискорень – лінії 10 і 11 за координатами x і y відповідно. Аналіз отриманих результатів свідчить про погані динамічні характеристики такої стратегії обходу особливих точок: швидкості руху за координатами змінюються стрибком, а прискорення мають імпульсний характер, причому їх величина сягає 140 мм/с^2 .

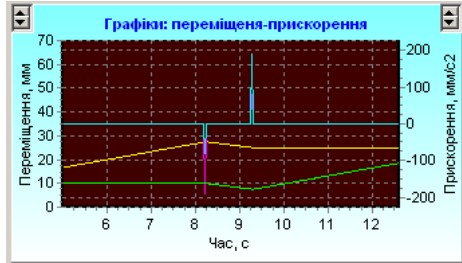
Аналогічні результати отримані і для іншої стратегії обходу за лініями, що утворюють трикутник (рис. 3).



б)

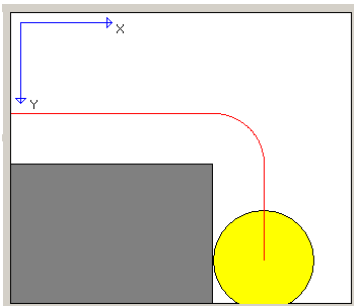
a)

Рис. 3. Моделювання руху за формою «трикутник»



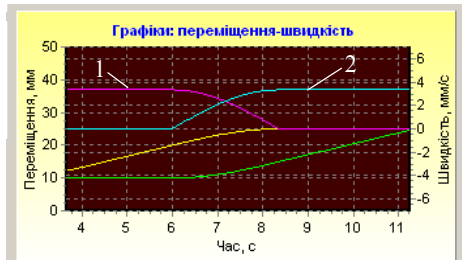
в)

Стратегія обходу особливої точки за дугою кола дає дещо кращі результати (рис. 4, а). Хоча графіки швидкостей (рис. 4, б: лінія 1 – за координатою x і лінія 2 – за координатою y) змінюються за плавними лініями, проте і тут графіки прискорень (лінії 3 і 4 на рис. 4, в) на початку руху за координатою y і в кінці руху за координатою x мають стрибки, величина яких досягає 3 мм/с^2 , що обов'язково призведе до небажаних колізій як в системі управління ЧПУ, так і в приводах верстата.

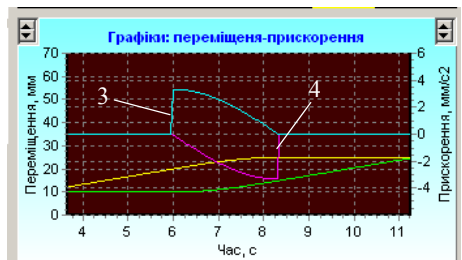


a)

Рис. 4. Моделювання руху за дугою кола



б)



в)

Відому популярність при високошвидкісному фрезеруванні (HSM) набули траєкторії типу «петля». Застосування такої стратегії при обході особливих точок в контурному фрезеруванні вимагає її трансформації у криві, які можуть виконувати спряження, наприклад, Декартів лист (рис. 5).

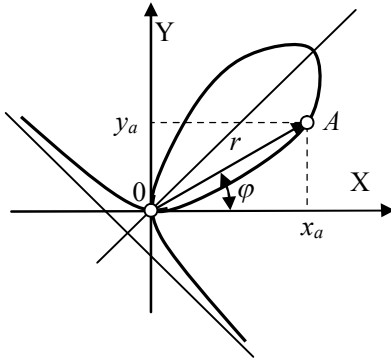


Рис. 5. Декартів лист

Координати будь-якої точки знаходяться за простими залежностями:

$$\begin{cases} x_a = r \cos \varphi \\ y_a = r \sin \varphi \end{cases} \quad (2)$$

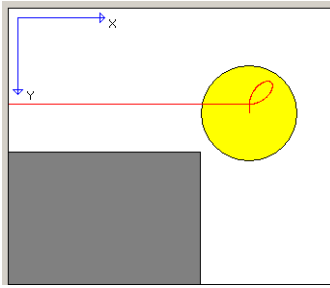
Результати моделювання руху за траєкторією Декартів лист представлені на рисунку 6. Графік переміщень (лінія 1 – координата x , лінія 2 – координата y на рис. 6, б) та швидкостей (лінії 3 і 4 відповідно) мають плавний характер без ступенів та розривів. Проте, графіки прискорень (лінії 5 і 6 на рис. 6, в) по-перше мають стрибки на початку руху за координатою x і в кінці руху за координатою y , а по-друге абсолютна величина сягає 25 мм/с^2 .

Таким чином, цю траєкторію, також як і всі попередні, не можна визнати як таку, що відповідає критерію оптимальності.

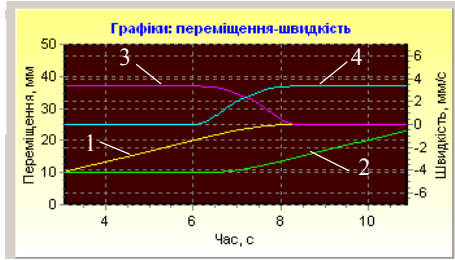
Траєкторію за Декартовим листом в її позитивній частині зручно представити у полярній системі координат [2]:

$$r = \frac{3a \sin \varphi \cos \varphi}{\sin^3 \varphi + \cos^3 \varphi}, \quad (1)$$

де r – полярний радіус, φ – полярний кут, a – параметр кривої.

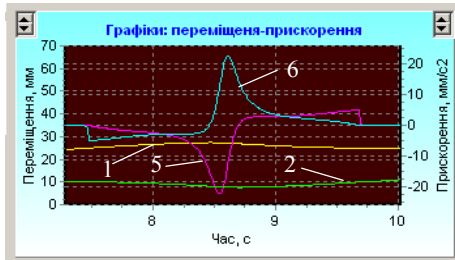


а)



б)

Рис. 6. Моделювання руху за кривою Декартів лист



в)

Ураховуючи досвід використання кривих третього порядку для спряження траєкторій руху, доцільно вивчити їх динамічні характеристики при виконанні рухів обходу особливих точок.

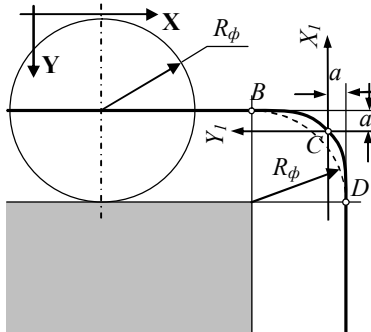


Рис. 7. Крива третього порядку

Для побудови кривої третього порядку на ділянці BD (рис. 7) обходу особливої точки можна скористатися залежністю:

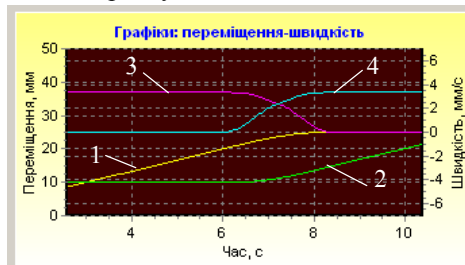
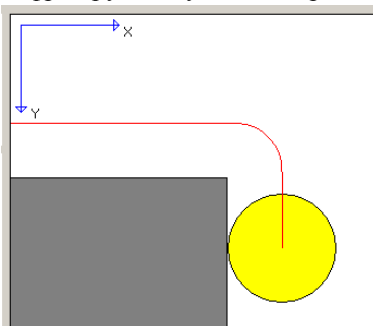
$$y_1 = kx_1^3, \quad (3)$$

де y_1, x_1 – значення координат у додатковій системі координат Y_1CX_1 , початок якої розташований на відстані a від точки перетину еквідистантних ліній контуру, що обробляється. Параметр a обирається так, щоб крива розташовувалася за дугою кола радіусом R_ϕ і забезпечувалось плавне зшивання ділянок BC і CD . Коефіцієнт залежності (3) може бути обрахований, виходячи з умови: при $x_1=a$, $y_1=R_\phi-a$ за формулою:

$$k = \frac{R_\phi - a}{a^3}. \quad (4)$$

Результати моделювання руху за траєкторією, що відповідає кривій третього порядку, яка була розрахована за залежностями (3) і (4), представлені на рисунку 8. Траєкторія руху фрези представлена на рис.8, а і візуально майже не відрізняється від траєкторії руху за дугою кола (порівняйте з рис. 4, а). Графіки переміщень (лінія 1 – координата x , лінія 2 – координата y на рис. 8, б) та швидкостей (лінії 3 і 4 відповідно) мають плавний характер і також аналогічні графікам рисунку 4, б. Проте графіки прискорень (лінії 5 і 6 на рис. 8, в) не мають стрибків на початку і в кінці перехідної ділянки а абсолютна величина не перевищує 3 мм/с^2 , як і для руху за дугою кола. Деякі коливання в середині ділянки пов'язані з особливістю чисельних методів, що були застосовані в програмі.

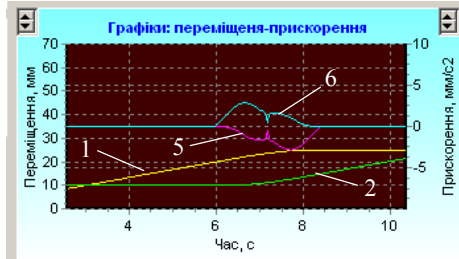
Висновок. В ході дослідження варіантів добудови в особливих точках траєкторії було встановлено, що найкращі динамічні параметри має траєкторія добудови обходу особливих точок при контурному фрезеруванні у вигляді кривої третього порядку.



б)

а)

Рис. 8. Моделювання руху за кривою третього порядку



в)

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Петраков Ю.В.* Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ : монографія. – К. : Січка, 2011. – 220 с.
2. *Кадомцев С.Б.* Аналитическая геометрия и линейная алгебра. – М. : Физматлит, 2003. – 160 с.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- управління процесами оброблення (лезвійна, абразивна тощо) деталей на верстатах з ЧПУ;
- інтегровані САД/САМ-системи.

СКРИПНИК Тарас Миколайович – магістрант кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- управління процесами формоутворення на верстатах з ЧПК.

Подано 12.08.2011

