

К.О. Дядюра, к.т.н., доц.**В.О. Залога, д.т.н., проф.****О.В. Прокопенко, аспір.***Сумський державний університет*

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОМУ ТОЧІННІ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуто актуальність використання тангенціального точіння для компонок вертикальних токарних верстатів с ЧПК і особливості кінематики формоточіння.

Вступ. В сучасному машинобудуванні широке визнання отримала концепція вертикальних токарних верстатів з ЧПК [1]. Таке обладнання виготовляють багато ведучих світових виробників. Підвищення ефективності механічної обробки матеріалів різанням на цих верстатах, що працюють в автоматичному режимі, може досягатися поєднанням і безперервним виконанням декількох послідовних операцій одночасно. Часто це пов'язано з реалізацією нестационарних процесів різання. Одним з таких процесів є попутне тангенціальне точіння (ПТТ), яке, завдяки його кінематичним особливостям, дозволяє поєднати на одному верстаті чорнову і чистову обробку шляхом реалізації роторного принципу її організації, що істотно підвищує продуктивність обробки і зменшує кількість одиниць металорізального обладнання [2–4]. Таким чином, використання тангенціальної схеми різання при проектуванні та розробленні компонок вертикальних токарних верстатів з ЧПК є перспективним напрямом розвитку сучасних конструкцій оброблювальних центрів.

Призначення необхідної кількості інструментів в багатоінструментальній наладці на таких верстатах пов'язане з моделюванням кінематики формоутворення і зрізання припуску при нестационарних процесах різання, зокрема ПТТ. Розроблення на базі таких моделей науково обґрунтованих рекомендації з вибору оптимальних параметрів механічної обробки різанням в умовах тангенціального точіння і, особливо при використанні нових інструментальних матеріалів, у тому числі із різноманітними зносостійкими покриттями, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [4, 5] розрізняють декілька схем тангенціального точіння (ТТ) зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання:

- з прямолінійною подачею (рис. 1, а);
- з круговою подачею по схемі зовнішнього торкання (рис. 1, б);
- з круговою подачею по схемі внутрішнього торкання (рис. 1, в).

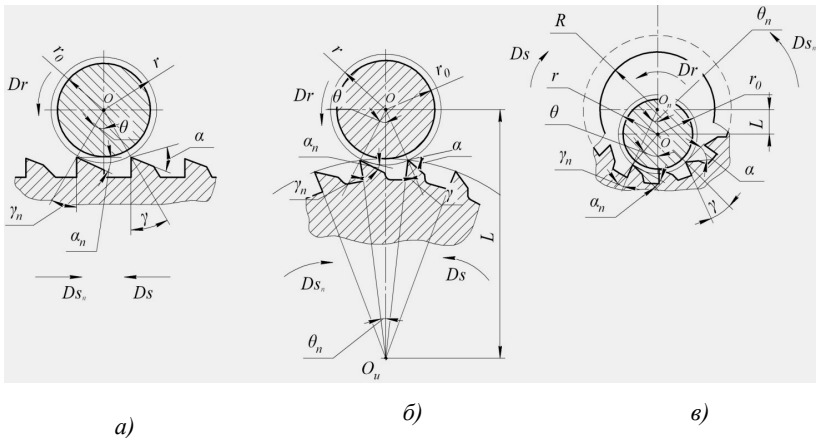


Рис. 1. Схеми тангенціального точіння

Процес різання здійснюється із подачею (попутною або зустрічною) різальної кромки інструмента по прямолінійній або криволінійній траєкторіях, дотичних до обробленої поверхні, і розташованих у площині, перпендикулярній до осі цієї поверхні. Зрізування припуску відбувається наступним чином (рис. 2) [6]. Протягом першого обороту оброблюваної деталі (заготовки) після дотику різця відбувається збільшення товщини шару, що зрізується, від 0 до максимуму, а потім її зменшення від максимуму до 0. Точка різальної кромки леза різця N , яка рухається (умовно) по колу радіусу R_1 і контактує з деталлю, що обертається, у будь-який момент часу її миттєвої зупинки T_i описуватиме на деталі коло радіусу r_i . Тоді її положення визначатиметься координатами точки перетину двох кіл: кола із радіусом R_1 , що є траєкторією даної точки в умовному русі різця, і кола з радіусом r_i , що описує ця точка на деталі під час обертання у даний момент різання.

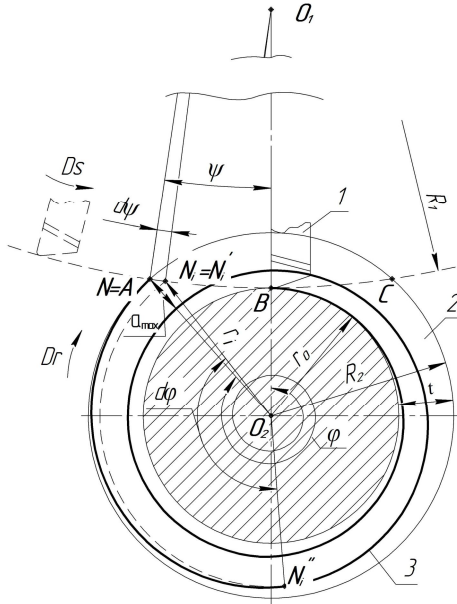
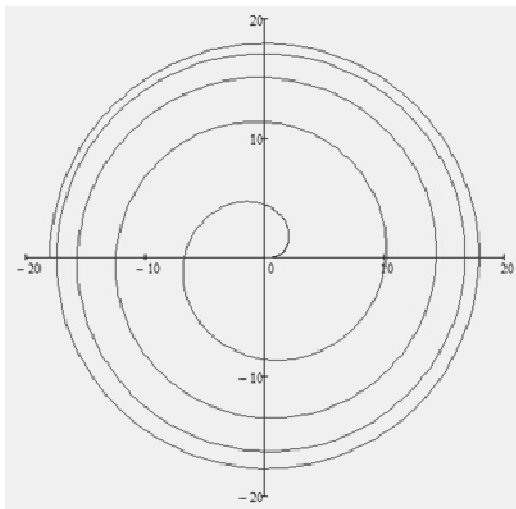
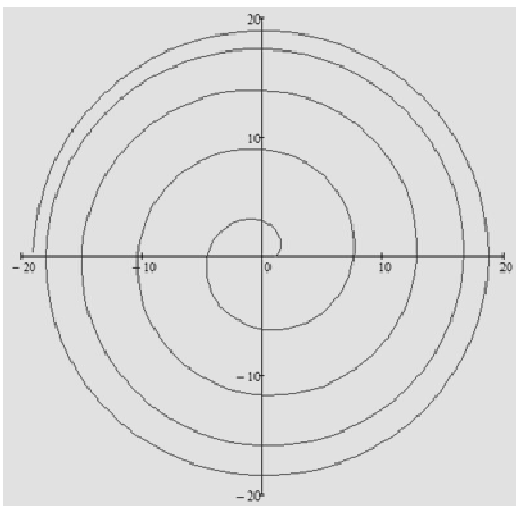


Рис. 2. Кінематична схема ПТТ (рух інструменту між точками А і В): 1 – інструмент; 2 – заготовка; 3 – траєкторія

Траєкторією руху даної точки леза різального інструмента відносно оброблюваної поверхні деталі при ТТ є циклоїда [5] (рис. 3, а) – лінія у полярних координатах, яку описує точка кола радіусу r , що котиться без ковзання по прямій. У [7] зазначається, що такою траєкторією руху може бути перициклоїда (рис. 3 б) – лінія, яку описує точка кола радіусу r , що котиться без ковзання по іншому колу радіусу R з внутрішнього боку ($m = r/R$ – модуль перициклоїди).



a)



б)

*Рис. 3. Графіки при $0 \leq t \leq \pi$:
а) циклоїда у полярних координатах; б) перициклоїда
Аналітично ці криві можуть бути описані так:*

- для циклоїди

$$\begin{cases} x = rt - r \sin(t) \\ y = r - r \cos(t) \end{cases} \quad (1)$$

- для перициклоїди

$$\begin{cases} x = (R + mR) \cos(mt) - mR \cos(t + mt) \\ y = (R + mR) \sin(mt) - mR \sin(t + mt) \end{cases} \quad (2)$$

На практиці точний опис процесу ТТ даними кривими неможливий, оскільки рівняння циклоїди (1) і перициклоїди (2) мають обмежену кількість параметрів. Це не дозволяє побудувати траєкторію руху точки леза різального інструменту відносно оброблюваної поверхні деталі з урахуванням режимів різання (швидкість різання, подача), схеми різання (прямолінійна, кругова), напряму подачі (зустрічне, попутне).

Таким чином проведений аналіз показує, що моделі кінематики формоутворення і зрізування припуску при ТТ потребують подальшого удосконалення для підвищення точності оцінок характеристик процесу різання. Розробка алгоритму розрахунку траєкторії руху інструмента у процесі ТТ з використанням сучасних інформаційних технологій і програмних продуктів є актуальним завданням даної роботи.

Мета дослідження. Розробити алгоритм моделювання траєкторії руху інструмента для різних схем ТТ з урахуванням геометричних параметрів різального леза і режимів різання (v , S , Δ) при використанні сучасних засобів програмного забезпечення CAD, зокрема: системи автоматизованого моделювання PowerSHAPE, технології OLE (Object Linking and Embedding) і об'єктно-орієнтованого програмування DELPHI.

Результати дослідження. Для визначення траєкторії руху інструмента при ТТ розглянемо кінематичну схему з попутною круговою подачею по схемі зовнішнього торкання (рис. 1, б).

Для побудови траєкторії руху інструмента за схемою тангенціального точіння із попутною подачею (рис. 2) необхідно визначити:

- 1) координати точки A входу леза різця;
- 2) координати точок перетину кіл R_1 і r_1 за час руху інструмента по дузі $A-C$.

Для визначення положення точки A розглянемо умовну схему перетину двох кіл (рис. 4):

- перша – із центром в точці O_1 , координатами X_1 , Y_1 і радіусом R_1 ;

- друга – із центром в точці O_2 , координатами X_2, Y_2 і радіусом R_2 .

У точках перетину цих кіл знаходяться точки A і C з координатами, відповідно, X_A, Y_A і X_C, Y_C . Центральна точка O з координатами X і Y – точка перетину усіх ліній.

Розглянемо два прямокутні трикутники O_1OA і O_2OA із спільним катетом OA . Гіпотенузи нам відомі (це радіуси R_1 і R_2), а відрізок h – спільний. Складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} h^2 = R_1^2 - (d - b)^2 \\ h^2 = R_2^2 - b^2 \end{cases} \quad (3)$$

Вирішуючи цю систему, знаходимо:

$$b = \frac{R_2^2 - R_1^2 + d^2}{2d}. \quad (4)$$

Далі по черзі знаходимо решту невідомих: a, h , а також координати точок $O(X, Y)$ і $A(X_A, Y_A)$:

$$a = d - b; \quad (5)$$

$$h = \sqrt{\sqrt{R_2^2} - \sqrt{b}}; \quad (6)$$

$$X = X_1 + \frac{X_2 - X_1}{(d/a)}; \quad (7)$$

$$Y = Y_1 + \frac{Y_2 - Y_1}{(d/a)}; \quad (8)$$

$$X_A = X - \frac{(Y - Y_2)h}{b}; \quad (9)$$

$$Y_A = Y - \frac{(X - X_2)h}{b}. \quad (10)$$

Запропонований алгоритм знаходження координат точки перетину двох кіл відрізняється тим, що на нього не впливає зміна системи координат і пересування кіл відносно один одного, завдяки чому можна розширити його можливості. Наприклад, можна моделювати механічну обробку з урахуванням похибки установки заготовки.

Для вирішення другого завдання спочатку по траєкторії відносного руху точок різальної кромки (кола із центром в O_1) визначимо пересування деякої даної точки різальної кромки різця $N(X_N, Y_N)$, що розташована на колі з центром в точці O_2 радіуса r_i (рис. 1).

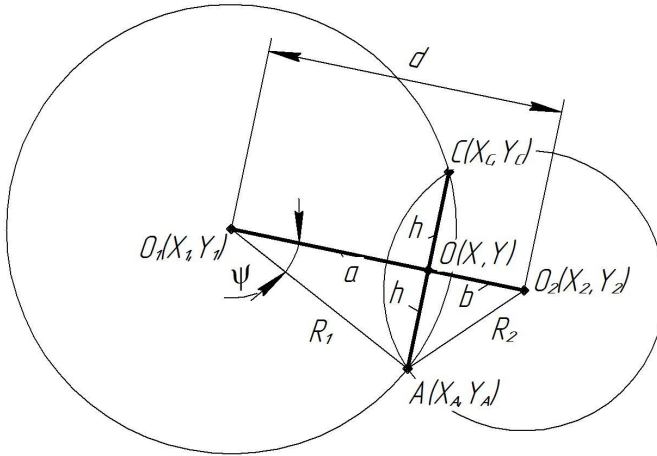


Рис. 4. Схема перетину траєкторії руху інструменту (коло з радіусом R_1) з заготовкою (коло радіусом R_2)

При повороті леза на кут 2ψ точка N переміщується по дузі AC з т. A в т. C . Цей кут можна визначити з виразу (рис. 4):

$$2\psi = 2 \arccos\left(\frac{a}{R_1}\right). \quad (11)$$

Будь-які проміжні положення інструмента знаходяться переміщенням точки $N (X_N, Y_N)$ по дузі AC при повороті леза на кут $d\psi = 2\psi/n$, де n – точність побудови траєкторії. Вказана дія, здійснюється по формулах повороту координат навколо центру, в даному випадку точки O_1 :

$$\begin{cases} X_{N_i} = X_N \cos(d\psi) + Y_N \sin(d\psi) \\ Y_{N_i} = Y_N \sin(d\psi) + X_N \cos(d\psi) \end{cases} \quad (12)$$

Для знаходження координат положення даної точки інструменту щодо руху заготовки на радіусі r_i , необхідно перевести точку $N_i (X_{N_i}, Y_{N_i})$ у систему координат, пов'язану з центром заготовки $O_2 (X_2, Y_2)$:

$$\begin{cases} X'_{N_i} = X_2 + X_{N_i} \\ Y'_{N_i} = Y_2 + Y_{N_i} \end{cases} \quad (13)$$

За час переміщення точки N з точки A у точку C у русі подачі (поворот на кут 2ψ), заготовка здійснює поворот у головному русі різання на кут 2ϕ , що дорівнює:

$$2\varphi = 2\psi \left(\frac{\omega_c}{\omega_e} \right), \quad (14)$$

де ω_c – кутова швидкість заготовки; ω_u – кутова швидкість інструмента.

$$\omega_c = \frac{V \cdot 1000}{R_c \cdot 60}, \quad (15)$$

де v – швидкість різання, м/хв.

$$\omega_e = \frac{S\omega_c}{R_e \cdot 2\pi}, \quad (16)$$

де S – подача, мм/об.

Підставляючи (15) і (16) в (14), знаходимо:

$$\varphi = \psi \cdot \left(\frac{R_e \cdot 2\pi}{S} \right). \quad (17)$$

Відповідно $d\varphi$ – проміжний кут повороту заготовки, що дорівнює:

$$d\varphi = d\psi \cdot \left(\frac{R_e \cdot 2\pi}{S} \right). \quad (18)$$

Таким чином, швидкість різання не впливає на форму траєкторії.

Знайдемо остаточне значення координат положення даної точки леза різця у процесі різання, шляхом переміщення її по колу, що описує на деталі, яка обертається радіус r_i .

$$\begin{cases} X''_{N_i} = X'_{N_i} \cos(\pm d\varphi) + X'_{N_i} \sin(\pm d\psi) \\ Y''_{N_i} = Y'_{N_i} \sin(\pm d\varphi) + Y'_{N_i} \cos(\pm d\varphi) \end{cases}. \quad (19)$$

Знак “мінус” відповідає зустрічному, а знак “плюс” – попутному напрямку швидкостей.

Даний алгоритм був реалізований і випробуваний у системі автоматизованого моделювання PowerSHAPE з використанням технології OLE (Object Linking and Embedding) DELPHI (рис. 5).

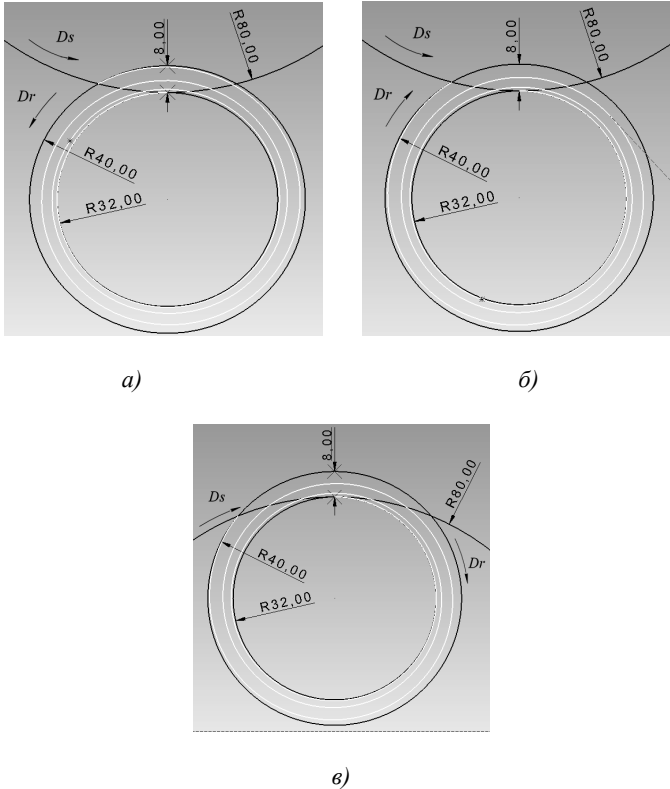


Рис. 5. Приклад побудованої траєкторії руху інструменту в PAWERSHAPE: а) із круговою подачею по схемі зовнішнього торкання, напрям подачі – зустрічне; б) із круговою подачею по схемі зовнішнього торкання напрям подачі – попутне; в) із круговою подачею по схемі внутрішнього торкання напрям подачі – попутне

Коректність розрахунків траєкторії відносного руху інструменту за алгоритмом перевірялась порівнянням величини максимальної товщини зрізу (a_{max}) (рис. 2) (вимірюється на траєкторії) з величинами, розрахованими за методиками, які запропоновані у [7, 8]. Результати цих розрахунків і їх порівняння наведені в таблиці 1.

Запропонований у роботі алгоритм моделювання дозволяє, на відміну від методів наведених у роботах [7, 8], для заданого моменту процесу різання розрахувати параметри кінематики формоутворення і зрізування припуску при будь-якій схемі ТТ (рис. 1) з урахуванням геометрії ріжучого леза і режимів різання (v , S , Δ). Це дає можливість

при проектуванні компоновок вертикальних токарних верстатів з ЧПК розробити науково-обґрунтовані рекомендації по вибору оптимальних параметрів механічної обробки різанням, при прогнозуванні зносу різального інструменту і якості обробленої поверхні.

Таблиця 1
Результати розрахунку максимальної товщини зрізу (a_{max}) при ТТ

Діаметр заготовки (мм)	Подача S (мм/об.)	Величина припуску до знімається t (мм)	Запропонований метод	Метод розрахунку, [7]	Похибка, %	Метод розрахунку, [8]	Похибка, %
60	0,5	2	0,171370	0,175854	2,54	0,170950	0,26
		3	0,209245	0,214545	2,47	0,208747	0,24
	1,5	2	0,495340	0,505271	1,97	0,491828	0,71
		3	0,610818	0,622799	1,92	0,606549	0,70
70	0,5	2	0,158354	0,163409	3,09	0,158018	0,21
		3	0,193520	0,199532	3,01	0,193117	0,21
	1,5	2	0,458763	0,470820	2,56	0,455943	0,61
		3	0,565659	0,580272	2,52	0,562219	0,61
80	0,5	2	0,147724	0,153294	3,63	0,147447	0,19
		3	0,180641	0,187297	3,55	0,180311	0,18
	1,5	2	0,428810	0,442700	3,14	0,426481	0,54
		3	0,528659	0,545546	3,10	0,525814	0,54

Висновки і перспективи розвитку. Запропонований алгоритм моделювання дозволяє будувати траєкторію руху інструмента відносно заготовки з круговою подачею по схемі зовнішнього торкання і з круговою подачею по схемі внутрішнього торкання, при зустрічному і попутному напрямі подачі. Це дозволяє визначати, на підставі критеріїв продуктивності, економічності, якості обробленої поверхні і зносу інструмента у кожному конкретному випадку оптимальне число інструментів в наладці. Оптимізація процесу механічної обробки при ТТ за допомогою моделі, запропонованої у роботі, буде розглянута у подальших дослідженнях і перевірена експериментально.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Современные производственные концепции фирмы ЕМАГ для автозаводов и их субпоставщиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.emag-group.ru/section/31/10>.
2. Залогова В.А. Разработка научных основ и принципов практического применения нестационарных видов обработки резанием на базе попутного тангенциального точения : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 / В.А. Залогова. – Х., 2000. – 33 с.
3. Дядюра К.А. Повышение работоспособности металлорежущего инструмента при обработке стали ШХ15 в условиях попутного тангенциального точения : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / К.А. Дядюра. – Харків, 2001. – 248 с.
4. Ермаков Ю.М. Технология и станки тангенциального точения / Ю.М. Ермаков. – М. : Машиностроение, 1979. – 152 с.
5. Ермаков Ю.М. Многошпиндельные и многопозиционные станки непрерывного действия / Ю.М. Ермаков // СТИН. – 1998. – № 11. – С. 3–9.
6. Хворост В.А. К вопросу о кинематики тангенциального резания / В.А. Хворост, В.А. Залогова // Вісник Сумського державного університету. – Суми : СумДУ, 1994. – № 1. – С. 54–59.
7. Парфенко С.Г. Аналитическое определение толщины среза при тангенциальном точении материалов / С.Г. Парфенко, В.А. Залогова // Резание и инструмент. – Харьков : ХПИ, 1984. – Вып. 31. – С. 57–60.
8. Кулик В.И. О смещении максимума силы резания при тангенциальной обработке / В.И. Кулик // Вестник ТОГУ. – Томск : ТОГУ, 2007. – № 1 (4). – С. 89–102.

ДЯДЮРА Костянтин Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- підвищення працездатності металорізального інструменту.

E-mail: dyadyura.kostya@mail.ru

ЗАЛОГА Вільям Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету.

Наукові інструменти:

– металорізальний інструмент.

ПРОКОПЕНКО Олександр Володимирович – аспірант, кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- підвищення працездатності металорізального інструменту.

E-mail: sashopro@gmail.com

Подано 15.06.2011

