

УДК 621.941.01:534.1

М.О. Сікайло, Ю.В. Петраков

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

Динамічна модель контурного фрезерування

Вступ. Сучасний підхід до проектування технологічних операцій оброблення деталей різанням на верстатах з ЧПК переважно передбачає використання апріорної інформації. Джерелом такої інформації є моделювання з використанням цифрових технологій. Ефективність управління буде цілком залежати від повноти і адекватності розробленої математичної моделі. Особливо важливо застосовувати такий підхід до проектування операцій контурного фрезерування, оскільки доведено [1], що процес різання є квазістаціонарним, тобто умови різання (навіть при еквідистантному припуску) змінюються в широкому діапазоні за траєкторією формоутворюючого руху.

Традиційний підхід до призначення режиму різання в управляючій програмі за найгіршим збігом збурень у вигляді дуги різання або глибини різання, приводить до суттєвих втрат продуктивності [2]. Найбільш прогресивні САМ-системи починають пропонувати опції (так звані інтелектуальні технології – iMachining), що дозволяють технологу-програмісту вибрати умови оброблення за певною шкалою, яка має відповідати жорсткості технологічної обробної системи, яка визначається за власним досвідом [3]. При цьому вплив динамічних процесів на результати фрезерування, що зазвичай приводить до появи вібрацій і хвилястості або ограновування поверхні деталі, взагалі не розглядається.

Мета роботи. Розробити математичну модель контурного фрезерування, яка на базі системного підходу відображає процес різання з урахуванням його динаміки.

Викладення основного матеріалу. Для побудови математичної моделі процесу контурного фрезерування можна скористатися схемою, що представлена на рис.1.

Схема відображає процес в площині, тобто в системі координат XOY , а третя координата Z приймається постійною, що є цілком достатнім для контурного фрезерування. Пружна система зведена до одномасової з масою

заготовки m , жорсткостями k_x і k_y та в'язким тертям з коефіцієнтами λ_x і λ_y , що визначатимуть лінійну залежність сили тертя від швидкості пружних переміщень в ТОС.

В процесі різання в ТОС відбуваються коливання, які провокують зміни теоретичних траєкторій і обробленого контуру. Так, теоретичний рух формоутворення $y_m(x_m)$, що записаний в управляючій програмі верстату з ЧПУ, спотворюється коливаннями і фактична формоутворююча траєкторія $y_\phi(x_\phi)$ відрізнятиметься від теоретичної. Тут і далі траєкторії і контур записуються як функції зміни координати y від координати x .

Такі коливання змінюють контур заготовки $y_{z(i-1)}(x_{z(i-1)})$, що був оброблений на попередньому проході, а також поточний контур $y_{zi}(x_{zi})$. Контур припуску, що зрізуватиметься наступним зубом фрези $y_n(x_n)$ також змінюється від коливань попереднього зуба, який його утворив.

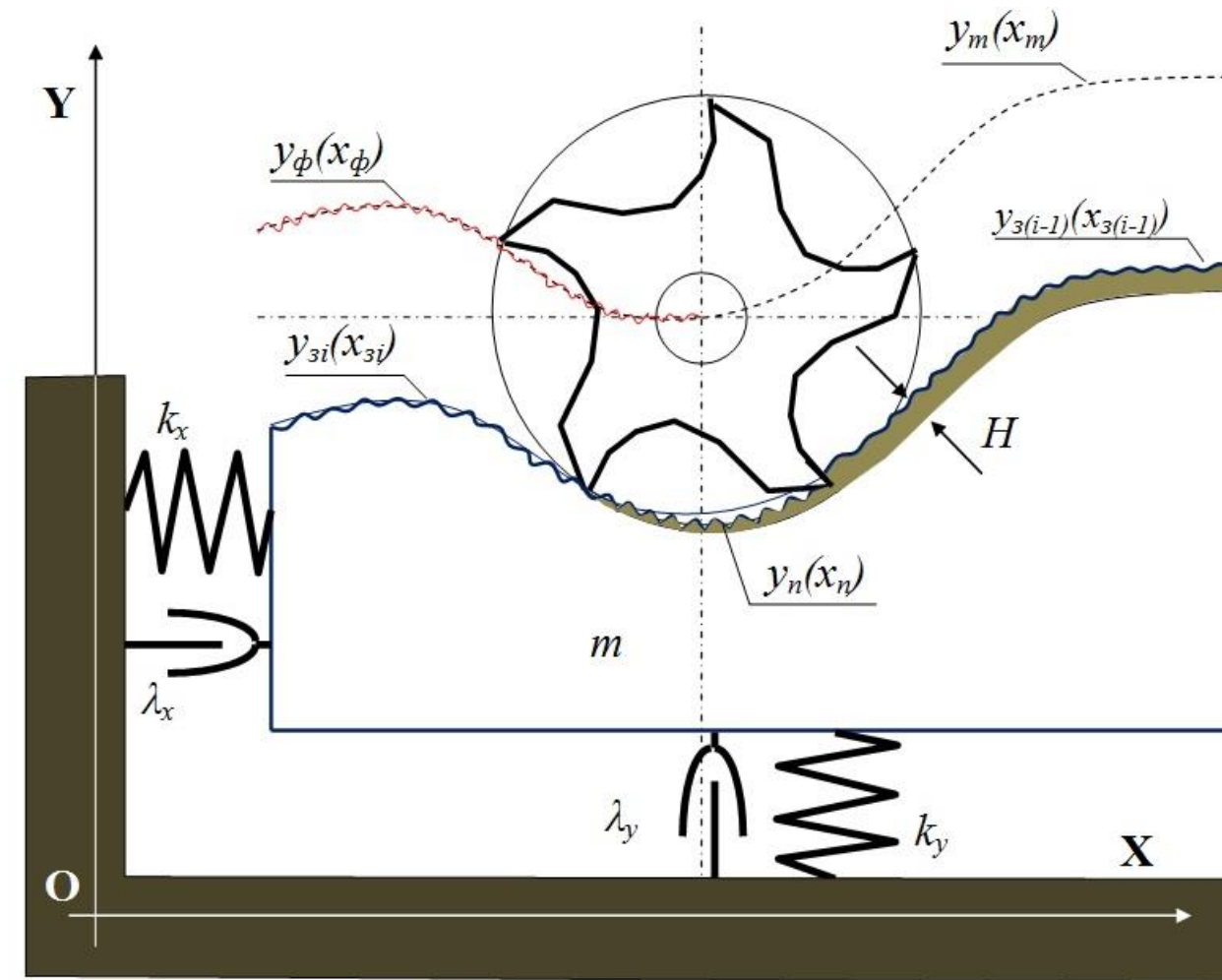


Рисунок 1. Розрахункова схема

Таким чином, припуск, що попадає в зону різання завжди знаходиться в зміні від таких коливань і відрізнятиметься від теоретичної глибини H різання,

що передбачена при проектуванні управляючої програми для верстату з ЧПК. Отже при побудові математичної моделі процесу контурного фрезерування необхідно урахувати представлені впливи коливань пружної системи на траєкторії формоутворення і форму контуру деталі у вигляді певної хвилястості чи ограновування.

Крім того, математична модель процесу різання має будуватись з урахуванням замкненості ТОС і відтворенням найбільш впливових зворотних зв'язків. Побудову математичної моделі будь-якого процесу чи системи зручно починати з формування функціональної схеми, що графічно представляє всі відзначені зв'язки, коливальну систему і процес різання.

У якості вхідних величин приймаємо $y_m(x_m)$ – теоретична траєкторія формоутворення, яку задає управляюча програма, в також контур $y_{z(i-1)}(x_{z(i-1)})$ заготовки, утворений на попередньому проході. Якщо моделюється перший прохід, то тут треба прийняти первинний контур заготовки.

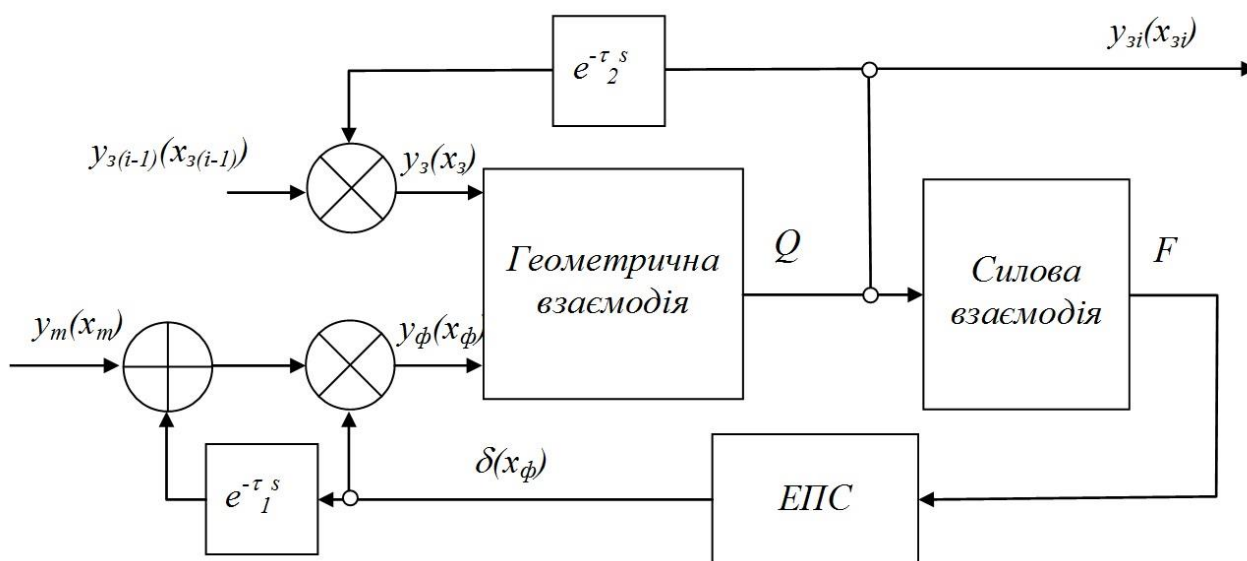


Рисунок 2. Функціональна схема процесу контурного фрезерування

Блок «Геометрична взаємодія» має вирішувати геометричну задачу перетину вихідної інструментальної поверхні фрези, центр якої (в оберненій схемі) рухається за фактичною $y_\phi(x_\phi)$ траєкторією з контуром $y_{z(i-1)}(x_{z(i-1)})$ заготовки, що утворився на попередньому проході.

Через те, що ТОС не є нескінченно жорсткою під час проходження процесу різання виникають вібрації. Тому при обробленні поверхні першим зубом фрези, на поверхні залишається хвилястість, яка створює змінну товщину

припуску для наступного зуба фрези. Наступний зуб оброблятиме хвилясту поверхню, яка була залишена попереднім зубом, і в свою чергу створює нову хвилясту поверхню, як показано на рис. 1. Фаза різниці між хвилями, залишеними попередніми зубами, і поточним змінює товщину стружки та силу різання. Цей процес викликає регенеративні коливання, змушує вібрацію посилюватися, що може привести до втрати сталості. Такий феномен представлений на функціональній схемі за допомогою запізнюючого елементу з передатною функцією $e^{-\tau_1 s}$, де τ_1 – час проходження кута між двома сусідніми зубцями фрези, s – оператор Лапласа. Отже, фактична траєкторія визначається з умови замкненості ТОС, а також оброблення «за слідом»:

$$y_\phi(x_\phi) = y_m(x_m) - \delta(x_\phi) + \delta(x_\phi) \cdot e^{-\tau_1 s}, \quad (1)$$

де $\delta(x_\phi)$ – пружна деформація ТОС.

Алгоритм функціонування блоку полягає у процедурі визначення на кожному кроці точки входу вихідної інструментальної поверхні в заготовку і точки виходу, перебудові масиву контуру заготовки з розрахунком форми припуску, утвореного рухом різання зуба фрези. Виходом блоку є аналог Q швидкості зрізування припуску, тобто в плоскому перетині – це площа, що видаляється з заготовки за кожним кроком моделювання. Зміна контуру $y_{zi}(x_{zi})$ заготовки на останньому проході буде визначати контур обробленої деталі, а на проміжних проходах визначає форму контуру заготовки, що буде оброблятися, тобто стає контуром $y_{z(i-1)}(x_{z(i-1)})$ на попередньому проході. Така операція виконується через функцію запізнюючого аргументу $e^{-\tau_2 s}$ де τ_2 – час виконання одного проходу.

Аналог швидкості видалення припуску входить в блок, що визначає силу взаємодію, де у поєднанні з подачею, швидкістю різання та шириною фрезерування перетворюється у швидкість зрізування припуску (Material Removal Rate – MRR). Далі сила F різання діє на еквівалентну пружну систему (ЕПС) і викликає її деформацію – процес замкнувся. На схемі не показано, що сила різання розкладається на складові, кожна з яких діє на свою ЕПС (за осями

координат), а їх деформації утворюють загальну пружну деформацію $\delta(x_\phi)$ ТОС. Еквівалентна пружна система – одномасова з двома ступенями свободи, рух якої можна описати системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 \delta_x}{dt^2} + \lambda_x \frac{d\delta_x}{dt} + k_x \delta_x = F_x \\ m \frac{d^2 \delta_y}{dt^2} + \lambda_y \frac{d\delta_y}{dt} + k_y \delta_y = F_y \end{cases}, \quad (2)$$

де F_x, F_y – складові сили різання за осями координат.

Висновок. Розроблена функціональна схема процесу контурного фрезерування ураховує основні динамічні процеси, що відбуваються в замкненій пружній технологічній обробній системі. Крім того, для визначення впливу процесу фрезерування, який за своєю природою є переривчастим, на виникнення вібрацій в моделі пропонується застосовувати дві функції запізнюючого аргументу – одна для опису оброблення за слідом поверхні заготовки між двома сусідніми зубцями фрези, інша для опису оброблення за слідом між двома сусідніми проходами.

Список використаних джерел

1. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Оптимізація периферійного фрезерування кінцевими фрезами // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (76). 2016, С.88-94 https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19585/1/VM_12_Petrakov.pdf
2. Петраков Ю.В. Состояние и перспективы развития САМ-систем в машиностроении // Вісник НТУУ «КПІ» Машинобудування №68, Київ, 2013.- С.44-54. <http://visnyk-mmi.kpi.ua/ru/2013/226-petrakov-y.html>
3. SolidCAM iMachining // <https://www.solidcam.com/ru/imachining/traektorii-imachining/>