

УДК 621.941.9.06-529

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор
Охріменко О.А., докт. техн. наук, професор
Мигович А.В., аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ypetrakov.86@gmail.com

СТАБІЛІЗАЦІЯ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Практика оброблення складних поверхонь показує, що зміна умов різання вздовж траєкторії формування викликає певні конфлікти, вирішення яких на практиці полягало у призначенні режиму різання для найскладнішої ділянки зі всієї траєкторії. Таким чином, здатність верстату з ЧПК постійно змінювати будь-які параметри режиму різання не використовувалася взагалі, що приводило до значної втрати продуктивності.

Найбільш просунуті компанії на ринку високих технологій пропонують САМ-системи, в яких проектування програми, що управляє, при обробці складних поверхонь фрезеруванням ведеться з урахуванням деяких характеристик формоутворення (SolidCAM, Siemens NX). Такі системи поєднуються загальною назвою iMachining, що означає «інтелектуальна обробка» [1]. Стверджується, що керуюча програма враховує зміну умов обробки та призводить до стабілізації та оптимізації процесу. Проте встановлено, що стабілізація здійснюється за рахунок управління подачею, яке формується на підставі аналізу геометричної траєкторії формоутворення. При цьому процес різання взагалі не розглядається, а пропонується зменшити діапазон невизначеності при урахуванні жорсткості конкретної технологічної системи обробки за рахунок вибору одного з восьми можливих рівнів, що адаптує розрахункову обробку до реальних умов.

Таким чином, для оптимізації процесу контурного фрезерування необхідно спочатку стабілізувати його, керуючи режимом різання, наприклад, подачею, а потім знайти гранично допустимий рівень режиму з урахуванням виконання вимог до якості. Відповідно до мети стабілізації контурного фрезерування запропоновано структуру керування, яка передбачає підготовку нової програми керування в G-кодах, що забезпечує стабілізацію обробки на оптимальному рівні (рис. 1).

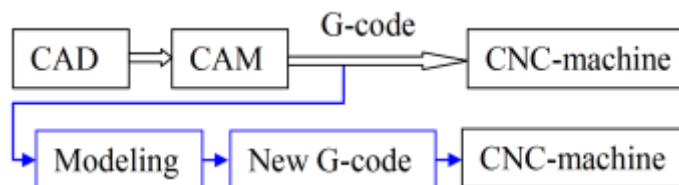


Рис. 1 – Структура створення нової управляючої програми

Основним модулем такої структури є процедура моделювання, яка визначає основний параметр процесу різання – швидкість видалення матеріалу (MRR). Саме такий новий підхід до розробки технології управління дозволив уникнути проблем, що були виявлені в сучасних програмних продуктах під загальною назвою iMachining. Крім того такий підхід дозволив створити уніфікований алгоритм технології для фрезерування будь-яких контурів на верстатах з ЧПК. Далі створений цифровий масив перетворюється в нову CNC-програму, яка забезпечує реалізацію спроектованого управління шляхом зміни подачі та (або) швидкості шпинделя.

Для моделювання використовується прикладна програма, створена в середовищі об'єктно-орієнтованого програмування. На рис. 2 представлений інтерфейс програми при моделюванні контуру, який містить прямолінійні, опуклі та увігнуті ділянки. Керуюча CNC-програма завантажується через команду «Завантажити G-коди» в основному інтерфейсі, після чого ініціюється процес моделювання з анімацією відповідних рухів у

графічному вікні. Цифрові масиви контурів деталі і заготовки проектується як еквідистанти, а під час моделювання обробки фреза рухається вздовж траєкторії формування контуру, видаляючи припуск із заготовки. На траєкторії кружечками позначені точки з'єднання розділів програми ЧПУ відповідно до розроблених G-кодів. Для вирішення основної задачі – розрахунку MRR під час контурного фрезерування – в основу моделювання покладено алгоритм визначення зачеплення заготовки і фрези [2].

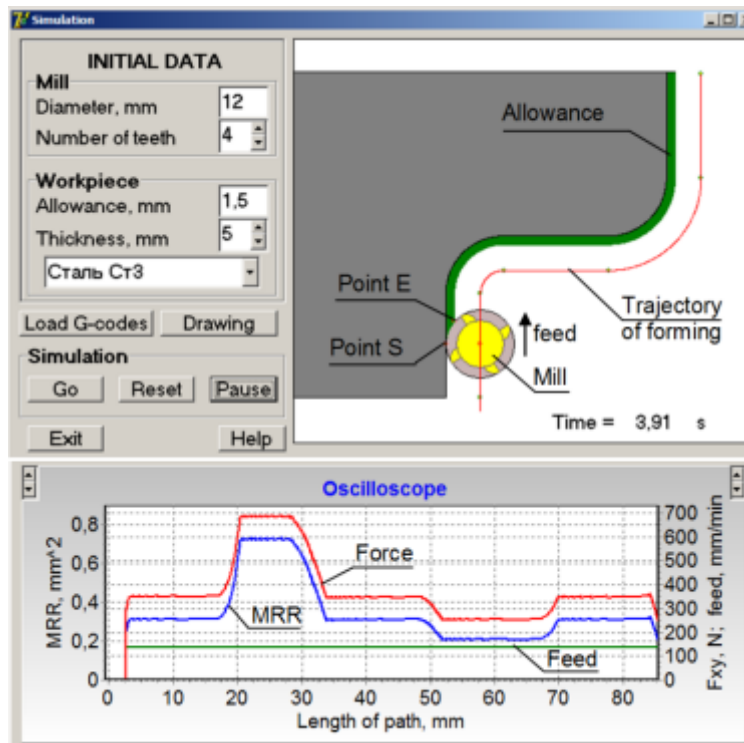


Рис. 2 – Інтерфейс програми моделювання

Відповідно до процедури алгоритму на кожному кроці моделювання (i – номер кроку) розраховується величина R_i , яка визначає відстань від центру фрези до кожної точки масиву контуру заготовки. Потім проводиться порівняння з радіусом R_f фрези, поки умова перетину не буде виконана. Виконання заданої умови автоматично визначає координати точки S – старт дуги різання. Далі продовжується аналогічні порівняння з радіусом фрези також до виконання умови перетину на виході дуги різання. Виконання цієї умови автоматично визначає координати точки E – кінець дуги різання. Далі в загальній частині алгоритму моделювання визначені таким чином координати точок S і E приписуються контуру заготовки, який утворився в результаті зрізання шару припуску і процес моделювання повторюється.

В результаті моделювання автоматично створюється файл, що представлений у вікні віртуального осцилографа і саме він приймається як початковий у спеціально створеній програмі для генерації первинного цифрового керуючого файлу, який використовується при проектуванні нової керуючої програми ЧПК у G-кодах. Для проектування такого програмного файлу ЧПК була створена прикладна програма, інтерфейс якої наведено на рис. 3.38, що гарантує стабілізацію процесу різання по всьому контуру.

Файл моделювання завантажується в спеціальну програму, вибирається відсоток вибірки, потім генерується управління за каналом подачі і результат може бути збережений як цифровий файл.

Для оцінки ефективності розробленої технології було проведено серію експериментів з фрезерування контуру заготовки (рис. 3).

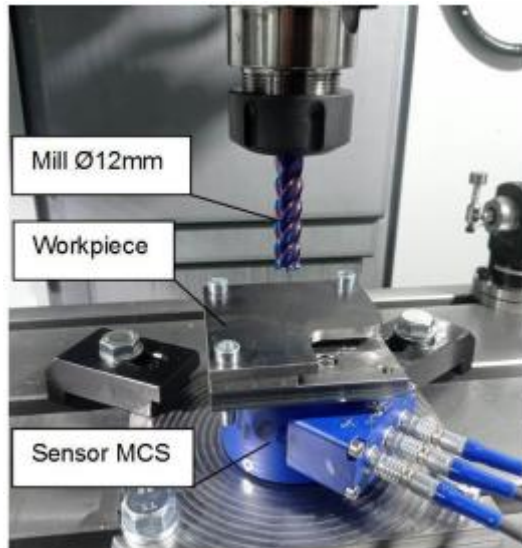


Рис. 3 – Робоча зона фрезерного верстату

Фрезерування проводили на спеціально підготовленій заготовці з рівновіддаленим припуском по всьому контуру, що забезпечує ідентичні умови різання в досліді. Під час дослідів фрезерували фасонну заготовку, встановлену на динамометричному столі (рис. 3). При фрезеруванні контуру за новою технологією стабілізації вдалося значно стабілізувати процес контурного різання, забезпечити збільшення середньої складової до оптимального рівня та скоротити тривалість циклу до 14 с, що перевищує останні розробки фірми SolidCAM iMachining майже в 1,3 рази.

На рис.4 представлені осцилограми складових сили різання, які підтверджують ефективність запропонованого способу керування процесом контурного фрезерування.

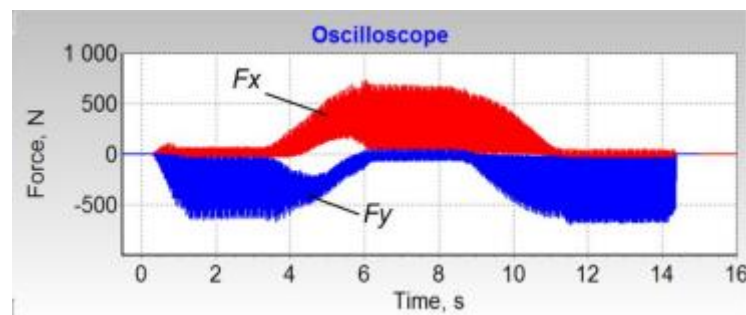


Рис. 4 – Осцилограми складових сили різання

Розроблена технологія використовує метод керування на основі апріорної інформації та полягає у використанні створеного програмного забезпечення для моделювання та проектування цифрових CNC-файлів керуючої програми. На відміну від відомих методів управління процесом, які пропонуються компаніями під загальною назвою iMachining, технологія використовує узагальнену характеристику процесу - швидкість видалення матеріалу.

Створені цифрові файли використовуються для керуючих програм у вигляді G-кодів, які можуть бути безпосередньо завантажені в стійку ЧПУ верстата, що забезпечує практичну придатність розробленого методу.

Список посилань

1. Петраков, Ю. В. Управління процесами різання на верстатах з ЧПК. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. — 302 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73431>
2. Petrakov Y. V., Myhovich A. V. (2025). Stabilization of contour milling on CNC machines. Journal of Engineering Sciences, Vol. 12(1), pp. A1–A11. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).a1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).a1)