

УДК 621.923

А. В. Мигович, Ю. В. Петраков

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

### Технології iMachining для верстатів з ЧПК

**Вступ.** Для створення управляючих програм верстатів з ЧПК широко застосовують різні САМ-системи. В процесі практичного використання таких систем з'ясувалося, що більшість з них не ураховують характеристик процесу різання, особливо при обробленні складних поверхонь деталей машин. Призначення режиму різання було повністю покладене на технолога-програміста, який призначав режим з власного досвіду або рекомендацій фірми-виробника інструменту. Проте, зміна умов різання за формоутворюючою траєкторією при обробленні складних поверхонь провокує певні колізії, вирішення яких на практиці було в призначенні режиму розрахунком за найгіршими умовами за всією траєкторією. Таким чином, можливості верстату з ЧПК перманентно управляти будь-якими параметрами режиму різання зовсім не використовувались, що приводило до суттєвої втрати продуктивності [1].

Отже науково-технічна проблема створення систем автоматизації підготовки управляючих програм, що в автоматичному режимі вирішують не тільки геометричну задачу проектування траєкторій формоутворення, а й управління процесом різання залишається актуальною.

**Аналіз стану проблеми.** Усвідомлюючи практичну необхідність управління процесом різання, провідні фірми на ринку високих технологій почали пропонувати програмні продукти, які в автоматичному режимі, як стверджувалось, здатні розраховувати оптимальний режим різання.

Наразі в цьому тренді найбільшого розвитку набула технологія під загальною назвою iMachining, що означає Intellectual Machining – «інтелектуальне» оброблення. Найширше така технологія реалізована в програмних продуктах SolidCAM і Siemens NX.

Зазначається, що SolidCAM є єдиною САМ-системою, де технологу не треба вгадувати чи підбирати режим різання. Унікальні траєкторії (на відміну від трохіодальних, які застосовує технологія Vortex фірми Delcam) формуються у вигляді складних поліморфних спіралей, що, як стверджується, дозволяє максимально збільшити час контакту інструменту з заготовкою, а також

скоротити холості рухи [2]. Крім того, стверджується, що майстер технології модуль iMachining автоматично оптимізує режим різання з урахуванням даних про матеріал заготовки і металорізальний верстат. Пропонується скоротити діапазон невизначеності при урахуванні жорсткості конкретної технологічної обробної системи вибором одного з 8-ми можливих рівнів, що адаптує обробку до реальних умов. Саме так пропонується здолати стандартні проблеми з жорсткістю шпинделя, заготовки та інструменту, уникнути надвеликої вібрації реальної технологічної обробної системи [3]. Практичне використання технології iMachining надає можливість підвищити продуктивність, хоча ступінь ефективності залежатиме від конкретних умов виробництва [4].

**Мета роботи.** Аналіз можливостей технології iMachining з оптимізації режиму різання при фрезеруванні кінцевими фрезами.

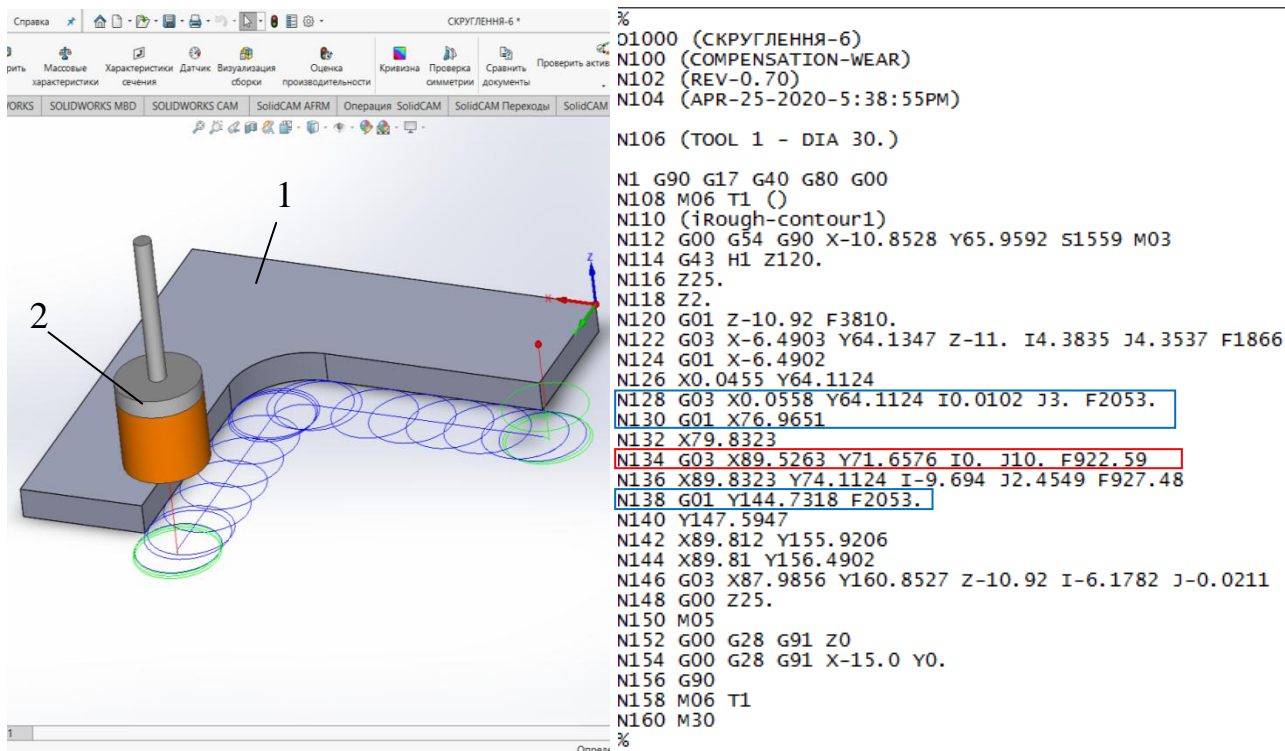
**Викладення основного матеріалу.** Аналіз деяких задекларованих властивостей технології iMachining був проведений за допомогою комп'ютерного експерименту оброблення тестової деталі, контур якої складається з двох спряжених дугою кола прямих. Оскільки технологія (як і всі, розглянуті вище) використовує метод управління за апріорною інформацією, то сутність експерименту полягала в порівнянні результатів проектування з результатами, що спираються на головну характеристику процесу фрезерування – MRR, яка визначається в процесі моделювання чисельними методами [5].

Для проведення експерименту була використана пробна версія Solid CAM with iMachining [6], за допомогою якої спроектована управляюча програма фрезерування контуру деталі 1 фрезою 2 (рис.1, а) і сформовані відповідні G-коди (рис.1, б).

Були обрані наступні вихідні дані: заготовка – матеріал Сталь30, радіус контуру деталі 25мм, припуск 1,5мм, товщина 10мм, інструмент – кінцева фреза Ø30мм, 6 зубів, кут нахилу леза 30<sup>0</sup>, суцільна A20 Solid carbide. Всі подальші дії щодо проектування виконувались в інтерактивному режимі.

Аналіз управляючої програми у G-кодах показує, що система обрала режим оброблення з HSM (High Speed Machining) – подача на дільницях оброблення площин дорівнює 2053 мм/хв. (дивись кадри 128 і 138), а при обробленні циліндричної поверхні подача знижується до 922.59 мм/хв. і до 927.48 мм/хв. Причому початок зміни подачі відповідає координаті за

формоутворюючою траєкторією, коли центр фрези входить на дугу кола, а кінець зміни подачі – точці, коли виходить.



а)

б)

Рис.1. Результати проектування в модулі iMachining Solid CAM:  
а) – інтерфейс моделювання; б) – G-коди управляючої програми

457

Для аналізу відповідності такого управління принципу стабілізації процесу за критерієм швидкості видалення припуск (MRR) було проведено моделювання за спеціально створеною програмою, інтерфейс якої представлений на рис.2.

Вихідні дані для моделювання, що задаються у віконцях зліва інтерфейсу, точно відповідають вихідним даним процесу фрезерування, які були використані при підготовці управляючої програми в Solid CAM. При моделюванні в графічному вікні відтворюється рух фрези 1, яка видаляє припуск 2 на заготовці 3. За рахунок використання чисельного алгоритму визначення перетину цифрового масиву контуру заготовки і фрези [7], на кожному кроці моделювання визначаються точки початку (точка А) і закінчення (точка В) дуги різання.

На віртуальному осцилографі з'являються графіки подачі – лінія 4, кута різання – лінія 5 і окружної складової сили різання – лінія 6. Кут різання і подача відраховуються за лівою віссю (подача зменшена в 10 разів), а окружна

складова сили різання – за правою віссю. Всі графіки прив’язані до руху фрези за формоутворюючою траєкторією – горизонтальна вісь осцилографа.

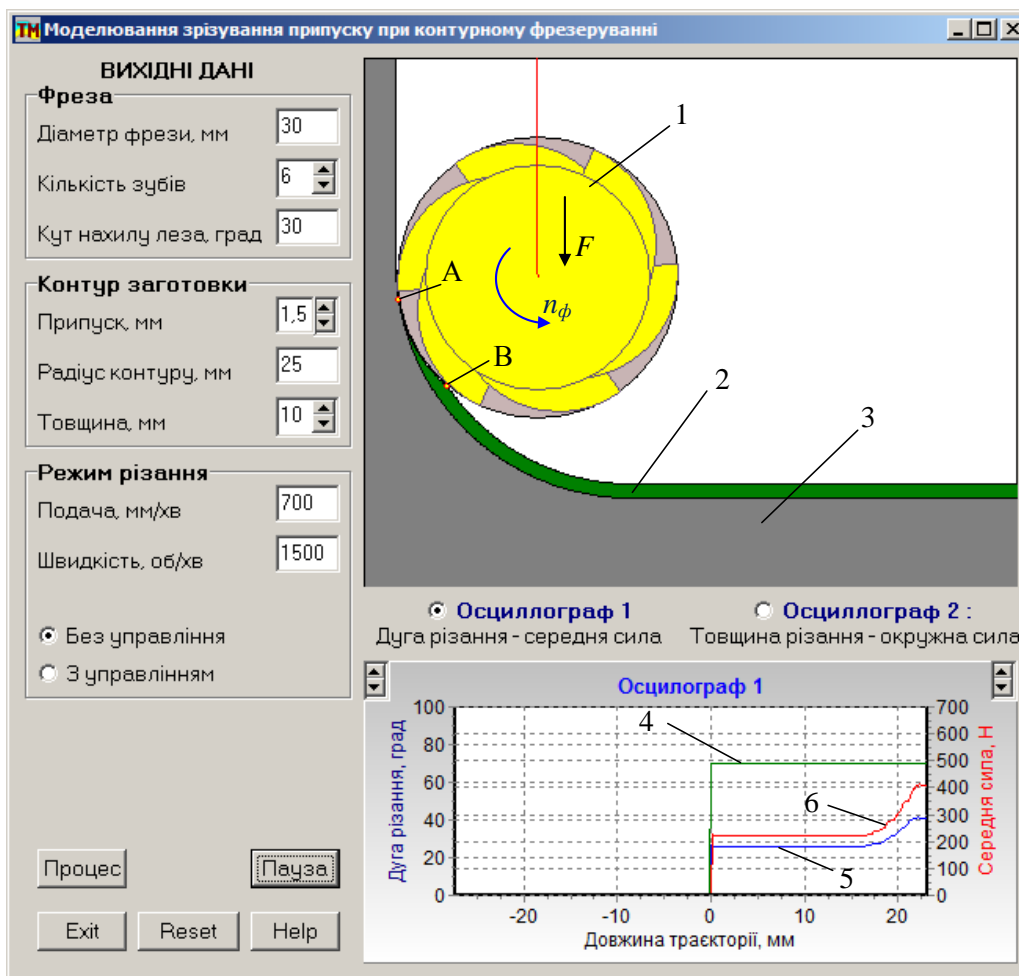


Рис.2. Інтерфейс програми моделювання

Окружна складова сили різання визначається чисельним методом за алгоритмом, який викладений в роботі [7]. Завдяки такому алгоритму в програмі закладена можливість визначення «миттєвої» величини сили різання на кожному зубі фрези. Для виведення такої осцилограми на екран осцилографа в інтерфейсі передбачена спеціальна опція – «Осциллограф 2» (рис.2).

Результати моделювання представлені на рис.3, де осцилограма «миттєвих» величин окружної складової сили різання представлена лінією 1, а осцилограма площі шару припуску, що зрізується – лінією 2. Як і слід було очікувати процес фрезерування характеризується швидкою зміною головних характеристик – MRR і, як наслідок, зміни сили різання. Крім того, не зважаючи на абсолютно еквідистантний припуск відбуваються повільні зміни тих самих характеристик в інтегрованому вигляді. Тобто процес є суттєво нестационарним і для стабілізації потребує перманентного управління.

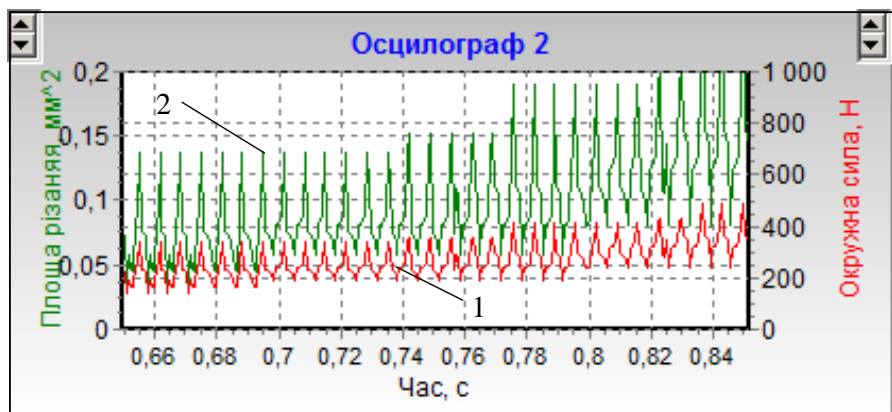


Рис.3. Результати моделювання «миттєвих» осцилограм процесу різання

На рис.4 представлені результати моделювання при постійній подачі 700мм/хв. у вигляді осцилограм: лінія 1 – подача, лінія 2 – кут різання, лінія 3 – окружна складова сили різання.

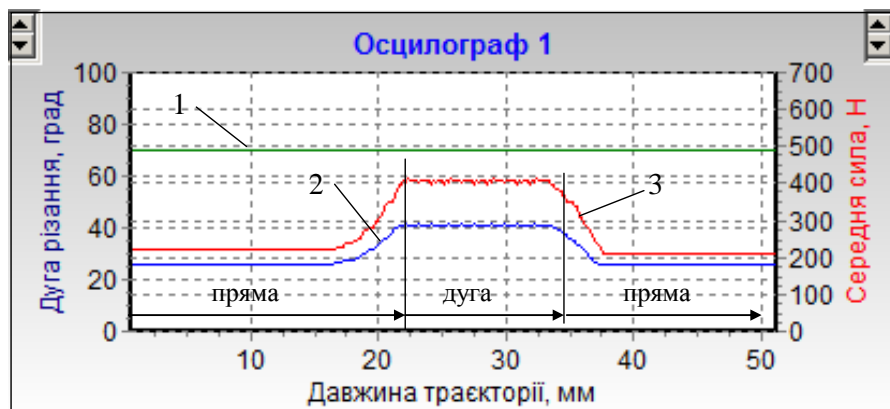


Рис.4. Результати моделювання при постійній подачі

Результати показують, що зміни умов різання, які провокують відповідні зміни силових характеристик, не співпадають з геометричними ознаками переходу траєкторії формоутворюючого руху з прямої на дугу і далі знов на пряму (рис.4). Це можна навіть візуально спостерігати при виконанні моделювання в його процесі (дивись рис.2)

Тепер, за управляючою програмою у G-кодах (дивись рис.1, б) був сформований аналогічний за форматом попередньому файлу файл управління подачею, що був автоматично сформований модулем iMachining програми SolidCAM. Результати моделювання за допомогою створеної програми з таким управлінням представлені на рис.5, де прийняті ті ж самі позначення графіків.

Очевидно, сформоване модулем iMachining управління не приводить до стабілізації процесу різання, а в містах, обведених еліпсами на рис.5 спостерігаються зміни складової сили різання, що на практиці може

провокувати виникнення вібрацій і відповідних мікро викривлень форми обробленої поверхні. Це відбувається з причини прийнятої стратегії, яка полягає в прив'язці очікуваних змін умов різання до траєкторії формоутворення, хоча, як показує моделювання, такі зміни будуть відбуватися набагато раніше, що потребує відповідного управління, заснованого на результатах запропонованого моделювання.

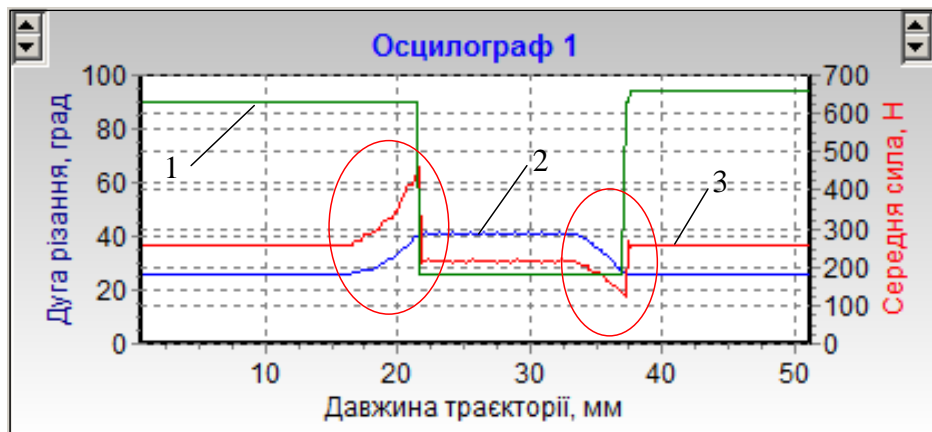


Рис.5. Результати моделювання процесу фрезерування з управлінням подачею за технологією iMachining

Кім того, різкі (стрибком) зміни команди будуть викликати затримку у часі фактичної величини подачі на верстаті в силу деякої інерційності його приводів, що зсуне закон за напрямком подачі і практично ще погіршить управління.

### Висновки

1. Більшість існуючих на ринку високих технологій САМ-систем, що афішують автоматичне призначення оптимальних режимів різання використовують метод управління за апріорною інформацією, який передбачає адекватне знання характеристик процесу різання, управління до якого проектується.

2. Доведено, що для забезпечення стабілізації процесу різання в САМ-системах, зокрема iMachining, застосовуються геометричні критерії, зв'язані з траєкторією формоутворення, а не з головною характеристикою будь-якого процесу різання – швидкістю видалення припуску (Material Removal Rate).

3. Для забезпечення адекватності процесу різання, який програмується, пропонується використовувати попереднє його моделювання за розробленим

алгоритмом, який автоматично визначає передбачувані умови різання за критерієм MRR або силовою характеристикою.

Список використаних джерел

1. Петраков Ю.В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ: Монографія. – К.: Січкап, 2011.- 220 с.
2. SolidCAM iMachining // <https://www.solidcam.com/ru/imachining/traektorii-imachining/>
3. Модуль iMachining // Ж. Высокие технологии. Сайт <http://vys-tech.ru/2018/02/02/imachining/>
4. Урманов М.Д., Биктимиров Р.А., Насыбуллин Р.К., Хусаинов Р.М. Применение iMachining как модуля высокоскоростной обработки // Ж. Технические науки, выпуск 12(66), 2017.- С.172-175. [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)
5. 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](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19585/1/VM_12_Petrakov.pdf)
6. Solid CAM. The Leaders in integrated CAM // <https://www.solidcam.com/ru/imachining/>
7. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (73). 2015.-С.78-83 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/16944>
8. GARANT Справочник по обработке резанием [www.garant-tools.com](http://www.garant-tools.com) 857с.