

## Фрезерування з управлінням подачею на верстаті з числовим програмним керуванням

Ю.В. Петраков, А.В. Мигович

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** Процес контурного фрезерування характеризується зміною умов різання за формоутворюючою траєкторією навіть при еквідистантному припуску. Тому дослідження можливостей управління подачею з метою стабілізації процесу різання при фрезеруванні є актуальною задачею. Представлені результати експериментальних досліджень кінцевого фрезерування на верстаті XYZ VMC 1010. Виконувалось фрезерування спеціально підготовленої заготовки при зміні припуску за траєкторією різання від 0 до 6 мм за глибиною при ширині фрезерування 30 мм. Фрезерування виконувалось з постійною подачею при режимі різання, що пропонується фірмою-виробником інструменту і за спеціально спроектованим законом управління подачею. Закон управління подачею був сформований автоматично при моделюванні процесу видалення припуску за його головною характеристикою – швидкістю зрізування припуску. Результати переконливо довели ефективність запропонованого управління подачею. Потужність процесу значно вирівнялася за траєкторією фрезерування не зважаючи на зміну глибини різання, а час оброблення скоротився на 35%.*

**Ключові слова:** кінцеве фрезерування, управління подачею, швидкість зрізування припуску, потужність різання.

Процес кінцевого фрезерування широко застосовується під час контурної обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь штампів, кишень, прес-форм та інших деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Процес різання характеризується постійною зміною умов геометричної взаємодії інструменту та заготовки, результатом якої є зміна сили різання. При проектуванні управляючих програм в більшості випадків призначають величину подачі за умовами оброблення в найгіршому, з точки зору силового навантаження, місці формоутворюючої траєкторії. Таким чином, на інших ділянках контуру інструмент і верстат недовантажені, втрачається продуктивність і не використовується можливість верстату з ЧПК перманентно управляти режимом, підтримуючи процес на певному, стабілізованому рівні.

Наразі найбільш «просунені» фірми, наприклад SolidWorks, пропонують новий підхід до проектування управляючих програм, де намагаються урахувати зміни умов різання за рахунок управління подачею. Проте, закони управління ґрунтуються на аналізі траєкторії формоутворюючого руху і характеризуються негативною динамікою. Доведено, що стабілізацію умов різання при контурному фрезеруванні необхідно проводити тільки на підставі моделювання з визначенням головної характеристики процесу – швидкістю видалення припуску (Material Removal Rate – MRR) [1].

Попередні дослідження продемонстрували ефективність управління за алгоритмом: стабілізація – оптимізація – корекція формоутворюючої траєкторії. Виконання останнього етапу залежить від вимог до точності оброблення. При вирішенні задач стабілізації і оптимізації у якості управляючого впливу доцільно використовувати подачу за формоутворюючою траєкторією. При цьому при вирішенні задач оптимізації необхідно урахувати можливість одночасного управління за подачею і за швидкістю різання. Отже, дослідження впливу подачі на енергетичні характеристики процесу різання при формуванні закону управління на верстаті з ЧПК є актуальною задачею.

Для визначення зв'язку між силовими характеристиками процесу різання, режимом різання (зокрема подачею) і геометричними параметрами шару припуску, що зрізується, були виконані експериментальні дослідження процесу кінцевого фрезерування на вертикальному оброблювальному центрі XYZ VMC 1010. Верстат обладнаний системою ЧПК Siemens 810D

Shopmill, швидкість холостого переміщення за координатними осями 24 м/хв., максимальна потужність на шпинделі 11 кВт, максимальне навантаження на стіл 850 кг, швидкість обертання шпинделя 60 - 8000 об/хв., автоматична зміна інструментів на 20 позицій.

При виконанні експериментів завдяки системі ЧПК з'являється можливість не тільки управляти подачею у відповідності до програми, що написана в G-кодах, а й контролювати такий важливий параметр процесу різання як потужність. Таким чином, можна реально оцінювати ефективність управління подачею з метою стабілізації процесу різання за силовими характеристиками.



Рис. 1. Вертикальний оброблювальний центр XYZ VMC 1010

Для експерименту була обрана заготовка зі сталі металопрокат: Ст35 150x150x50 мм і кінцева фреза твердість HRC 65 з покриттям TiAlCrN (рис. 2). Припуск на заготовці був спеціально підготовлений таким чином, щоб глибина різання  $H$  змінювалась за довжиною фрезерування  $L$  від 0мм до 6 мм при постійній ширині різання  $B=30$ мм.

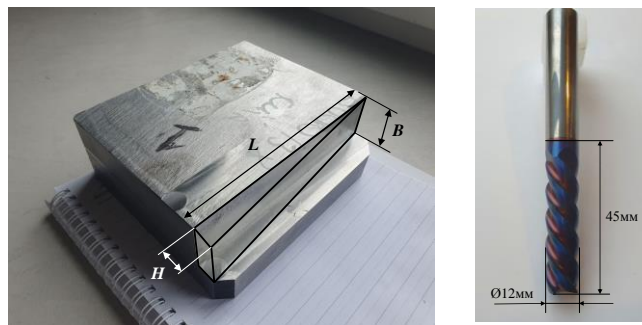


Рис. 2. Оброблена деталь (контур припуску заготовки виділений лініями) і фреза

Були виконані експерименти з фрезерування при режимі різання, що рекомендований виробником інструменту: подача 265 мм/хв., швидкість різання 50 м/хв., що відповідає частоті обертання шпинделя верстату 1330 об/хв. Інші експерименти виконувались при фрезеруванні такого ж припуску, але з управлінням подачею за розробленою методикою. Методика полягає в створенні закону управління за результатами моделювання при визначенні головної характеристики процесу різання – MRR [2]. Моделювання виконується чисельним методом за спеціальним алгоритмом, що дозволяє визначити геометричну взаємодію інструменту і заготовки і створити файл управління для стабілізації процесу за силовою характеристикою.

Орієнтуючись на динамічні характеристики верстату остаточне представлення закону управління в G-кодах програми здійснювалось при його ступінчастій дискретизації (лінія 2 на рис. 3) [2]. Постійна подача 265 мм/хв. за довжиною фрезерування показана лінією 1 на рис. 3.

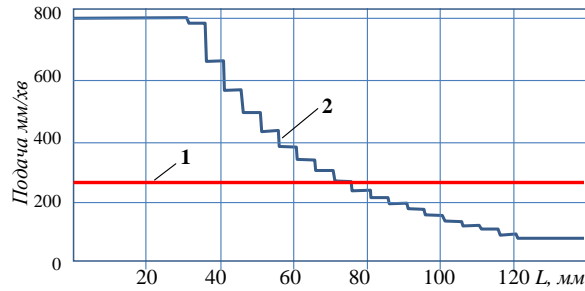


Рис. 3. Закони управління подачею:

1 – за рекомендацією фірми-виробника інструменту, 2 – спроектований за розробленою методикою

При виконанні експериментів фіксувалися характеристики процесу різання, що виводяться на стійку ЧПК верстату. Дані навантаження на шпиндель записувалися в масив файлу розробленим програмним забезпеченням відповідно до часу виконання операції (рис. 4).

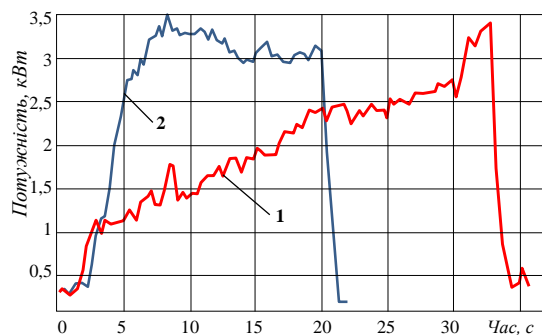


Рис. 4. Графіки потужності на шпинделі верстату:

1 – потужність при фрезеруванні з постійною подачею, 2 – потужність при управлінні подачею

Проведені експериментальні дослідження довели, що управління процесом фрезерування подачею за критерієм MRR дозволяє стабілізувати процес різання на рівні максимально допустимої потужності і скорочує час оброблення на ~35%.

### Список літератури

- [1] Petrakov Y. V., Myhovych A. V. IMachining technology analysis for contour milling // Mechanics and Advanced Technologies #2 (89), 2020. pp. 114-120. / <https://www.researchgate.net/publication/346257003>
- [2] Petrakov Y., Korenkov V., Myhovych A. (2022). Technology for programming contour milling on a CNC machine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (116)), 55–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255389>

## Milling with Feed Control on a Computer Numerical Control Machine-tools

Y. Petrakov, A. Myhovych

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** The process of contour milling is characterized by a change in cutting conditions along the form-forming trajectory even with an equidistant allowance. Therefore, researching the possibilities of feed control in order to stabilize the cutting process during milling is an urgent task. The results of experimental studies of end milling on the XYZ VMC 1010 machine are presented. Milling of a specially prepared workpiece was performed when the allowance along the cutting path was changed from 0 to 6 mm in depth with a milling width of 30 mm. Milling was performed with a constant feed in the cutting mode offered by the tool manufacturer and according to a specially designed feed control law. The feed control law was formed automatically when modeling the allowance removal process based on its main characteristic – materials removal rate (MRR). The results convincingly proved the effectiveness of the proposed supply control. The power of the process was significantly leveled along the milling path regardless of the change in depth of cut, and the machining time was reduced by 35%.

**Key words:** end milling, feed control, material removal rate, cutting power.