

УДК 621.923

**В.В. Писаренко,**

аспірант,

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут»

e-mail: pisarenkovv@ukr.net

**СТАБІЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ 3-D ПОВЕРХНІ
ЕНДОПРОТЕЗА КОЛІННОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ**

В.В. Писаренко. Стабілізація процесу фрезерування 3-D поверхні ендопротеза колінного суглоба людини. Розроблена методика стабілізації процесу фрезерування складної 3D поверхні ендопротеза колінного суглоба людини, за критерієм видалення рівномірного об'єму матеріалу за рівні проміжки часу. Створена прикладна програма, що моделює процес фрезерування, яка на кожному кроці моделювання визначає параметри припуску, що зрізується, і призначає відповідний режим.

V.V. Pisarenko. Stabilization of milling 3-D surface of human knee endoprosthesis. The technique of stabilizing the milling process of 3D surface human knee joint of endoprosthesis, with criteria of removal material rate at regular intervals. Created an application that simulates the process of milling, which at every step of modeling defines the parameters of a cutting allowance and assign the appropriate mode.

Вступ. За останні роки в машинобудуванні з'явилося багато деталей, які мають складні 3D поверхні, до яких відноситься й штучний ендопротез колінного суглоба людини. Операція фрезерування є одною з продуктивних та необхідних операцій на попередніх етапах обробки 3D поверхонь на верстаках з ЧПК. При технологічній підготовці такої операції використовують інтегровані CAD/CAM системи, що дозволяють отримати управляючу програму оброблення у G-кодах. Всі відомі системи автоматизованої підготовки управляючих програм вимагають від технолога-програміста завдання багатьох параметрів майбутнього процесу різання і не дають жодних рекомендацій для вибору таких параметрів [1]. Отже технолог-програміст при вирішенні такої важливої задачі користується довідниками, власним досвідом або, в найкращому випадку, рекомендаціями фірми-виробника інструменту. Проте, саме від призначеного режиму різання залежить продуктивність операції і виконання всіх якісних характеристик деталі.

Наприклад, при проектуванні операції фрезерування 3D поверхонь в сучасних CAD/CAM системах перед технологом-програмістом постає питання: як призначити подачу – адже умови різання всюди різні, причому можуть відрізнятись в декілька разів (рис.1). Найчастіше таке питання вирішується вибором режиму за найбільш напруженою дільницею та призначенням відповідної подачі. Це зменшує продуктивність обробки в рази, тому що на

інших дільницях режим різання буде значно заниженим. Такий підхід не може відповідати вимогам сучасного виробництва, коли верстат з ЧПК може змінювати подачу в широкому діапазоні. Таким чином, при обробленні складних 3D поверхонь на верстатах з ЧПК задача управління процесом різання з метою його стабілізації є актуальною.

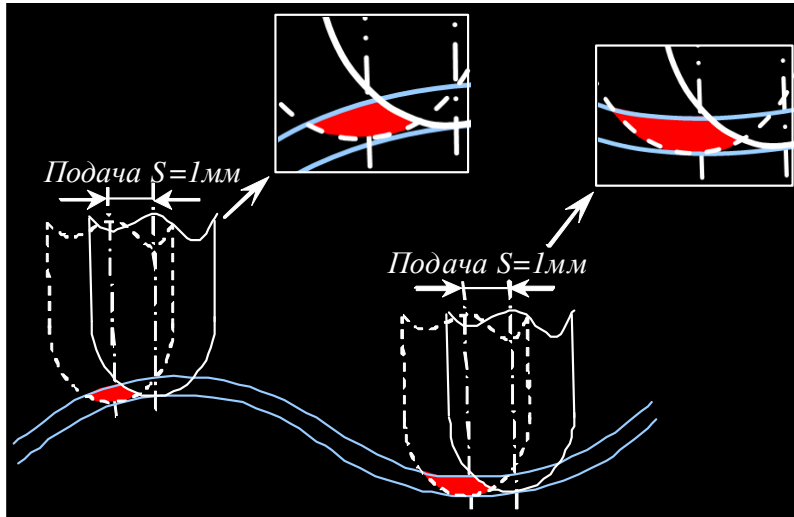


Рис.1. Дільниці з нерівномірним об'ємом припуску, що зрізується

Вирішення задачі. Основною задачею управління процесу фрезерування складних 3D поверхонь є зняття рівномірного об'єму матеріалу за рівні проміжки часу – $MRR = const$ (MRR – *Material Removal Rate*). Це насамперед надасть можливість:

- стабілізувати процес різання;
 - підвищити продуктивність та зменшити основний час обробки.
- MRR – розраховується за наступною залежністю, $\text{мм}^3/\text{с}$:

$$MRR = \omega_c \cdot Q, \quad (1)$$

де ω_c – подача, що задає (рад/с), Q – аналог швидкості знімання припуску ($\text{мм}^3/\text{рад}$), який розраховується за формулою:

$$Q = \int_{l_1}^{l_2} \frac{1}{2} (L_{ki})^2 b_i dl, \quad (2)$$

де L_{ki} - дуга контакту на елементарній дільниці b_i круга за довжиною l .

В якості впливу, яким необхідно управляти для досягнення поставленої мети обрано подачу, яка буде функцією від аналогу швидкості зрізування припуску $f_c = f(Q)$ і яка визначається з залежності:

$$f_c = f_{зад} \cdot \frac{[F]}{F}, \quad (3)$$

де $f_{зад}$ – задана подача, мм/хв; $[F]$ – допустима сила різання, яка обирається мінімальною з наступних сил різання: що допускаються за потужністю верстату (F_N), допустимої сили подачі (F_P), та сили яка обмежується за міцністю інструменту (F_T):

$$[F] \Rightarrow \min \{F_N, F_P, F_T\}.$$

Сила F різання в залежності (3) може бути визначена за наступною формулою:

$$F = \frac{K \cdot Q}{V}, \quad (4)$$

де K – питома сила різання [2], V – швидкість різання, яка розраховується з урахуванням призначеної стійкості інструменту:

$$V = \frac{C_v D^{q_v} k_v}{T^m H^{x_v} S_z^{y_v} B^{u_v} z^{p_v}}. \quad (5)$$

В залежності (5) частота обертання – n (об/хв), подача – S_z (мм/зуб), глибина різання – H (мм), період стійкості – T (хв), діаметр інструменту – D (мм), ширина фрезерування – B (мм), кількість зубців фрези – z , коефіцієнти і показники емпіричної залежності швидкості різання від режиму обробки – $C_v, k_v, x_v, y_v, u_v, q_v, m, p_v$ [3].

Сила різання, яка обмежується потужністю верстату розраховується за наступною формулою (Н):

$$F_N = \frac{N \cdot \eta \cdot 6 \cdot 10^4}{V}, \quad (6)$$

де N – ефективна потужність верстату у кВт, η – коефіцієнт корисної дії, V – швидкість різання, м/хв.

Сила різання, яка обмежується за міцністю інструмента розраховується за формулою [4]:

$$F_{T,P,Rz} = \frac{10 \cdot C_p \cdot H^x \cdot [S_z]^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \quad (7)$$

де B, H – ширина і глибина фрезерування (мм), D, z – діаметр і кількість зубців фрези, n – частота обертання фрези (об/хв), $C_p, x, y, n, q, w, K_{mp}$ – коефіцієнти та показники емпіричної залежності сили різання від режиму обробки.

В свою чергу $[S_z]$ – подача, що допускається за міцністю інструменту, допустимої сили подачі верстату та необхідної шорсткості поверхонь, (мм/зуб) розраховуються за наступними залежностями:

- подача, що допускається за міцністю інструмента:

$$[S_z]_T = C \frac{D^{5.21}}{\left(Bz\sqrt{kl^2} + D^2\right)^{1.35} H^{1.16}}. \quad (8)$$

де D, l, z – діаметр, довжина вильоту і кількість зубців фрези, B, H – ширина і глибина фрезерування, C, k – емпіричні коефіцієнти.

- подача, яка допускається за допустимою силою приводів верстату:

$$[S_p]_{\text{дон}} = \left(\frac{P_n D^{q_{Pz}} n^{w_{Pz}}}{1.2 \cdot C_{Pz} H^{x_{Pz}} B^{u_{Pz}} z \cdot k_{Pz}} \right)^{\frac{1}{y_{Pz}}} \quad (9)$$

де P_n – допустима сила приводів верстату, $x_{Pz}, y_{Pz}, u_{Pz}, q_{Pz}, w_{Pz}, C_{Pz}, k_{Pz}$ – емпіричні коефіцієнти.

Подача по рядках, що забезпечує максимально допустиму висоту гребінця, який утворює детерміновану складову h_z мікрорельєфу при фрезеруванні, може бути визначена за методикою та математичними співвідношеннями, представленими в [5].

Значення подач з формул (8)-(9) послідовно розраховуються на кожному кроці моделювання й підставляються в залежність (7), після чого обирається найменше значення з отриманих.

За представленими математичними залежностями було розроблено процедури, які були інтегровані до модуля CAD/CAM - системи автоматичного проектування керуючих програм при обробці ендопротеза колінного суглоба людини на верстатах з ЧПУ, головний інтерфейс якого представлено на рис.2.

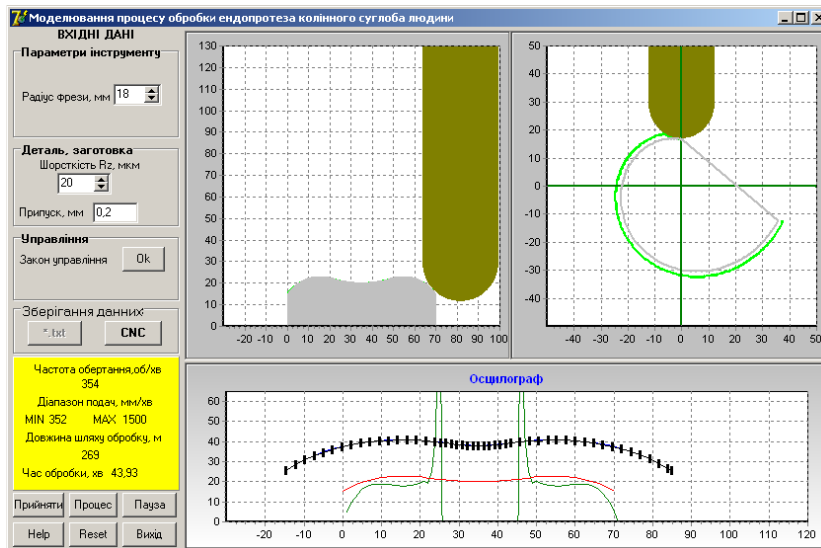


Рис.2. Головний інтерфейс модуля CAD/CAM системи

Після завершення моделювання зліва на панелі управління з'являється вікно, де виводяться параметри процесу різання. А саме: частота обертання фрези, діапазон подач, шлях обробки, та основний час обробки. Завдання вхідних даних для стабілізації процесу фрезерування здійснюється у віконцях програми, представлених на рис.3.

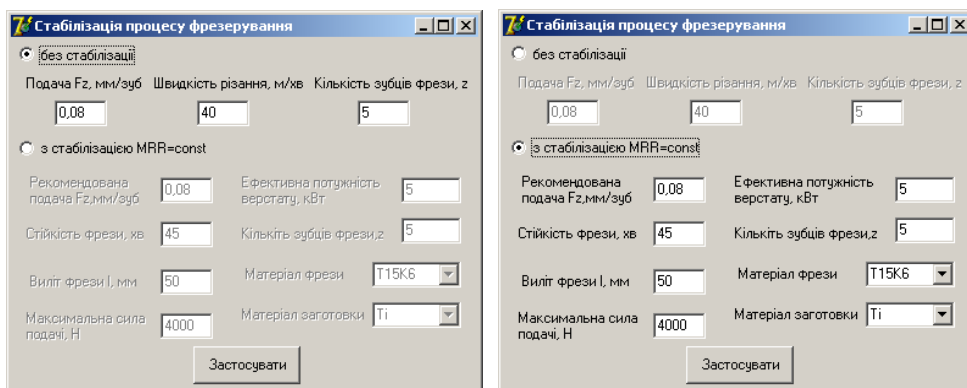


Рис.3. Копія екрану завдання даних для стабілізації процесу фрезерування

Після активації кнопки «CNC» відкриється діалогове вікно, в якому пропонується користувачу обрати папку для зберігання файлу управління для верстату з ЧПК. На рис.4 показано 2 фрагменти файлів управління – з застосуванням стабілізації (правий) та без застосування стабілізації процесу фрезерування (лівий). Як видно з фрагментів програми подача на кожному кроці переміщення фрези (у випадку застосування стабілізації) відрізняється одна від одної, а при відсутності стабілізації – подача на всіх дільницях траєкторії фрези однакова.

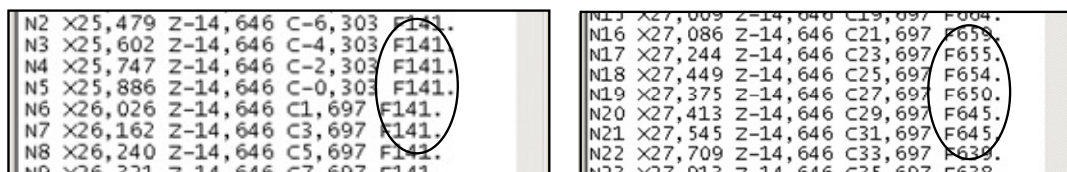


Рис.4. Фрагменти керуючих програм

При функціонуванні розроблених алгоритмів, було визначено шлях траєкторій руху інструменту, який при заданих користувачем умовах (дані які вводилися у віконця програми) складає 269м. При застосуванні процедури стабілізації було розраховано основний час обробки, який склав 43,93 хв. Діапазон зміни подачі складає: $\min=352\text{мм/хв.}$, $\max=1500\text{мм/хв.}$. Без застосування процедури стабілізації, тобто фрезеруванням з постійною подачею, яка дорівнює 141мм/хв. , основний час обробки склав 189,82 хв., що в 3,8 рази довше.

Використовуючи розроблений модуль CAD/CAM-системи та процедури стабілізації було виготовлено експериментальний зразок ендопротеза колінного суглоба людини на фрезерному верстаті з ЧПУ Schaublin 60. Схема

формоутворення та загальний вигляд ендопротеза колінного суглоба людини показано на рис.5.

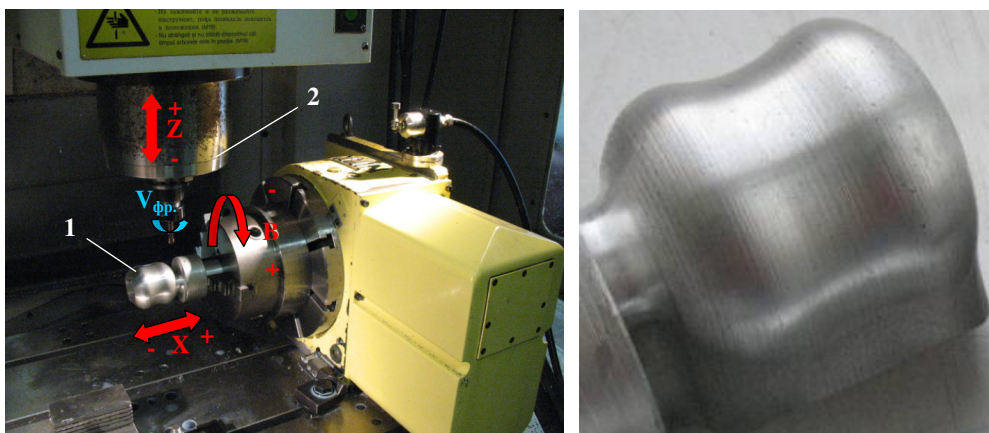


Рис.5. Схема формоутворення та оброблений експериментальний зразок

Висновок. В результаті стабілізації процесу фрезерування ендопротеза колінного суглоба людини за критерієм рівномірного об'єму матеріалу, що зрізується на кожному кроці моделювання, було досягнуто збільшення продуктивності обробки більш ніж в 3 рази при забезпеченні необхідної якості поверхні на всіх ділянках.

1. Література.

1. Петраков Ю.В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ. Вид. «Січкара», Київ, 2011, 222с.
2. Jerard B., K. Fussell Mustafa T. Ercan: On-Line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining, 2001 NSF Design, Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Jan 7-10, 2001, Tampa, Florida.
3. Гжиров Р.И., Серебряницкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. Л.: Машиностроение, 1990.-588с.
4. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Моделирование процессов резания: учебное пособие. Старый Оскол: ТНТ, 2011.-240с.
5. Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Визначення режиму фрезерування 3-D поверхонь для забезпечення якості //Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем, Вип.30, Краматорськ, 2012, с.150-157.