

**Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.
В.В. Писаренко, аспір.**

Національний технічний університет України «КПІ»

ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕНДОПРОТЕЗА КОЛІННОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ ЦИЛІНДРИЧНОЮ ФРЕЗОЮ НА ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

Наведено математичну модель формоутворення складної 3D поверхні штучного колінного суглоба людини циліндричною фрезою на трикоординатному фрезерному верстаті з ЧПК та розроблений модуль САМ системи автоматичної підготовки керуючої програми. Модуль автоматично розв'язує задачу формоутворення з урахуванням кінематичної схеми, форми інструменту, необхідної шорсткості поверхні деталі і генерує файл управління для верстата з ЧПК.

Вступ. 3D поверхня штучного колінного суглоба людини має складну геометричну форму (рис. 1) та високі вимоги, котрі висуваються щодо якості та точності робочої поверхні. Все це обумовлює необхідність застосування верстатів з ЧПК для їх виготовлення, а технологічна підготовка операції – проектування управляючої програми – неможлива без застосування САМ систем. Оскільки ендопротези виготовляються з вилівка, технологічний процес оброблення робочої поверхні має передбачати декілька операцій. Таким чином, технологічна підготовка оброблення 3D поверхні передбачає вирішення таких завдань:

- вибір оптимальної схеми формоутворення, верстата та інструменту, що її реалізують;
- створення керуючої програми для верстата з ЧПК;
- призначення оптимального режиму різання.

Для оброблення 3D поверхні ендопротеза застосовують різні схеми формоутворення [1], що, в основному, спрямовані на використання 5-ти координатних верстатів [2]. Проведений аналіз схем формоутворення для попередньої обробки робочої поверхні штучного ендопротеза колінного суглоба людини [3] довів, що найбільш раціональною схемою є трикоординатна обробка на фрезерних верстатах з ЧПК фрезеруванням циліндричними фрезами. Запропонована схема фрезерування дозволяє виконувати формоутворення на трикоординатному верстаті замість верстата з 5-ма координатами, для розташування сферичної фрези під кутом 45° в точці до оброблюваної поверхні.

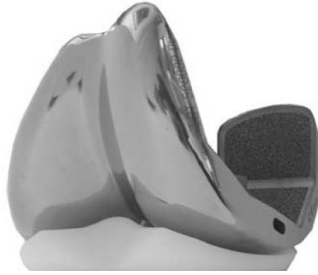


Рис. 1. Ендопротез колінного суглоба

Отже нова схема формоутворення значно здешевлює процес виготовлення ендопротеза, але для впровадження потребує всебічного аналізу, автоматизації проектування управляючої програми і призначення режиму різання.

Постановка завдання. Для апробації запропонованого способу оброблення 3D поверхні ендопротеза циліндричною фрезою необхідно розробити математичну модель формоутворення, а для автоматизації проектування управляючої програми на трикоординатному верстаті, включаючи як геометричну інформацію формоутворення, так і технологічну інформацію про режим різання, необхідно розробити спеціальний модуль САМ системи. Такий модуль, а саме проектування програм для верстата з ЧПК застосовують САМ системи, які присутні на ринку високих технологій. Проте аналіз САМ систем відомих фірм (Pro/Engineer, Catia, Simens NX тощо) показав, що вони мають універсальний характер, котрий не спрямований на вирішення специфічних особливостей формоутворення 3D форми ендопротеза колінного суглоба людини за новою схемою. Не менш важливо оптимізувати процес обробки застосуванням оптимальних режимів різання [4].

Викладення основного матеріалу. Схема формоутворення 3D поверхні штучного колінного суглоба фрезеруванням циліндричною кінцевою фрезою представлена на рисунку 2. Задана 3D поверхня ендопротеза на рисунку 2 представлена двома перерізами 1 і 2, циліндрична фреза 3 має рухатись за еквідистантою 4 (координата X) і за еквідистантою 5 (координата Y). Синхронізовані рухи за обома еквідистантами здійснюються за схемою обробки «по рядках» від обертальної координати φ , що задає. Таким чином, формоутворення за кожним рядком здійснюється в полярній системі координат.

Відповідно до методики, розробленої на кафедрі технології машинобудування НТУУ «КПІ» [4], вихідні дані геометричної моделі 3D

поверхні були трансформовані у цифрові масиви: $r_x = f(X_x)$, $R = f(\alpha)$, які відповідають обраній схемі формоутворення на верстаті. Завдяки такому підходу утворюються дискретні геометричні моделі, які використовуються в подальших розрахунках для проектування програми формоутворюючих рухів.

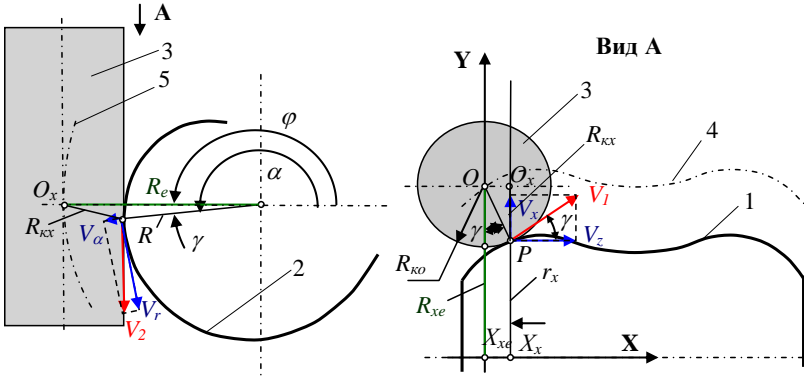


Рис. 2. Схема формоутворення

Еквідистанта 4 визначається в декартовій системі координат і розраховується за залежністю, що отримана з геометричних співвідношень (рис. 2):

$$\begin{cases} R_{xe} = r_x + R_{\hat{e}i} \cos \gamma \\ \tilde{O}_{xe} = \tilde{O}_x - R_{\hat{e}i} \sin \gamma \end{cases}, \quad (1)$$

де R_{ko} – радіус циліндричної фрези, а кут γ визначається з плану швидкостей: $\gamma = \arctan(V_x / V_z)$, де $V_x = dx / dt$, $V_z = dz / dt$.

Зі схеми формоутворення випливає, що циліндрична фреза радіуса R_k контактує з профілем у певній точці, що визначає певний радіус циліндра в перетині (рис. 2):

$$R_{\hat{e}x} = R_e - R_{\hat{e}i} (1 - \cos \gamma). \quad (2)$$

Еквідистанта 5 визначається в полярній системі координат (рис. 2, вид А) і розраховується за залежністю, що також отримана з геометричних співвідношень схеми [5]:

$$\begin{cases} R_e = R \cdot \cos \gamma + R_{kx}; \\ \alpha = \varphi + \gamma, \end{cases} \quad (3)$$

де φ – полярний кут, $\gamma = \arctan\left(\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{d\varphi}\right)$.

Необхідність визначення подачі на рядок обумовлено тим, що детермінована складова шорсткості обробленої поверхні утворюється при перетині двох сусідніх положень циліндричної фрези у поперечному перетині при зміні кривизни оброблюваної поверхні. Розв'язання такої задачі дозволить розрахувати крок зміни подачі «на рядок», що необхідно для формування управляючої програми.

На рисунку 3 представлена схема утворення гребінця, який визначатиме детерміновану складову параметра R_z шорсткості поверхні при двох сусідніх положеннях циліндричної фрези з радіусом R_f для випуклої поверхні з радіусом кривизни R_k .

З геометричних співвідношень схем (рис. 3, а, б) кут α розраховується за формулою:

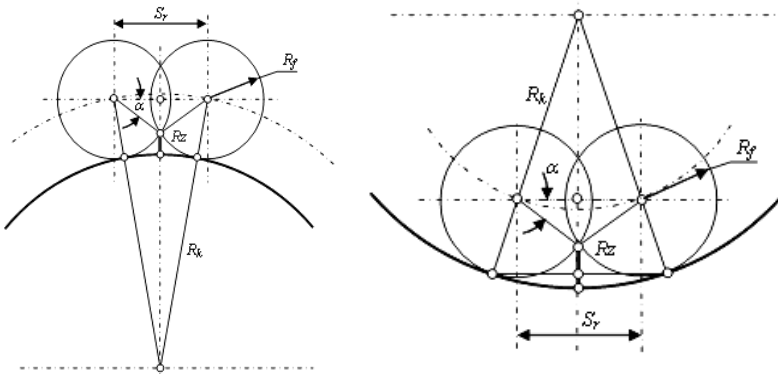
$$\alpha = \arccos\left(\frac{S_r}{2 \cdot R_f}\right). \quad (4)$$

Для випуклої поверхні параметр шорсткості R_z визначається за формулою (рис. 3, а):

$$R_z = \sqrt{(R_f + R_k)^2 - \left(\frac{S_r}{2}\right)^2} - R_k - R_f \cdot \sin \alpha. \quad (5)$$

Для увігнутої поверхні (рис. 3, б):

$$R_z = -R_k - \sqrt{(-R_f - R_k)^2 - \left(\frac{S_r}{2}\right)^2} - R_f \cdot \sin \alpha. \quad (6)$$



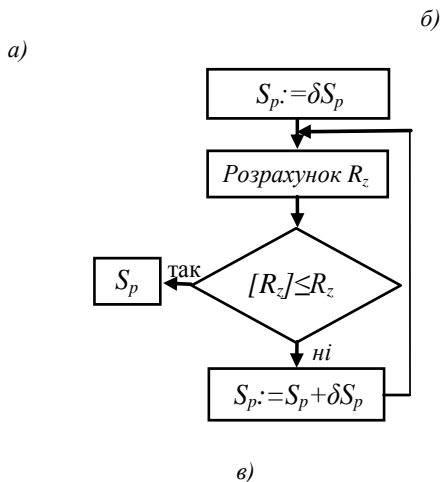


Рис. 3. Схема визначення детермінованої складової шорсткості

Таким чином, для вирішення цього завдання необхідно мати масив радіусів кривизни поверхні, що обробляється. Крім того, з формул (4)–(6) видно, що збільшення радіуса R_f циліндричної фрези призводить до зменшення шорсткості, а отже надає можливість при такій же шорсткості збільшити подачу на рядок, що призведе до збільшення продуктивності. Однак максимально допустимий радіус циліндричної фрези має відповідати умовам формоутворення, тобто бути меншим за мінімальний радіус кривизни увігнутої частини профілю. Оскільки поверхня деталі представлена у вигляді цифрових масивів, для розрахунку масивів радіусів кривизни доцільно скористатися чисельними методами [2, 3], які розраховують похідні від цифрового масиву як розділені різниці.

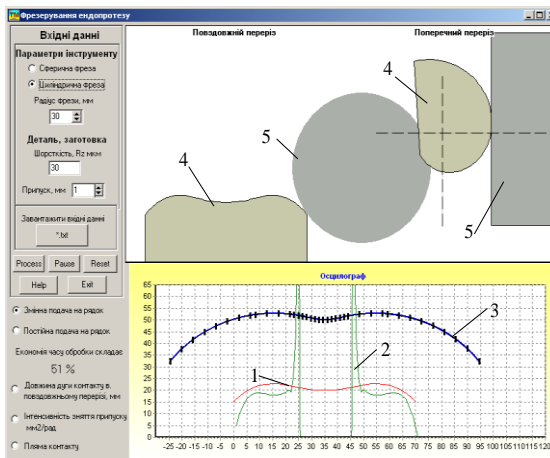
Алгоритм визначення подачі на рядок є розв’язання зворотної задачі чисельними методами – при заданій точності подачі на рядок розраховується детермінована складова R_z шорсткості поверхні за формулами (4)–(6). Далі порівнюється розрахована R_z шорсткість поверхні з заданою користувачем, якщо менша за задану, то подача збільшується на крок необхідної точності та ітерації повторюються до тих пір, поки розрахована шорсткість поверхні буде більша або дорівнювати заданій користувачем. Схематично алгоритм розрахунку подачі на рядок показано на рисунку 3, в.

Вирішення наведених вище завдань дозволило створити модуль САМ системи автоматичного проектування файла CLDATA управлін-

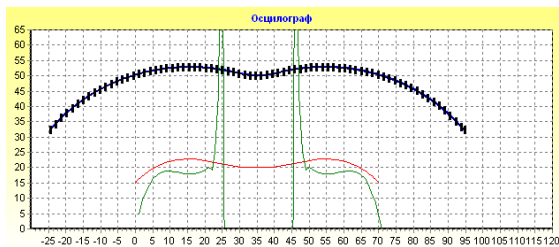
ня формоутворенням при фрезеруванні поверхні ендопротеза колінного суглоба людини (рис. 4).

У віконця інтерфейсу вводяться вихідні дані відповідних геометричних параметрів, а цифровий масив, що представляє 3D поверхню, завантажується з текстового файла, структура якого наведена в роботі [3]. Підготовча процедура програми, яка виконується при натисканні кнопки «Процес», виконує необхідні розрахунки цифрових масивів кривизни поверхні, еквідистанти за декартовою і полярною системами координат і розраховує масив подачі на рядок для забезпечення необхідної шорсткості поверхні. Процедура також передбачає перевірку відповідності заданого радіуса циліндричної фрези умовам формоутворення і у разі порушення умови відповідне повідомлення виводиться на екран монітора.

У віконці інтерфейсу з написом «Осцилограф» представлені: лінія 1 – повздовжній профіль перетину деталі; 2 – графік радіусів кривизни профілю; 3 – еквідистанта центра циліндричної фрези. На еквідистанті короткими вертикальними відрізками позначені відстані між рядками, тобто подача S_p на рядок за віссю Z. Після цього відбувається моделювання процесу формоутворення з виведенням результатів поточних розрахунків положень деталі 4 і інструменту 5 у анімаційному режимі в графічне вікно, що розташоване справа інтерфейсу.



a)



б)



в)

*Рис. 4. Створений модуль САМ системи:
а – інтерфейс модуля САМ системи з управлінням подачею
на рядок фрези; б – постійна подача на рядок фрези;
в – оброблена деталь*

Зліва графіків виводиться економія часу обробки при застосуванні постійної подачі на рядок та подачі розрахованою за наведеними вище алгоритмами. Наприклад, при радіусі фрези 30 мм та заданій шорсткості поверхні $R_z = 30$ мкм економія часу обробки сягає 51 %. Тобто можна стверджувати, що продуктивність фрезерування збільшиться вдвічі, при незмінній якості та точності обробки (рис. 4, б, в).

Після закінчення процесу активується кнопка «Зберегти», при натисканні на яку відкривається вікно діалогу для збереження розрахованих масивів CLDATA у відповідний текстовий файл.

За допомогою розробленої прикладної програми за новою схемою формоутворення в лабораторії навчально-тренінгового центру НТУУ «КПІ» – НААС на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі VF3 було проведено апробацію запропонованого способу. Заготовка 1 встановлена в шпиндель поворотного стола з ЧПК 2 і обробляється циліндричною фрезою 3 (рис. 5). За рахунок цього була реалізована схема формоутворення в полярній системі координат.

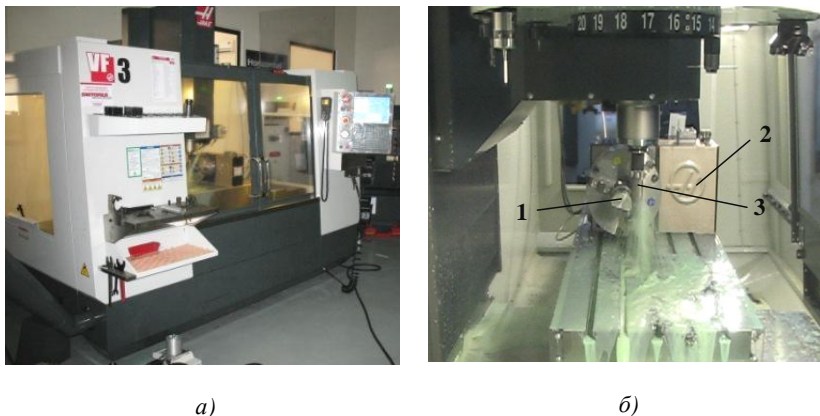


Рис. 5. Апробація способу формоутворення на вертикально-фрезерному верстаті VF3 з ЧПК HAAS (а)
і робоча зона при обробленні (б)

В результаті виконано чорнове (попереднє) оброблення 3D робочої поверхні ендопротеза колінного суглоба людини (рис. 4, в) та виміряні параметри шорсткості R_a та R_z його поверхні за методикою, викладеною в [6]. Вимірювання проходило в 2-х напрямках паралельних осі ендопротеза, в 3-х місцях та повторювалось тричі в кожному місці і підтвердило адекватність розробленої математичної моделі формоутворення і відповідність спроектованої за допомогою створеного модуля САМ системи управляючої програми.

Висновки:

1. Створена методика розв'язання задач формоутворення за новою схемою фрезерування та алгоритми і відповідні процедури розробленого модуля САМ системи автоматичної підготовки управляючої програми верстата з ЧПК пройшли апробацію і довели свою адекватність та ефективність.
2. Розроблений модуль САМ системи може бути рекомендований для подальшого використання при виготовленні ендопротезів колінних суглобів людини, що мають іншу форму робочої поверхні.
3. За результатами роботи зроблено заявку на новий спосіб виготовлення ендопротезів колінних суглобів людини на фрезерному верстаті з ЧПК циліндричною фрезею.

Список використаної літератури:

1. Сайт фірми ANCA. Применення в медицині [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.anca.com>.
2. 5-ти координатний станок DMU 50 фірми DECKEL MAHO [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.stankoexim.ru/index.php>.
3. *Петраков Ю.В.* Нова концепція проектування 3D моделі ендопротеза суглоба людини / *Ю.В. Петраков, В.В. Писаренко, О.О. Розенберг* // Вісник ЖДТУ. –2009. – № 4 (51). – С. 73–79.
4. *Петраков Ю.В.* Пути розвитку інтегрованих САД/САМ систем в машиностроєнні / *Ю.В. Петраков* // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків, 2009. – Вип. 3. – С. 160–167.
5. *Кулик В.К.* Прогресивні процеси обробки фасонних поверхностей : монографія / *В.К. Кулик, Ю.В. Петраков, В.В. Йотов.* – К. : Техніка, 1987. – 187 с.
6. *Петраков Ю.В.* Визначення бездефектного режиму шліфування титанових сплавів / *Ю.В. Петраков, В.В. Писаренко* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Житомир, 2011. – № 10. – С. 285–296.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КП».

Наукові інтереси:

- управління процесами оброблення (лезвийна, абразивна тощо) деталей на верстатах з ЧПК;
- інтегровані САД/САМ системи.

ПИСАРЕНКО Василь Віталійович – аспірант кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КП».

Наукові інтереси:

- управління процесами обробки складних 3D поверхонь на верстатах з ЧПК, зокрема, ендопротеза колінного суглоба людини.

Стаття надійшла до редакції 21.02.2012

Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Формоутворення ендопротеза колінного суглоба людини циліндричною фрезою на фрезерному верстаті в ЧПК

Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Формообразование эндопротеза коленного сустава человека цилиндрической фрезой на фрезерном станке с ЧПУ

Petrakov Y.V., Pisarenko V.V. Forming prosthesis of human knee joint by cylindrical cutters on milling machine with CNC

УДК 621.923

Формообразование эндопротеза коленного сустава человека цилиндрической фрезой на фрезерном станке с ЧПУ / Ю.В. Петраков, В.В. Писаренко

Представлена математическая модель формообразования сложной 3-D поверхности искусственного коленного сустава человека цилиндрической фрезой на трех координатном фрезерном станке с ЧПУ и разработанный модуль САМ системы автоматической подготовки управляющих программ. Модуль автоматически решает задачу формообразования с учетом кинематической схемы, формы инструмента, необходимой шероховатости поверхности детали и генерирует файл управления для станка с ЧПУ.

УДК 621.923

Forming prosthesis of human knee joint by cylindrical cutters on milling machine with CNC / Y.V. Petrakov, V.V. Pisarenko Presented mathematical model of forming complicated 3-D surface of human knee joint by cylindrical cutter on the three coordinates milling machine with CNC and developed module of CAM system automatically preparation of NC data. Module automatically solved task of forming taking into account kinematical scheme, shape of tool, required roughness of surface of detail and generated NC data for the CNC machine.