

ПІДГОТОВКА ПРОГРАМИ ШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШТУЧНОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ

Петраков Ю.В., Писаренко В.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Факс: +38 (044) 4549529; E-mail: tm-mm1@kpi.ua

Анотація. В статті представлена математична модель формоутворення складної 3-D поверхні штучного колінного суглобу людини на три координатному шліфувальному верстаті з ЧПК та розроблений модуль САМ системи автоматичної підготовки програми. Модуль автоматично вирішує задачу формоутворення з урахуванням кінематичної схеми формоутворення, форми інструменту, необхідної шорсткості поверхні деталі і генерує файл CLDATA, включаючи холості рухи, траєкторія яких мінімізована за максимальними динамічними навантаженнями приводів верстату.

Ключові слова: САМ-системи, формоутворення 3D поверхонь, шліфування.

1. Вступ

Поверхня штучного колінного суглобу людини має складну форму (рис.1), індивідуальні розміри для кожного випадку, що обумовлює необхідність застосування верстатів з ЧПК для їх виготовлення. Проектування технологічної операції обробки 3-D поверхні на верстаті з ЧПК передбачає вирішення наступних основних задач:

- ✓ вибір схеми формоутворення, верстату та інструменту, що її реалізують;
- ✓ створення керуючої програми;
- ✓ призначення режиму різання.



Рис.1. Штучний суглоб

Проведений аналіз схем формоутворення для обробки поверхні штучного колінного суглобу [1, 2] довів, що найбільш раціональною схемою є три координатна обробка на верстатах з ЧПУ, залежно від матеріалу протеза фрезеруванням сферичними фрезами або шліфуванням кругами, інструментальна поверхня яких має форму тора.

Для автоматизації технологічної підготовки виробництва, а саме, проектування програм для верстату з ЧПК застосовують САМ системи, які присутні на ринку високих технологій. Проте, аналіз САМ систем відомих фірм (Pro/Engineer, Cimatron, Delcam тощо) показав, що вони мають універсальний характер і не враховують специфічні особливості 3-D форми деталі, спеціальної кінематики формоутворювальних координат верстата і саме головне - не здатні призначати оптимальний режим різання [3].

Тому актуальною залишається проблема автоматизації проектування керуючих програм для операції шліфування людини.

2. Основний зміст і результати роботи

Таким чином, для формоутворення 3-D поверхні штучного колінного суглобу шліфуванням необхідно застосовувати схему формоутворення, що представлена на рис.2, а і яку можна реалізувати на шліфувальному верстаті з ЧПК фірми Studer (рис.2, б). Деталь 1 встановлюється в шпиндель верстату – координата С, шліфувальному кругу 2 з вихідною інструментальною поверхнею у формі тора надається рух різання V_k та формоутворюючі рухи за координатами Z і X. В напрямку координати X шліфувальний круг має переміщуватись для утворення відповідної форми поперечних перерізів деталі

синхронно з обертовою координатою C , а в напрямку координати Z – в поздовжньому напрямку.



Рис.2. Схема формоутворення (а) і шліфувальний верстат з ЧПК Studer (б)

Таким чином, для технологічної підготовки операції шліфування 3-D поверхні протеза на верстаті з ЧПУ необхідно вирішити наступні завдання:

- ✓ створити математичну модель формоутворення, що пов'язує геометричні параметри деталі, шліфувального круга в заданій схемі формоутворення;
- ✓ розрахувати необхідний крок переміщення за координатою Z , виходячи з заданої шорсткості поверхні;
- ✓ розрахувати оптимальні (за критерієм мінімуму максимальних динамічних навантажень приводів верстату) траєкторії переміщення на холостих рухах;
- ✓ створити модуль САМ системи автоматичного проектування формоутворюючих рухів.

Перша задача полягає у визначенні геометричних параметрів еквідистанти і вирішується з аналізу геометричних співвідношень схеми формоутворення (рис.3).

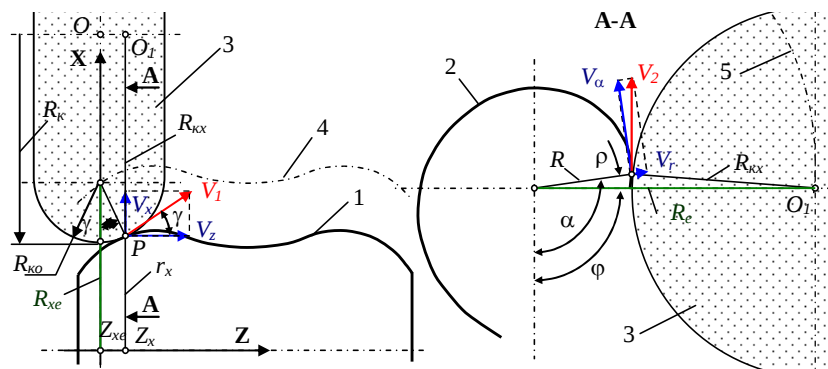


Рис.3. Схема формоутворення

Для утворення заданої 3-D поверхні, що на рис.3 представлена двома перерізами 1 і 2, шліфувальний круг 3 має рухатись за еквідистантою 4 (координата Z) і за еквідистантою 5 (координата X). Синхронізовані рухи за обома еквідистантами здійснюються за схемою обробки «по рядках» від координати C , що задає.

У відповідності до методики, розробленої на кафедрі технології машинобудування НТУУ «КПІ» [1, 4], вихідні дані геометричної моделі 3-D поверхні були трансформовані у цифрові масиви: $r_x = f(z_x)$, $R = f(\alpha)$, які відповідають обраній схемі формоутворення на верстаті. Завдяки такому підходу утворюються дискретні геометричні моде-

лі, які використовуються в подальших розрахунках для проектування програми формоутворюючих рухів.

Еквідистанта 4 визначається в Декартовій системі координат і розраховується за залежністю, що отримана з геометричних співвідношень рис.3:

$$\begin{cases} R_{xe} = r_x + R_{ko} \cos \gamma \\ Z_{xe} = Z_x - R_{ko} \sin \gamma \end{cases}, \quad (1)$$

де R_{ko} – радіус округлення шліфувального круга, 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 шліфувальний круг радіусу R_k контактує з профілем у певній точці, що визначає певний радіус круга в перетині А-А (рис.3):

$$R_{kx} = R_k - R_{ko} (1 - \cos \gamma), \quad (2)$$

Еквідистанта 5 визначається в полярній системі координат (дивись вид А-А на рис.3) і розраховується за залежністю, що також отримана з геометричних співвідношень схеми [5]:

$$\begin{cases} R_e = \sqrt{R^2 + R_{kx}^2 + 2RR_{kx} \cos \rho} \\ \varphi = \alpha - \arcsin(R_{kx} \sin \rho / R_e) \end{cases}, \quad (3)$$

де φ – полярний кут, $\rho = \arctan(V_r / V_\alpha)$, де $V_r = dR / d\alpha$, $V_\alpha = d\alpha / dt$.

Розраховані масиви (1), (2) мають ту ж саму структуру, що і первинні дані, але крок зміни є нерівномірним і може бути занадто великим для вирішення задач, що виникають при моделюванні процесу зрізання припуску. Тому був розроблений алгоритм інтерполяції цифрових масивів, математичне ядро якого представляє перетворення у сплайн-функції [1]. В результаті роботи алгоритму одержують сплайн, що дозволяє розрахувати потрібні масиви з наперед заданим рівномірним кроком зміни аргументу: координати Z_{xe} і полярного кута φ .

Необхідність вирішення другої задачі обумовлена тим, що детермінована складова шорсткості обробленої поверхні утворюється при перетині двох сусідніх положень шліфувального круга при зміні кривизни оброблюваної поверхні. Розв'язання такої задачі дозволить розрахувати крок зміни подачі «на рядок», що необхідно для формування програми управління формоутворенням.

На рис.4 представлено схему утворення гребінця, який визначатиме детерміновану складову параметру R_z шорсткості поверхні 1 при двох сусідніх положеннях шліфувального круга 2 з радіусом R_{ko} для випуклої поверхні з радіусом кривизни R_{kp} . Отже, детермінована складова шорсткості визначається довжиною відрізка BC на схемі.

З геометричних співвідношень схеми, оскільки кут β дорівнює половині дуги OO_1 , отримуємо формулу для розрахунку кроку подачі на рядок:

$$S_p = 2\beta (R_{ko} + R_{kp}). \quad (4)$$

Кут β визначається з геометричних співвідношень ΔOBO_k для отримання необхідної висоти R_z гребінця:

$$\beta = \arccos \left(\frac{(R_{kp} + R_{ko})^2 + (R_{kp} + R_z)^2 - R_{ko}^2}{2(R_{kp} + R_{ko})(R_{kp} + R_z)} \right). \quad (5)$$

Аналогічно визначається необхідний крок подачі на рядок і при обробленні увігнутих поверхонь, тільки у такому випадку у формулах (4) і (5) в дужках знак «+» змінюється на знак «-».

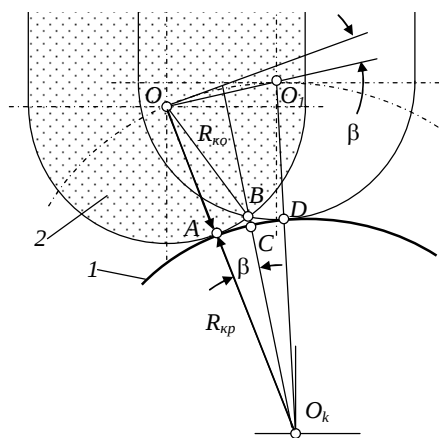


Рис.4. Схема визначення детермінованої складової шорсткості

Таким чином, для вирішення цієї задачі необхідно мати масив радіусів кривизни поверхні, що обробляється. Крім того, з формул (4) і (5) видно, що збільшення радіуса R_{ko} шліфувального круга приводить до зменшення шорсткості, а отже, надає можливість при такій же шорсткості збільшити подачу на рядок, що приведе до збільшення продуктивності. Однак, максимально допустимий радіус округлення шліфувального круга 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 [4, 5], які розраховують похідні від цифрового масиву як розділені різниці.

Розв'язання третьої задачі є обов'язковим для формування проміжного файлу управління CLDATA, оскільки він має містити всю траєкторію руху, як при формоутворенні, так і при холостому переміщенні. Крім того, оскільки процес шліфування відбувається з високими швидкостями формоутворення, може бути віднесений до процесів HSM, при визначенні траєкторій необхідно виходити з мінімізації динамічних навантажень на приводи верстату.

На рис.5,а представлений переріз оберненої схеми формоутворення перпендикулярно вісі С верстату. Виходячи з умов формоутворення, центр шліфувального круга 1 в оберненій схемі має рухатись за еквідистантою 2 до відповідного контуру 3 деталі. Для виконання наступного оберту (з переходом на наступний рядок) шліфувальний круг повинен переміститися з положення O_1 до положення O , причому в цей проміжок часу різання не відбувається, тобто здійснюється холостий рух.

Проектування траєкторій холостих рухів необхідно виконувати за методикою, що була розроблена в роботі [6]. Для адаптації методу до конкретної задачі формування траєкторій при шліфуванні поверхні протезу колінного суглобу була розроблена програма, інтерфейс якої представлений на рис.5, б. Точка O_1 траєкторії була прийнята за початок холостого руху, а точка O – за кінець. В результаті отримані траєкторії, що забезпечують максимальну плавність роботи верстату. Вони з'являються у віконці інтерфейсу при виконанні певної обчислювальної процедури: лінія 1 – переміщення, лінія 2 – швидкість, лінія 3 – прискорення.

Вирішення наведених вище задач дозволило створити модуль САМ системи автоматичного проектування проміжного файлу CLDATA управління формоутворенням при шліфуванні поверхні протезу колінного суглобу людини (рис.6).

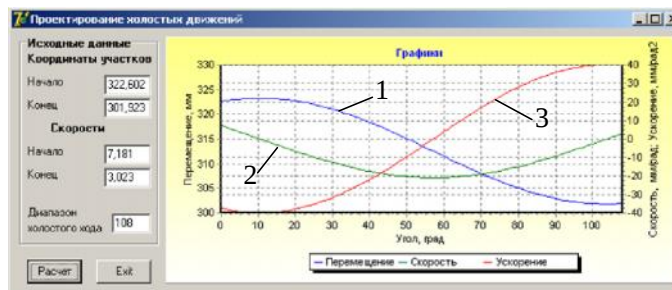
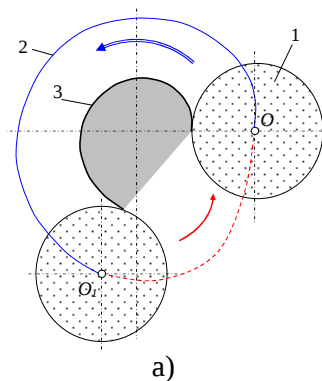


Рис.5. Схема утворення траєкторії (а) і інтерфейс програми розрахунку холостих траєкторій (б)

У віконця інтерфейсу вводяться вихідні дані відповідних геометричних параметрів, а цифровий масив, що представляє 3-D поверхню, завантажується з текстового файлу, структура якого наведена в роботі [2]. Підготовча процедура програми, яка виконується при натисканні кнопки «Процесс», 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 округлення шліфувального круга умовам формоутворення і у разі порушення умови відповідне повідомлення виводиться на екран монітора.

У віконці інтерфейсу з написом «Графики» представлені: лінія 1 - повздовжній профіль перетину деталі, лінія 2 – графік кривизни профілю, лінія 3 – еквідистанта центру округлення шліфувального круга. 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 в анімаційному режимі в графічне вікно, що розташоване справа інтерфейсу.

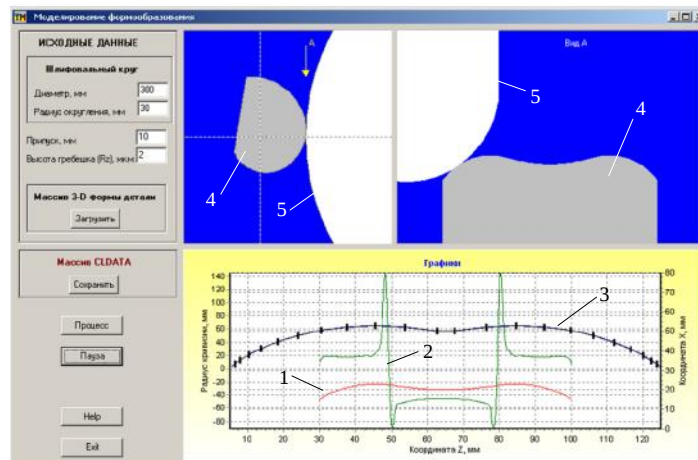


Рис.6. Інтерфейс модуля САМ системи

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

Висновки

1. При проектуванні формують траєкторії визначений перелік і послідовність завдань, що мають вирішуватись.
2. Створена методика розв'язання таких завдань, орієнтована на проектування формують траєкторії оброблення 3-D поверхонь.
3. Розроблені алгоритми і відповідні процедури створеного модуля САМ системи автоматичної підготовки проміжного файлу управління.
4. Розроблений модуль є основою для подальшого застосування при вирішенні завдань управління процесом різання (автоматичне призначення глибини, подачі тощо) при моделюванні процесу оброблення не тільки шліфуванням, а й фрезеруванням.

Список літератури: 1. Method of generation grinding path from a computer model for controlling a numerically controlled grinder / Патент США №5677855 від 14.10.1997, 21с. 2. Петраков Ю.В., Писаренко В.В., Розенберг О.О. Нова концепція проектування 3-D моделі ендопротезу суглобу людини // Вісник Житомирського державного технологічного університету №51, 2009, С.85-. 3. Петраков Ю.В. Пути развития интегрированных САД/САМ систем в машиностроении / Сучасні технології в машинобудуванні. Вип.3, ХНТУ «ХПИ», Харків, 2009.-С.160-167. 4. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / УкрНДІАТ, Київ, 2004.-384с. 5. Кулик В.К., Петраков Ю.В., Иотов В.В. Прогрессивные процессы обработки фасонных поверхностей (монография) / Изд. «Техника», Киев, 1987, 187с. 6. Петраков Ю.В. Урахування динамічних характеристик формують рухів при проектуванні програми управління для верстатів з ЧПУ / Вісник Житомирського технологічного університету, Випуск 5, том 2, Житомир, 2007. –с.142-150.

Надійшла до редколегії 18.05.2010 р.

PREPARATION OF PROGRAM GRINDING A MACHINE-TOOL CNC FOR MACHINING OF ARTIFICIAL JOINT OF MAN

Petrakov Y.V., Pysarenko V.V. (NTUU "KPI", Kiev, Ukraine)

Annotation. In the article the mathematical model of forming of 3-D surface of artificial knee-joint of man is presented on three co-ordinate grinding machine-tool with CNC and the module of the system of automatic preparation of the program is developed. The module automatically decides the task of forming taking into account the kinematics chart of machining, form of the grinding wheel, to the necessary roughness of detail surface and generates the file of CLDATA, including single motions the trajectory of which is minimized on the maximal dynamic loadings of servo drive of machine-tool.

Keywords: CAM-system, machining of 3D surfaces, grinding.

ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО СУСТАВА ЧЕЛОВЕКА

Петраков Ю.В., Писаренко В.В. (НТУУ "КПИ", Киев, Украина)

Аннотация. В статье представлена математическая модель формообразования сложной 3-D поверхности искусственного коленного сустава человека на трех координатном шлифовальном станке с ЧПУ и разработан модуль САМ системы автоматической подготовки программы. Модуль автоматически решает задачу формообразования с учетом кинематической схемы формообразования, формы инструмента, необходимой шероховатости поверхности детали и генерирует файл CLDATA, включая холостые движения, траектория которых минимизирована по максимальным динамическим нагрузкам поводов станка.

Ключевые слова: САМ-системы, формообразование 3D поверхностей, шлифование.