

деталей здійснюється за рахунок компенсації систематичних похибок, що, в деяких випадках, дозволяє виключити з технологічного процесу операції фінішної обробки деталей, замінюючи їх тонким точінням з мікрорегулюванням різця.

Введення розмірного регулювання зменшує верстатні витрати часу за рахунок: - зменшення штучного часу обробки деталей; - зменшення витрат на заробітну платню введенням багатостанкового обслуговування та зниження вимог до кваліфікації персоналу; - зменшення витрат на різальний інструмент за рахунок повного використання періоду його стійкості; - зменшення витрат на контрольні операції, так як контроль здійснюється в процесі обробки; - зменшення витрат на брак за рахунок зниження вірогідності його виникнення.

Список літератури

1. Пуш В.Э. Малые перемещения в станках.- М.: Машгиз, 1961.- 124с.
2. Электрогидравлические устройства малых перемещений//ЭИ. Автоматические линии и металлорежущие станки. М.: ВИНТИ, 1980. №42. С.6-11.-Пер.ст. Stollberg H., Tensler V. Elektrohydraulische feinpositioniereinrichtung // Maschinenbautechn.-1980, 29, N 4, - с. 162 - 164.
3. Повышение производительности и надежности токарно-револьверных станков / В.Н.Шишкин, В.Е.Лоев, Л.И.Новицкий, А.В.Шевченко. - Киев: Техніка, 1986. - 95с.
4. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1982.- 320 с.
5. Драгун А.П. Вспомогательный инструмент для токарно-револьверных станков.-Л.:Машиностроение.Ленингр.отд-ние,1979.-192с.
6. Резцедержатель: А.с. 1399001 СССР: МКИ В23В 29/034 / А.В.Шевченко, А.В.Кухарец, А.И.Торопов, В.И.Рудов.- Оpub. 30.05.88, Бюл. N 20.- 4с.
7. Різцетримач: Декларційний патент України № 4186: МПК 7 В23В 29/03/ О.В.Шевченко, Д.О.Шевченко, В.А.Ріпка.- Оpub. 17.01.2005, Бюл. N 1.- 3с.
8. Резцедержатель: А.с. 1284719 СССР: МКИ В23В 29/03 / А.В.Шевченко, В.Н.Шишкин, В.Е.Лоев.- Оpub. 23.01.87, Бюл. N 3.- 3с.
9. Резцедержатель: А.с. 1399000 СССР: МКИ В23В 29/034 / А.В.Шевченко, А.В.Кухарец.- Оpub. 30.05.88, Бюл. N 20.- 3с.

УДК.621.923

Ю.В. Петраков, д-р.техн.наук, проф., В.В. Писаренко, магістр
НТУ України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ПІДГОТОВКА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

В статье представлен новый подход к подготовке исходных данных 3-D модели для последующего использования в САМ-системе автоматизированного программирования станка с ЧПУ на примере искусственного сустава человека. Доказано, что геометрическая модель сустава должен учитывать систему формообразующих координат станка, которая минимизирована по количеству управляемых осей. Разработан метод и прикладная программа определения оптимальных координат технологической оси при обработке на станке с ЧПУ.

In the article the new method is presented near preparation of basic data of 3-D model for the subsequent use in CAM-system of the automated programming of machine-tool with CNC on the example of artificial joint of man. It is well-proven that geometrical model of joint must take into account the system of shape-generating co-ordinates of machine-tool, which is minimized on the amount of the guided axes. A method and application program of determination of optimum co-ordinates of technological ax is developed at machining on a machine-tool with CNC.

Актуальність. За останні роки, все більше людей потребують заміни власних колінних суглобів на штучні. Тільки в США за 2007 рік було зроблено 600 тис. таких операцій. Колінний суглоб кожної людини має сугубо індивідуальну геометричну форму, що обумовлює значні труднощі при його моделюванні та виготовленні.

Специфічна складна геометрична форма суглоба, вимагає застосування сучасних верстатів з ЧПУ і спеціалізованих САМ-систем автоматичної підготовки управляючої програми. При технологічній підготовці виробництва будь-якої складної 3-D поверхні перший крок пов'язаний з вибором кінематичної схеми формоутворення [1]. На цьому етапі треба приймати до уваги не тільки форму деталі, а й вид оброблення різанням (лезова чи абразивна обробка), що залежить від матеріалу деталі і технічних вимог.

Огляд технологій, які застосовуються для виготовлення ендопротезів, доводить, що наразі відсутні усталені рішення відносно формоутворення подібних деталей на верстатах з ЧПК. Для їх виготовлення застосовують

абразивну обробку з досить простою кінематикою [1], а деякі провідні фірми використовують навіть 5-координатні верстати з ЧПК (рис.1).



Рис. 1. Обробка штучного суглоба на 5-ти координатному верстаті з ЧПК DMU 50 фірми DECKEL MAHO

Для технологічної підготовки виробництва складних поверхонь і автоматизації програмування для верстата з ЧПК широко використовують САМ-системи. Проте відомі САМ-системи 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 [1].

Постановка задачі. Одним з головних чинників, що істотно впливає на схему формоутворення і необхідну компоновку осей верстата є матеріал, з якого буде виготовлений штучний суглоб людини, оскільки переважно від нього залежить вид обробки - лезова або абразивна.

При сучасному розвитку технологій протезування найбільш поширеними матеріалами, що використовуються в цій царині є сплави на основі титану, які доцільніше обробляти лезовими видами, наприклад, високошвидкісним фрезеруванням сферичними фрезами. Проте, як показує практика, титанові сплави не є ідеальними матеріалами для протезування штучних суглобів, з погляду сумісності з організмом людини. На сьогоднішній день в інституті надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України розроблена нова технологія вирощування штучного кристала сапфіра для виготовлення протезів, який імовірно має кращі медичні характеристики. У такому разі для виготовлення слід застосовувати абразивну обробку.

Таким чином, для технологічної підготовки виробництва протезів на верстаті з ЧПК необхідно вибрати форму інструменту, схему формоутворення для кожного виду обробки і розробити інтегровану CAD/CAM систему автоматизованого програмування, яка вирішує автоматично генерую управліючу програму – траєкторії формоутворюючих рухів і режим різання. На першому етапі вирішення конструкторських питань в САД системі повинна бути проведена підготовка початкових даних 3-D моделі складної поверхні протеза до подальшого використання в САМ системі.

Розв'язання задачі. Проведений аналіз показує, що при виготовленні штучних суглобів з титанових сплавів перевага залишається за лезовими видами обробки, тоді як при виготовленні суглобів з сапфіра доцільно використовувати абразивну обробку. Таким чином, для лезової обробки складної поверхні штучного суглоба 1 рекомендується використовувати фрезу 2 з сферичною початковою інструментальною поверхнею і відповідну схему формоутворення (рис.2, а).

Фрезі 2 додається рух різання V_ϕ навколо вертикальної осі, а формоутворення здійснюється по трьом керованим координатам: обертальна C і поступальні Z і X . В результаті центр сферичної інструментальної поверхні фрези рухається за еквідистантою 3 до контуру деталі. Причому синхронний рух по координатах C і X має забезпечувати формоутворення в поперечному напрямі, а рух S_p по координаті Z - розповсюдження процесу різання на всю поверхню деталі (по рядках).

Компоновку верстату для абразивної обробки відрізняє тільки розташування осі головного руху V_k різання шліфувального круга 2, яка повинна бути паралельна осі обертання заготовки 1 (рис.2, б). Початкова інструментальна поверхня має форму тора, а формоутворювальний рух здійснюється за еквідистантою 3 до профілю деталі центру округлення периферії шліфувального круга.

Геометрична модель 3-D поверхні протеза представлена конструктором у вигляді тривимірного цифрового масиву, який є координатами точок в Декартовій системі координат (рис.3). Проте, спираючись на положення №1, яке було обґрунтоване в роботі [2], для автоматизації підготовки управляючих програм оптимальної схеми формоутворення, модель деталі, створена в САД-системі, має проектуватися з урахуванням кінематичної схеми верстата з ЧПК, а проміжний файл управління створюється автоматично при моделюванні процесу на ПЗВМ (DNC).

Відповідно до методики, розробленої на кафедрі технології машинобудування НТУУ «КПІ», початкові дані геометричної моделі 3-D поверхні повинні бути трансформовані в цифрові масиви, які б відповідали вибраній схемі формоутворення на верстаті. Завдяки такому підходу формуються дискретні геометричні моделі, які будуть використані в САМ системі не тільки для проектування програми формоутворювальних рухів, але і для моделювання процесу зрізання припуску. В результаті з'являється можливість оцінювати процес різання по кількісних характеристиках і проектувати комплексне управління процесом з метою стабілізації умов різання по траєкторіях обробки, оптимізації всього процесу різання, а також корекції формоутворювальної траєкторії.

Оскільки сплайн на кожному з відрізків визначається чотирма коефіцієнтами, а на всій ділянці $4(n-1)$ коефіцієнтами, то задаються два додаткові співвідношення у вигляді кінцевих умов, по яких виконується «зшивання» сплайнів в межах відрізків. Застосовують дві кінцеві умови:

$$\begin{aligned} 1). \quad S_3'(f, a) &= f'(a); & S_3'(f, b) &= f'(b); \\ 2). \quad S_3''(f, a) &= f''(a); & S_3''(f, b) &= f''(b) \end{aligned} \quad (3)$$

Кінцеві умови 1. Сплайн розраховується за залежностями:

$$S_3(\alpha) = r_i + (\alpha - \alpha_i) [\dot{r}_i + t(B + tA)], \quad (4)$$

де $t = (\alpha - \alpha_i) / (\alpha_{i+1} - \alpha_i)$; $A = -2U + \dot{y}_i + \dot{y}_{i+1}$; $B = -A + U - \dot{y}_i$; U – розділена різниця першого порядку.

Кінцеві умови 2. Сплайн розраховується за залежностями:

$$S_3(\alpha) = r_i \phi_1 + r_{i+1} \phi_2 + (\alpha_{i+1} - \alpha_i)(m_i \phi_3 + m_{i+1} \phi_4), \quad (5)$$

де величини, що визначають значення похідних у вузлах сітки, розраховуються за залежностями:

$$m_i = \dot{y}_i - V \cdot \ddot{y}_i / 3 - V \cdot \ddot{y}_{i+1} / 6; \quad m_{i+1} = \dot{y}_i + V \cdot \ddot{y}_i / 6 + V \cdot \ddot{y}_{i+1} / 3;$$

де $V = x_{i+1} - x_i$. Функції $\phi_1 - \phi_4$ визначають за формулами:

$$\phi_1 = (1 - U^2) \cdot (1 + 2U); \quad \phi_2 = U^2 (3 - 2U);$$

$$\phi_3 = U(1 - U)^2; \quad \phi_4 = -U^2(1 - U);$$

де $U = (\alpha - \alpha_i) / (\alpha_{i+1} - \alpha_i)$.

В результаті роботи алгоритму отримують сплайн, який представляє задану криву в полярній системі координат із заданим рівномірним кроком зміни полярного кута.

Не менш важливим завданням є визначення оптимального положення технологічної вісі деталі, яка при

вибраній схемі формоутворення співпадатиме з віссю C верстата (дивись рис.2). Відомо [3], що варіювання координат технологічної осі дає можливість зменшити діапазон нерівномірності умов різання на різних ділянках поверхні, підвищити точність обробки. Завдання визначення оптимального положення технологічної осі може бути сформульована таким чином: знайти таке положення осі, коли максимальний діапазон зміни кута γ тиску в кінематичній парі інструмент - деталь буде мінімальним. Отже, таке завдання відноситься до класу мінімакських задач, яку при $R_x = 0$ зручно представити так:

$$\max_{x, y, R_x=0} (\gamma_{\max} - \gamma_{\min}) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Кут тиску в такому випадку визначається за формулою:

$$\gamma_i = \arctan \left(\frac{dr_i / d\alpha_i}{r_i} \right) \quad (7)$$

Алгоритм розв'язання задачі оптимізації побудований за схемою пошуку, аналогічною симплекс-методу, тобто перебором величин координат x і y в заздалегідь визначеній області для кожного перетину деталі. Спочатку

організується рух з певним кроком за координатою x при фіксованій координаті y і визначається її оптимальна величина, а потім змінюється координата y і цикл повторюється по всій, визначеною раніше, області. Далі вибирається таке поєднання координат x і y , яке забезпечує досягнення умови (6).

Моделювання. Для розв'язання поставлених задач була розроблена прикладна програма, головний інтерфейс якої представлений на рис.5.

Загрузка вихідних даних, що представляють 3-D поверхню в Декартовій системі координат виконується з текстового файлу при натисканні кнопки 1. При натисканні кнопки «Побудувати перетини» виконуються процедури формування тривимірних цифрових масивів, що представляють 3-D поверхню в полярній системі координат у відповідності до обраної схеми формоутворення. Розраховані перетини представляються в графічному вікні у вигляді родини ліній 2. Для визначення кутів тиску необхідно натиснути кнопку «Кути тиску» і встановити у вікні 3

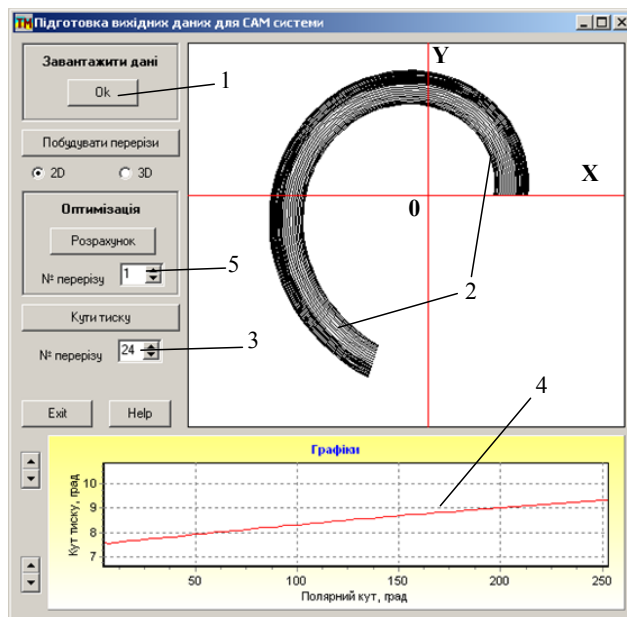


Рис. 5. Головний інтерфейс програми підготовки

номер перетину. Графіки кутів тиску в функції полярної координати з'являються на інтерфейсі (лінія 4), який дозволяє виконувати збільшення масштабу для точного визначення величини кута тиску в будь-якому місті контуру. Такі розрахунки виконуються при суміщенні конструкторської осі (точка 0 на рис.5) з технологічною віссю (вісь С на рис.2).

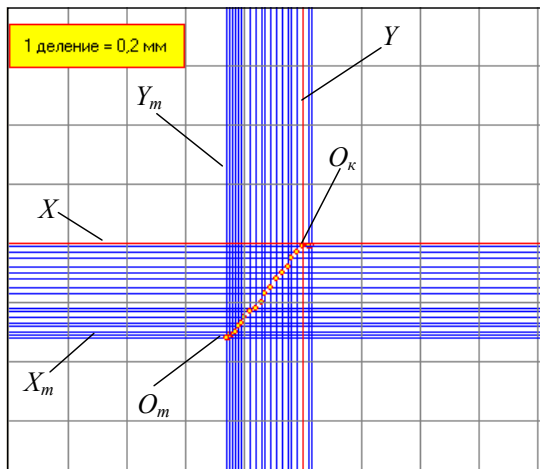


Рис. 6. Пошук оптимального положення технологічної осі

позначений лінією 1 на 3-D зображенні поверхні, а графіки кутів тиску при обробці навколо конструкторської осі - лінією 2, при обробці навколо технологічної осі - лінією 3. Діапазон зміни кута тиску $\delta\gamma$ зменшений більш ніж в 4 рази з $\delta\gamma_1=1,8^\circ$ до $\delta\gamma_2=0,4^\circ$.

Зменшення діапазону зміни кута тиску приводить до зменшення помилки формоутворення при зміні діаметру шліфувального круга унаслідок його правки. При цьому з'являється можливість завжди використовувати одну програму, що управляє, не залежно від фактичного діаметру шліфувального круга, а компенсацію зміни його діаметру здійснювати шляхом корекції розміру інструменту на верстаті з ЧПУ.

Висновки

1. Обробку протезів колінних суглобів доцільно виконувати на три координатних верстатах з ЧПУ залежно від матеріалу протеза фрезеруванням сферичними фрезами або шліфуванням кругами, інструментальна поверхня яких має форму тора.
2. Для підготовки програм, що управляють, необхідно представити початкову 3-D модель у вигляді тривимірного цифрового масиву, розрахованого в полярній системі координат.
3. Для інтерполяції геометричної моделі доцільно використовувати Ермітові кубічні сплайни, параметри яких визначаються по розробленій методиці.
4. При підготовці початкових даних геометричної моделі їх формування необхідно здійснювати з урахуванням оптимальної технологічної осі, що дозволяє спростити управління процесом формоутворення і зменшити помилку при зміні діаметру шліфувального круга унаслідок правок.

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. Пути развития интегрированных CAD/CAM систем в машиностроении / Сучасні технології в машинобудуванні. Вип.3, ХНТУ «ХПИ», Харків, 2009.-С.160-167.
3. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / УкрНДІАТ, Київ, 2004.-384с.
4. Кулик В.К., Петраков Ю.В., Йотов В.В. Прогрессивные процессы обработки фасонных поверхностей (монография) / Изд. «Техника», Киев, 1987, 187с.

Для пошуку оптимального положення технологічної осі, у відповідності зі сформульованою вище задачею, необхідно натиснути кнопку «Розрахунок» у вікні «Оптимізація». В графічному вікні інтерфейсу ілюструється знайдені рішення для кожного перетину, номер якого встановлений у вікні 5 (дивись рис.5). Положення конструкторської осі визначається перетином осей X і Y, а положення оптимальної технологічної осі для кожного перетину – перехрестям осей X_m і Y_m . На рис.6 представлені результати пошуку осі O_m від перетину №1 до перетину №24, напрям пошуку від O_k до O_m .

Створена прикладна програма дозволяє оцінити ефективність оптимізації за графіками зміни кута тиску при обробці деталі на верстаті з ЧПК, коли ось С верстата (дивись рис.3) співпадає з конструкторською віссю і коли - з оптимальною технологічною віссю.

На рис.7 представлений стан головного інтерфейсу програми при оцінці результатів оптимізації для 24-го перетину 3-D поверхні деталі. Цей перетин

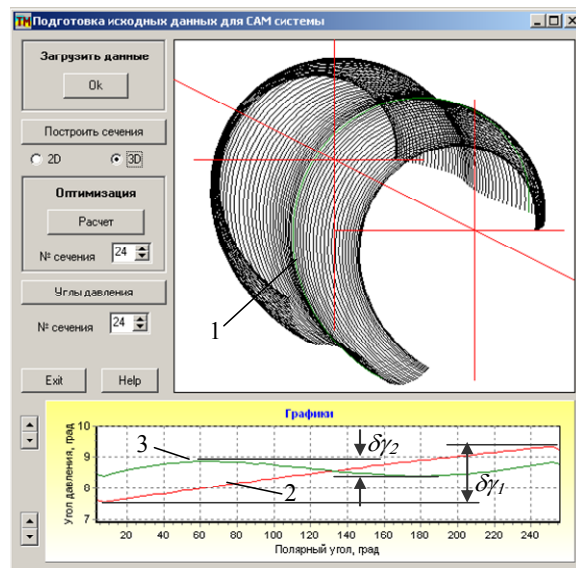


Рис. 7. Результаты оптимізації