

THUẬT TOÁN SINH ĐƯỜNG DỤNG CỤ GIA CÔNG TINH BỀ MẶT PHỨC TẠP BẰNG DAO PHAY NGÓN ĐẦU XUYẾN TRÊN MÁY PHAY CNC 5 TRỤC

THE ALGORITHM TO DIRECTLY GENERATE TOOL PATH AND TOOL ORIENTATION WITH RADIUSED END MILLING CUTTER WHEN MACHINING SCULPTURED SURFACES WITH FIVE- AXIS MACHINE TOOL

Nguyễn Hồng Thái⁽¹⁾, Lê Hiếu Giang⁽²⁾, Nguyễn Văn Hưng⁽³⁾

⁽¹⁾Trường Đại Học Bách khoa Hà Nội;

⁽²⁾ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TPHCM

⁽³⁾ Trường Cao đẳng nghề công nghệ cao Đồng An

TÓM TẮT

Trong quá trình gia công tinh đường dụng cụ dẫn điểm định vị dụng cụ quét lên bề mặt gia công theo một quy luật nhất định. Tuy nhiên, đối với đường dụng cụ gia công bề mặt phức tạp ngoài việc định vị vị trí dụng cụ còn định hướng trục dụng cụ tại từng thời điểm gia công để tạo vận tốc cắt. Hơn nữa, trong gia công tinh bề mặt phức tạp thường sử dụng dao phay ngón, ứng với mỗi loại dao phay ngón do đặc điểm hình học, điểm định vị của dụng cụ là khác nhau mà đường dụng cụ cho mỗi loại dụng cụ là khác nhau. Trong bài báo này với các thông số cho trước quy luật quét dụng cụ, thông số hình học của dụng cụ, vận tốc cắt tác giả đề xuất thuật toán sinh đường dụng cụ gia công bề mặt phức tạp đối với dao phay ngón đầu xuyên trên máy phay CNC 5 trục. Trên cơ sở thuật toán đề xuất tiến hành lập trình sinh đường dụng cụ gia công tinh bề mặt phức tạp cho dưới dạng tham số $S(u,v)$ trên máy phay CNC 5 trục bằng phần mềm Matlab.

Từ khóa. đường dụng cụ, gia công tinh bề mặt phức tạp.

ABSTRACT

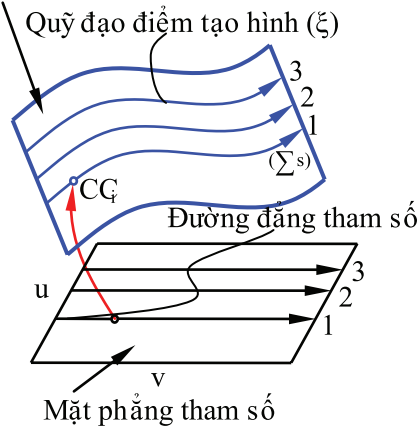
In the process of finishing machining CNC, tool paths lead tool position points to sweep over the machined surfaces based on a determined rule. However, with five-axis machine tool, besides the positional location of cutting tool, we have to locate its orientation for each cutting point. Furthermore, in finishing machining sculptured surfaces, we usually use some milling cutters such as radiused-end mill, with each type of these tools, the geometric parameters, cutting characteristics and tool paths are different. In this article, with the input parameters: form of tool path parallel, geometric parameters of cutting tool, cross feed and cutting velocity, the authors proposes the algorithm to directly generate tool path and tool orientation with radiused -end milling cutter when machining sculptured surfaces with five-axis machine tool. The algorithm is programmed and simulated by MATLAB with some surfaces prametric $S(u,v)$.

Keywords. tool paths, finishing machining sculptured surfaces.

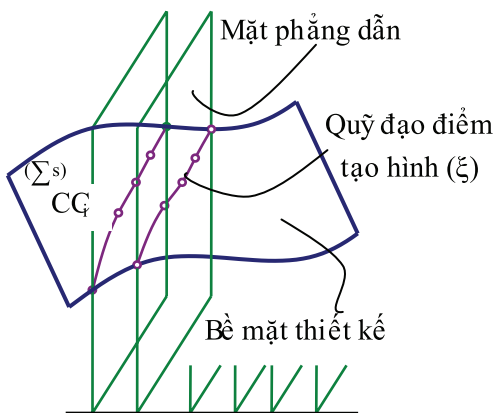
I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình gia công tinh các bề mặt phức tạp trên máy phay CNC5 trục, đường dụng cụ là quỹ đạo các điểm dẫn một điểm của dụng cụ theo một quy luật nhất định nào đó để thực hiện quá trình quét bao hình lên bề mặt gia công để tạo thành bề mặt gia công. Do đó, đường dụng cụ không những phụ thuộc vào hình dáng hình học của bề mặt gia công mà còn phụ thuộc vào các thông số hình học của dụng cụ và vận tốc cắt. Như vậy, đường dụng cụ trong gia công 5 trục rất phức tạp, ngoài việc định vị dụng cụ nó còn phải định hướng dụng cụ. Thông thường trong các phần mềm CAM thương mại đường dụng cụ thường được thiết kế theo phương pháp mặt phẳng dẫn, đường đẳng tham số, mặt phẳng tham chiếu [6,8] hình 1, cho đến gần đây phương pháp PAM, phương pháp mặt cầu tiếp xúc [4,5], phương pháp tiếp xúc đa điểm [3], phương pháp chiều cao nhấp nhô không đối [7].

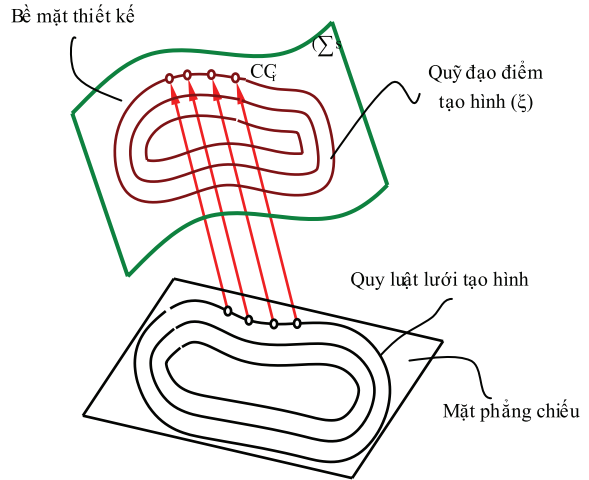
Bề mặt thiết kế



a) Phương pháp đẳng tham số



b) Phương pháp mặt phẳng song song



c) Phương pháp chiếu từ mặt phẳng bất kỳ

Hình 1. Ba phương pháp phổ biến sinh lưới tạo hình và đường dụng cụ trong gia công bề mặt phức tạp [8].

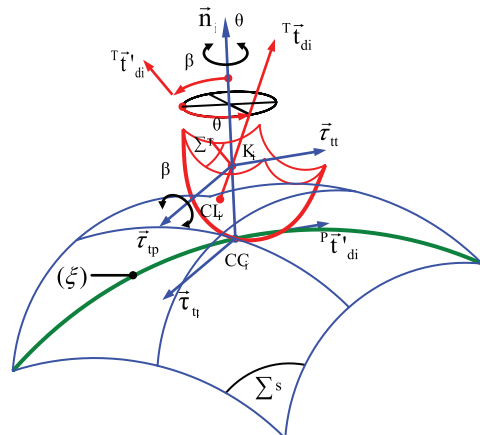
Trong bài báo này tác giả đưa ra một phương pháp mới được cải tiến từ phương pháp mặt phẳng chiếu hình 1c, chiếu quy luật quét dụng cụ từ mặt phẳng x_p, o_p, y_p của hệ tọa độ gốc phôi để tìm quy luật điểm tạo hình trên bề mặt, từ đó tính điểm định vị và véc tơ định hướng trục dụng cụ với dao đầu xuyên gia công bề mặt phức tạp.

II. TÍNH ĐỊNH HƯỚNG VÀ ĐỊNH VỊ DỤNG CỤ

1. Hướng véc tơ định vị trục dụng cụ trong hệ tọa độ điểm cắt

Trong trường hợp tổng quát hình 2 gọi:

+ $\sum T, \sum S$: lần lượt là bề mặt dụng cụ, bề mặt gia công cho dưới dạng tham số.



Hình 2. Định hướng dụng cụ trong hệ tọa độ điểm cắt CCI.

+ (ξ) là quỹ tích các điểm tạo hình CC_i trên $\sum S$, khi đó véc tơ tiếp tuyến đơn vị $\vec{\tau}_{tt}$ cho bởi phương trình:

$$\vec{\tau}_{tt} = \frac{\frac{d(\xi)}{dt}}{\left| \frac{d(\xi)}{dt} \right|} \quad (1)$$

+ Véc tơ pháp tuyến \vec{n} của $\sum S$ tại điểm $CC_i \hat{I}(\xi)$ được cho bởi phương trình:

$$\vec{n} = \frac{\frac{\partial S(u,v)}{\partial u} \wedge \frac{\partial S(u,v)}{\partial v}}{\left| \frac{\partial S(u,v)}{\partial u} \wedge \frac{\partial S(u,v)}{\partial v} \right|} \quad (2)$$

Gọi K là tâm xoay định hướng dụng cụ trong hệ tọa độ điểm cắt, khi đó K luôn nằm trên phương pháp tuyến \vec{n} .

+ Véc tơ trùng pháp tuyến $\vec{\tau}_{tp}$ hợp với \vec{n} , $\vec{\tau}_{tt}$ để tạo thành hệ tọa độ điểm tạo hình K_i , τ_{tp} τ_{tt} n được định nghĩa bởi:

$$\vec{\tau}_{tp} = \vec{\tau}_{tt} \wedge \vec{n} \quad (3)$$



Hình 3. Dao phay ngón đầu xuyên.

+ 1CL là điểm định vị trên dụng cụ hình 3, khi đó 1CL luôn nằm trên đường tâm trục dụng cụ và được định hướng bởi ${}^1t_{di}$.

Như vậy, véc tơ định hướng của trục dụng cụ trong hệ tọa độ điểm tạo hình CC_i τ_{tp} τ_{tt} n được viết dưới dạng đại số:

$${}^{CC}t_d = \underline{\chi}(\theta, \beta) \cdot {}^T t_d = \begin{bmatrix} \sin \theta \cdot \sin \beta \\ -\cos \theta \cdot \sin \beta \\ \cos \beta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Trong đó:

$$\underline{\chi}(\beta, \theta) = \underline{R}(\tau_{tp}, \theta) \cdot \underline{R}(n, \beta) \quad (5)$$

Với:

$$\underline{R}(\tau_{tp}, \beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{R}(n, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^T t_d = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]^T$$

2. Môi quan hệ của hướng trục dụng cụ trong hệ tọa độ phôi

Nếu gọi: ${}^P t_d$ là véc tơ đơn vị hướng của trục dụng cụ trong hệ tọa độ phôi khi đó ta có:

$${}^P t_d = {}^P M_{CC} \cdot {}^{CC} t_d \quad (6)$$

Như vậy, ${}^{CC} M_p$ là ma trận cosin chỉ phương giữa hệ tọa độ điểm tạo hình K_i t_{tp} t_{tt} và hệ tọa độ phôi $O_p x_p y_p z_p$, ma trận ${}^P M_{CC}$ được định nghĩa như sau:

$${}^P M_{CC} = \begin{bmatrix} \tau_{tpx} & \tau_{ttx} & n_x & 0 \\ \tau_{tpy} & \tau_{tty} & n_y & 0 \\ \tau_{tpz} & \tau_{ttz} & n_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Tính điểm định vị dụng cụ

Với điểm định vị TCL được định nghĩa như hình 1b ta có:

$$\vec{r}_{CL_i} = \vec{r}_{CC_i} + \vec{r}_{CC_iK} + \vec{r}_{K{}^TCL} \quad (7)$$

Viết phương trình (7) dưới dạng đại số ta có:

$$\begin{bmatrix} x_{CL_i} \\ y_{CL_i} \\ z_{CL_i} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{CC_i} \\ y_{CC_i} \\ z_{CC_i} \\ 1 \end{bmatrix} + \left[r + \left(\frac{D-2r}{2\sin(\beta)} \right) \right] \cdot \begin{bmatrix} n_{xi} \\ n_{yi} \\ n_{zi} \\ 0 \end{bmatrix} + {}^P M_{CC} \cdot \underline{\chi}(\beta, \theta) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\left(\frac{D}{2} - r \right) \cdot \cot g(\beta) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Trong đó:

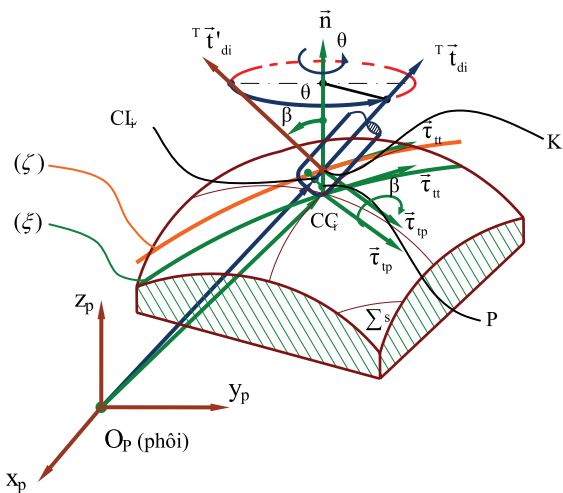
$$CC_iK = CC_iP + PK = r + \left(\frac{D-2r}{2\sin(\beta)} \right) ;$$

$$KCL_i = \left(\frac{D}{2} - r \right) \cdot \cot g(\beta)$$

Với :

β, θ : lần lượt là góc nghiêng, góc lật của dụng cụ.

D, r : lần lượt là đường kính dụng cụ, bán kính xuyên.



Hình 4. Đường dụng cụ gia công bề mặt phức tạp bằng dao phay ngón đầu xuyên.

Kết luận: Phương trình (6) và phương trình (8) cho phép định hướng trục dụng cụ và định vị dụng cụ đối với dao phay ngón đầu xuyên, khi biết các thông số hình học của dụng cụ và bề mặt gia công.

4. Thuật toán tính toán sinh đường dụng cụ

Bước 1: với thông số hình học của bề mặt và quy luật quét dụng cụ tạo ra quỹ đạo điểm tạo hình CC_i .

Bước 2: từ vận tốc cắt và thông số định hướng dụng cụ, tính định hướng trục dụng cụ ở mục 2.1.

Bước 3: trên cơ sở điểm CC_i (tính ở bước 1) và \vec{t}_{di} (bước 2) tính điểm định vị dụng cụ CL_i .

III. VÍ DỤ ÁP DỤNG

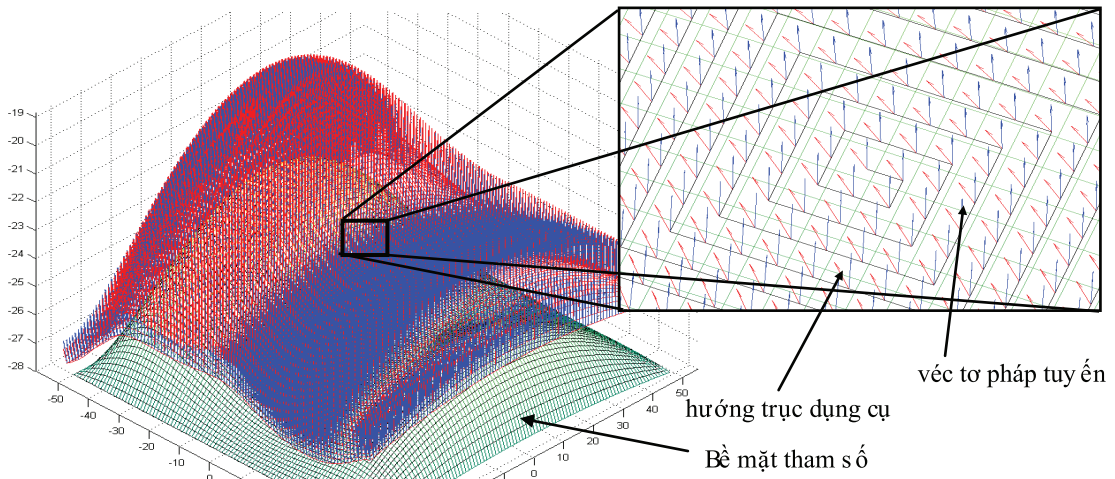
Áp dụng các thuật toán trên với bề mặt tham số $S(u, v)$ có phương trình:

$$s(u, v) = \begin{bmatrix} s_x(u, v) \\ s_y(u, v) \\ s_z(u, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100u - 50 \\ 100v - 50 \\ -80v(v-1)(3,55u - 14,8u^2 + 21,1u^3 - 9,9u^4) - 28 \end{bmatrix} \quad (9)$$

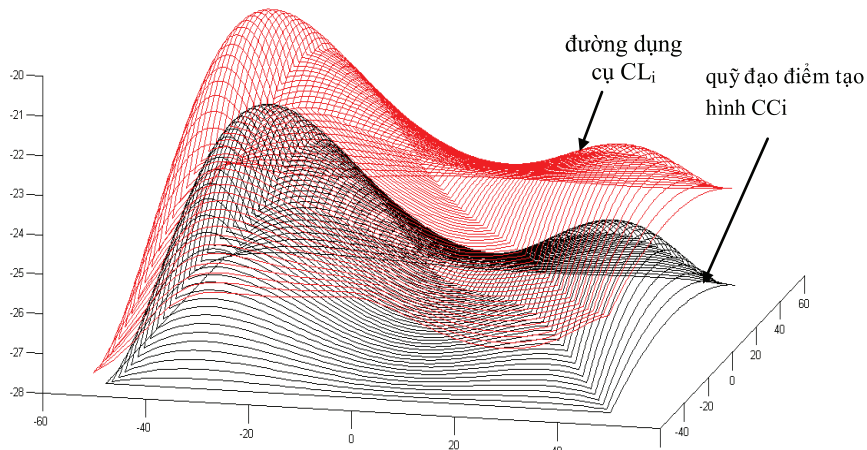
Với tham số $u, v \in [0 \div 1]$

Hình 5 véc tơ pháp tuyến và véc tơ định hướng trục dụng cụ trên đường dụng cụ.

Hình 6 là quỹ đạo điểm tạo hình CC_i và quỹ đạo điều khiển dụng cụ tạo hình CL_i . Kết quả được lưu dưới dạng file dữ liệu chuẩn APT, bảng 1 là kết quả trích ngang file cơ sở dữ liệu phục vụ quá trình gia công.



Hình 5. Hướng trục dụng cụ và véc tơ pháp tuyến bề mặt gia công đối với dao phay ngón đầu xuyên $D=6\text{mm}$, $r=2\text{mm}$, góc nghiêng $\beta=25^\circ$, góc lật $\alpha=5^\circ$.



Hình 6. Đường dụng cụ với dao phay ngón đầu xuyên $D=6\text{mm}$, $r=2\text{mm}$ góc nghiêng $\beta=25^\circ$, góc lật $\alpha=5^\circ$

Bảng 1: Trích ngang cơ sở dữ liệu tính đường dụng cụ với dao phay ngón đầu xuyên bề mặt tham số cho dưới dạng APT

X_{CL}	X_{CL}	X_{CL}	t_{dx}	t_{dy}	t_{dz}
...
47.351284	25.566837	-24.963389	0.340617	-0.277536	0.898306
47.349707	26.566202	-24.979918	0.340037	-0.277769	0.898454
47.348109	27.565567	-24.997092	0.339450	-0.278001	0.898604
47.346491	28.564933	-25.014911	0.338854	-0.278234	0.898757
47.344852	29.564298	-25.033373	0.338251	-0.278467	0.898912
47.343193	30.563664	-25.052480	0.337640	-0.278700	0.899069
47.341513	31.563030	-25.072232	0.337021	-0.278933	0.899229
47.339812	32.562396	-25.092628	0.336394	-0.279166	0.899392
47.338091	33.561762	-25.113669	0.335759	-0.279400	0.899556
...

IV. KẾT LUẬN

Các kết quả nghiên cứu trên góp phần bổ sung một cách tính mới đường dụng cụ với dao đầu xuyên trong các phần mềm CAM thương mại. Với phương pháp này đơn giản hơn, hiệu quả hơn phương pháp trục chính

PAM, phương pháp mặt cầu tiếp xúc. Kết quả bài báo là cơ sở dữ liệu phục vụ cho các bài tính tiếp theo như hiệu chỉnh hướng trục dụng cụ tránh va chạm, dịch chỉnh bước tiến ngang điều chỉnh chiều cao nhấp nhô để hoàn thiện hơn đường dụng cụ, đáp ứng các yêu cầu công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hồng Thái; Thuật toán sinh đường dụng cụ gia công tinh các bề mặt phức tạp bằng dao phay ngón đầu cầu trên máy phay CNC 5 trục; Hội nghị cơ học toàn quốc kỷ niệm 30 năm thành lập viện cơ học và Tạp chí cơ học, Hà nội, 2009, tr 91-98.
1. [2] Nguyễn Hồng Thái, Nguyễn Thùy Dương; Thuật toán sinh quỹ đạo điểm cắt gia công các bề mặt phức tạp trên máy phay CNC 5 trục; Tạp chí khoa học và Công nghệ sáu trường đại học 2009, 75 (2010), tr 106-111.
- [3] Andrew Warkentin, Fathy Ismail, Sanjeev Bedi; Intersection approach to multi-point machining of sculptured surfaces; Computer Aided Geometric Design, vol15, 1998, pp 567-584.
- [4] David Ronth, Sanjeev Bedi, Fathy Ismail, "Genertation of Swept Volume of Toroidal end mill in Five-axis Motion Using Spase curves" *Journal of Computer-Aided Design* , Volume 33, Issue 1, January 2001, pp 57-63.
- [5] P.Gray, S.Bedi, F.Ismail; Rolling ball method for 5- axis surface machining; Computer-Aided Desing; 2003, pp 247-357.
- [6] Ga'bor Erdos, Matthias Mu'ller, Paul Xirouchakis; Parametric tool correction algorithm for 5-axis machining; Advances in Engineering Software, 36, 2005, pp 654-663.
- [7] Christophe Tournier, Claire Lartigue ; 5-axis Iso-scallop Tool Paths along Parallel Planes ;Computer-Aided Design & Applications, 2008, pp 278-286.
- [8] Debananda Misra, V.SundararaJan, Paul K. Wright; Zig-Zag Tool Path Generation for Sculptured Surface Finishing; AMS/ DIMACS Volume on Computer-Aided Design and Manufacturing, 2004.
- [9] Hyung-Tae Kim, Hae-Jeong Yang, Sung-Chul Kim (2006), "Control Method for the Tool Path in spherical Surface Grinding and Polishing", *International journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 7, No.4, pp 51-56.