

ỨNG DỤNG NỘI SUY NURBS BẬC 3 XỬ LÝ TRON LÁNG ĐƯỜNG CHẠY DAO TỐC ĐỘ CAO

Đoàn Thị Minh Trinh, Dương Võ Nhị Anh

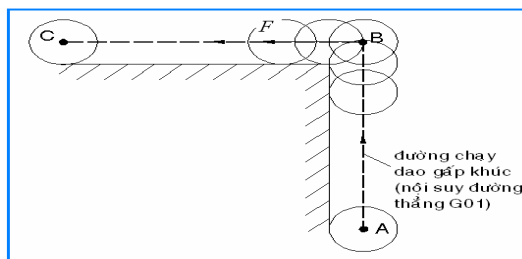
Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 09 tháng 12 năm 2006, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 21 tháng 07 năm 2006)

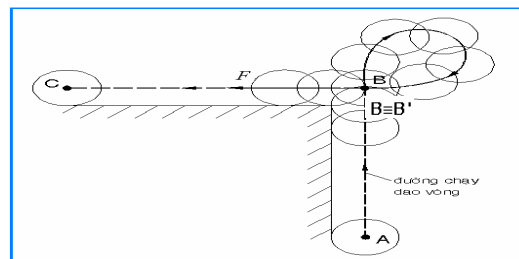
TÓM TẮT: Bài báo trình bày phương pháp xử lý tron láng đường chạy dao tốc độ cao (TĐC) nhằm nâng cao chất lượng và năng suất cho quá trình gia công. Phương pháp đề nghị ứng dụng mô hình B-Spline không đều hữu tỷ (Non-Uniform Rational B-Spline – NURBS) bậc 3 và điều kiện liên tục C^2 tạo đường chạy dao chuyển tiếp để kết nối hai đường chạy dao gia công không liên tục thành đường chạy dao tron láng. Phương pháp xử lý tron láng được áp dụng cho hai trường hợp: (i) đường chạy dao gia công biên dạng góc; (ii) đường chạy dao chuyển lớp cắt. Đường chạy dao chuyển tiếp được đề nghị dạng vòng cho trường hợp đường chạy dao gia công biên dạng góc và dạng đường xoắn tròn cho trường hợp đường chạy dao chuyển lớp cắt. Ứng dụng mô hình NURBS bậc 3 để nội suy đường chạy dao chuyển tiếp đáp ứng điều kiện liên tục C^2 tại điểm kết nối đường chạy dao. Do đó đảm bảo ổn định động lực học, chất lượng và năng suất cho quá trình gia công.

1. GIỚI THIỆU

Với chế độ gia công tốc độ cao (TĐC), tốc độ chạy dao (v) và tốc độ trục chính (n) đều rất lớn ($v > 100\text{m/phút}$; $n > 7000$ vòng/phút) [7]. Do đó, nếu hoạch định đường chạy dao dạng gấp khúc như đối với chế độ cắt truyền thống (Hình 1), thì phải giảm tốc độ di chuyển đến dừng hẳn hoặc gần như dừng hẳn khi dao tiếp cận vùng gia công biên dạng góc và chỉ có thể tăng tốc khi thoát ra khỏi vùng đổi hướng chạy dao [5]. Để hạn chế giảm tốc độ chạy dao, kỹ thuật lập trình NC cho gia công TĐC áp dụng giải pháp bổ sung đường chạy dao chuyển tiếp để kết nối hai đường chạy dao gia công không liên tục thành đường chạy dao tron láng (Hình 2) [2, 3]. Tuy nhiên các chức năng lập trình NC liên quan áp dụng nội suy thẳng (G01) và nội suy tròn (G02/G03) cho đường chạy dao chuyển tiếp, do đó không đảm bảo điều kiện liên tục C^2 cho đường chạy dao. Nói cách khác, không đảm bảo điều kiện liên tục tốc độ và gia tốc cho quá trình cắt. Kết quả, hạn chế chất lượng và hiệu suất gia công [1].



Hình 1. Phay biên dạng góc với đường chạy dao gấp khúc



Hình 2. Phay biên dạng góc với đường chạy dao chuyển tiếp dạng vòng

Bài báo đề nghị ứng dụng nội suy NURBS bậc 3 để tạo đường chạy dao chuyển tiếp cho hai trường hợp: (i) gia công biên dạng góc; (ii) chạy dao chuyển lớp cắt. Đường chạy dao chuyển tiếp được đề nghị dạng vòng cho trường hợp gia công biên dạng góc; dạng đường xoắn tròn cho trường hợp chạy dao chuyển lớp cắt. Mô hình NURBS bậc 3 đảm bảo điều kiện liên tục C^2 cho đường chạy dao - đảm bảo liên tục tốc độ và gia tốc cho quá trình cắt. Do đó đảm bảo ổn định động lực học, chất lượng và năng suất cho quá trình gia công.

2. NỘI SUY NURBS

Đường cong NURBS $C(u)$ bậc p được định nghĩa [4]:

$$C(u) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i} \sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i P_i \quad (1)$$

Trong đó: P_i ($0 \leq i \leq n$) - điểm điều khiển

w_i - trọng số

$N_{i,p}(u)$ - hàm cơ sở B-Spline

Hàm cơ sở B-Spline được xác định theo vectơ nút $U = \{u_0; u_1; \dots; u_m\}$, $m = n + p + 1$:

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+1} - u}{u_{i+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u) \quad (2)$$

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & u_i \leq u \leq u_{i+1} \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases}$$

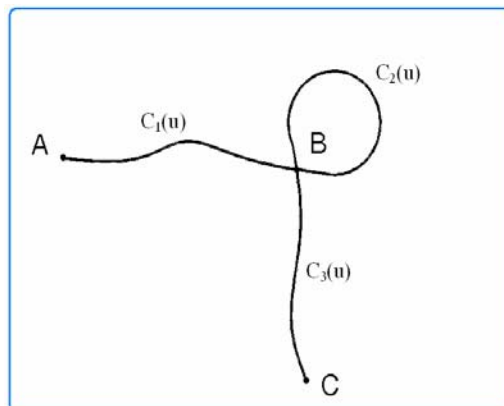
Như vậy, để ứng dụng nội suy NURBS xử lý trơn láng đường chạy dao, cần xác định phương trình đường chạy dao (1), tức là phải xác định các hàm cơ sở B-Spline (2) và các điểm điều khiển P_i tương ứng. Bài báo đề nghị *qui trình tính toán nội suy đường chạy dao* bao gồm 2 giai đoạn: (a) *Xác định tọa độ chạy dao - dữ liệu điểm nội suy đường chạy dao*; (b) *Tính toán nội suy đường chạy dao - xác định vectơ nút U ; hàm cơ sở B-Spline; và điểm điều khiển P_i cho đường chạy dao NURBS bậc 3.*

3. XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ CHẠY DAO

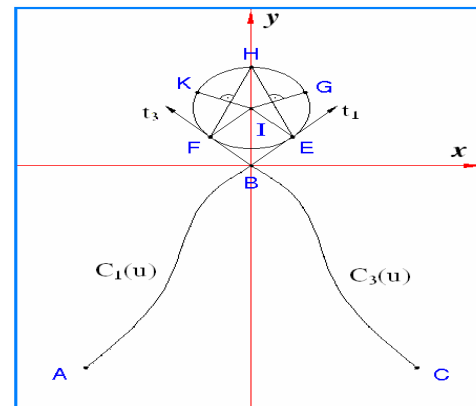
Tọa độ chạy dao cần được xác định cho 2 trường hợp: (i) gia công biên dạng góc; (ii) chạy dao chuyển lớp cắt.

3.1 Trường hợp gia công biên dạng góc

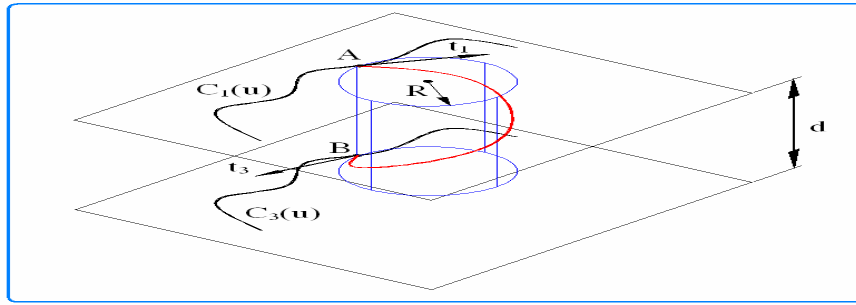
Xét trường hợp gia công biên dạng góc gồm 2 đường chạy dao gia công $C_1(u)$; $C_3(u)$ (Hình 3). Yêu cầu xử lý trơn láng đường chạy dao cho trường hợp này là bổ sung đường chạy dao chuyển tiếp dạng vòng $C_2(u)$ theo mô hình NURBS bậc 3 để kết nối 2 đường chạy dao gia công $C_1(u)$; $C_3(u)$ thành đường chạy dao trơn láng liên tục C^2 .



Hình 3. Xử lý trơn láng đường chạy dao gia công biên dạng góc



Hình 4. Xác định dữ liệu điểm nội suy cho đường chạy dao vòng $C_2(u)$



Hình 5. Xử lý tron láng đường chạy dao chuyển lớp cắt

Dữ liệu điểm nội suy cho đường cong $C_1(u)$ và $C_3(u)$ được xác định từ dữ liệu offset biên dạng chi tiết gia công. Dữ liệu điểm nội suy cho đường chạy dao vòng $C_2(u)$ được đề nghị là tọa độ các điểm B, E, G, H, K, F, B (Hình 4) được xác định theo điều kiện: đường tròn tâm I, bán kính R - đường tròn (I, R) tiếp xúc với hai tiếp tuyến t_1, t_3 của $C_1(u)$ và $C_3(u)$ tại E, F. Điểm G, K lần lượt là trung điểm của hai cung tròn EH, HF. Điểm H là giao điểm của đường thẳng BI với đường tròn (I, R).

3.2. Trường hợp chạy dao chuyển lớp cắt

Khi chuyển dao từ lớp cắt k đến lớp cắt $(k+1)$, dao được di chuyển theo 1 vòng xoắn (Hình 5). Dữ liệu điểm nội suy đường chạy dao chuyển lớp cắt $C_2(u)$ được đề nghị xác định theo phương trình đường xoắn tròn:

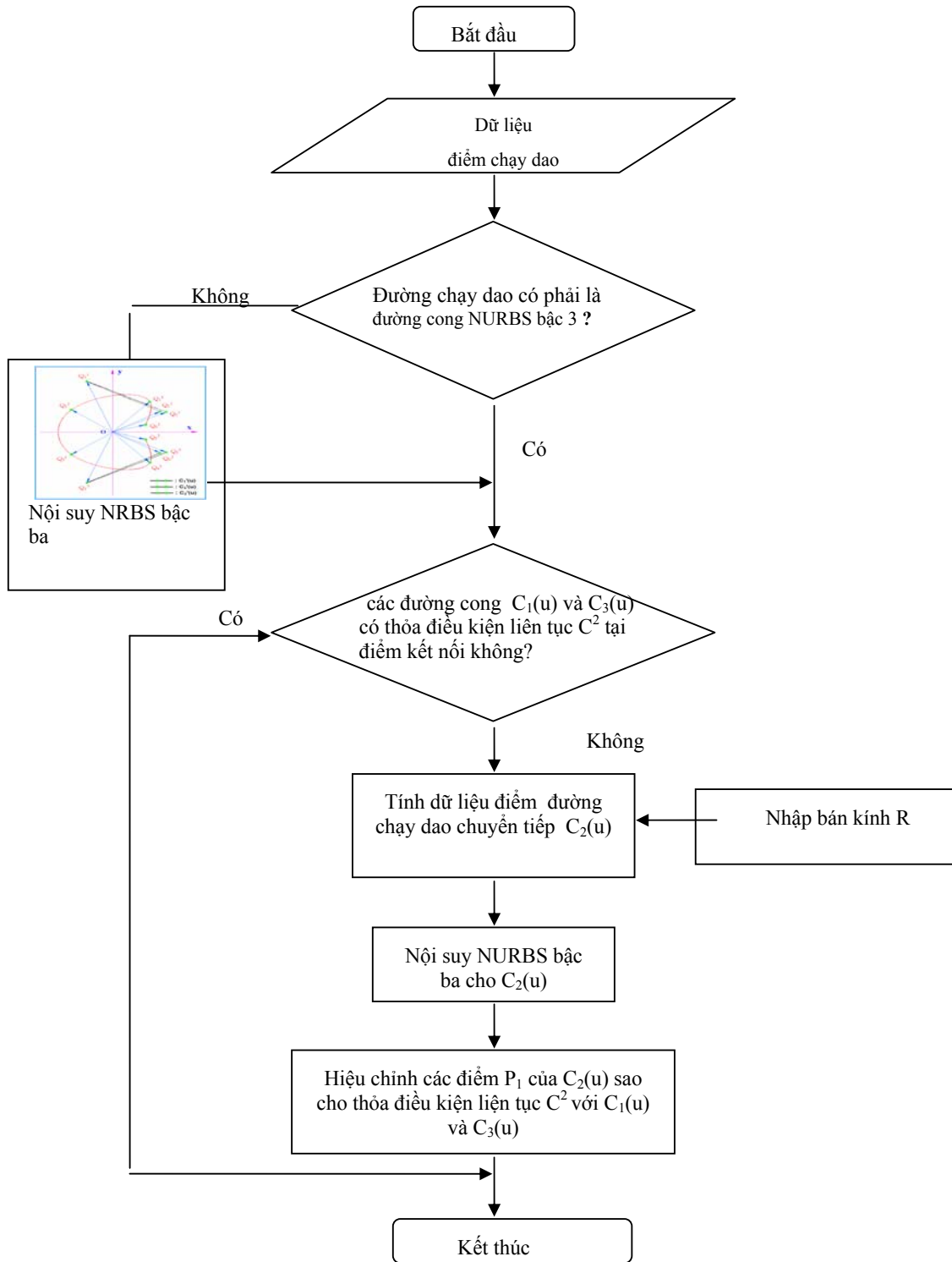
$$f(u) = (R \cos(u), R \sin(u), cu) \quad \text{với } u \in [k2\pi, (k+1)2\pi] \quad (3)$$

Trong đó : $k = 0, 1, \dots, h$ tương ứng với đường chạy dao chuyển tiếp giữa h lớp cắt.

4. QUI TRÌNH TÍNH TOÁN NỘI SUY ĐƯỜNG CHẠY DAO

Với dữ liệu điểm nội suy - tọa độ đường chạy dao Q_k đã xác định, theo lý thuyết nội suy NURBS [12], với giá trị mặc định của trọng số ($w_i = 1$), qui trình tính toán nội suy đường chạy dao cho cả hai trường hợp gia công biên dạng góc; chạy dao chuyển lớp cắt được đề nghị như sau (Hình 6):

- **Bước 1:** Tính các giá trị tham số tk tương ứng với điểm chạy dao
- **Bước 2:** Tính các vectơ nút $U = \{u_0; u_1; \dots; u_m\}$
- **Bước 3:** Tính các hàm cơ sở B-Spline $N_{i,p}(tk)$ theo biểu thức (2)



Hình 6. Qui trình tính toán nội suy đường chạy dao gia công biên dạng góc; chạy dao chuyển lớp cắt

- **Bước 4:** Giải hệ phương trình bậc nhất (5) tìm các điểm điều khiển P_i thỏa mãn phương trình :

$$Q_k = C(t_k) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t_k) w_i} \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t_k) w_i P_i \quad (4)$$

Hay $P = N^{-1}Q \quad (5)$

Trong đó : $Q = [Q_0, Q_1, \dots, Q_n]^T \quad (6)$

$$P = [P_0, P_1, \dots, P_n]^T \quad (7)$$

$$N' = \begin{bmatrix} \frac{w_0 N_{0,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_0)}{A_0(t_0)} \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_1)}{A_1(t_1)} \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_2)}{A_2(t_2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_n)}{A_n(t_n)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Với:

$$A = \begin{bmatrix} A_0(t_0) \\ A_1(t_1) \\ A_2(t_2) \\ \vdots \\ A_n(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0,p}(t_0) & N_{1,p}(t_0) & N_{2,p}(t_0) & \dots & N_{n,p}(t_0) \\ N_{0,p}(t_1) & N_{1,p}(t_1) & N_{2,p}(t_1) & \dots & N_{n,p}(t_1) \\ N_{0,p}(t_2) & N_{1,p}(t_2) & N_{2,p}(t_2) & \dots & N_{n,p}(t_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{0,p}(t_n) & N_{1,p}(t_n) & N_{2,p}(t_n) & \dots & N_{n,p}(t_n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

- **Bước 5:** Hiệu chỉnh các điểm điều khiển P_i sao cho $C_1(u)$, $C_2(u)$ và $C_3(u)$ thỏa điều kiện liên tục C^2 .

Sau đây là thí dụ áp dụng *qui trình tính toán nội suy đường chạy dao* để xử lý tron lạng đường chạy dao gia công biên dạng góc.

5. ÁP DỤNG XỬ LÝ TRON LẶNG ĐƯỜNG CHẠY DAO GIA CÔNG BIÊN DẠNG GÓC

5.1. Yêu cầu

Yêu cầu đặt ra là áp dụng *qui trình tính toán nội suy đường chạy dao* để nghị để xử lý tron lạng đường chạy dao qua các điểm A, B, C, D, E, F, G (Hình 7), trong đó D là vị trí thay đổi hướng chạy dao. Theo phương pháp đề nghị, cần bổ sung đường chạy dao vòng $C_2(u)$ tại D để ba đường đường chạy dao bao gồm $C_1(u)$ đi qua các điểm A, B, C, D; đường chạy dao vòng $C_2(u)$; và $C_3(u)$ đi qua các điểm D, E, F, G, tạo thành đường chạy dao liên tục C^2 .

5.2. Xử lý tron lạng đường chạy dao

Việc xử lý tron lạng đường chạy dao được thực hiện theo hai giai đoạn; (a) Nội suy NURBS bậc 3 cho ba đường chạy dao độc lập $C_1(u)$; $C_2(u)$ và $C_3(u)$; (b) Xử lý tron lạng đường chạy dao tại điểm kết nối D.

5.2.1 Nội suy NURBS bậc 3 cho $C_1(u)$; $C_3(u)$

Đường cong $C_1(u)$ đi qua các điểm dữ liệu: A(-40,-70); B(-20,-40); C(-10,-10); D(0,0); Đường cong $C_3(u)$ đi các điểm dữ liệu : D(0,0); E(10,-10); F(20,-40); G(40,-70). Bằng tính toán nội suy, chúng ta tìm được các điểm điều khiển tương ứng cho $C_1(u)$ và $C_3(u)$ là PC_1 và PC_3 .

$$P_{C1} = \begin{bmatrix} -40 & -70 \\ -11,59 & -54,70 \\ -25,18 & -15,74 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad P_{C3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 25,18 & -15,74 \\ 11,59 & -54,70 \\ 40 & -70 \end{bmatrix}$$

5.2.2 Nội suy NURBS bậc 3 cho đường chạy dao vòng C₂(u)

Với việc chọn đường chạy dao vòng đi qua các điểm B, E, G, H, K, F, B như đề nghị ở mục 3.1, tọa độ điểm chạy dao được xác định như sau:

$$Q = \begin{bmatrix} B \\ E \\ G \\ H \\ K \\ F \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 5,301 & 3,313 \\ 9,612 & 14,550 \\ 0 & 21,793 \\ -9,612 & 14,550 \\ -5,301 & 3,313 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Từ đó xác định được các điểm điều khiển PC₂ cho C₂(u):

$$P_{C2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 5,26 & 1,65 \\ 15,09 & 13,29 \\ 0 & 25,17 \\ -15,09 & 13,29 \\ -5,26 & 1,65 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Các đường chạy dao nội suy NURBS bậc 3 C₁(u), C₂(u), C₃(u) được minh họa trên hình 9.

5.2.3 Xử lý tron lảng tại điểm kết nối D

Các đường chạy dao C₁(u), C₂(u) và C₃(u) (hình 7) chưa đảm bảo điều kiện liên tục C². Có thể thấy rõ sự không liên tục thông qua đồ thị đạo hàm bậc 1 (hình 8) và đồ thị đạo hàm bậc 2 (hình 9):

- Có bước nhảy Q₂¹Q₀² và Q₅²Q₀³ trên đồ thị đạo hàm bậc 1 (Hình 8).
- Có bước nhảy K₁¹K₀² và K₄²K₀³ trên đồ thị đạo hàm bậc 2 (Hình 9).

Qua hai đồ thị đạo hàm (Hình 8 - 9), chúng ta thấy đạo hàm bậc 1 và bậc 2 không liên tục tại điểm kết nối, do đó cần xử lý tron lảng đường chạy dao theo điều kiện liên tục C² tại vị trí kết nối này [6].

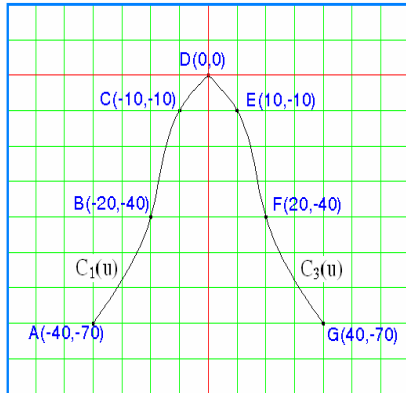
Để đường chạy dao C₁(u), C₂(u), C₃(u) liên tục C² tại các điểm kết nối [14]:

$$\begin{cases} C_1'(1) = C_2'(0) \\ C_2'(1) = C_3'(0) \\ C_1''(1) = C_2''(0) \\ C_2''(1) = C_3''(0) \end{cases} \quad (10)$$

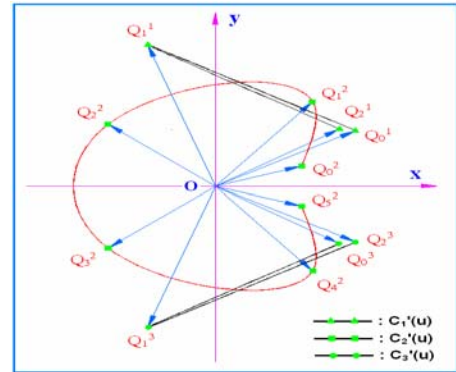
Khởi lệnh nội suy NURBS cho C₃(u) :

G6.2P4K0.0X0.000Y0.000Z0.000
 K0.0X25.180Y-15.740Z0.000
 K0.0X11.590Y-54.700Z0.000
 K0.0X40.000Y-70.000Z0.000
 K10000.
 K10000.

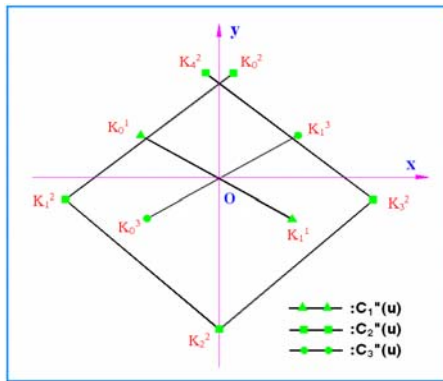
K10000.
K10000.



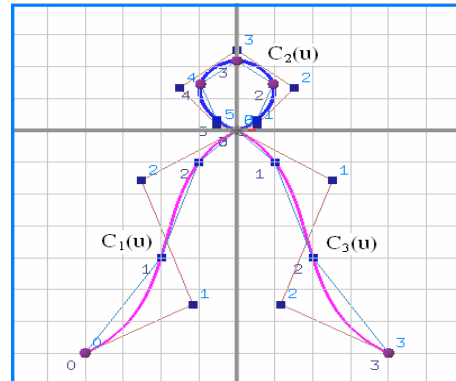
Hình 7. Đường chạy dao chưa xử lý tron láng (qua các điểm A, B, C, D, E, F, G)



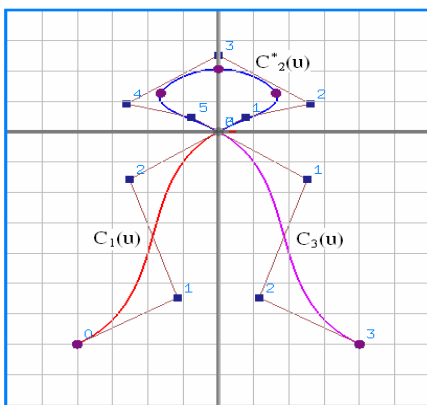
Hình 8. Đồ thị đạo hàm bậc 1 của $C_1(u)$, $C_2(u)$ và $C_3(u)$



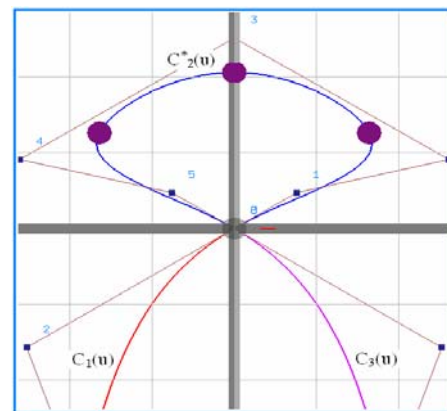
Hình 9. Đồ thị đạo hàm bậc 2 của $C_1(u)$, $C_2(u)$ và $C_3(u)$



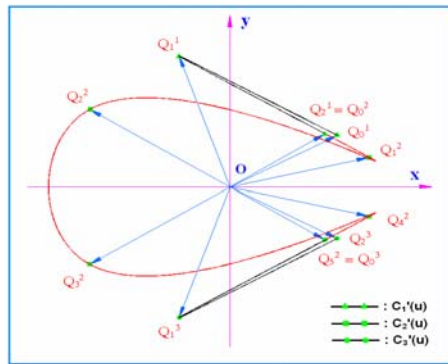
Hình 10. Các đường chạy dao nội suy NURBS bậc 3 $C_1(u)$, $C_2(u)$, $C_3(u)$



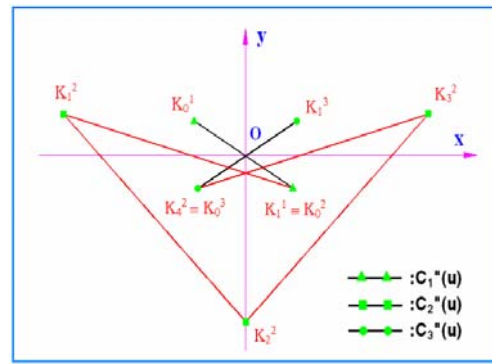
Hình 11. Đường chạy dao được xử lý tron láng $C_1(u)$ - $C_2^*(u)$ - $C_3(u)$



Hình 12. Tập tuyến chung tại điểm kết nối đường chạy dao



Hình 13. Đạo hàm bậc 1 của đường chạy dao $C_1(u)$, $C_2^*(u)$, $C_3(u)$



Hình 14. Đạo hàm bậc 2 của đường chạy dao $C_1(u)$, $C_2^*(u)$, $C_3(u)$

6. KẾT LUẬN

Bài báo đề nghị phương pháp xử lý trơn láng đường chạy dao TĐC cho trường hợp gia công biên dạng góc và chạy dao chuyển lớp cắt bằng cách bổ sung đường chạy dao chuyển tiếp dạng vòng và dạng đường xoắn tròn theo mô hình NURBS bậc 3. Áp dụng mô hình NURBS bậc 3 để nội suy đường chạy dao chuyển tiếp đáp ứng điều kiện liên tục C^2 tại điểm kết nối đường chạy dao. Do đó đảm bảo ổn định động lực học, chất lượng và năng suất cho quá trình gia công TĐC.

APPLICATION OF THE CUBIC NURBS INTERPOLATION FOR FAIRING OF HIGH SPEED MACHINING TOOLPATH

Doan Thi Minh Trinh, Duong Vo Nhi Anh
University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: The paper presents the method for fairing of High Speed Machining toolpaths to improve quality and efficiency of machining process. The proposed method has adopted the cubic Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) interpolation and C^2 -condition to generate a transition toolpath that connects two discontinuous machining toolpaths to be a smooth toolpath. Proposed method was applied to generate the transition toolpath for two cases: (i) corner-machining toolpath; (ii) layer-connection toolpath. The transition toolpath was proposed of circle form for the first case; and of helical form for the second one. Application of the cubic NURBS model for interpolation of transition toolpath satisfies C^2 -condition at the toolpath-connection point. Therefore it ensures stability, quality and productivity of High Speed Machining process.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dương Võ Nhi Anh, *Ứng dụng nội suy NURBS xử lý trơn láng đường chạy dao phay tốc độ cao*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG-HCM, 2005.

- [2]. Cimatron Ltd.,Israel, *Numerical Control Machining, CAD/CAM Solution*, Integrated Technology, Version 13.0, 2002 (tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm).
- [3]. Cimatron Ltd., *Cimatronit*, Version 13.0.
- [4]. Pieg L.- Tiller W., *The NURBS Book*. Springer, 1997.
- [5]. SANDVIK Coranant, *Application Guide Die & Mould Making*, SANDVIK Coranant.
- [6]. Đoàn Thị Minh Trinh, *Công Nghệ CAD/CAM*, NXB Khoa Học và Kỹ Thuật, 1998.
- [7]. Unigraphics Solutions, *High-Speed Machining (HSM) Using NURBS Technology*, Unigraphics Solutions White Paper, Unigraphics Solutions, 2001.