

CHIẾN LƯỢC CHẠY DAO CHO GIA CÔNG TINH MẶT TỰ DO TRÊN MÁY PHAY CNC 3 TRỤC BẰNG PHƯƠNG PHÁP TAM GIÁC HÓA BỀ MẶT

Nguyễn Tiến Tiếp
Khoa Điện - Cơ
Email: tiepnt@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 06/6/2022

Ngày PB đánh giá: 23/6/2022

Ngày duyệt đăng: 02/7/2022

TÓM TẮT: Hiện nay, gia công các chi tiết máy trên máy CNC đã được phổ biến và thay thế phần lớn các phương pháp gia công truyền thống. Bài báo này trình bày một phương pháp để tạo đường dẫn dụng cụ gia công mặt tự do trên máy phay CNC 3 trục sử dụng phương pháp phân hóa bề mặt thành lưới tam giác. Vùng bề mặt gia công sẽ được xấp xỉ hóa bởi các mảnh tam giác. Tại các vùng biên của bề mặt các xấp xỉ sẽ được tinh chỉnh bù sai số để tạo được các vùng biên xấp xỉ. Quá trình thử nghiệm bằng mô phỏng trên phần mềm CAM cũng cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất có cải thiện hơn so với các phương pháp đã được giới thiệu.

Từ khóa: Mặt tự do, đường dẫn dụng cụ, tối ưu hóa đường dẫn dụng cụ, máy phay CNC 3 trục, tam giác hóa bề mặt.

TOOLPATH GENERATION STRATEGY FOR FREEFORM SURFACE MACHINING ON 3 CNC AXES USING TRIANGULAR SURFACES METHOD

ABSTRACT: Nowadays, machining parts or surfaces on CNC machines have been widely and have replaced most of the traditional machining methods. In this paper, we introduced a method to toolpath generations for the freeform surface on 3 axes CNC milling. The surfaces were divided into triangular patches. Scripts created on Matlab 2010 to generate toolpath and export G-code for freeform surfaces. Simulating on CAM software also shows that the effectiveness of the proposed method has improved compared to the traditional methods.

Keywords: Freeform surfaces, toolpath, optimization toolpath, 3 axes CNC, triangular.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công trên các máy CNC hiện nay được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp từ đơn giản tới rất phức tạp, ví dụ như công nghiệp sản xuất ô tô, hàng không vũ trụ, khuôn mẫu... Trong đó, máy CNC 3 trục có mức độ phổ biến lớn bởi vì tính đơn giản trong kết cấu, điều khiển và đặc biệt là có thể gia công được hầu hết các chi tiết từ đơn giản đến phức tạp, chiếm tỉ lệ rất lớn trong các loại chi tiết trong công nghiệp. Trong khi đó các máy phay 4 hoặc 5 trục mặc dù có tính linh hoạt trong gia công rất lớn, nhưng giá thành đắt và tỉ lệ các chi tiết cần gia công trên các loại máy này cũng thấp. Do đó việc tối ưu hóa khi gia công trên các máy phay CNC 3 trục là rất cần thiết và được nhiều nhà nghiên cứu tập trung nghiên cứu nhằm tối ưu các đường dẫn dụng cụ trên nhóm máy này. Việc tạo đường dẫn dụng cụ trên bề mặt tự do là vấn đề chính trong quá trình gia công tinh bề mặt, cũng là mục tiêu chính của nghiên cứu này. Thông thường có 3 kỹ thuật phổ biến được các nhà nghiên cứu sử dụng để tạo đường dẫn dụng cụ đó là kỹ thuật iso-parametric [1], kỹ thuật iso-planar [2] và kỹ thuật iso-scallop height [3]-[7]. Kỹ thuật iso-parametric sử dụng các đường cong với các tham số không đổi làm đường dẫn dụng cụ. Dụng cụ cắt di chuyển theo các đường cong đẳng tham số của bề mặt theo một chiều, thường là cố định một tham số và di chuyển theo tham số còn lại hoặc theo đường zigzag. Trong khi đó phương pháp iso-planar sử dụng các đường giao tuyến của các mặt phẳng song song cách đều nhau với mặt tự do để làm đường dẫn dụng cụ. Phương pháp này đặc trưng bằng khoảng cách cố định giữa các mặt phẳng song song

với nhau trong không gian. Phương pháp iso-scallop height là phương pháp tạo đường dẫn tự do, nhưng có giàng buộc là chiều cao phần kim loại để lại sau mỗi bước dịch dao ngang Sc (hình 3) không đổi. Phương pháp này hiện nay được sử dụng khá nhiều vì đường dẫn dụng cụ tạo ra bởi phương pháp này thường là ngắn nhất và độ đồng đều chất lượng bề mặt tốt.

Tuy nhiên, hai phương pháp iso-parametric và iso-scallop height hầu như phù hợp với các mặt biểu diễn dưới dạng tham số. Điều này không tốt cho việc tạo đường dẫn dụng cụ trên các máy CNC vì khối lượng tính toán lớn, đặc biệt là đối với các điểm tiếp xúc dao - chi tiết gia công (Cutting Contact Points, CC-Points). Để đơn giản hơn trong việc tìm các điểm CC-points thì phương pháp đa diện hóa bề mặt thường được sử dụng. Đầu tiên bề mặt tự do tổng quát được ánh xạ sang không gian tham số, từ không gian tham số bề mặt được phân tách thành các mảnh mặt tứ giác, từ các mảnh mặt tứ giác bề mặt tiếp tục được phân tách thành các mảnh bề mặt tam giác. Sau khi bề mặt được tham số hóa được phân chia thành các mặt tam giác sẽ được ánh xạ ngược lại không gian Euclide. Trên cơ sở bề mặt tự do trong không gian Euclide đã được tam giác hóa, nghiên cứu này sẽ xây dựng thuật toán để tính toán các điểm CC-points tương ứng. Từ các điểm CC-points sẽ tính toán để xác định được các điểm vị trí dụng cụ (cutting location points, CL-points).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tam giác hóa bề mặt

Để tam giác hóa một mảnh mặt hoặc một bề mặt trong nghiên cứu này thực hiện tuần tự theo các bước như sau:

Bước 1: Chuyển bề mặt tự do về không gian tham số u, v

Bước 2: Tứ giác hóa bề mặt trong không gian tham số u, v

Bước 3: Tam giác hóa bề mặt trong không gian tham số u, v

Bước 4: Ánh xạ bề mặt từ không gian tham số u, v sang không gian Euclide.

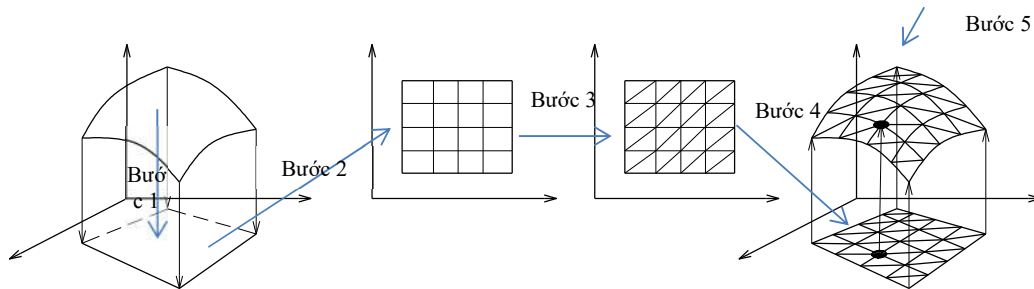
Bước 5: Hiệu chỉnh bề mặt tự do được tam giác hóa.

Phương trình một bề mặt tự do dạng tổng quát (1).

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,n}(u) B_{j,m}(v) P_{i,j} \quad (1)$$

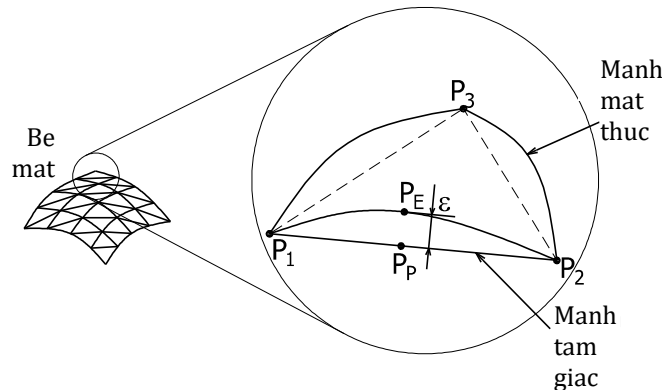
Trong đó $P_{i,j}$ là điểm điều khiển ($0 \leq i, j \leq n$); $B_{i,n}(u)$, $B_{j,m}(v)$ là các tham số của mặt cong Bezier [8].

$$B_{i,n}(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i} \quad B_{j,m}(v) = \frac{m!}{j!(m-j)!} v^j (1-v)^{m-j}$$



Hình 1. Sơ đồ các bước tam giác hóa bề mặt tự do

Khi một bề mặt được tam giác hóa thì tại các vùng tam giác hóa có sai số dây cung, để hiệu chỉnh sai số này thì cần phải xấp xỉ chúng.



Hình 2. Sơ đồ tính xấp xỉ dung sai bề mặt thực với mảnh tam giác

Trên hình 2, ϵ gọi là sai số xấp xỉ bề mặt thực với mảnh tam giác. Sai số này ảnh hưởng tới độ chính xác của bề mặt trong gia công. Do đó để làm chính xác hóa bề mặt cần phải xấp xỉ tham số này sao cho mảnh

mặt tam giác tiến dần tới bề mặt thực.

Gọi P_E là điểm nằm trên bề mặt thực trong không gian Euclide tại trung tâm dây cung P_1P_2 còn P_P là điểm nằm trên bề mặt tham số, tức là nằm trên cạnh P_1P_2 của một

mảnh mặt tam giác. Dễ dàng xác định được giá trị khoảng cách giữa hai điểm này, tức là xác định được giá trị ε . Tùy thuộc vào độ chính xác gia công yêu cầu mà chúng ta có được giá trị sai số tối hạn $[\varepsilon]$. Giá trị tính toán ε luôn không được vượt quá giá trị $[\varepsilon]$, nếu trong quá trình chia lưới giá trị này vượt quá giá trị tối hạn thì lưới tiếp tục được chia đôi.

2.2. Xác định đường tiếp xúc dụng cụ - chi tiết

Mỗi vị trí gia công, dụng cụ sẽ tiếp xúc với chi tiết tại điểm CC-points. Tập hợp tất cả các điểm CC-points sẽ tạo thành một đoạn (thẳng hoặc cong) tiếp xúc dụng cụ - chi tiết. Trong quá trình gia công, có vô số các đoạn thẳng tiếp xúc dụng cụ - chi tiết, tập hợp các đoạn đó gọi là đường tiếp xúc dụng cụ - chi tiết gọi là CC-paths. Xác định đường CC-paths có tính quyết định tới độ chính xác của bề mặt chi tiết được gia công. Độ chính xác gia công được quyết định bởi hai thông số, thông số thứ nhất là độ lớn của chiều cao scallop và thông số thứ hai là sai số bước tiến dọc, trong đó chiều cao scallop phụ thuộc vào bước tiến ngang. Điều đó có nghĩa là giá trị bước tiến ngang và bước tiến dọc có ảnh hưởng trực tiếp đến không chỉ năng suất mà còn là độ chính xác của chi tiết khi gia công trên máy CNC. Để tính toán đường dẫn dụng cụ thì cần phải tính toán điểm CC-points. Để tính toán điểm CC-points theo giá trị của độ chính xác yêu cầu, nghiên cứu này sử dụng phép nội suy tuyến tính. Các bước tính toán điểm CC như sau:

Bước 1: Tìm tất cả các tam giác mô hình hóa lên bề mặt

Bước 2: Cố định 1 tham số, cho tham số còn lại chạy giả sử $y=y_i$, $i=1,n$

Bước 3: Sắp xếp các mảnh tam giác theo trình tự trên cơ sở tọa độ x được cố định trước đó và các đỉnh tam giác. Các điểm giao nhau nằm trên cạnh của tam giác sẽ được chọn làm các điểm CC.

Bước 4: Kết nối các điểm CC tạo ra các đoạn CC tương ứng với mỗi một lát cắt

Bước 5: Kết nối các đoạn CC thành đường CC hoàn chỉnh

Để thực hiện được Bước 4 với tất cả các đoạn CC thì cần phải xác định được bước tiến ngang. Khoảng cách bước tiến ngang là khoảng cách giữa 2 lát cắt liên tiếp mà dụng cụ cắt di chuyển trên bề mặt của chi tiết. Khoảng cách này phụ thuộc vào độ cong cục bộ tại điểm cắt. Để xác định độ cong cục bộ của bề mặt tại điểm cắt phải xác định được bán kính cong tại đó.

Pháp tuyến đơn vị:

$$n = \frac{S_u \times S_v}{|S_u \times S_v|} \quad (3)$$

Trong đó S_u và S_v là đạo hàm riêng của phương trình bề mặt tự do biểu diễn dạng tham số theo hướng u và v .

Bán kính cong cục bộ tại điểm xét được xác định theo công thức sau [9]:

$$p = \frac{E + 2F\alpha + G\alpha^2}{L + 2M\alpha + N\alpha^2} \quad (4)$$

Trong đó các giá trị E, F, G, L, M, N [8] được xác định theo (5):

$$E = \frac{\partial S}{\partial u} \frac{\partial S}{\partial u}, F = \frac{\partial S}{\partial u} \frac{\partial S}{\partial v}, G = \frac{\partial S}{\partial v} \frac{\partial S}{\partial v}$$

$$L = \frac{\partial^2 S}{\partial u^2} n, M = \frac{\partial^2 S}{\partial u \partial v} n, N = \frac{\partial^2 S}{\partial v^2} n, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\left[\frac{Fdu}{dt} + \frac{Gdv}{dt} \right]}{\left[\frac{Fdu}{dt} + \frac{Fdv}{dt} \right]}$$

Trong đó:

E, F, G: Hệ số cơ sở thứ nhất của bề mặt tự do S(u,v).

L, M, N: Hệ số cơ sở thứ hai của bề mặt tự do S(u,v).

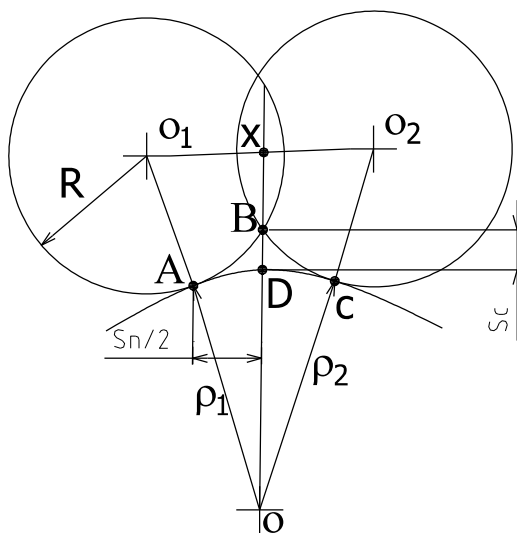
Trên hình 3 biểu diễn sơ đồ tính toán bước tiến ngang S_n . Khoảng dịch dao ngang trên bề mặt của chi tiết từ điểm A đến điểm C, vị trí tâm dụng cụ tại các vị trí A, B lần lượt là O_1 và O_2 . Do lượng dịch dao khi gia công tinh thường là rất nhỏ tức

là khoảng AC rất nhỏ nên cung AC có thể xấp xỉ thành đoạn thẳng AC, và độ cong cục bộ ρ_1, ρ_2 xấp xỉ bằng nhau, do đó đặt độ cong này là ρ .

Xét tam giác đồng dạng $\triangle O_1XO \sim \triangle ADO$ ta có:

$$\frac{\overline{O_1O}}{\overline{AO}} = \frac{\overline{O_1X}}{\overline{AD}} \Rightarrow \overline{O_1X} = \overline{AD} \frac{\overline{O_1O}}{\overline{AO}} \quad (6)$$

$$= \frac{S_n}{2} \frac{(R+p)}{p}$$



Hình 3. Sơ đồ tính toán bước tiến ngang

Xét tam giác vuông O_1XB vuông tại X và O_1XB cũng vuông tại x ta có:

$$\overline{O_1B^2} = \overline{O_1X^2} + \overline{XB^2} \Leftrightarrow R^2 = \overline{O_1X^2} + \overline{XB^2} \quad (7)$$

$$\overline{O_1O^2} = \overline{O_1X^2} + \overline{XO^2} \Leftrightarrow (R+p)^2 = \overline{O_1X^2} + \overline{XO^2} = \overline{O_1X^2} + (\overline{XB} + \overline{Sc} + p)^2$$

Thay (6) vào (7) ta có:

$$\overline{XB^2} = R^2 - \overline{O_1X^2} = R^2 - \left(\frac{S_n}{2} \frac{(R+p)}{p} \right)^2$$

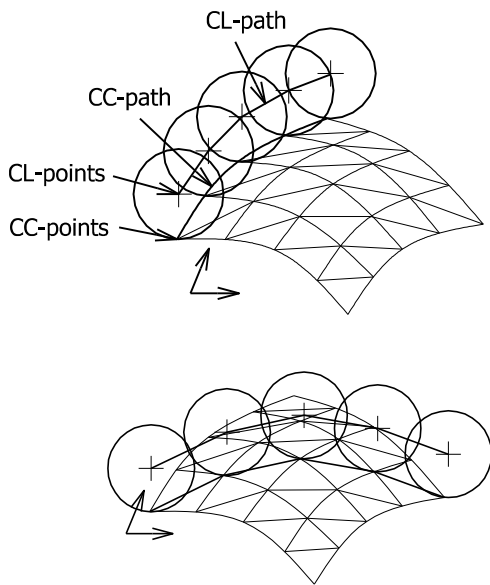
$$(R+p)^2 = \overline{O_1X^2} + \overline{XO^2} = \left(\frac{S_n}{2} \frac{(R+p)}{p} \right)^2 + \left(\sqrt{R^2 - \left(\frac{S_n}{2} \frac{(R+p)}{p} \right)^2} + Sc + p \right)^2 \quad (8)$$

Từ phương trình (6) rút ra giá trị S_n , giá trị S_n chính là bước dịch dao ngang để xác định được vị trí của đoạn kế tiếp, quá trình này lặp lại sẽ xác định được

$P_{CL} = P_{CC} + r * n$ Mỗi CC-points sẽ xác định được một CL-points () tương ứng theo (7). Tập hợp các CL-points thành đường dẫn dụng cụ. Để xuất mã G-code thì chương trình sẽ xuất theo tọa độ của các điểm CL-points này. (8)

2.3. Hiệu chỉnh đường dẫn dụng cụ

Sau khi các đỉnh tam giác xác định được thông qua quá trình phân chia ở trên, lưới tam giác sẽ được hình thành. Tại mỗi đỉnh của tam giác sẽ xác định vị trí của dụng cụ tiếp xúc chi tiết. Đường dẫn dụng cụ sẽ có thể thực hiện theo hai hướng từ đỉnh tam giác nọ tới đỉnh tam giác kia (hình 4).



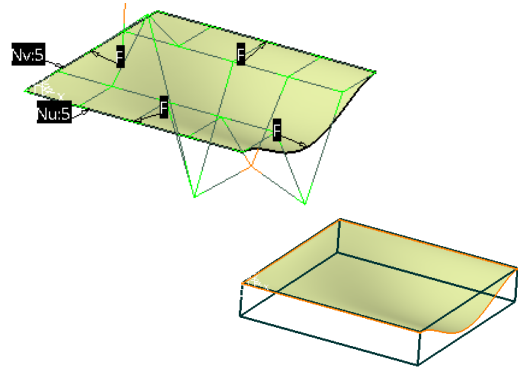
Hình 4. CC-points, CL-points, CC-path và CL-path

Sau khi bề mặt được đa giác hóa thì có thể sinh ra rất nhiều hướng điều khiển

dụng cụ cắt. Trên hình 4 biểu diễn hai hướng chính để dẫn dao là dọc và hướng chéo. Để đảm bảo độ chính xác ε cho trước, thì có tính toán so sánh sai số này theo hai phương pháp tại vị trí các điểm cắt. Từ đó đường dẫn dụng cụ sẽ được hiệu chỉnh theo sai số ε .

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để kiểm tra tính xác thực của thuật toán trên, trong nghiên cứu này xây dựng một bề mặt tự do có 25 nút, kích thước 200x200mm (hình 4). Phôi $x*y*z = 200*200*36$, trong đó phần lượng dư trên bề mặt để lượng tối thiểu là 1mm.

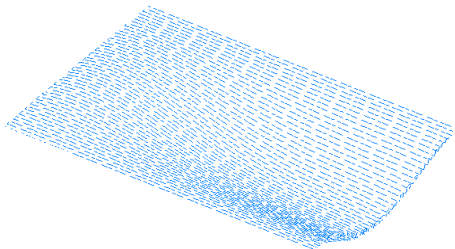
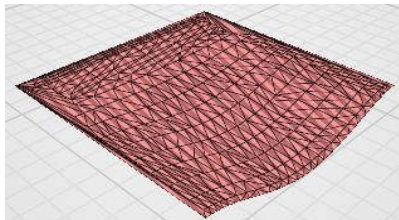


Hình 5. Bề mặt và chi tiết lồng phôi

Tạo lưới tam giác bề mặt và đường dẫn dụng cụ.

Kết quả cho thấy phương pháp này rất phù hợp khi cần xây dựng đường dẫn dụng cụ đối với các bề mặt tự do. Mật độ của lưới ảnh hưởng trực tiếp tới độ chính xác của chi tiết được yêu cầu. Đường dẫn được tạo ra bởi phương pháp lưới hóa bề mặt có hiệu quả về mặt thời gian tốt. Tuy nhiên nếu với những yêu cầu quá khắt khe về độ chính xác thì mật độ lưới trở lên dày đặc, quá trình tạo lưới sẽ tiêu tốn thời gian cũng như tài nguyên máy tính tương đối lớn, do đó cần thực hiện trên những máy

cấu hình cao. Tuy nhiên phương pháp này khá phù hợp với các dạng bề mặt tự do hoặc kể cả các dữ liệu dưới dạng đám mây điểm. Khi các công nghệ quét 3D cũng như các thiết bị quét ngày càng tiên tiến thì các dữ liệu đám mây điểm sẽ được sử dụng nhiều, đây cũng là một lợi thế để phương pháp đa giác hóa bề mặt có tính ứng dụng lớn. Giải pháp này sẽ mở rộng thêm các giải pháp xây dựng đường dẫn dụng cụ cho gia công các bề mặt phức tạp trên các hệ thống CAD/CAM thương mại.



Hình 6. Lưới tam giác và đường dẫn dụng cụ

5. KẾT LUẬN

Thuật toán được đề xuất để sinh đường dẫn dụng cụ trên các mặt tự do theo giải pháp tam giác hóa bề mặt. Các đường dẫn dụng cụ được sinh ra đều là các đường cong phẳng, do đó dễ dàng xác định được tốc độ tiến dao dọc và ngang nhằm tăng năng suất của quá trình gia công mà vẫn đảm bảo được độ chính xác. Kết quả mô phỏng đường dẫn dụng cụ chứng minh thuật toán là hoàn toàn khả thi và có tính ứng dụng thực tế. Phương pháp đề xuất có

thể cải thiện và tự động hóa quá trình gia công bề mặt tự do trên các máy CNC 3 trục hỗ trợ cho các hệ thống CAD/CAM trong việc sinh đường dẫn dụng cụ. Phương pháp này phù hợp với các dạng bề mặt phức tạp như bề mặt tự do. Đặc biệt nó cũng phù hợp với một loại dữ liệu bề mặt đang dần trở nên phổ biến là đám mây điểm, một loại dữ liệu thu được trên các máy quét 3D. Qua đó mở rộng tính ứng dụng của phương pháp này lên trong tương lai khá lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Z. Han and D. C. H. Yang(1999), "*Iso-photé based tool-path generation for machining free-form surfaces*", J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME, vol. 121, no. 4, pp. 656-664,.
2. M. Pinto, H. Rehman, R. Siddiqui, M. A. Khan, and A. Masood (2015), "*Tool Path Generation, for Complex Surface Machining, Using Point Cloud Data*", Procedia CIRP, vol. 26, pp. 397-402.
3. A. Lasemi, D. Xue, and P. Gu (2010), "*Recent development in CNC machining of freeform surfaces: A state-of-the-art review*", CAD Comput. Aided Des., vol. 42, no. 7, pp. 641-654.
4. X. Liu, Y. Li, S. Ma, and C. H. Lee (2015), "*A tool path generation method for freeform surface machining by introducing the tensor property of machining strip width*", CAD Comput. Aided Des., vol. 66, pp. 1-13.
5. Y. Sun, S. Sun, J. Xu, and D. Guo (2017), "*A unified method of generating tool path based on multiple vector fields for CNC machining of compound NURBS surfaces*",

CAD Comput. Aided Des., vol. 91, pp. 14-26.

6. N. Van Tuong and P. Pokorný (2010), "*A practical approach for partitioning free-form surfaces*", Int. J. Comput. Integr. Manuf., vol. 23, no. 11, pp. 992-1001.

7. My Chu A; Bohez Erik L J; Makhanov Stanislav S; Munlin M; Phien Huynh N; Tabucanon Mario T (2005), "*On 5-Axis*

Freeform Surface Machining Optimization: Vector Field Clustering Approach", Int. J. CAD/CAM, vol. 5, no. 1, pp. 1-10.

8. S. P. Radzevich (2008), "*Geometry Kinematic Geometry Machining*." Taylor & Francis Groups, LLC.

9. V. Communications (1997), "*The NURBS book*," vol. 35, no. 02.