

# ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH HỌC DỤNG CỤ VÀ ĐƯỜNG DẪN DỤNG CỤ ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC BỀ MẶT CHI TIẾT MÁY KHI GIA CÔNG TRÊN MÁY CNC 3 TRỤC

Nguyễn Tiến Tiếp  
Khoa Điện - Cơ, Trường Đại học Hải Phòng  
Email: [tiemput@dhhp.edu.vn](mailto:tiemput@dhhp.edu.vn)

Ngày nhận bài: 18/5/2023

Ngày PB đánh giá: 23/5/2023

Ngày duyệt đăng: 14/7/2023

**TÓM TẮT:** Trong bài báo này tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của hình học dụng cụ và đường dẫn dụng cụ tới độ chính xác bề mặt chi tiết máy khi gia công trên máy phay CNC 3 trục. Hình học dụng cụ và đường dẫn dụng cụ là những yếu tố ảnh hưởng lớn đến độ chính xác bề mặt chi tiết máy. Hiện nay, hầu như máy CNC đã thay thế phần lớn các máy gia công truyền thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng hình dạng hình học dụng cụ và đường dẫn dụng cụ đóng vai trò quan trọng trong quá trình gia công và nó ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt chi tiết máy sau gia công. Nghiên cứu cũng đề xuất phương pháp tối ưu đường dẫn dụng cụ để đạt độ chính xác cao khi gia công một số dạng bề mặt phổ biến trên máy phay CNC 3 trục.

**Từ khóa:** Mặt tự do, đường dẫn dụng cụ, máy phay CNC 3 trục.

---

## THE IMPACT OF TOOL GEOMETRY AND TOOL PATH ON THE SURFACE ACCURACY WHEN MACHINING ON THE CNC 3-AXES MACHINE

**ABSTRACT:** In this paper, we study the influence of tool geometry and tool path on the surface accuracy of machine parts when machining on a 3-axis CNC milling machine. Tool geometry and tool path are major factors affecting the surface accuracy of machine parts. Currently, most CNC machines have largely replaced traditional machines. The research results show that the tool geometry and the tool path play an important role in the machining process, and they also greatly affect the surface quality of machine details after machining. The study also proposes an optimal method for the tool path to

achieve high accuracy when machining some common surface types on a 3-axis CNC milling machine.

**Keywords:** Freeform surface, toolpath, 3-axis CNC milling machine.

---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình gia công các chi tiết máy trên máy phay CNC, việc lựa chọn dụng cụ và đường dẫn dụng cụ hợp lý đóng vai trò quan trọng, ảnh hưởng lớn đến năng suất và độ chính xác gia công. Lựa chọn hình học dụng cụ phù hợp với bề mặt gia công có thể ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công. Ngoài ra, chiến lược gia công cũng ảnh hưởng lớn tới độ chính xác của bề mặt. Có nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề này đã được công bố trong các tạp chí chuyên ngành uy tín trên thế giới. P. Spanoudakis và cộng sự [1], đã nghiên cứu tối ưu hóa lựa chọn dụng cụ cho phay thô các bề mặt tự do, đã đưa ra thuật toán lựa chọn hình học dụng cụ thích hợp với từng dạng bề mặt. Hoàng Văn Quý và cộng sự [2], đã nghiên cứu phương pháp tối ưu hóa đường dẫn dụng cụ khi gia công các mặt tự do trên máy phay CNC, kết quả nghiên cứu cho thấy rằng ảnh hưởng của hình học dụng cụ đến độ chính xác bề mặt chi tiết sau khi gia

công là có tuy nhiên không nhiều bằng chiến lược gia công tương ứng với từng bề mặt khác nhau. S. Sarkar và cộng sự [3], đã nghiên cứu giải pháp tối ưu hóa đường dẫn dụng cụ để gia công các bề mặt tự do dựa trên cơ sở phương pháp iso-parametric. Trong nghiên cứu này đã sử dụng dao phay ngón đầu chỏm cầu để gia công các bề mặt, sai số được chỉ ra sau mỗi bước gia công sẽ được tính toán chi tiết và trong giới hạn chấp nhận được. Trong nghiên cứu này để đơn giản hóa việc tính toán ảnh hưởng của hình học dụng cụ và đường dẫn dụng cụ thì các bề mặt cong được xấp xỉ hóa thành các cung tròn ở vùng cục bộ. Trong một nghiên cứu về gia công các bề mặt điều khác [4] (một tên gọi khác của bề mặt tự do, hay các bề mặt phức tạp) B. Choi và cộng sự đã đưa ra các giải pháp lựa chọn dụng cụ, đưa ra phương trình tính toán đường dẫn dụng cụ hợp lý dựa trên các điểm tiếp xúc dụng cụ - chi tiết (CC-point) hoặc điểm vị trí tâm dụng cụ (CL-point). Đây là một

công trình lớn nghiên cứu về mảng gia công bề mặt tự do này. Hầu hết trong nghiên cứu này tác giả cũng lựa chọn dụng cụ gia công tinh bề mặt tự do là dao phay ngón đầu chỏm cầu và các nội dung khác tập trung vào chiến lược gia công. Trong một nghiên cứu khác Hoàng Văn Quý và cộng sự [5], cũng đã nghiên cứu ảnh hưởng của đường dẫn dụng cụ tới chất lượng bề mặt chi tiết máy. Nghiên cứu đã xây dựng ma trận trực giao Taguchi để tiến hành tối ưu hóa thực nghiệm và tìm ra ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng bề mặt là đường dẫn dụng cụ. Ngoài ra, để làm rõ hơn ảnh hưởng của các yếu tố đến chất lượng bề mặt chi tiết máy tác giả Hoàng Văn Quý và cộng sự đã nghiên cứu giải pháp để tách bề mặt tự do thành các vùng có tính chất khác nhau [6] để tiến hành gia công cục bộ từng vùng bề mặt. Kết quả là chất lượng bề mặt chi tiết máy được cải thiện và năng suất gia công cao hơn so với các phương pháp thông thường. Có thể nói trong các nghiên cứu đã đề cập ở trên, khi nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số đến độ chính xác bề mặt chi tiết máy khi gia công trên các máy CNC đều nghiên cứu về

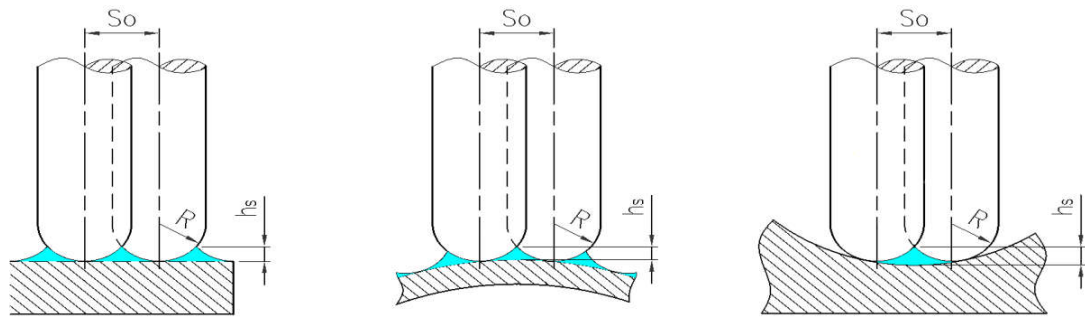
đường dẫn dụng cụ và mặc định hình học dụng cụ theo tiêu chuẩn. Trong nghiên cứu này tác giả muốn làm rõ hơn mức độ ảnh hưởng của hình học dụng cụ tới độ chính xác bề mặt và bổ sung thêm chiến lược chạy dao để nghiên cứu là một giải pháp tổng thể, có tính ứng dụng và có tính khoa học.

## **2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Nghiên cứu lý thuyết về ảnh hưởng của hình học dụng cụ đến chất lượng tạo hình bề mặt trong gia công trên máy phay CNC 3 trục**

Trong gia công phay các bề mặt chi tiết máy nói chung thường trải qua 3 bước là: gia công thô, gia công bán tinh và gia công tinh. Ở bước gia công tinh mục đích là lấy hết phần lượng dư trên bề mặt chi tiết do bước gia công trước để lại, do vậy hình học của dụng cụ cắt và hình học đường chạy dao có ảnh hưởng rất lớn đến khả năng lấy đi phần lượng dư của bề mặt không gian.

Trong phạm vi đề tài tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của hình học đường chạy dao khi gia công ba dạng bề mặt là mặt phẳng, mặt cong lõm và dạng mặt cong lõm sử dụng dao phay đầu cầu trên máy phay CNC 3 trục.



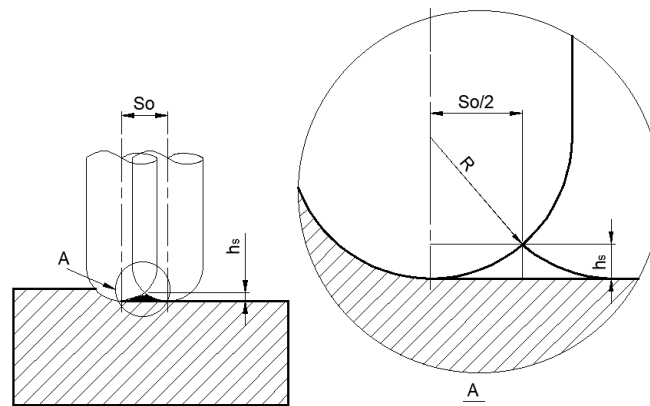
a. Gia công mặt phẳng

b. Gia công bề mặt cong lõm

c. Gia công bề mặt cong lồi

Hình 1. Lượng dư để lại sau gia công với dạng bề mặt gia công bằng dao phay đầu cầu

### Gia công mặt phẳng



Hình 2. Sơ đồ tính chiều cao nhấp nhô khi gia công mặt phẳng

Gia công mặt phẳng bằng dao phay đầu cầu, đường chạy dao theo phương bất kỳ thì chiều cao phần lượng dư để lại sau gia công là như nhau và được tính như sau:

$$h_s = R - \sqrt{R^2 - \frac{S_0^2}{4}} \quad (1)$$

- Gia công mặt cong lõm

Trong trường hợp gia công bề mặt cong lõm trên máy phay 3 trục

dùng dao phay đầu cầu với cùng một bước tiến ngang  $S_0$  trên Hình 3 ta thấy khi cắt ở đỉnh cung cong thì chiều cao nhấp nhô ( $h_{s1}$ ) là nhỏ nhất, còn khi cắt ở phía phải nhất hoặc trái nhất của cung cong thì chiều cao nhấp nhô ( $h_{sn}$ ) là lớn nhất, do đó ta cần tính được bước tiến ngang  $S_0$  để chiều cao  $h_{sn}$  nằm trong phạm vi cho phép ( $h_{sn} \leq [h_s]$ ).

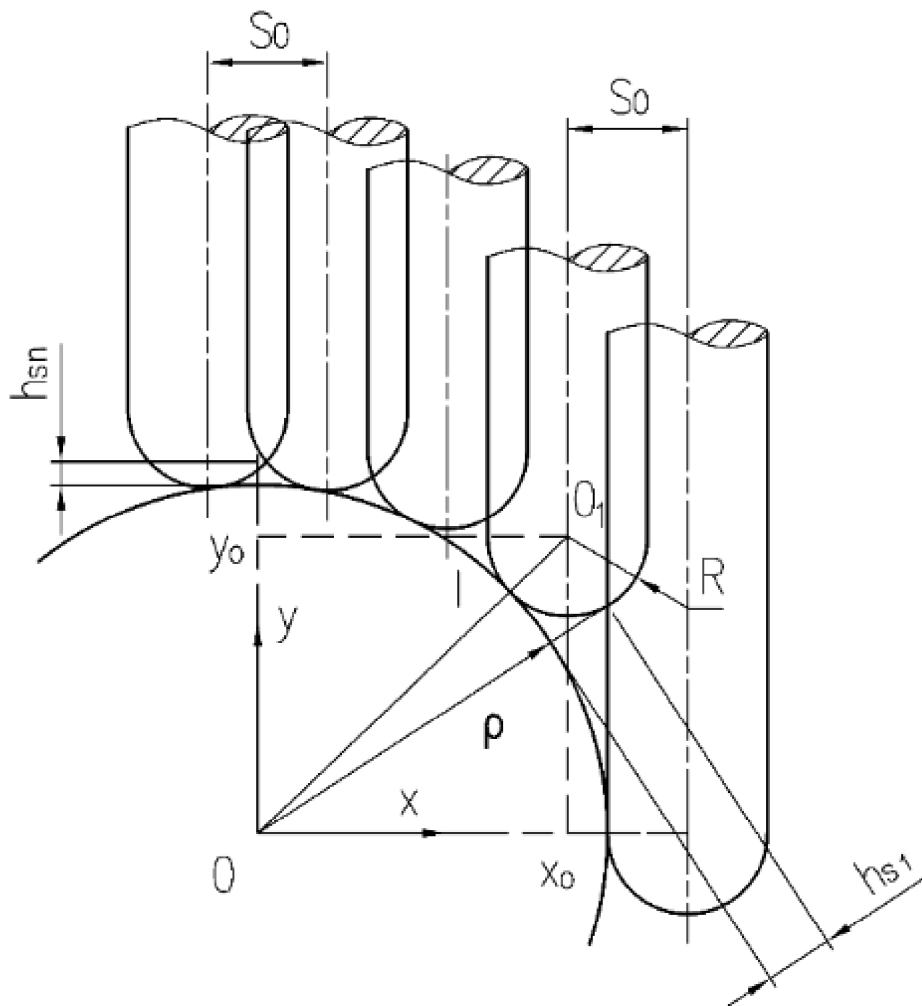
Sơ đồ tính chiều cao nhấp nhô khi gia công bề mặt cong lồi (Hình 4) với:

$S_0$ : là bước dịch dao ngang

$h_{sn}$ : là chiều cao nhấp nhô lớn nhất

$\rho$ : Là bán kính cung cong cần gia công

$R$ : Là bán kính mũi dao



Hình 3. Sơ đồ tính chiều cao nhấp nhô khi gia công bề mặt lồi bằng dao đầu cầu

Ta có phương trình đường tròn tâm  $O_1$  bán kính  $R$  (đường tròn đầu dao) trong hệ trục tọa độ oxy là:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (2)$$

Trong đó:

$$x_0 = \rho + R - S_0 \quad (3)$$

$$y_0 = \sqrt{(\rho + R)^2 - (\rho + R - S_0)^2} = \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)} \quad (4)$$

Nhìn trên hình vẽ ta thấy  $h_{sn}$  max tại vị trí  $x = \rho$ ;

$$\text{Khi đó: } h_{s1} = \sqrt{\rho^2 + y^2} - \rho \quad (5)$$

Thay Thay (3) và (4) vào phương trình (2) ta được:

$$(S_0 - R)^2 + (y - \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)})^2 = R^2 \quad (6)$$

$\Leftrightarrow y = \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)} + \sqrt{2RS_0 - S_0^2}$  (loại, do với  $x = \rho$  như trên Hình 3 thì  $y$  nhận giá trị nhỏ hơn)

$$\text{Hoặc } y = \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)} - \sqrt{2RS_0 - S_0^2} \quad (7)$$

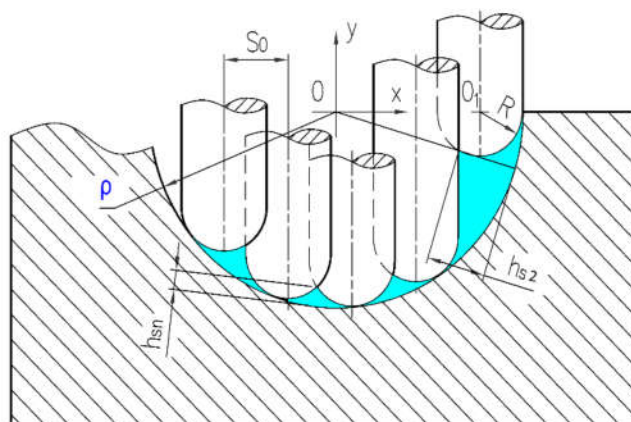
Thay (7) vào (5) ta được:

$$h_{s1} = \sqrt{\rho^2 + \left[ \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)} - \sqrt{2RS_0 - S_0^2} \right]^2} - \rho \quad (8)$$

• Gia công bề mặt cong lõm

Tương tự như bề mặt cong lồi, khi gia công bề mặt cong lõm bằng dao phay ngón đầu cầu chiều cao nhấp nhô thay đổi theo vị trí của dao, nhìn trên Hình 4 ta thấy với cùng một bước tiến ngang  $S_0$  thì chiều cao nhấp nhô khác nhau tại mỗi vị trí của dao trên cung tròn và khi dao ở vị trí

trái nhất hoặc phải nhất của cung tròn thì chiều cao nhấp nhô là lớn nhất, ta cần tìm ra đại lượng này để khi gia công lựa chọn giá trị  $S_0$  hợp lý để có được giá trị  $h_s$  nằm trong giới hạn cho phép của bề mặt gia công ( $h_s \leq [h_s]$ ). Phương trình đường tròn tâm  $O_1$  bán kính  $R$  (đường tròn đỉnh dao) trong hệ



Hình 4. Sơ đồ tính chiều cao nhấp nhô khi gia công bề mặt cong lõm bằng dao phay đầu cầu

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (9)$$

Trong đó:

$$x_0 = \rho - R \quad (10)$$

$$y_0 = 0 \quad (11)$$

$$\text{Trên hình vẽ ta thấy } h_{s(\max)} = h_{s1} \text{ tại vị trí } x = \rho - S_0 \quad (12)$$

Thay (10); (11) và (12) vào (9) ta được:

$$(R - S_0)^2 + y^2 = R^2 \Leftrightarrow y^2 = R^2 - (R - S_0)^2 \quad (13)$$

$$\text{Có: } h_{s2} = \rho - \sqrt{y^2 + (\rho - S_0)^2}$$

$$\Leftrightarrow h_{s2} = \rho - \sqrt{R^2 - (R - S_0)^2 + (\rho - S_0)^2}$$

$$\Leftrightarrow h_{s2} = \rho - \sqrt{2S_0(R - \rho) + \rho^2} \quad (14)$$

Tổng hợp lại ta được kết quả tính chiều cao nhấp nhô lớn nhất khi gia công các dạng bề mặt được biểu diễn trong Bảng 1.

**Bảng 1. Tính toán chiều cao nhấp nhô lớn nhất khi gia công các bề mặt bằng dao phay ngón đầu chỏm cầu.**

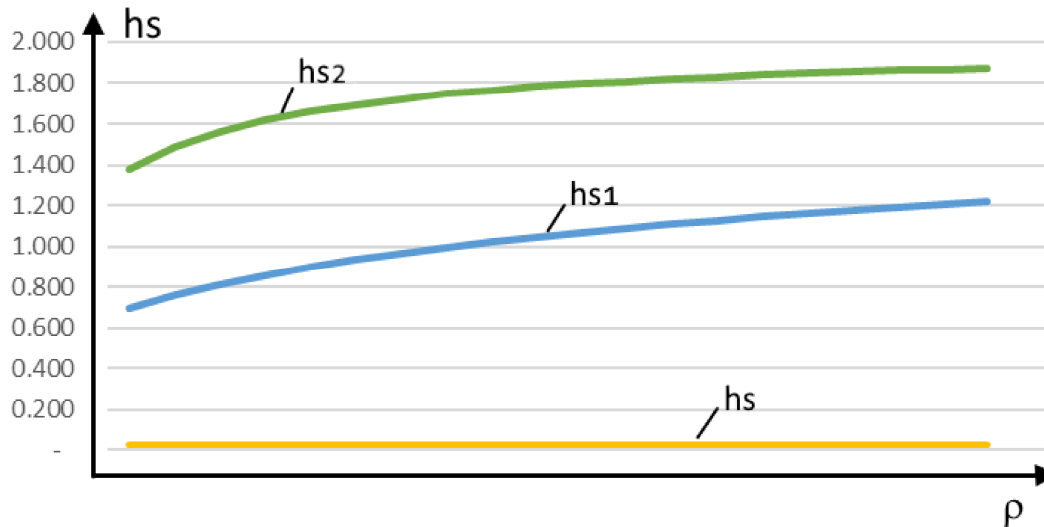
STT	Dạng bề mặt gia công	Công thức tính
1	Gia công mặt phẳng	$h_s = R - \sqrt{R^2 - \frac{S_0^2}{4}}$
2	Gia công mặt cong lõm	$h_{s1} = \sqrt{\rho^2 + \left[ \sqrt{S_0(2\rho + 2R - S_0)} - \sqrt{2RS_0 - S_0^2} \right]^2} - \rho$
3	Gia công mặt cong lồi	$h_{s2} = \rho - \sqrt{2S_0(R - \rho) + \rho^2}$

Áp dụng tính cho bề mặt cụ thể tương ứng với dao  $D=16\text{mm}$ , lượng dịch dao ngang  $S_o=2\text{mm}$ , tính cho 20 mẫu tương ứng bán kính cong ban đầu là  $\rho = 50\text{ mm}$ , sau đó tăng 10 mm tương ứng, kết quả được thể hiện trong bảng sau:

**Bảng 2. Kết quả tính lượng dư lớn nhất để lại sau gia công mẫu**

STT	$\rho$ (mm)	$S_o$ (mm)	R (mm)	hs (mm)	hs1 (mm)	hs2 (mm)
1	50	2	8	0.063	0.953	1.709
2	60	2	8	0.063	1.014	1.759
3	70	2	8	0.063	1.065	1.794
4	80	2	8	0.063	1.108	1.821
5	90	2	8	0.063	1.146	1.841
6	100	2	8	0.063	1.178	1.857
7	110	2	8	0.063	1.207	1.870
8	120	2	8	0.063	1.233	1.881
9	130	2	8	0.063	1.256	1.891
10	140	2	8	0.063	1.278	1.899
11	150	2	8	0.063	1.297	1.905
12	160	2	8	0.063	1.315	1.911
13	170	2	8	0.063	1.331	1.917
14	180	2	8	0.063	1.347	1.921
15	190	2	8	0.063	1.361	1.926
16	200	2	8	0.063	1.374	1.929

17	210	2	8	0.063	1.386	1.933
18	220	2	8	0.063	1.398	1.936
19	230	2	8	0.063	1.409	1.939
20	240	2	8	0.063	1.419	1.941



Hình 5. Biểu đồ mối quan hệ giữa chiều cao lượng dư sau gia công với bán kính công của bề mặt gia công

Từ kết quả trên ta thấy khi gia công bề mặt là dạng mặt phẳng thì giá trị chiều cao nhấp nhô  $h_s$  để lại là như nhau với bất kỳ hướng chạy dao nào và có giá trị nhỏ nhất, với bề mặt cong lõm thì chiều cao nhấp nhô  $h_{sn}$  sẽ có giá trị lớn nhất.

Khi gia công bề mặt chi tiết ta cần phân chia vùng gia công theo dạng bề mặt và lựa chọn đường chạy dao có phương phù hợp để phân lượng dư còn lại thấp nhất. Với vùng bề mặt có dạng mặt cong lõm và dạng mặt cong lõm thì đường chạy dao sẽ chọn có hướng

trùng với đường sinh cong của biên dạng, khi đó với bước tiến dao ngang sẽ tạo ra lượng dư gần tương đương với gia công mặt phẳng, do đó độ chính xác bề mặt đạt cao nhất.

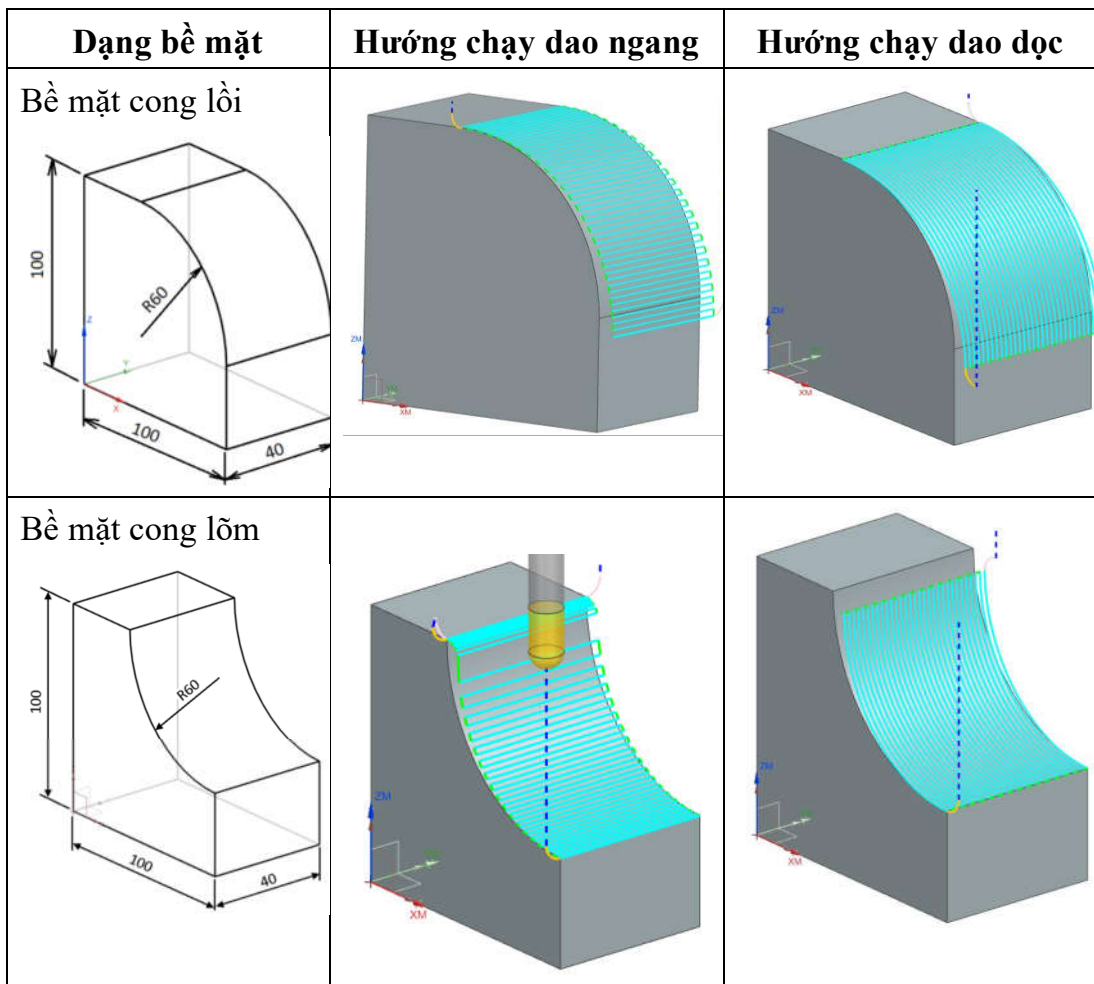
## 2.2. Sử dụng phần mềm Siemens NX để mô phỏng gia công và phân tích lượng dư để lại sau gia công nhằm kiểm nghiệm lại lý thuyết đã tính toán.

Kiểm nghiệm lại kết quả tính toán bằng mô phỏng gia công trên phần mềm CAD/CAM với gia công các dạng bề mặt với các hướng khác nhau.

**Bảng 3. Thông số dụng cụ cắt và thông số chế độ cắt**

STT	Loại dao	Kích thước dao	Bước dịch dao ngang	Bán kính cong của bề mặt	Lượng dư gia công
1	Phay ngón đầu cầu	16mm	2mm	60mm	0,5mm

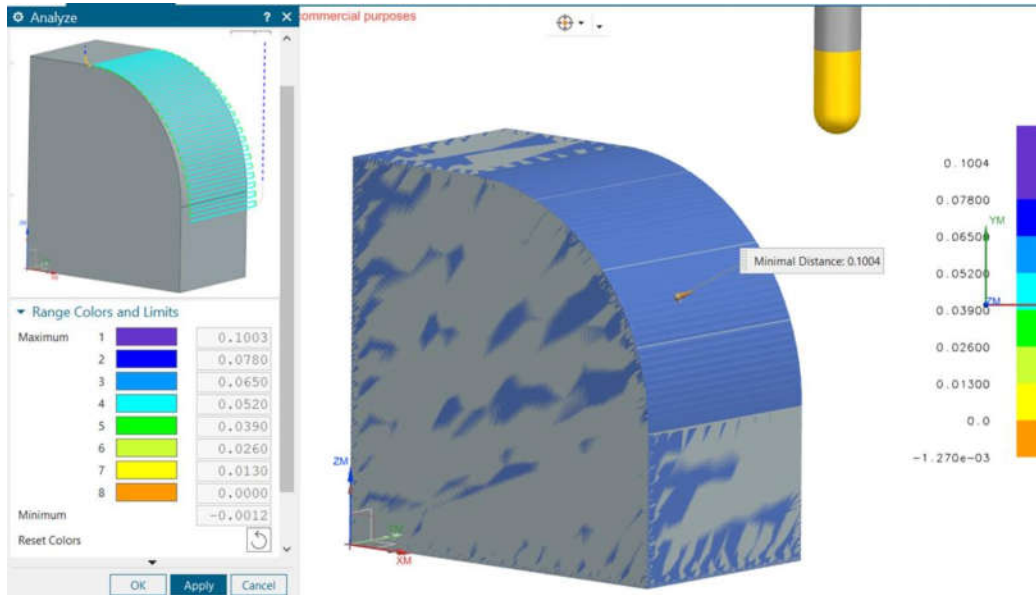
Gia công mặt cong lồi và mặt cong lõm với kích thước và các hướng chạy dao được biểu diễn trên Hình 6.



*Hình 6. Kết quả mô phỏng gia công và phân tích lượng dư trên hệ thống CAD/CAM thương mại NX12.*

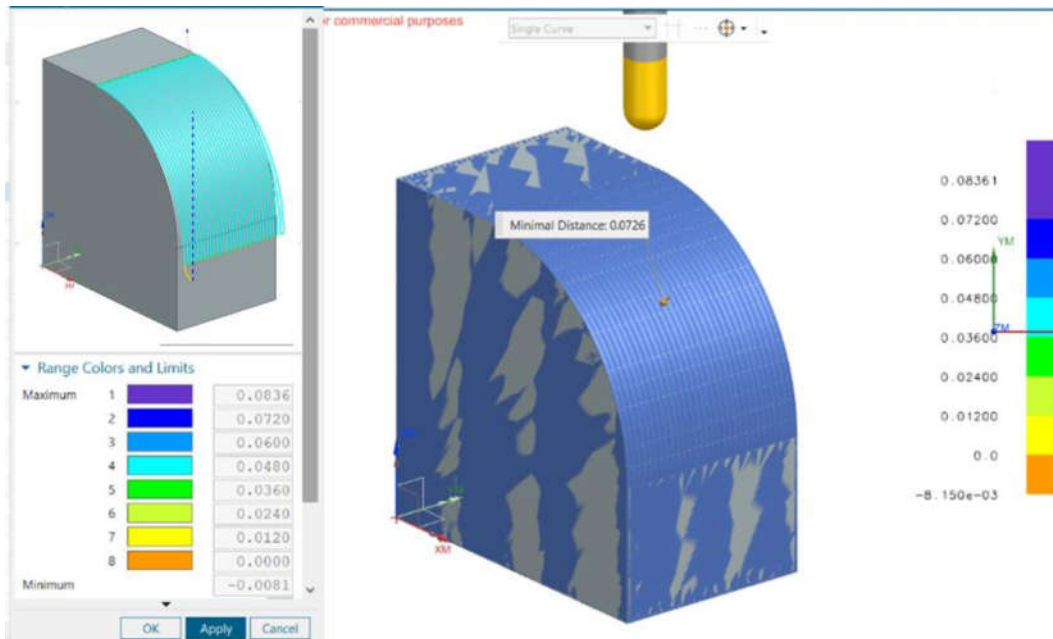
Kết quả mô phỏng gia công và phân tích lượng dư để lại sau gia công bằng phần mềm Siemens NX được thể hiện trên Hình 7.

Với dạng bề mặt cong lồi, dụng cụ cắt di chuyển theo phương ngang, kết quả phân tích được lượng dư lớn nhất để lại sau gia công là 0,1003 mm.



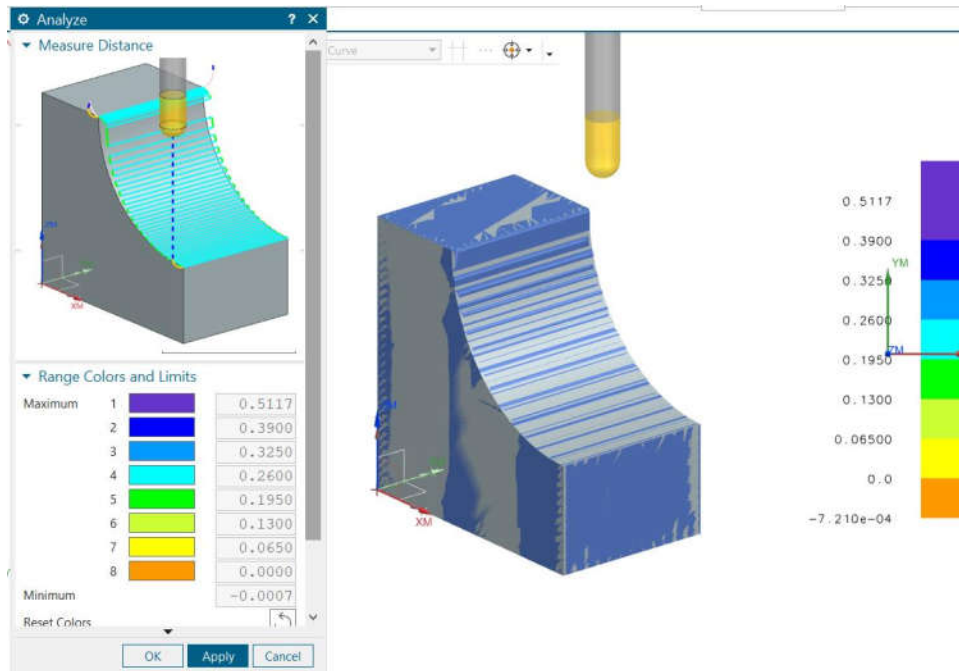
Hình 7. Kết quả phân tích lượng dư còn lại sau gia công

Với dạng bề mặt cong lồi, dụng cụ cắt di chuyển theo phương dọc, kết quả phân tích được lượng dư lớn nhất để lại sau gia công là 0,0836 mm



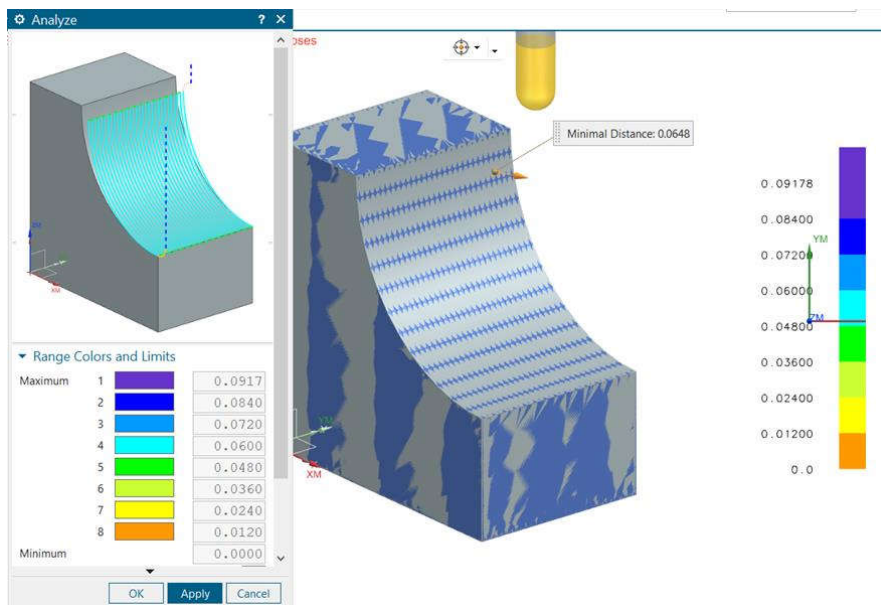
Hình 8. Kết quả phân tích lượng dư còn lại sau gia công

Với dạng bề mặt cong lõm, dụng cụ cắt di chuyển theo phương ngang, kết quả phân tích được lượng dư lớn nhất để lại sau gia công là 0,5117 mm.



Hình 9. Kết quả phân tích lượng dư còn lại sau gia công

Với dạng bề mặt cong lõm, dụng cụ cắt di chuyển theo phương dọc, kết quả phân tích được lượng dư lớn nhất để lại sau gia công là 0,0917 mm.



Hình 10. Kết quả phân tích lượng dư còn lại sau gia công

### 3. KẾT LUẬN

Từ kết quả tính toán và kết quả mô phỏng bằng phần mềm Siemens NX chúng ta thấy với cùng một bề mặt, với đường chạy dao theo phương dọc thì lượng dư để lại sau gia công sẽ nhỏ hơn trường hợp đường chạy dao theo phương ngang. Do đó khi gia công bề mặt chi tiết ta cần phân chia vùng gia công theo dạng bề mặt và lựa chọn đường chạy dao có phương phù hợp để phần lượng dư còn lại thấp nhất. Với vùng bề mặt có dạng mặt cong lõm và dạng mặt cong lồi thì đường chạy dao sẽ chọn có hướng trùng với đường sinh cong của biên dạng, còn với dạng bề mặt là mặt phẳng thì có thể chọn đường chạy dao theo phương bất kỳ. Ngoài ra hình học dụng cụ cũng ảnh hưởng đến độ chính xác bề mặt chi tiết máy. Tương ứng với mỗi dụng cụ có thể lựa chọn những đường dẫn dụng cụ khác nhau để phối hợp trong gia công vừa đảm bảo năng suất vừa đảm bảo độ chính xác bề mặt chi tiết sau gia công.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. P. Spanoudakis, N. Tsurveloudis, and I. Nikolos (2008), “Optimal Selection of Tools for

Rough Machining of Sculptured Surfaces,” *Proc. Int. MultiConference Eng. Comput. Sci. 2008 Vol II IMECS 2008, 19-21 March, 2008, Hong Kong*, vol. II, no. March, pp. 19-21.

2. Q. H. Van (2019), “A Study on Partitioning Freeform Surface and Tool Selection Method for 3 axes CNC Machining,” *J. Korean Soc. Precis.*, vol. 34, p. 7, 2019, doi: <https://doi.org/10.7736/KSPE.2017.34.1.000>.

3. S. Sarkar and P. P. Dey (2015), “Tool Path Planning for Machining Free-Form Surfaces,” vol. 1, pp. 65-79.

4. B. K. Choi and Robert B. Jerard (1998), *Sculptured Machining*.

5. Q. H. Van and T. B. Ngoc (2019), “Effect of Feed Rate, Tool-Path and Step over on Geometric Accuracy of Freeform Surfaces when 3 Axis CNC Milling,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 889, pp. 107-114, 2019, doi: [10.4028/www.scientific.net/amm.889.107](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.889.107).

6. V. Q. Hoang and D. T. Nguyen (2022), “A Simple Method to Tool Path Generation for Cone Surface on CNC 3 Axis Milling,” *Lect. Notes Mech. Eng.*, vol. 2, pp. 481-492, 2022, doi: [10.1007/978-3-030-99666-6-70](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99666-6-70).