

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG POSTPROCESSOR CHO MÁY PHAY CNC 5 TRỤC DẠNG ĐẦU XOAY

RESEARCHING AND DEVELOPING A POSTPROCESSOR
FOR A 5-AXIS CNC MILLING MACHINE WITH A ROTARY HEAD

Đàm Việt Phương^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.112>

TÓM TẮT

Để biên dịch dữ liệu từ phần mềm CAM cho máy CNC có thể hiểu và thực hiện chuyển động cắt gọt tạo hình thì cần được chuyển sang các mã lệnh G-Code, M-code phù hợp với từng hệ điều khiển CNC khác nhau. Với máy CNC 5 trục thì việc biên dịch như vậy khó hơn rất nhiều so với máy CNC 3 trục và 4 trục, đặc biệt với các máy CNC 5 trục dạng đầu xoay lại càng khó hơn vì chương trình gia công sau khi biên dịch thành dữ liệu Gcode, Mcode không những phụ thuộc vào hệ điều khiển CNC mà còn phụ thuộc trực tiếp vào chiều dài dụng cụ. Giá thành mỗi bộ PostProcessor có giá rất cao và phụ thuộc vào các hãng cung cấp phần mềm CAM. Nghiên cứu này có mục đích xây dựng một phần mềm PostProcessor cho máy CNC 5 trục dạng đầu xoay với đầu vào là dữ liệu CL Data tiêu chuẩn và xuất ra mã lệnh Gcode cho máy CNC thực hiện, phần mềm này độc lập với các phần mềm CAM và có thể tương thích với nhiều hệ điều khiển CNC khác nhau.

Từ khóa: PostProcessor; CNC 5 trục

ABSTRACT

To translate data from CAM software into CNC machine-readable code for cutting and shaping, it needs to be converted into appropriate G-Code and M-Code commands that correspond to different CNC controllers. Compiling such code for 5-axis CNC machines is much more challenging than for 3-axis or 4-axis machines, particularly for 5-axis machines with rotary heads, because the machining program, after being compiled into G-Code and M-Code data, depends not only on the CNC controller but also directly on the tool length. The cost of each PostProcessor package is high and depends on the CAM software providers. This study aims to develop a PostProcessor software for 5-axis CNC machines with rotary heads, which takes standard CL Data as input and outputs G-Code commands for the CNC machine to execute. The software is independent of CAM software and can be compatible with various CNC controllers.

Keywords: PostProcessor, 5 Axis CNC Milling

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email: damphuong@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/4/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/6/2023

1. MỞ ĐẦU

POSTPROCESSOR là cầu nối giữa phần mềm CAM và máy CNC, có nhiệm vụ chuyển dữ liệu đường chạy dao từ

phần mềm CAM sang dữ liệu G-CODE để máy CNC có thể đọc và thực hiện. Mỗi phần mềm CAM thường sẽ có những bộ PostProcessor đi kèm cho các máy phay CNC 3 trục và một vài loại máy CNC 5 trục.

Tuy nhiên, với những máy CNC 5 trục thì có rất nhiều tham số ảnh hưởng tới việc biên dịch dữ liệu và không thể dùng chung một bộ PostProcessor cho nhiều loại máy CNC 5 trục khác nhau mà thường mỗi loại máy CNC 5 trục sẽ có một bộ PostProcessor phù hợp.

Có nhiều nghiên cứu trước đây đã nghiên cứu kỹ về vấn đề viết PostProcessor cho các máy CNC 5 trục. Chẳng hạn, tác giả Trần Đức Tăng nghiên cứu bộ PostProcessor cho máy phay 5 trục đầu xoay có trục xoay nghiêng góc 45° so với trục Y. Nhìn chung tất cả các máy CNC 5 trục hiện nay đều đã có những bộ PostProcessor phù hợp, do đó vấn đề nghiên cứu này không phải là mới, tuy nhiên thực tế cho thấy các sản phẩm Postprocessor vẫn chưa được phổ biến nhiều tới các cơ sở sản xuất do giá thành rất cao. Hơn nữa, các bộ PostProcessor cho máy 5 trục hiện nay thường yêu cầu gốc tọa độ gia công nằm trên trục xoay còn phần mềm PostProcessor trong nghiên cứu này cho phép đặt gốc tọa độ gia công tại bất kỳ vị trí nào trên bàn máy. Nghiên cứu này chỉ trình bày hướng tiếp cận của tác giả về phương pháp để xây dựng bộ PostProcessor cho máy phay 5 trục dạng đầu xoay với trục B (trục xoay song song với trục Y), bàn xoay với trục C. Phương pháp tiếp cận trong bài báo không chỉ áp dụng cho loại cấu hình máy phay CNC 5 trục dạng B-Head, C-Tab mà có thể áp dụng để xây dựng PostProcessor cho các loại cấu hình máy 5 trục khác nhau.

Nghiên cứu này tập trung vào loại máy CNC 5 trục dạng đầu xoay loại B Head - C Tab với cấu hình chiều quay B+, C-.

Có ba yếu tố quan trọng để xây dựng bộ PostProcessor là:

- Mô hình động học của máy CNC, phụ thuộc vào kết cấu và cấu hình chuyển động của các trục.
- Định dạng dữ liệu CL Data
- Phương pháp xử lý dữ liệu CL Data

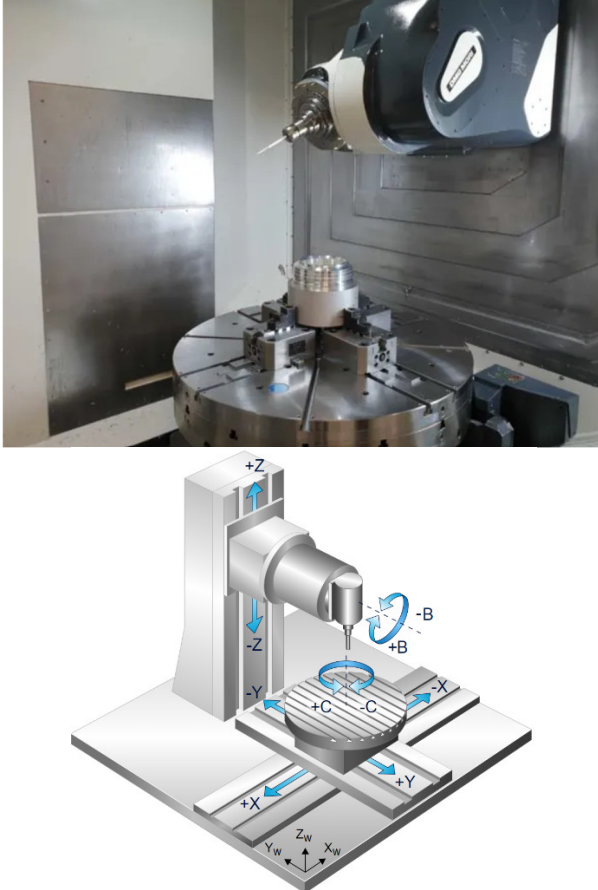
Mục tiêu của nghiên cứu này sẽ xây dựng một phần mềm PostProcessor với dữ liệu đầu vào là file định dạng

CLSF xuất từ phần mềm SIEMENS NX, dữ liệu đầu ra là dữ liệu G-Code có thể sử dụng cho máy CNC.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Động học thuận và động học ngược của máy CNC 5 trục kiểu HEAD- TABLE

Cấu hình máy CNC 5 trục lựa chọn trong nghiên cứu này là dạng máy HEAD- TABLE với đầu xoay là trục B, bàn xoay là trục C và chiều quay dạng B+ C-



Hình 1. Máy CNC 5 trục B Head- C Tab cấu hình B+, C-

Các ký hiệu và giới hạn các trục quay như sau:

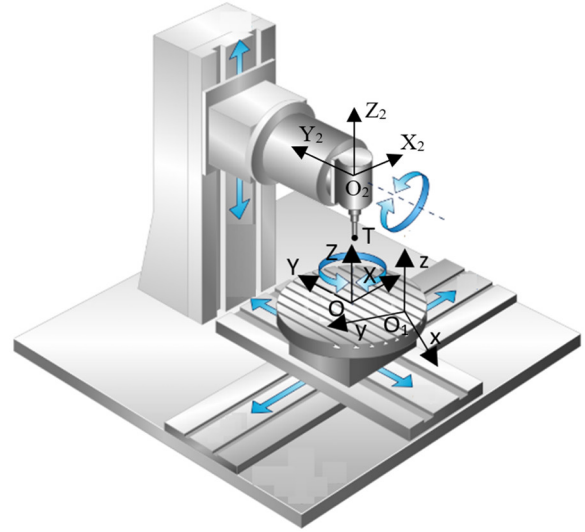
- Trục B thay đổi từ -90° đến $+90^\circ$
- Trục C thay đổi từ 0° đến 360°
- Ký hiệu khoảng cách từ tâm dao đến trục xoay B là L (chính là độ dài đoạn TO_2)
- Ký hiệu hệ tọa độ phôi là O_1xyz , hệ tọa độ này gắn liền với chi tiết
- Hệ tọa độ (OXYZ) có các trục OX, OY, OZ lần lượt song song với các trục X, Y, Z của máy CNC, là hệ tọa độ được thể hiện trên file NC.

- T: Tâm mũi dao

- $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ là vectơ đơn vị tương ứng với các trục OX, OY, OZ

- $\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$ là vectơ đơn vị tương ứng với các trục O_1x, O_1y, O_1z

- $\vec{i}_2, \vec{j}_2, \vec{k}_2$ là vectơ đơn vị tương ứng với các trục O_2x_2, O_2y_2, O_2z_2



Hình 2. Mối quan hệ giữa các hệ tọa độ

Như vậy, tọa độ trong file NC chính là tọa độ của mũi dao T khi xét trong hệ tọa độ (OXYZ)

Để tính toán được động học thuận và động học ngược của máy CNC, ta cần xác định được mối quan hệ của các hệ tọa độ (O_1xyz), (OXYZ) và $O_2x_2y_2z_2$

Ta có:

$$\vec{O_1T} = \vec{O_1O} + \vec{OO_2} + \vec{O_2T}$$

Xét trong hệ tọa độ (OXYZ), hệ tọa độ này chính là hệ tọa độ được biểu diễn trong file NC, như vậy tọa độ điểm O_2 trong hệ (OXYZ) là: (X, Y, Z+L)

Hay:

$$\vec{OO_2} = (X - x_0)\vec{i} + (Y - y_0)\vec{j} + (Z + L)\vec{k}$$

$$\vec{O_1O} = -R \cos(\alpha_0 + C)\vec{i} - R \sin(\alpha_0 + C)\vec{j}$$

Với:

$$\alpha_0 = \arccos\left(\frac{-x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\right) : y_0 \leq 0$$

$$\alpha_0 = 360^\circ - \arccos\left(\frac{-x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\right) : y_0 > 0$$

$$\alpha_0 = 0 : x_0 = 0, y_0 = 0$$

$$R = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

Trong hệ tọa độ $O_2x_2y_2z_2$:

$$\vec{O_2T} = -L\vec{k}_2 = L\sin B\vec{i} - L\cos B\vec{k}$$

Như vậy:

$$\vec{O_1T} = (-R \cos(\alpha_0 + C) + X - x_0 - L \sin B)\vec{i} + (-R \sin(\alpha_0 + C) + Y - y_0)\vec{j} + (Z + L - L \cos B)\vec{k}$$

Mặt khác:

$$\vec{O_1T} = x\vec{i_1} + y\vec{j_1} + z\vec{k_1}$$

và để ý mối quan hệ:

$$\vec{i_1} = \cos C\vec{i} + \sin C\vec{j}; \vec{j_1} = -\sin C\vec{i} + \cos C\vec{j}; \vec{k_1} = \vec{k}$$

Ta được:

$$\begin{aligned} x &= (-R\cos(\alpha_0 + C) + X - x_0 - L\sin B)\cos C \\ &\quad - (-R\sin(\alpha_0 + C) + Y - y_0)\sin C \\ y &= (-R\cos(\alpha_0 + C) + X - x_0 - L\sin B)\sin C \\ &\quad + (-R\sin(\alpha_0 + C) + Y - y_0)\cos C \\ z &= Z + L - L\cos B \end{aligned} \quad (1)$$

Và:

$$\begin{aligned} X &= x\cos C + y\sin C + R\cos(\alpha_0 + C) + L\sin B + x_0 \\ Y &= -x\sin C + y\cos C + R\sin(\alpha_0 + C) + y_0 \\ Z &= z + L\cos B - L \\ B &= \pm \arccos K \\ C &= \pm \arccos(l/\sin B) \end{aligned} \quad (2)$$

Với: x, y, z là tọa độ tâm dụng cụ trong hệ tọa độ phôi, l, J, K là tọa độ của vec-tơ đơn vị biểu thị hướng của dụng cụ, X, Y, Z, B, C là tọa độ thể hiện trên máy CNC, L là khoảng cách từ tâm dụng cụ đến trục B, x_0, y_0 biểu thị vị trí của tâm bàn xoay trục C so với gốc tọa độ máy.

Các phần mềm CAM sẽ xuất ra các tọa độ x, y, z, l, J, K , để máy CNC có thể hoạt động theo dữ liệu này cần xác định các tọa độ X, Y, Z, B, C theo hệ phương trình (2).

Hệ phương trình (2) là hệ phương trình không có nghiệm duy nhất, do đó cần phải xác định giá trị X, Y, Z, B, C phù hợp nhất.

- Phương án lựa chọn giá trị X, Y, Z, B, C phù hợp.

Khi có nhiều giá trị X, Y, Z, B, C thỏa mãn (2), các giá trị được lựa chọn theo thứ tự ưu tiên như sau:

- Góc B ưu tiên thay đổi với giá trị nhỏ nhất.
- Tiếp theo góc C ưu tiên thay đổi với giá trị nhỏ nhất
- Cuối cùng là các chuyển động X, Y, Z

Như vậy, chuyển động hợp lý được lựa chọn trong nghiên cứu này là hạn chế tối thiểu sự thay đổi của các góc B, C .

Các giá trị góc B, C được lựa chọn trong phạm vi theo bảng 1.

Bảng 1. Bảng lựa chọn giá trị B, C theo thứ tự ưu tiên

I	J	C	B
>0	>0	$90^\circ < C < 180^\circ$	$-90^\circ < B < 0^\circ$
>0	>0	$270^\circ < C < 360^\circ$	$0^\circ < B < 90^\circ$
<0	<0	$90^\circ < C < 180^\circ$	$0^\circ < B < 90^\circ$
<0	<0	$180^\circ < C < 270^\circ$	$-90^\circ < B < 0^\circ$
>0	<0	$90^\circ < C < 180^\circ$	$0^\circ < B < 90^\circ$

>0	<0	$270^\circ < C < 360^\circ$	$-90^\circ < B < 0^\circ$
<0	>0	$90^\circ < C < 180^\circ$	$-90^\circ < B < 0^\circ$
<0	>0	$270^\circ < C < 360^\circ$	$0^\circ < B < 90^\circ$
0	>0	90°	$-90^\circ < B < 0^\circ$
0	<0	270°	$-90^\circ < B < 0^\circ$
>0	0	0°	$-90^\circ < B < 0^\circ$
<0	0	180°	$-90^\circ < B < 0^\circ$
>0	0	180°	$0^\circ < B < 90^\circ$
<0	0	0°	$0^\circ < B < 90^\circ$
0	>0	270°	$0^\circ < B < 90^\circ$
0	<0	90°	$0^\circ < B < 90^\circ$
0	0	0°	0°

2.2. Xây dựng phần mềm PostProcessor

Dữ liệu CL Data đầu vào lấy từ phần mềm SIEMENS NX theo chuẩn CLSF ISO.

Dữ liệu có dạng như sau:

- Chạy dao nhanh:

RAPID

GOTO/ x, y, z, l, J, K

- Chạy dao theo đoạn thẳng:

GOTO/ x, y, z, l, J, K

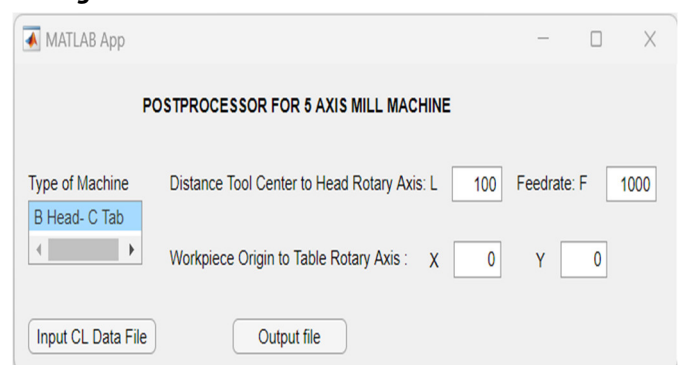
- Chạy dao theo cung tròn:

CIRCLE/ $x_C, y_C, z_C, l_C, J_C, K_C, R$

GOTO/ x, y, z

Ở đây, giá trị x_C, y_C, z_C là tọa độ tâm cung tròn, l_C, J_C, K_C thể hiện chiều quay của cung tròn, R là bán kính cung tròn, x, y, z là tọa độ điểm cuối cung tròn.

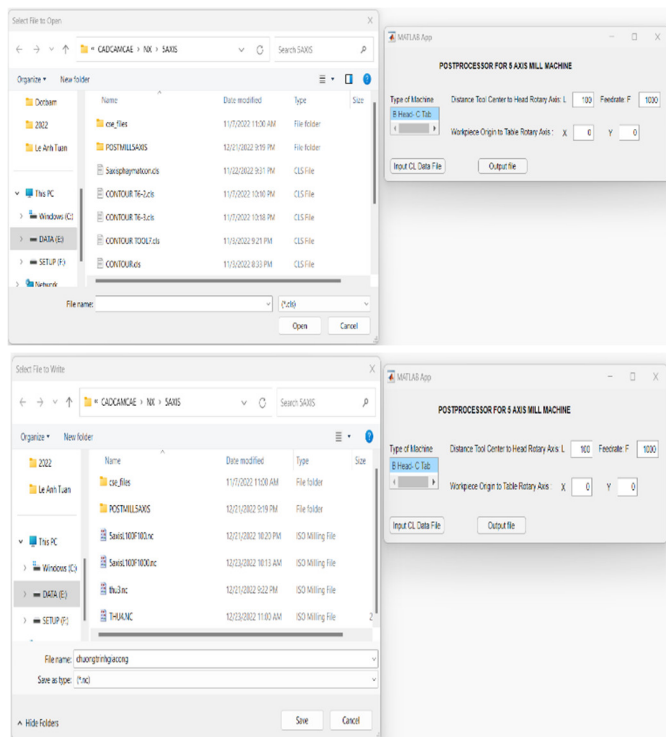
• Phần mềm **POSTPROCESSOR** được viết trong môi trường **Matlab**.



Hình 3. Phần mềm PostProcessor

- Giao diện phần mềm gồm:
 - Trường lựa chọn kiểu máy CNC
 - Trường nhập tham số khoảng cách từ tâm dụng cụ đến trục xoay
 - Trường nhập tọa độ gốc phôi so với trục xoay
 - Trường nhập vận tốc cắt

- Chức năng chọn file CL Data
- Chức năng xuất file NC

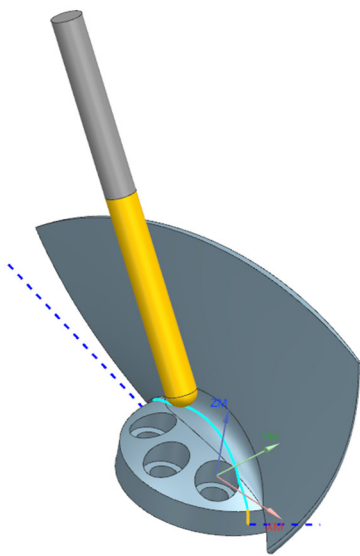


Hình 4. Các chức năng của phần mềm PostProcessor

2.3. Thử nghiệm phần mềm

Thử nghiệm xuất mã G-Code từ file CLSF xuất từ phần mềm NX

- **Dữ liệu CL Data đầu vào:**



Hình 5. Đường cong chạy dao thử nghiệm

CL Data
TOOL PATH/CONTOUR_PROFILE,TOOL,BALL_MILL_1
TLDATA/MILL,20.0000,10.0000,275.0000,0.0000,0.0000
MSYS/0.0000,67.5000,0.0000,1.0000000,0.0000000,0.0000000,0.0000000,0.00

```

00000,1.0000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED,10
PAINT/COLOR,186
RAPID
GOTO/115.1631,-37.7786,50.9222,0.8484953,0.0180935,0.5288936
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/61.8544,-38.9154,17.6931
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPM,250.0000
GOTO/60.6868,-38.5396,17.1154
GOTO/59.6457,-37.6553,17.0103
GOTO/58.7079,-36.6831,17.2743
GOTO/57.8106,-35.7581,17.7616
GOTO/56.9262,-34.9090,18.3914
GOTO/56.0439,-34.1380,19.1177
GOTO/55.1597,-33.4400,19.9124
GOTO/54.2719,-32.8081,20.7571
GOTO/53.3804,-32.2355,21.6393
PAINT/COLOR,31
GOTO/52.7743,-31.8659,22.2484,0.8411551,0.0199975,0.5404240
GOTO/52.0702,-31.4983,22.7860,0.8335804,0.0215555,0.5519774
GOTO/50.6260,-30.7810,23.7869,0.8179281,0.0245250,0.5747974

```

G Code
T7 M6
G43 H7
G90 G0 Z-137.520
G90 G0 X-453.807 Y40.225
G90 G0 B-58.069 C178.779
G90 G0 Z-170.749
G90 G0 X-400.486 Y40.225
G1 X-399.327 Y39.824 Z-171.327 F1000.0
G1 X-398.305 Y38.918 Z-171.432
G1 X-397.388 Y37.926 Z-171.168
G1 X-396.510 Y36.982 Z-170.681
G1 X-395.644 Y36.115 Z-170.051
G1 X-394.779 Y35.325 Z-169.325
G1 X-393.910 Y34.608 Z-168.530
G1 X-393.035 Y33.958 Z-167.685
G1 X-392.156 Y33.366 Z-166.803
G1 X-388.559 Y33.111 Z-161.582 B-57.287 C178.638
G1 X-384.782 Y32.834 Z-156.423 B-56.497 C178.519
G1 X-376.999 Y32.285 Z-146.294 B-54.915 C178.282

• Kiểm tra kết quả trên phần mềm CIMCO EDIT:

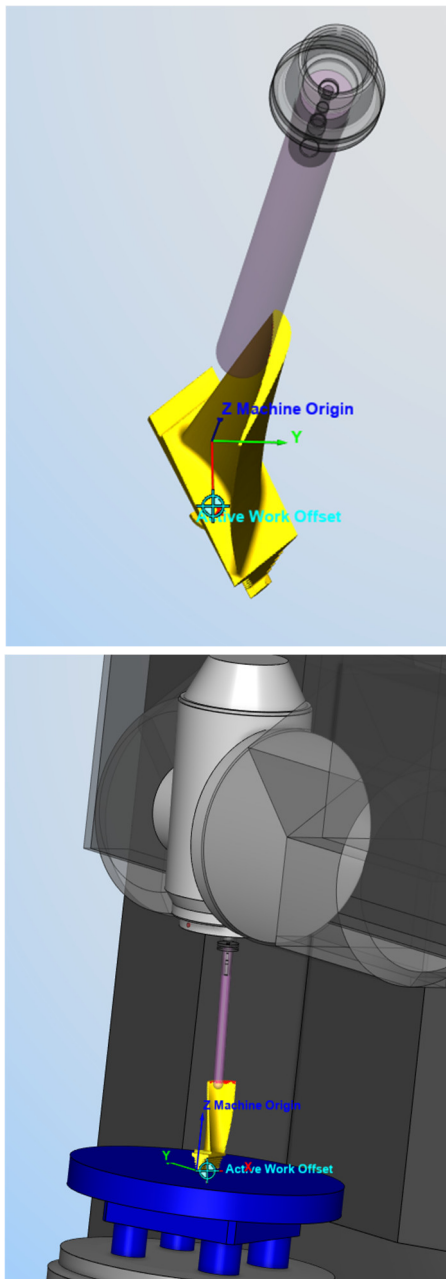
CLData:

```

RAPID
GOTO/115.1631,-37.7786,50.9222,0.8484953,0.0180935,0.5288936
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/61.8544,-38.9154,17.6931
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPM,250.0000
GOTO/60.6868,-38.5396,17.1154
GOTO/59.6457,-37.6553,17.0103
GOTO/58.7079,-36.6831,17.2743
GOTO/57.8106,-35.7581,17.7616
GOTO/56.9262,-34.9090,18.3914
GOTO/56.0439,-34.1380,19.1177
GOTO/55.1597,-33.4400,19.9124
GOTO/54.2719,-32.8081,20.7571
GOTO/53.3804,-32.2355,21.6393

```

Hình 6. Dữ liệu CL Data



Hình 7. Mô phỏng gia công trên máy CNC ảo bằng phần mềm VERICUT

NC Data:

```

T7 M6
G43 H7
G90 G0 Z-137.520
G90 G0 X-453.807 Y40.225
G90 G0 B-58.069 C178.779
G90 G0 Z-170.749
G90 G0 X-400.486 Y40.225
G1 X-399.327 Y39.824 Z-171.327 F1000.0
G1 X-398.305 Y38.918 Z-171.432
G1 X-397.388 Y37.926 Z-171.168
G1 X-396.510 Y36.982 Z-170.681
G1 X-395.644 Y36.115 Z-170.051
G1 X-394.779 Y35.325 Z-169.325
G1 X-393.910 Y34.608 Z-168.530
G1 X-393.035 Y33.958 Z-167.685
G1 X-392.156 Y33.366 Z-166.803
G1 X-388.559 Y33.111 Z-161.582 B-57.287 C178.638
G1 X-384.782 Y32.834 Z-156.423 B-56.497 C178.519
G1 X-376.999 Y32.285 Z-146.294 B-54.915 C178.282
G1 X-368.930 Y31.721 Z-136.346 B-53.329 C178.049
G1 X-360.609 Y31.161 Z-126.621 B-51.744 C177.809
G1 X-356.531 Y30.988 Z-122.014 B-50.966 C177.644
G1 X-352.046 Y30.608 Z-117.132 B-50.160 C177.559
G1 X-347.820 Y30.420 Z-112.610 B-49.381 C177.395
G1 X-343.384 Y30.144 Z-108.007 B-48.590 C177.263
G1 X-334.450 Y29.660 Z-99.085 B-47.019 C176.961
G1 X-325.302 Y29.194 Z-90.429 B-45.456 C176.627
G1 X-315.990 Y28.768 Z-82.077 B-43.903 C176.245
G1 X-306.534 Y28.387 Z-74.036 B-42.362 C175.811
G1 X-297.042 Y27.990 Z-66.332 B-40.850 C175.378
G1 X-287.446 Y27.679 Z-58.329 B-39.301 C174.814
G1 X-277.793 Y27.343 Z-50.650 B-37.776 C174.258
G1 X-267.873 Y26.976 Z-43.183 B-36.244 C173.703

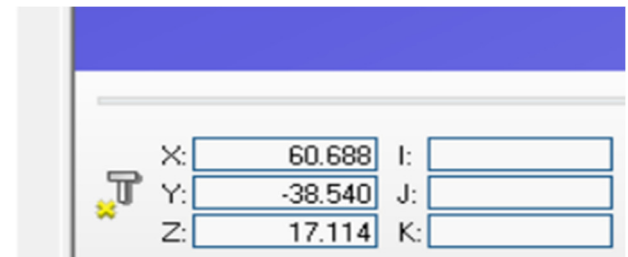
```

Hình 8. So sánh dữ liệu CL Data và dữ liệu trên CIMCO EDIT

Dòng lệnh được bôi đen trên dữ liệu CL Data thể hiện hệ tọa độ phôi là:

(60.6868, -38.5396, 17.1154)

Trong chương trình NC được xuất ra tương ứng với tọa độ trên máy là (-399,327; 39,824; -171,327) và tọa độ phôi được thể hiện trên phần mềm tương ứng là:



Hình 9. Tọa độ phôi trên CIMCO EDIT

So sánh kết quả này với kết quả từ file CL Data thấy rằng dữ liệu tương thích với nhau.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thiết lập được mối quan hệ giữa tọa độ máy và tọa độ phôi đối với máy phay CNC 5 trục đầu xoay dạng B- Head, C- Tab, trục xoay B song song với trục Y. Phần mềm PostProcessor cho phép thiết lập gốc tọa độ gia công tại bất kỳ vị trí nào trên bàn máy chứ không nhất thiết phải nằm trên trục quay.

Dùng phương pháp này ta có thể xây dựng bộ PostProcessor cho nhiều cấu hình máy CNC 5 trục khác nhau.

Mô phỏng gia công trên máy CNC ảo có thể xem tại địa chỉ: <https://www.youtube.com/watch?v=gHWnBIPwx9k>

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tran Duc Tang, 2013. *A Five-Axis CNC Machine Postprocessor Based on Inverse Kinematics Transformation*. Advanced Materials Research Vols 622-623 (2013) pp 525-530
- [2]. Jung Y.H., Lee D.W., Kim J.S., Mok H.S., 2002. *NC Postprocessor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type*. Journal of Materials Processing Technology 130-131 (2002), p641-646.
- [3]. Lee R.S., She C.H., 1997. *Developing a Postprocessor for Three Types of Five-Axis Machine Tool*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 13, p658-665
- [4]. Bohez E. L. J., 2002. *Five-axis milling machine tool kinematics chain design and analysis*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, p505-520.

AUTHOR INFORMATION**Dam Viet Phuong**

Military Technology Academy, Vietnam