

# SAI SỐ ĐỊNH VỊ VÀ ĐỊNH HƯỚNG TRỤC DỤNG CỤ ẢNH HƯỞNG BỞI SAI SỐ TRỤC QUAY CỦA MÁY PHAY CNC 5 TRỤC KIỂU TTR-TR

Nguyễn Hồng Thái

Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội

Email: [thai.nguyenhong@hust.vn](mailto:thai.nguyenhong@hust.vn)

Đến Tòa soạn: 15/08/2011; Chấp nhận đăng: 4/6/2013

## TÓM TẮT

Xác định nguyên nhân gây sai số bề mặt gia công và đưa ra các giải pháp giảm thiểu sai số gia công nhằm đạt được các sản phẩm có độ chính xác cao khi gia công các bề mặt phức tạp trên máy phay CNC 5 trục đang là mục tiêu của nhiều nhà nghiên cứu. Đây là một vấn đề phức tạp vì sai số bề mặt sau khi gia công được gây ra bởi nhiều nguyên nhân, trong số đó thì nguyên nhân phổ biến nhất là sai số động học ví dụ như sai số vị trí và định hướng trục dụng cụ gây ra bởi hai trục quay của máy phay CNC 5 trục. Trong bài báo này, tác giả trình bày mô hình toán xác định sai số định vị và định hướng trục dụng cụ gây ra bởi trục quay BC trong máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR. Các biểu thức xác định sai số được thiết lập trên cơ sở hệ phương trình động học ngược khi xét chuyển động tạo hình tương đối giữa phôi và dụng cụ. Từ đó tiến hành lập trình trên phần mềm Matlab để xác định sai số vị trí và hướng khi gia công bề mặt cho dưới dạng tham số  $S(u,v)$  nhằm kiểm nghiệm mô hình toán đã được thiết lập.

*Từ khóa:* sai số máy phay CNC 5 trục.

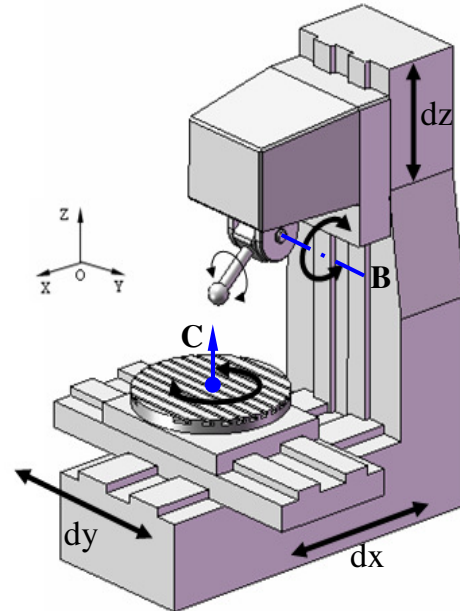
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sai số trong quá trình gia công trên máy phay CNC 5 trục do nhiều nguyên nhân gây ra làm ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt của sản phẩm gia công [1] trong đó phải kể đến như:

- + Sai số động học của máy và sai số hình học của các chi tiết máy,
- + Sai số do biến dạng nhiệt sinh ra trong quá trình gia công,
- + Sai số do rung động trong quá trình gia công,
- + Sai số do lực cắt trong quá trình gia công,
- + Sai số do ma sát trong hệ dẫn động,
- + Sai số do điều khiển động cơ servo,
- + Lực quán tính khi tăng hay giảm tốc.

Trong số đó, ảnh hưởng nhiều nhất đến độ chính xác (*vị trí và hướng*) của cặp động học (*phôi và dụng cụ*) là sai số động học của máy và biến dạng nhiệt sinh ra trong quá trình gia công. Những sai số do máy được chia làm 2 loại: sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống. Sai số hệ thống có thể mô tả hay dự báo dựa trên mô hình toán học, từ đó có thể tính toán bù sai số. Tuy nhiên,

với sai số ngẫu nhiên thì việc mô hình hóa và tính toán quy luật bù trừ là rất khó khăn. Trong tài liệu [1-3] đã chỉ ra 13 sai số kích thước hình học, bao gồm: 8 sai số liên quan đến các trục quay và 5 sai số liên quan đến các trục tịnh tiến, những sai số này xác định độ chính xác của máy. Ngoài ra, trong tài liệu [1] cũng đưa ra sơ đồ và cơ sở lí luận để áp dụng phương pháp đo DBB theo tiêu chuẩn ISO 230-1 của máy CNC 3 trục vào ứng dụng đo sai số hình học của máy CNC 5 trục. Như vậy, sai số bề mặt sau gia công do nhiều nguyên nhân gây lên, trong đó có những nguyên nhân phụ thuộc lẫn nhau, triệt tiêu nhau, nguyên nhân chính, nguyên nhân phụ góp phần tạo ra sai số tổng thể bề mặt sau gia công. Do đó, xác định một trong những nguyên nhân là cần thiết góp phần dự đoán và giải quyết chính xác trong quá trình khảo sát và đánh giá sai số tổng thể. Trong nghiên cứu này tác giả thiết lập mô hình toán xác định sai số định vị và định hướng trục dụng cụ do sai số trục quay BC của máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR (hình 1) với giả thiết sai số do các nguyên nhân khác bằng không.



Hình 1. Máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR.

## 2. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC

Có rất nhiều phương pháp khác nhau để giải bài toán động học như: phương pháp biến đổi ma trận đồng nhất, phương pháp véc tơ giải tích v.v...

Trong tài liệu [4] tác giả Ming Che Ho sử dụng phương pháp D-H (Denavit- Hartenberg) thiết lập phương trình và giải bài toán động học, nhưng bỏ qua các kích thước động học của máy, chỉ quan tâm đến các thông số điều khiển động học. Phương pháp này có ưu điểm tổng quát hóa cho mọi kết cấu máy khi coi các máy CNC 5 trục như một robot chuỗi động học hở hay robot tác hợp, tuy nhiên phương pháp này hay bị nhầm lẫn khi đặt các hệ quy chiếu. Phương pháp véc tơ giải tích và biến đổi ma trận đơn giản hơn và thường được sử dụng trong phân tích động học của máy và robot. Trong nghiên cứu này, để thuận tiện cho quá trình thiết lập phương trình động học, coi máy phay CNC 5 trục như là một hệ vật rắn chuỗi động học hở, trong đó chọn hệ quy chiếu  $H_0\{O_0x_0y_0z_0\}$  làm hệ tọa độ quy chiếu gốc để đưa hệ quy chiếu gắn trên đầu trục chính và bàn máy về hệ quy chiếu gốc  $H_0$  của máy nhằm xét chuyển động tương đối giữa dụng cụ và phôi.

Với máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR (hình 1) và cách đặt hệ quy chiếu (hình 2) ta có ma trận chuyển từ hệ quy chiếu trên đầu trục chính về hệ quy chiếu gốc máy  ${}^0H_5$  cho bởi phương trình (1) và ma trận chuyển từ hệ quy chiếu gắn trên bàn máy về hệ quy chiếu gốc máy  ${}^0H_3$  cho bởi phương trình (2). Như vậy, ta có ma trận chuyển  ${}^0H_5$ :

$${}^0H_5 = \begin{bmatrix} \sin(B) & 0 & -\cos(B) & a_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \cos(B) & 0 & \sin(B) & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ma trận chuyển  ${}^0H_3$ :

$${}^0\mathbf{H}_3 = \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C) & 0 & dx \\ \sin(C) & \cos(C) & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & a_0 + a_1 + a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Phương trình (1 và 2) được tính theo phương pháp biến đổi ma trận trong phần động học của các tài liệu [5, 6].

Mặt khác, gọi:

+  ${}^{0T}\underline{t}_{di}$  và  ${}^{0T}\underline{CL}_i$ : lần lượt là véc tơ đơn vị chỉ hướng của trục dụng cụ và tọa độ điểm định vị dụng cụ trong hệ quy chiếu gốc  $H_0$ .

+  ${}^{0P}\underline{t}_{di}$  và  ${}^{0P}\underline{CL}_i$ : lần lượt là véc tơ đơn vị chỉ hướng trục dụng cụ và tọa độ điểm định vị dụng cụ trên đường dụng cụ ( $\zeta$ ) của hệ quy chiếu bàn máy trong hệ quy chiếu gốc  $H_0$ .

Khi đó:

+ Véc tơ định hướng trục dụng cụ  ${}^P\underline{t}_{di}$  của ( $\zeta$ ) trong hệ quy chiếu gốc  $H_0$ :

$${}^{0P}\underline{t}_{di} = {}^0\mathbf{H}_3 \cdot {}^P\underline{t}_{di} \quad (3)$$

+ Véc tơ định vị vị trí  $\underline{CL}_i$  của ( $\zeta$ ) trong hệ quy chiếu  $H_0$ :

$${}^{0P}\underline{CL}_i = {}^0\mathbf{H}_3 \cdot \underline{CL}_i \quad (4)$$

+ Véc tơ định vị hướng trục dụng cụ  ${}^T\underline{t}_d$  trong hệ quy chiếu  $H_0$ :

$${}^{0T}\underline{t}_{di} = {}^0\mathbf{H}_5 \cdot {}^T\underline{t}_{di} \quad (5)$$

+ véc tơ vị trí  ${}^T\underline{CL}$  trên dụng cụ trong hệ quy chiếu  $H_0$ :

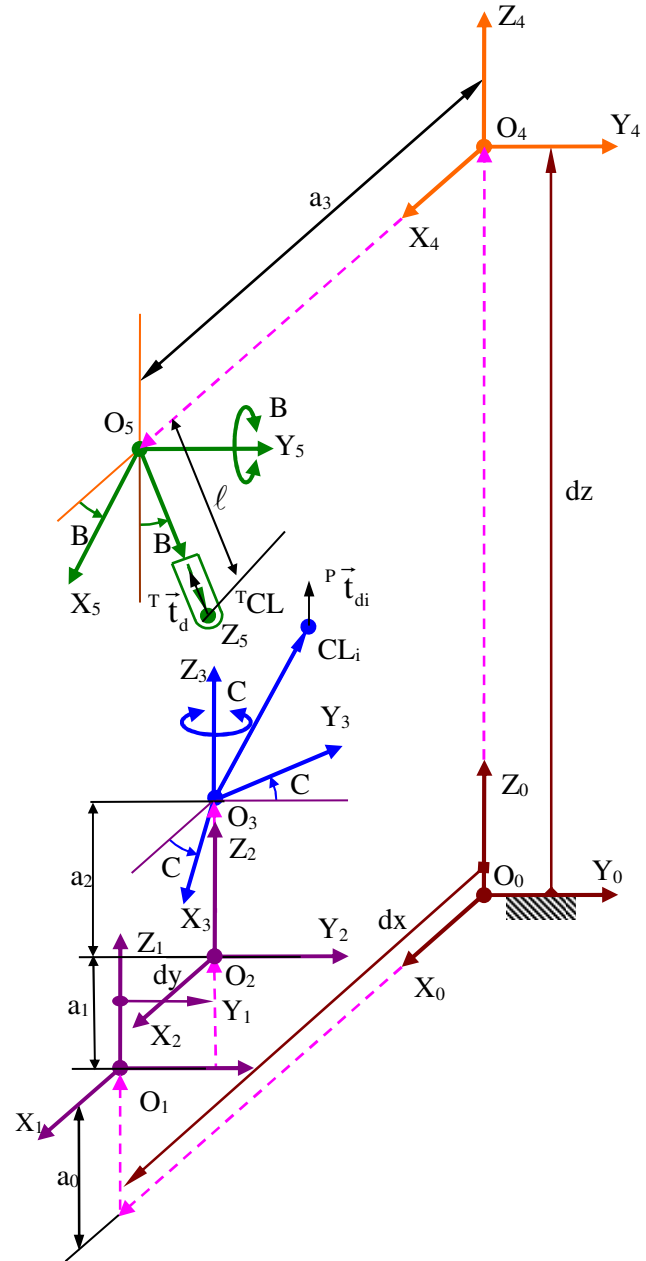
$${}^{0T}\underline{CL}_i = {}^0\mathbf{H}_5 \cdot {}^T\underline{CL}_i \quad (6)$$

trong đó:

$${}^T\underline{CL} = [0 \quad 0 \quad -\ell \quad 1]^T,$$

${}^T\underline{t}_d = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]^T$ : lần lượt là điểm định vị dụng cụ và véc tơ đơn vị định hướng trục dụng cụ trên đầu trục chính.

$$\underline{CL}_i = [x_{CLi} \quad y_{CLi} \quad z_{CLi} \quad 1]^T,$$



Hình 2. Đặt hệ trục tọa độ cho máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR.

${}^P \underline{t}_{di} = [t_{dxi} \quad t_{dyi} \quad t_{dzi} \quad 0]^T$ : lần lượt là điểm định vị dụng cụ và véc tơ định hướng trục dụng cụ trong hệ quy chiếu của phôi.

Để phôi hợp chuyển động tương đối giữa dụng cụ và phôi bắt buộc các điểm định vị dụng cụ ( ${}^{0P} \underline{CL}_i$  và  ${}^{0T} \underline{CL}_i$ ), định hướng trục dụng cụ ( ${}^{0P} \underline{t}_{di}$  và  ${}^{0T} \underline{t}_{di}$ ) phải trùng nhau. Như vậy, cân bằng phương trình (3 và 5), (4 và 6) sau khi giải hệ phương trình ta có: (Đánh số pt sao lại từ (60 nhảy sang (11)? Thiếu trang?

$$\begin{cases} B_i = \arcsin(t_{dzi}) \\ C_i = \arctg(-\frac{t_{dyi}}{t_{dxi}}) \\ dx_i = \ell \cdot \cos(B) - \cos(C) \cdot x_{CLi} + \sin(C) \cdot y_{CLi} + a_3 \\ dy_i = -\sin(C) \cdot x_{CLi} - \cos(C) \cdot y_{CLi} \\ dz_i = z_{CLi} + a_0 + a_1 + a_2 + \ell \cdot \sin(B) \end{cases} \quad (11)$$

**Kết luận:** hệ phương trình (11) xác định thông số điều khiển các trục tịnh tiến  $dx_i, dy_i, dz_i$  và hai trục quay  $B_i, C_i$  ứng với vị trí điểm điều khiển  $CL_i$  trên đường dụng cụ. Mục đích của phần này để tạo cơ sở dữ liệu phục vụ bài toán khảo sát sai số ở mục 3 và mục 4 của tài liệu này.

### 3. XÁC ĐỊNH SAI SỐ ĐỊNH VỊ VÀ ĐỊNH HƯỚNG TRỤC DỤNG CỤ

#### 3.1. Thiết lập phương trình tính sai số định vị

Nếu gọi:

- +  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ : lần lượt là sai số của các trục tịnh tiến theo 3 phương x, y, z của hệ quy chiếu  $H_0$ ,
- +  $\Delta B, \Delta C$ : lần lượt là sai số của các trục quay B, C quay quanh trục y, z của hệ quy chiếu  $H_0$ ,
- +  $\Delta \vec{r}$ : sai số hình động học tổng thể của máy phay CNC 5 trục,
- +  $\Delta \vec{r}_{XYZ}$ : sai số hình động học gây ra do 3 trục tịnh tiến dx, dy, dz,
- +  $\Delta \vec{r}_{BC}$ : sai số hình động học gây ra bởi 2 trục quay B và C của máy.

Từ (hình 3) có:

$$\overrightarrow{{}^P O^P CL_i} = \overrightarrow{{}^P O^T O} + \overrightarrow{{}^T O^T CL_i} \quad (12)$$

Khi không có sai số từ phương trình (12) có:

$$\overrightarrow{{}^P O^T O} + \overrightarrow{{}^T O^T CL_i} - \overrightarrow{{}^P O^P CL_i} = 0 \quad (13)$$

Khi có sai số:

$$\overrightarrow{{}^P O^* T O^*} + \overrightarrow{{}^T O^* T CL_i^*} - \overrightarrow{{}^P O^* P CL_i^*} = \Delta \vec{r} \quad (14)$$

Trừ vế với vế phương trình (14) cho phương trình (13):

$$(\overrightarrow{{}^P O^* T O^*} - \overrightarrow{{}^P O^T O}) + (\overrightarrow{{}^T O^* T CL_i^*} - \overrightarrow{{}^T O^T CL_i}) - (\overrightarrow{{}^P O^* P CL_i^*} - \overrightarrow{{}^P O^P CL_i}) = \Delta \vec{r} \quad (15)$$

Trong đó:

- o  $(\overrightarrow{{}^P O^* T O^*} - \overrightarrow{{}^P O^T O}) = \Delta \vec{r}_{xyz}$
- o  $(\overrightarrow{{}^T O^* T CL_i^*} - \overrightarrow{{}^T O^T CL_i}) - (\overrightarrow{{}^P O^* P CL_i^*} - \overrightarrow{{}^P O^P CL_i}) = \Delta \vec{r}_{BC}$

Nếu chỉ xét sai số hai trục quay BC khi không có sai số của 3 trục tịnh tiến khi đó:

$$\begin{cases} \Delta \vec{r}_{XYZ} = 0 \\ \Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_{BC} \end{cases} \quad (16)$$

$$\text{Nhu vậy: } \Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_{BC} = (\overrightarrow{^T O^* T CL_i^*} - \overrightarrow{^T O^T CL_i}) - (\overrightarrow{^P O^* P CL_i^*} - \overrightarrow{^P O^P CL_i}) \quad (17)$$

Viết phương trình (17) dưới dạng đại số ta có:

$$\Delta \vec{r}_{BC} = \begin{bmatrix} \ell \cdot [\cos(B + \Delta B) - \cos(B)] \\ 0 \\ -\ell \cdot [\sin(B + \Delta B) - \sin(B)] \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} [\cos(C + \Delta C) - \cos(C)] \cdot x_{CL_i} - [\sin(C + \Delta C) - \sin(C)] \cdot y_{CL_i} \\ [\sin(C + \Delta C) - \sin(C)] \cdot x_{CL_i} + [\cos(C + \Delta C) - \cos(C)] \cdot y_{CL_i} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

**Kết luận:** phương trình (18) xác định sai số vị trí  $\Delta \vec{r}_{BC}$  giữa điểm  $^T CL_i$  và  $^P CL_i$  gây ra bởi sai số góc của hai trục quay B, C trong quá trình gia công bề mặt phức tạp trên máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR.

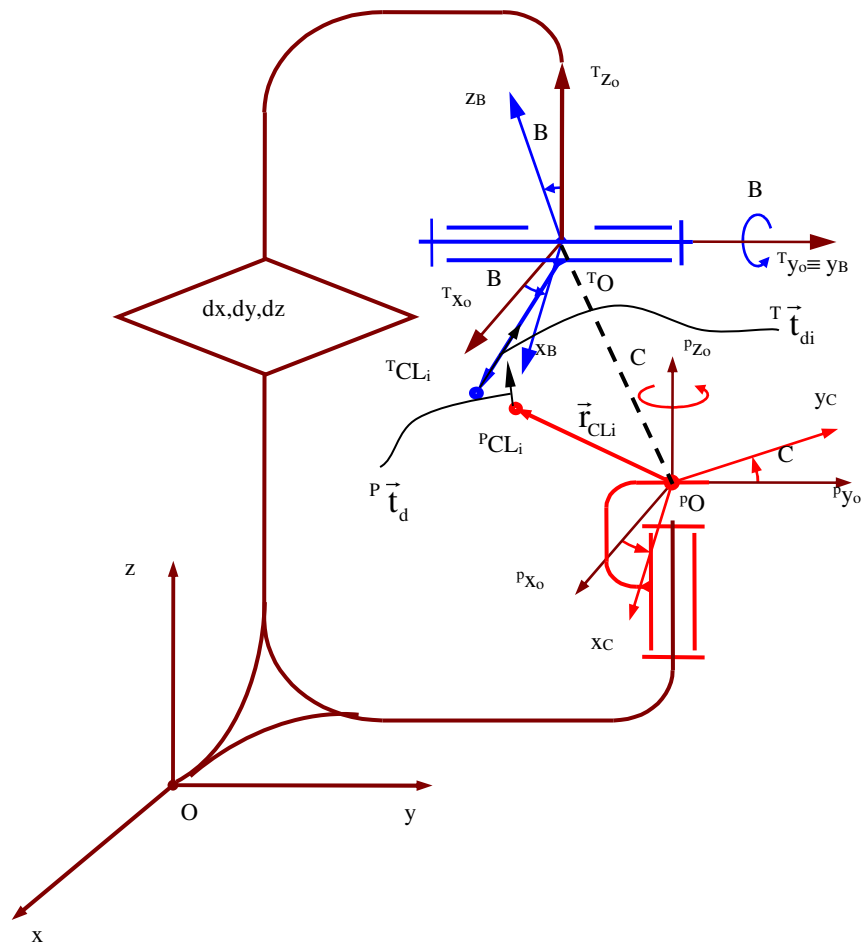
### 3.2. Thiết lập biểu thức tính sai số định hướng trục dụng cụ

Giả sử với đường dụng cụ chính xác không có sai số, nhưng cơ cấu chấp hành (đầu trục chính và bàn máy mang phôi) định hướng sai, dẫn đến các khả năng sau có thể xảy ra:

+ Bề mặt gia công có thể bị lẹm.

+ Phần lượng dư không được cắt đi theo đúng yêu cầu công nghệ.

Điều đó, dẫn đến sai số bề mặt gia công. Như vậy, việc nghiên cứu sai số định hướng cũng là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu trong bài toán xác định sai số



Hình 3. Sơ đồ động học máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR.

động học. Thật vậy, nếu gọi:

- $\vec{t}_{di}^*$ : là véc tơ đơn vị định hướng trục dụng cụ khi có sai số góc quay của trục quay B và C.
- $\Delta\delta$ : Là sai số về hướng giữa  $\vec{t}_{di}^*$  và  $\vec{t}_{di}$ .

Ta có: 
$$\Delta\delta = \cos(\vec{t}_{di}^*, \vec{t}_{di}) \quad (19)$$

Phương trình (19) được viết lại:

$$\Delta\delta = t_{dxi}^* t_{dxi} + t_{dyi}^* t_{dyi} + t_{dzi}^* t_{dzi} \quad (20)$$

Mặt khác, đồng nhất và giải phương trình (3 và 5) ta có:

$$\vec{t}_{di} = \begin{bmatrix} t_{dxi} \\ t_{dyi} \\ t_{dzi} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(B).\cos(C) \\ \cos(B).\sin(C) \\ \sin(B) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Véc tơ đơn vị định hướng trục dụng cụ với sai số góc  $\Delta B, \Delta C$ :

$$\vec{t}_{di}^* = \begin{bmatrix} t_{dxi}^* \\ t_{dyi}^* \\ t_{dzi}^* \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(B + \Delta B).\cos(C + \Delta C) \\ \cos(B + \Delta B).\sin(C + \Delta C) \\ \sin(B + \Delta B) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Thay phương trình (21 và 22) vào phương trình (20) xác định được  $\Delta\delta$ .

**Kết luận:** phương trình (20) xác định sai số định hướng trục dụng cụ gây ra bởi sai số trục quay B, C trong quá trình gia công bề mặt phức tạp.

#### 4. VÍ DỤ ÁP DỤNG

Với cơ sở lí thuyết và mô hình toán được thiết lập ở mục 3, áp dụng gia công bề mặt (hình 4) cho bởi phương trình tham số (23) và cơ sở dữ liệu cho ở bảng 1.

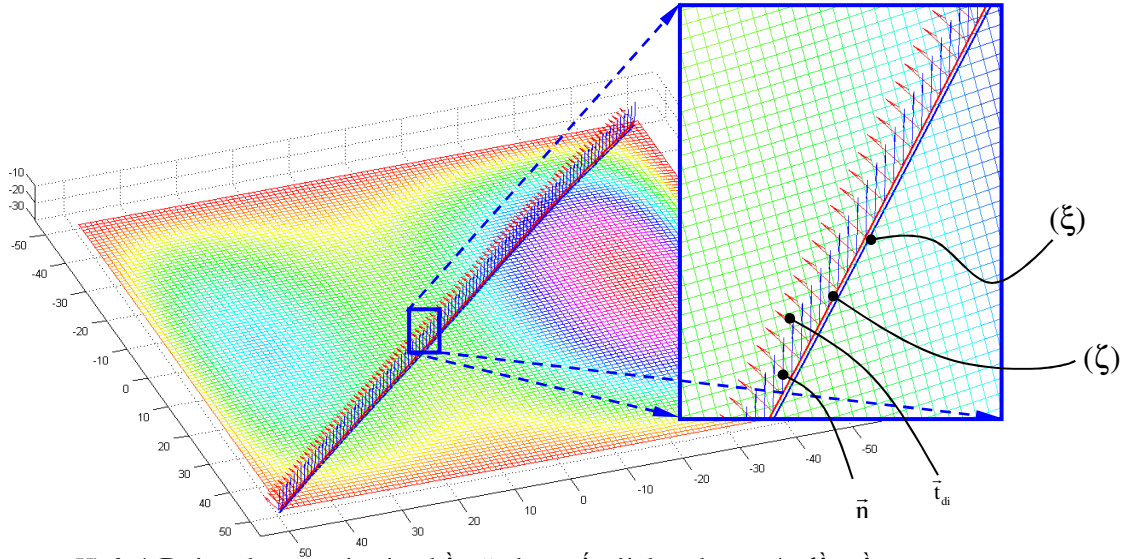
$$s(u, v) = \begin{bmatrix} s_x(u, v) \\ s_y(u, v) \\ s_z(u, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100.u - 50 \\ 100.v - 50 \\ -80v(v-1)(3,55u - 14,8u^2 + 21,1u^3 - 9,9u^4) - 28 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Với tham số  $u, v \in [0-1]$ .

Từ cơ sở dữ liệu đường dụng cụ được xác định trong các tài liệu [7, 8] và các thông số điều khiển  $dx, dy, dz, B, C$  được xác định từ bài toán động học ngược xác định ở mục 2 tương ứng với các điểm  $CL_i$  trên đường dụng cụ. Chỉ xét ảnh hưởng của sai số góc quay B, C tới sai số định vị và định hướng dụng cụ, trong đó giả thiết sai số góc quay trục B, C là hằng số và được tính theo quy luật sau:

$$\begin{cases} B_{i+1} = B_i \pm \Delta B \\ C_{i+1} = C_i \pm \Delta C \end{cases} \quad (24)$$

Phương trình (24) lấy dấu '+' khi  $|B_{i+1} - B_i| > 0$ ,  $|C_{i+1} - C_i| > 0$ , lấy dấu '-' khi  $|B_{i+1} - B_i| < 0$ ,  $|C_{i+1} - C_i| < 0$ .



Hình 4. Đường dụng cụ gia công bề mặt tham số với dao phay ngón đầu cầu  $R = 2$  mm, góc nghiêng  $\beta = 15^\circ$ , góc lật  $\theta = 30^\circ$ .

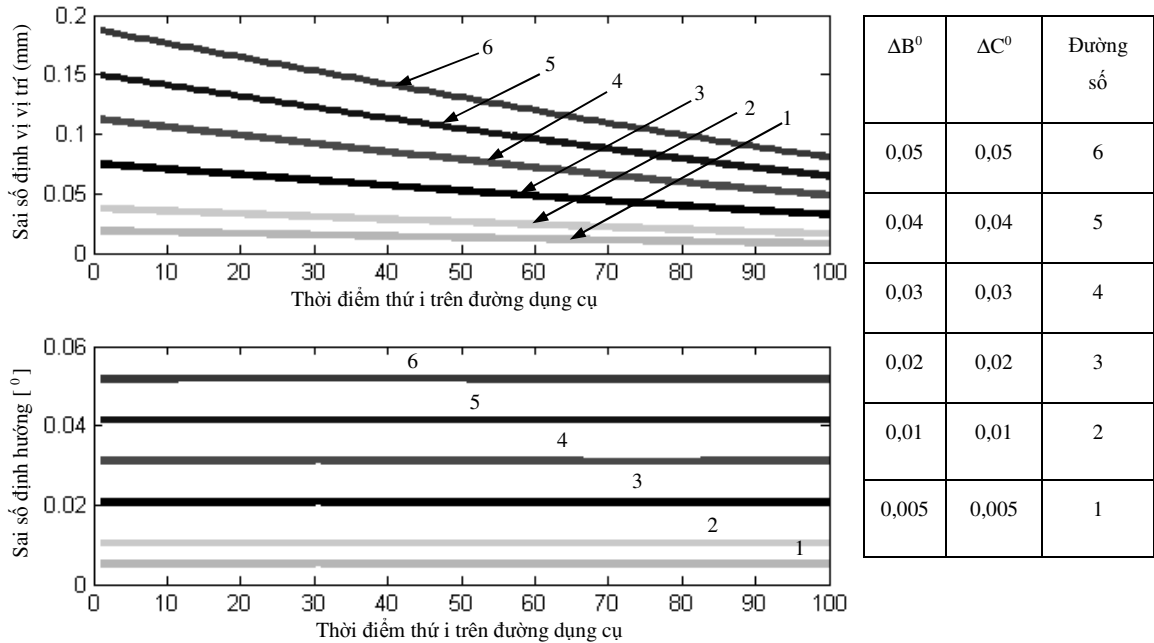
Bảng 1. Trích ngang cơ sở dữ liệu tính đường dụng cụ (hình 4) cho dưới dạng APT.

XCL	XCL	XCL	$t_{dx}$	$t_{dy}$	$t_{dz}$
...	...	...	...	...	...
16.000000	16.079936	-24.239402	0.246073	0.103851	0.963672
17.000000	17.079936	-24.215880	0.245858	0.103741	0.963738
18.000000	18.079936	-24.191852	0.245667	0.103643	0.963798
19.000000	19.079936	-24.168212	0.245502	0.103558	0.963849
20.000000	20.079936	-24.145870	0.245364	0.103486	0.963892
21.000000	21.079936	-24.125746	0.245254	0.103428	0.963926
22.000000	22.079936	-24.108760	0.245172	0.103385	0.963951
23.000000	23.079936	-24.095819	0.245120	0.103358	0.963967
24.000000	24.079936	-24.087810	0.245098	0.103346	0.963974
25.000000	25.079936	-24.085582	0.245105	0.103350	0.963972
...	...	...	...	...	...

Như vậy, khi máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR gia công theo đường dụng cụ (hình 4) với các thông số điều khiển hình động học xác định bởi phương trình (11) và sai số góc  $\Delta B$ ,  $\Delta C$  (hình 5) ta có đồ thị sai số dưới đây.

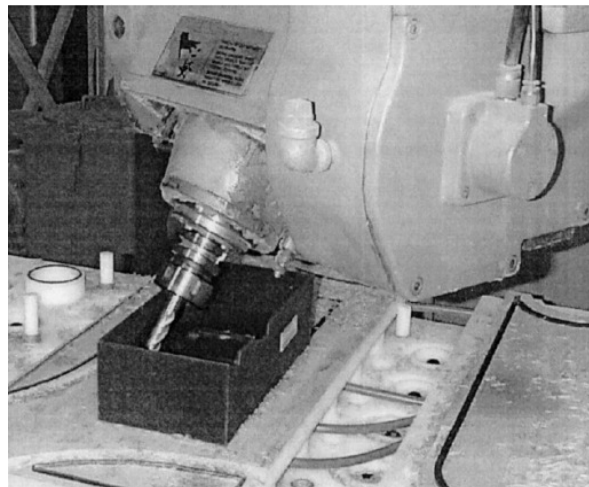
Với mô hình toán xác định bởi phương trình (18) ta nhận thấy  $\Delta r_{BC}$  tiến đến 0 khi ( $l$  tiến đến 0,  $x_{CLi}$  tiến đến 0,  $y_{CLi}$  tiến đến 0) điều đó là khó có thể thực hiện đối với kết cấu máy phay CNC 5 trục có chuỗi động học hở kiểu trục quay BC (hình 1).

Mặt khác cũng từ phương trình (18) và đồ thị (hình 5) cho thấy sai số vị trí điểm định vị dụng cụ biến đổi dọc theo đường dụng cụ. Như vậy tại các điểm  $CL_i$  khác nhau trên đường dụng cụ sai số không đồng đều, có những điểm trên bề mặt gia công không cắt hết lượng dư gia công, tuy nhiên có những điểm lại bị lẹm. Khi sai số các trục quay B, C càng nhỏ thì sự chênh lệch sai số giữa các điểm trên bề mặt gia công lệnh nhau không nhiều.



Hình 5. Sai số vị trí điểm định vị và định hướng đơn vị máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR

**Kết luận:** các biểu thức sai số động học được thiết lập trong bài báo này là một trong những nguyên nhân góp phần gây ra sai số bề mặt gia công. Do đó, kết quả của bài báo là một điều kiện trong việc xác định sai số bề mặt gia công do nhiều nguyên nhân gây lên và góp phần đánh giá sai số trong quá trình khảo sát và thực nghiệm. Ngoài ra giải thích tại sao các máy CNC 5 trục kiểu này, trục chính thường được bố trí gần với trục quay như hình 6 dưới đây là một ví dụ minh họa.



Hình 6. Đầu trục chính máy phay CNC 5 trục kiểu TTR-TR [9].



- **Giải pháp khắc phục sai số động học định vị và định hướng trục dụng cụ**

Lựa chọn bộ truyền động (*hộp giảm tốc*) có sai số nhỏ và đưa ra giải thuật điều khiển bù sai số góc động cơ dẫn động.

Về mặt kết cấu trục quay B cần thiết kê sao cho khoảng cách từ điểm định vị  ${}^TCL_i$  trên dụng cụ đến trục quay B là nhỏ nhất có thể, nhằm giảm sai số định vị.

- **Hướng nghiên cứu tiếp theo**

Xác định sai số bề mặt gia công do các nguyên nhân khác như biến dạng nhiệt, rung động, lực cắt, lực quán tính do đầu trục chính khi tăng hay giảm tốc. Từ đó tìm giải pháp khắc phục và bù sai số để chất lượng bề mặt gia công có độ chính xác cao.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mohammad Sharif Uddin - Tool Path Modification Approaches to Enhance machining Geometric Accuracy in 3-Axis and 5-Axis Machining; Doctor of Engineering, Kyoto University, 2007.
2. Hiroyuki Wakamoto, Tomohiro Wakana, Takuma Kubozono - Technologies of High-Precision 5-Axis Machine  $\mu V1-5X$  and Machining Example, Technical Review **45** (3) (2008) 39-42.
3. Callaghan R. - Machine tool and motion error standardized definition for simplified error modeling, 2007.
4. Ming Che Ho - Five-axis machining Improvement via Cutting Error Control and Tool Orientation Smoothing; Doctor of Engineering, Taiwan, 2004.
5. Jorge Angeles - Fundamentals of Robotic Mechanical Systems; Springer, 2007.
6. Paul E. Sandin - Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated; McGraw-Hill, 2003.
7. 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 & Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật (75) (2010) 106-111.
8. 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, Tập 2, Hà Nội, 2009, tr. 91-98.
9. Chuang - Jang Chiou, Yuan-Shin Lee - A machining potential filed approach to tool path generation for multi-axis sculptured surface machining, Computer Aided Design **34** (2002) 357-371.

## ABSTRACT

### LOCATION AND ORIENTATION ERROR OF AN AXIS OF THE TOOL CAUSED BY THE ERROR OF THE AXES BC IN THE 5-AXIS CNC MACHINE TYPE TTR-TR

Nguyen Hong Thai

*School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet, Hanoi, Vietnam*

Email: [thai.nguyenhong@hust.vn](mailto:thai.nguyenhong@hust.vn)

Searching the reason causing errors on the machined surfaces and finding out the method for minimizing the errors, in order to achieve the high accuracy product with complex surfaces machined by 5 axis CNC machine, is the goal of many researcher's study. This is a complicated problem, because surface errors after machining are caused by many factors. Among the most common ones, we can mention about the kinematic error, e.g. location and orientation errors of an axis of the tool caused by two rotary axes in the 5-axis CNC machine. This paper presents the mathematic model for determination location and orientation error of an axis of the tool caused by two axes B, C error in the 5-axis CNC machine type TTR-TR. The formulas for calculating errors are based on the inverse kinematic problem, in which the relative motion of the tool and work-piece was taken to consideration. The simulation to investigate the location and orientation errors of an axis of the tool while machining surface  $S(u,v)$  was also carried out in Matlab.

*Keywords:* error in the 5-axis CNC machine.

#### Ý kiến TBT:

-Bổ sung địa chỉ cơ quan

-Đề nghị kiểm tra cách đánh số Phương trình, sao lại 'nhảy có' từ (6) sang (11)?