



NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TIỆN ROTOR CỦA BƠM CHÂN KHÔNG TRỤC VÍT CÓ BƯỚC VÒNG CHIA THAY ĐỔI TRÊN MÁY TIỆN CNC

Trần Thế Văn, Nguyễn Văn Thanh
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 08/02/2018

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/02/2018

Ngày bài báo được duyệt đăng: 02/03/2018

Tóm tắt:

Bơm chân không trục vít được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng cần tạo áp suất trung bình thấp và thấp. Bộ phận chính của loại bơm này gồm cặp rotor quay ngược chiều nhau với trục song song. Các Roto trục vít với bước vòng chia không đổi thường được gia công tinh bằng phương pháp mài định hình nhưng các Roto với bước vòng thay đổi thì không thể gia công bằng phương pháp đó được. Ưu điểm của bơm chân không trục vít với Roto có bước vòng chia thay đổi hiệu suất sử dụng năng lượng cao do tỉ lệ nén thể tích lớn khi vận chuyển khí từ cửa nạp tới cửa xả. Trong bài báo này, một quá trình gia công mới để tạo hình biên dạng răng của rotor trục vít với bước vòng chia thay đổi trên máy tiện CNC được đưa ra. Đường chạy dao và sai số biên dạng của rotor tạo ra được thiết lập và xác minh. Kết quả mô phỏng số được trình bày để xác minh giá trị của phương pháp gia công đã đưa ra. Dựa trên kết quả mô phỏng cho thấy quá trình tiện CNC để xuất là khả thi và linh hoạt.

Từ khóa: Rô to trục vít; quá trình tiện; bước thay đổi; bơm chân không trục vít.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, Rotor trục vít thì thường chế tạo bởi dao phay hoặc đĩa đá mài định hình. Quá trình chế tạo để loại bỏ vật liệu được thực hiện bởi chuyển động tương đối giữa rotor và dụng cụ cắt bao gồm hai giai đoạn: gia công thô và gia công tinh. Rotor trục vít với ăn khớp đều và dạng ren vuông có thể phay bởi ít nhất ba dạng lưỡi dao phay ngón hoặc hai mẫu bánh mài. Tuy nhiên, rotor trục vít với bước ren vít thay đổi không thể chế tạo bằng cách tương tự. Thành ra, trong nghiên cứu này, một quá trình tiện mới để tạo hình biên dạng cặp Rotor có bước ren vít thay đổi sử dụng trong bơm hút chân không trục vít trên máy tiện CNC. Ở đó phôi gia công là quay quanh trục của nó trong khi một điểm trên lưỡi dao cắt thì di chuyển song song với trục quay. Cả hai dạng biên dạng Rotor trục vít chuẩn hoặc không chuẩn đều có thể tiện bằng máy tiện CNC bằng sử dụng dao cắt phù hợp. Như vậy biên dạng Rotor với bước ren vít không đổi và biên dạng Rotor bước ren vít thay đổi đều có thể chế tạo bằng phương pháp tiện.

Rotor có dạng ren vuông [1] thường sử dụng cho biên dạng răng Rotor của bơm chân không. Với góc quét lớn hơn, 360° , rãnh xoắn là ren vít đơn với bước ren vít không đổi hoặc bước ren vít thay đổi và rotor bên trái và bên phải có cùng biên dạng răng. Biên dạng răng của rotor ren vít vuông có thể được chia thành bốn phần: vòng tròn ngoài, vòng tròn chân răng và hai đoạn đường cong. Do yêu cầu độ chính xác cao, phương pháp mài định hình thường

được sử dụng rộng rãi để chế tạo ren trên phôi hình trụ như các rotor trục vít. Hầu hết các mô hình toán học biên dạng của rotor hoặc bánh răng với bề mặt hợp được thiết lập dựa trên nguyên lý bao hình [2]. Các công ty với chất lượng hàng đầu trong chế tạo bơm chân không không dầu trên thế giới bao gồm Busch và Leybold từ Đức, Edwards từ Anh, và Kashiya và Takio từ Nhật. Tất cả các sản phẩm trong các công ty này đều có công bố bằng sáng chế của họ. Các Rotor của bơm chân không trục vít của họ bao gồm cả các bơm có bước ren vít không đổi và bước ren vít thay đổi.

Một trong những ưu điểm của máy bơm chân không trục vít với rotor có bước ren vít thay đổi đó là cửa hút có khả năng hút tốt hơn do khoang chứa của rotor ở cửa vào tăng lên và giảm công suất tiêu thụ do thể tích nén khí lớn hơn. Do đó bơm chân không với bước ren vít thay đổi sẽ làm việc với hiệu suất sử dụng lớn hơn nhiều so với loại bơm có bước ren vít không đổi. Bercher [3] đưa ra một mặt cắt ngang không đối xứng của rotor có bước ren vít thay đổi với tỉ số nén từ 1 đến 10 đạt được với góc quét chỉ bằng 2π . Thay đổi theo hướng là được chia thành ba đoạn trong đó đoạn một và hai đối xứng với nhau. Vào năm 2013, Boral và Niesporek [4] giới thiệu một chương trình đặc biệt cho gia công trục vít bằng dao phay ngón cho phép xác định dịch chuyển của lưỡi cắt. Yan và cộng sự [5] đã thiết lập hình dạng bề mặt của ren vít tạo hình bằng dao phay mặt đầu. Chiều dày của ren vít là được giữ không đổi nhờ sử dụng thiết kế đưa ra. Yan cùng cộng sự

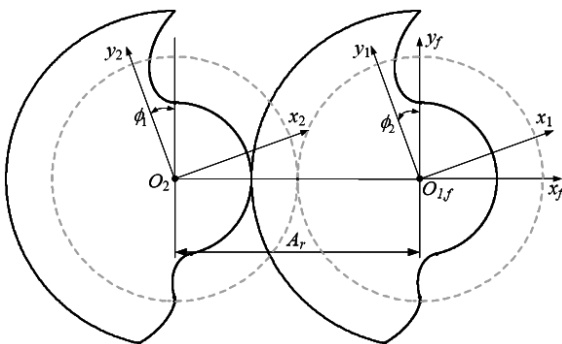
[6] đã nghiên cứu các loại ren vít có bước thay đổi khác nhau và thiết lập các biểu thức toán học tổng quát của biên dạng đĩa đá mài. Han cùng cộng sự [7] đã dự đoán và phân tích ba mô hình tham số gồm bước ren vít thay đổi, chiều cao và độ rộng rãnh ren vít. Yan cùng cộng sự [8] đã phát triển hình học bề mặt và gá đặt dụng cụ để gia công ren vít kép có bước thay đổi với bốn trục vít trụ ăn khớp với nhau. Và một trung tâm gia công bốn trục đầu phay quay gắn kèm đầu để gia công biên dạng ren vít. Lee và cộng sự [9] đã giới thiệu một phương pháp để tạo hình biên dạng răng của rotor xoắn ốc trên máy 5 trục.

Nghiên cứu này đã đưa ra một phương pháp mới để chế tạo biên dạng răng của rotor trục vít với bước vòng chia thay đổi. Dựa trên kết quả mô phỏng thì lỗi biên dạng răng của rotor đưa ra với bước vòng chia thay đổi đạt độ chính xác yêu cầu và quá trình tiện CNC đưa ra là khả thi và linh hoạt.

2. Mô hình toán học cho tiện rotor trục vít

2.1. Mô hình toán học cho biên dạng răng của rotor trục vít

Nói chung biên dạng răng của bơm chân không trục vít thường được biểu diễn trên mặt cắt ngang của rotor. Hệ trục tọa độ 2D cho cặp rotor ăn khớp với mối quan hệ chuyển động thể hiện tại Hình 1. Hệ tọa độ $S_1(x_1, y_1)$, $S_2(x_2, y_2)$ và $S_f(x_f, y_f)$ là được gắn cố định với các trục quay của rotor 1, rotor 2 và giá đỡ tương ứng. Tham số ϕ_1 và ϕ_2 là góc quay của rotor 1 và 2 tương ứng. Tham số A_r là khoảng cách tâm giữa các trục của rotor. Biên dạng răng của rotor có thể thu được bởi sử dụng phương trình toán học hoặc dữ liệu các điểm rời rạc. Nếu biên dạng của rotor 1 được cho trước và các rotor ăn khớp tiếp xúc với nhau thì biên dạng rotor 2 có thể tính toán bằng cách sử dụng lý thuyết bao hình. Tuy nhiên, nếu biên dạng của rotor không tiếp xúc với nhau thì biên dạng của hai rotor thường sẽ được cho trước.



Hình 1. Hệ tọa độ với quan hệ chuyển động giữa hai rotor ăn khớp

Giả thiết véc tơ vị trí của rotor, $\mathbf{r}_2(u_2)$, biểu diễn trong hệ tọa độ S_2 được cho trước, vì các rotor ăn khớp quay ngược chiều nhau với tỷ số truyền không đổi, do đó $\phi_1 = i\phi_2$. Véc tơ vị trí của rotor trên mặt cắt ngang $\mathbf{r}_1$ là quỹ tích của véc tơ $\mathbf{r}_2$ trong hệ tọa độ S_1 có thể biểu thị bằng phương trình:

$$\mathbf{r}_j(u_j) = [x_j(u_j) \ y_j(u_j) \ 0 \ 1]^T, \quad (j = 1, 2) \quad (1)$$

Trong đó u_j là tham số hình học của rotor.

Ma trận chuyển đổi hệ tọa độ từ S_2 tới S_1 được biểu diễn như sau:

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{M}_{12} \cdot \mathbf{r}_2 \quad (2)$$

Véc tơ tiếp tuyến đơn vị và véc tơ pháp tuyến đơn vị có thể được biểu diễn như sau:

$$\mathbf{t}_1 = \frac{\partial_{u_2}(\mathbf{r}_1)}{\sqrt{\partial_{u_2} \mathbf{r}_1 \cdot \partial_{u_2}(\mathbf{r}_1)}} \quad (3)$$

$$\mathbf{n}_1 = \mathbf{k} \times \mathbf{t}_1 \quad (4)$$

Cơ bản dựa trên lý thuyết bánh răng, phương trình ăn khớp giữa hai rotor ăn khớp có thể được biểu diễn như sau:

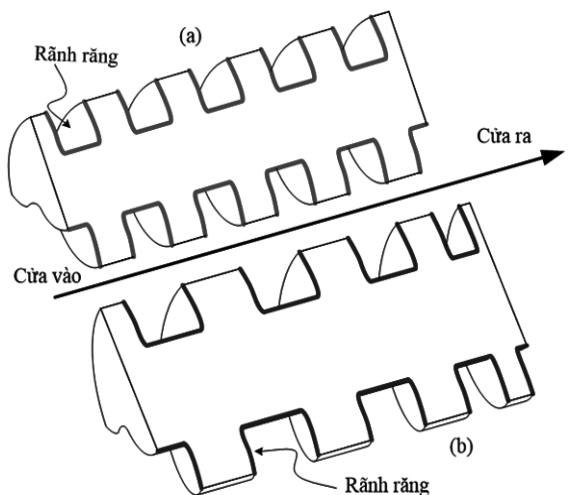
$$f_1(u_2, \phi_2) = \mathbf{n}_1 \cdot \partial_{\phi_2} \mathbf{r}_1 = 0 \quad (5)$$

Cuối cùng, đường cong bao hình của quỹ tích $\mathbf{r}_1$ thu được bằng cách giải phương trình ăn khớp (5). Đường cong bao hình của rotor 1 ($\mathbf{r}_1$) được biểu diễn trên mặt cắt ngang có thể thu được bằng cách giải hệ phương trình (6). Đường ăn khớp của các rotor, $\mathbf{r}_{c1}$, được biểu diễn trong phương trình (7):

$$\begin{cases} \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_1(u_2, \phi_2) \\ f_1(u_2, \phi_2) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mathbf{r}_{c1}(u_2, \phi_2) = (\mathbf{M}_{1f}^{-1}) \cdot \mathbf{r}_1(u_2, \phi_2) \quad (7)$$

2.2. Mô hình toán học của rotor trục vít gia công trên máy tiện



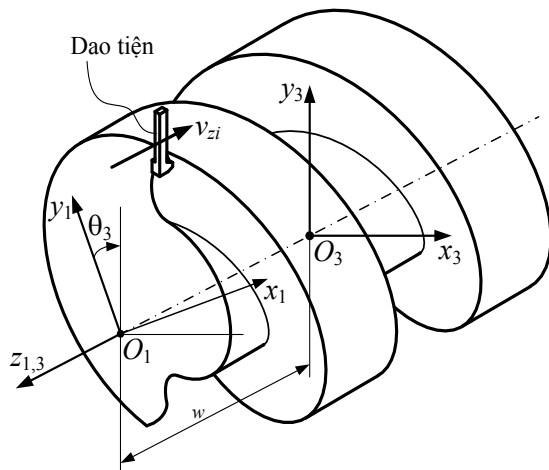
Hình 2. Mặt cắt dọc trục của rotor vít: (a) bước ren vít không đổi (b) bước ren vít thay đổi

Quá trình tiện để tạo hình biên dạng răng của rotor cần hai chuyển động đồng thời: chuyển động ngang của dụng cụ cắt dọc trục quay rotor và chuyển động quay rotor quanh trục của nó. Vận tốc ngang của dao tiện thay đổi khi tiện rotor có bước ren vít thay đổi. Vận tốc ngang có thể được tính toán dựa trên sự khác nhau biên dạng trục tại mọi mặt cắt. Biên dạng theo phương dọc trục của rotor với bước vòng chia không đổi và thay đổi biểu diễn như Hình 2(a) và 2(b).

Như Hình 3, v_{zi} là vận tốc ngang của dao tiện và phụ thuộc vào bước vòng chia và tốc độ quay của rotor. $z_{1,3}$ là trục quay của rotor trục vít, θ_3 là góc quét của rotor trục vít. Hệ tọa độ $S_1(x_1, y_1)$ và $S_3(x_3, y_3)$ được gắn cố định với mặt cắt ngang và mặt cắt dọc trục của rotor tương ứng. Lưỡi cắt của mảnh hợp kim thẳng hàng với một trong các điểm của biên dạng dọc trục tại mọi thời điểm. Bởi vì có nhiều mặt cắt tương ứng với sự thay đổi của trục quay, các mảnh hợp kim được sắp xếp tuần tự theo biên dạng dọc trục dựa trên chiều cao trục y và không thay đổi trên mặt cắt dọc trục của rotor. Do đó, vận tốc ngang v_{zi} phụ thuộc vào bước ren vít của rotor. Biên dạng dọc trục của rotor có thể được thiết lập từ công thức (6) và biểu diễn trong công thức (8):

$$\mathbf{r}_3 = \mathbf{M}_{31} \cdot \mathbf{r}_1 \quad (8)$$

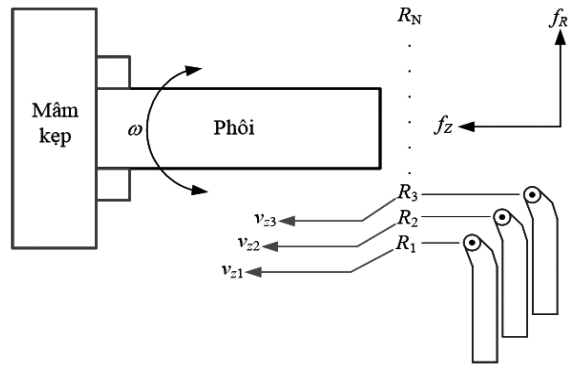
Trong đó $\mathbf{M}_{31}$ là ma trận chuyển đổi tọa độ, w là phụ thuộc vào bước ren vít của rotor (gọi là đường cong vị trí). Nó được xác định là $w = p\theta_3$ nếu bước vòng chia của rotor không đổi, và w là một đường cong nếu bước vòng chia của rotor thay đổi.



Hình 3. Hệ tọa độ của rotor trục vít và dao tiện

2.3. Bố trí vị trí lưỡi dao tiện

Hình 4 thể hiện quá trình tiện gia công phôi. Phôi được kẹp chặt bởi mâm kẹp và quay với vận tốc góc ω . Quá trình tiện được sử dụng để gia công các phôi có trục quay riêng.



Hình 4. Quá trình tiện để gia công phôi

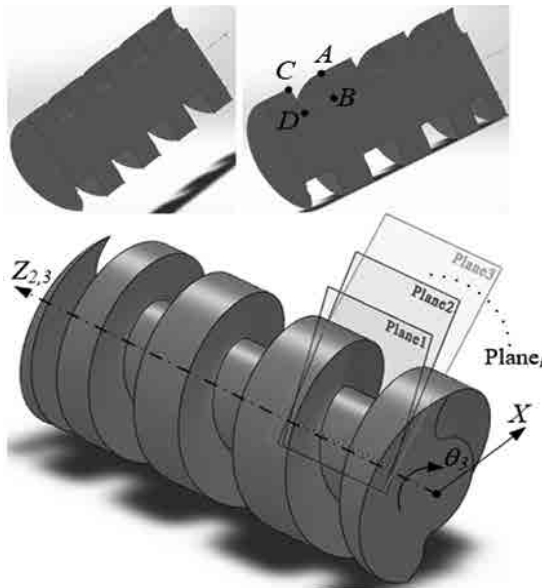
Trong quá trình tiện, lưỡi dao tiện thực hiện hai chuyển động cắt: chuyển động cắt hướng kính (f_R) và chuyển động cắt dọc trục (f_z), như Hình 6. Thông thường, chuyển động cắt hướng kính (f_R) được thiết lập trước khi thực hiện chuyển động cắt dọc trục (f_z). Chuyển động cắt hướng kính (f_R) được giữ cố định đến quá trình cắt tiếp theo. Do đó chuyển động cắt hướng kính có thể được quyết định bởi tính toán tâm của lưỡi dao trong mỗi quá trình cắt. Chiều cao của chuyển động cắt hướng kính (f_R) được chia thành các lượng nhỏ $R_1 \sim R_N$ và $R_1 \sim R_N$ được dùng để xác định vị trí tâm lưỡi cắt theo phương hướng kính f_R trong mỗi lần cắt. Sự thay đổi vận tốc cắt dọc trục v_{zi} trong quá trình gia công rotor trục vít có thể thu được bằng cách sử dụng G34 của mã G hoặc đọc chỉ số thay đổi của bước tiến dọc trục trực tiếp qua mã M gọi từ chương trình con.

Biên dạng theo phương dọc trục của rotor với bước vòng chia thay đổi là khác trong mọi mặt cắt dọc trục tương ứng với các góc quét θ_3 khác nhau. Để tính toán vị trí của các lưỡi cắt, biên dạng dọc trục của rotor trong mặt cắt dọc trục mong muốn cần được cho trước. Theo Hình 5, hình ở góc trên bên trái biểu diễn biên dạng dọc trục của rotor trục vít với bước vòng chia không đổi còn hình ở góc trên bên phải biểu diễn biên dạng dọc trục của rotor với bước vòng chia thay đổi. Biên dạng theo phương dọc trục được thể hiện bằng màu đỏ. Hiển nhiên, biên dạng dọc trục của rotor với bước vòng chia thay đổi là khác nhau tại mỗi rãnh răng. Tuy nhiên, rotor với bước vòng chia không đổi có biên dạng ở các rãnh răng là giống nhau.

Mặt cắt dọc trục của rotor có thể được tính toán bằng cách sử dụng phương trình (8) và biểu diễn dưới dạng các điểm rời rạc. Véc tơ vị trí của biên dạng dọc trục, $\mathbf{r}_3$, được viết lại như trong phương trình (9):

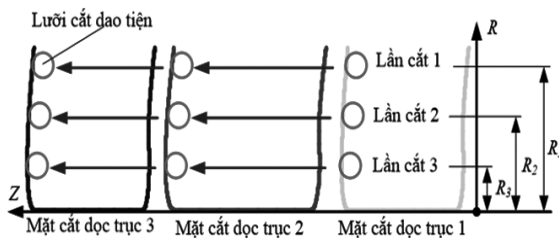
$$\mathbf{r}_4 = \{-w_j, r_4\} = \{-w_j, \sqrt{x_3^2 + y_3^2}\} \quad (9)$$

Với: $j = 1, 2$. Nếu góc quét θ_3 trong khoảng từ 0 đến 4π thì $w_j = w_1$ còn nếu góc quét θ_3 lớn hơn 4π thì $w_j = w_2$.



Hình 5. Biện dạng dọc trục của rotor trục vít

Như biểu diễn trong Hình 6, giả thiết lưỡi cắt là đường tròn 2D và tọa độ tâm của lưỡi cắt được xác định là $\{R, z\}$ và tọa độ $R = R_N$ đã biết. Do đó, tọa độ z có thể tính được. Do biện dạng dọc trục của rotor khá phức tạp nên không thể tiện một lần rotor với một lưỡi cắt. Vì vậy cần nhiều hơn một cách bố trí dao theo phương R và các lưỡi cắt với bán kính dao khác nhau là cần thiết.



Hình 6. Biện dạng cắt dọc trục tại các mặt cắt và chiều sâu cắt khác nhau

Cho quá trình cắt, do vị trí của R_N theo phương R đã biết nên vị trí y của tâm đường tròn cũng có thể tính được. Vị trí x của tâm đường tròn được tính bằng cách tìm điểm tiếp xúc giữa đường tròn này và biên dạng dọc trục. Vì đường tròn này tiếp tuyến tới biên dạng dọc trục nên véc tơ pháp tuyến đơn vị phải đi qua tâm tròn. Tọa độ tâm $\{x_k^N, y_k^N\}$ của lưỡi cắt có thể được biểu diễn như sau:

$$\{x_k^N, y_k^N\} = \mathbf{r}_5^{k,i}(t_{arc}) + Cr \cdot \mathbf{n}_5^{k,i}(t_{arc}) \quad (10)$$

Trong đó, bán kính lưỡi cắt là Cr và N biểu diễn số lần cắt. Tham số t_{arc} có được bằng cách giải phương trình $y_k^N - R_N = 0$. Thay thế, x_k^N với giá trị t_{arc} vào phương trình 10 thì tọa độ tâm của lưỡi cắt có thể xác định được chính xác.

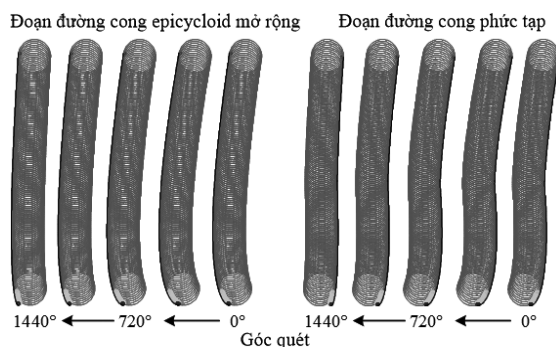
3. Ví dụ và thảo luận

Ví dụ này cung cấp kết quả tính toán rotor với bước vòng chia thay đổi. Giới hạn sai lệch cho phép của rotor với bước vòng chia thay đổi phải nhỏ hơn 0.01mm . Để tiến hành bố trí vị trí lưỡi cắt dao tiện trong quá trình tiện, ba bán kính khác nhau của lưỡi cắt được chọn lần lượt là 2.5mm , 0.4mm và 0.2mm . Tốc độ quay trục chính của máy tiện là 300rpm . Các tham số liên hệ cho trước được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Vị trí lưỡi cắt để gia công rotor với bước vòng chia thay đổi

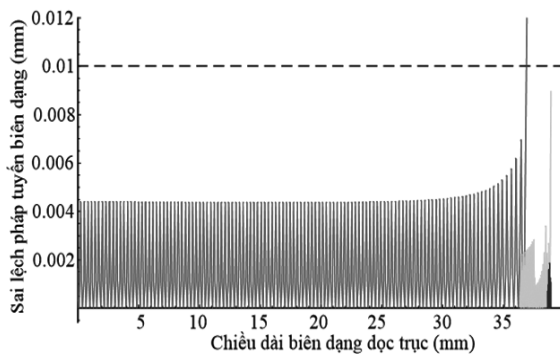
Kích thước cơ bản của rotor	Giá trị
Bước vít cực đại (mm)	104
Bước vít cực tiểu (mm)	36
Góc quét ($^\circ$)	1440
Số răng của rotor	2
Chiều dài rotor (mm)	314
Bố trí vị trí lưỡi cắt	
Sai lệch cho phép (mm)	0.01
Số mặt cắt dọc trục của rotor	501
Tốc độ trục chính (rpm)	300
Bán kính lưỡi cắt (mm)	2.5, 0.4, 0.2
Số đoạn epicycloid mở rộng (f_R)	157
Số đoạn đường cong phức tạp (f_R)	157
Tổng số lần cắt	314

Bởi vì có 501 biên dạng dọc trục nên không thể biểu diễn tất cả kết quả. Do đó, kết quả mặt cắt dọc trục được chọn ứng với góc quét bằng 0° , 360° , 720° , 1080° và 1440° . Vị trí lưỡi cắt được biểu diễn như trong Hình 7. Do lưỡi cắt bán kính 2.5mm quá lớn để cắt đường tròn chân biên dạng nên lưỡi cắt nhỏ hơn được yêu cầu. Như biểu diễn trong Hình 7, đường tròn đỏ biểu diễn lưỡi cắt với bán kính 0.4mm và màu xanh biểu diễn lưỡi cắt với bán kính 0.2mm cho cắt vòng tròn chân răng. Số quá trình cắt được chọn $N = 157$ khi cắt phần đường cong epicycloid mở rộng và đoạn đường cong phức tạp. Tổng số lần cắt trong quá trình gia công là 314.

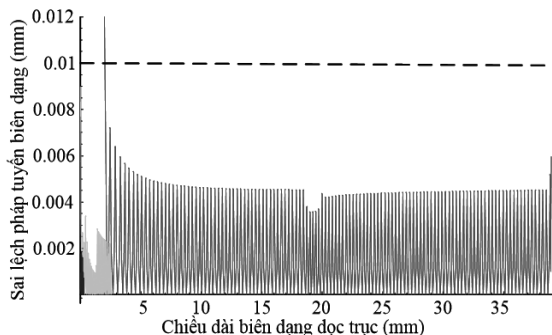


Hình 7. Kết quả vị trí lưỡi cắt gia công rotor với bước vòng chia thay đổi

Kết quả của sai lệch pháp tuyến biên dạng dọc trục của phần đường cong epicycloid mở rộng và phần đường cong phức tạp được biểu diễn trong Hình 8 và 9 tương ứng. Sai lệch pháp tuyến của quá trình gia công bởi lưỡi cắt có bán kính 2.5mm được vẽ màu đỏ. Đường màu xanh lá cây và xanh nước biển biểu diễn sai lệch pháp tuyến quá trình gia công bởi lưỡi cắt với bán kính 0.4mm và 0.2mm . Đường chấm màu đen biểu diễn sai lệch lớn nhất bằng 0.01mm . Như kết quả thu được thì sau quá trình gia công sử dụng lưỡi cắt với bán kính 0.4mm và 0.2mm , sai lệch lớn nhất này là chấp nhận được. Cuối cùng tất cả sai lệch đều trong giới hạn 0.01mm .



Hình 8. Sai lệch pháp tuyến biên dạng dọc trục của phần đường cong epicycloid mở rộng

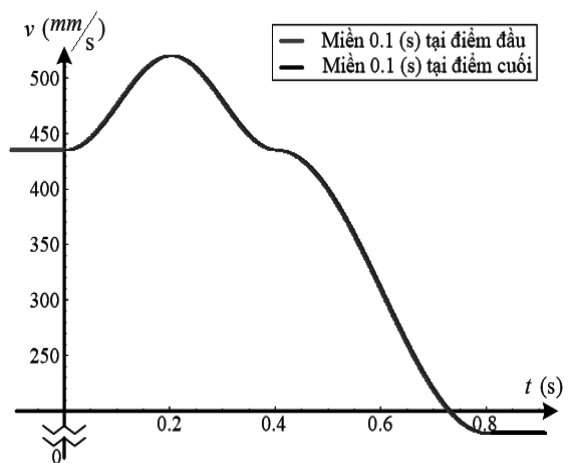


Hình 9. Sai lệch pháp tuyến biên dạng dọc trục của phần đường cong phức tạp

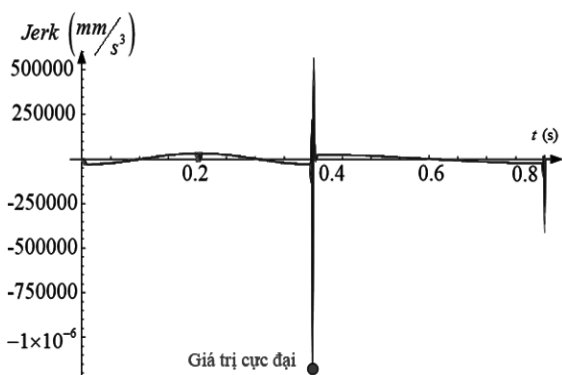
Đường cong liên hệ vận tốc và thời gian của mỗi lưỡi cắt có thể thu được bằng cách tính đạo hàm bậc nhất của đường cong liên hệ vị trí và thời gian theo biến thời gian. Khi không xét đến hướng vận tốc thì đường cong liên hệ giữa vận tốc và thời gian cho mỗi lưỡi cắt được vẽ trên cùng một hình. Vùng đệm 0.1 giây được thêm vào điểm đầu và điểm cuối của đường cong vận tốc-thời gian. Đường cong vận tốc và thời gian được biểu diễn như Hình 10. Đường cong vận tốc-thời gian gần tương tự đường cong với bước vòng chia thay đổi nhưng có một số khác biệt nhỏ giữa chúng. Khác nhau lớn hơn giữa đường

cong vận tốc-thời gian và đường cong có bước vòng chia thay đổi tại vị trí đoạn đường cong phức tạp. Theo quan hệ vận tốc-thời gian, tổng số lần cắt của quá trình gia công bằng 314. Do đó biên dạng rotor có thể được hoàn thành trong khoảng 6 phút.

Rung động ảnh hưởng rất lớn tới quá trình gia công. Thay đổi đột ngột gia tốc dụng cụ cắt có thể dẫn đến việc lưỡi cắt mài mòn không đều và dẫn đến quá trình cắt không đều. Đó là lý do cần điều khiển chuyển động bao gồm rung động hạn chế chức năng. Trong ngành chế tạo máy, vấn đề rung động được chú ý ngoài vận tốc và gia tốc. Rung động thường được xét đến khi có kích động tập trung. Thiết bị đo rung động được gọi là Jerkmeter. Đường cong rung động của mỗi lưỡi cắt có thể được tính toán cho đạo hàm bậc ba của đường cong vị trí-thời gian với biến thời gian. Như biểu diễn trong Hình 11, quan sát đường cong rung động ta thấy giá trị cực đại tại 0,4s trên trục nằm ngang. Bởi vì rung động là lớn nên đường cong có bước vòng chia thay đổi cần phải được điều chỉnh.



Hình 10. Đường cong quan hệ vị trí-thời gian của lưỡi cắt dụng cụ trong quá trình tiện



Hình 11. Rung động của lưỡi cắt dụng cụ trong quá trình tiện

4. Kết luận

Từ các ví dụ mô phỏng số, một số kết luận được đưa ra như sau:

- Một mô hình toán học khả thi và đơn giản được đưa ra để gia công rotor trục vít với bước thay đổi. Phương pháp này cũng có thể áp dụng cho các rotor trục vít có bước không đổi hoặc các chi tiết trụ tròn có rãnh xoắn.
- Phương pháp đưa ra là linh hoạt để gia công biên dạng của rotor trục vít, điều chỉnh phân bố khe hở và duy trì đường ăn khớp tốt hơn.
- Thay đổi vận tốc của dụng cụ cắt tương

ứng với thời gian được tính toán và nội suy bởi các đường cong mặt cắt như đường Spline. Theo các kết quả mô phỏng thì phương pháp tiện đưa ra là khả thi và linh hoạt. Tuy nhiên quá trình thực nghiệm cần được tiến hành để kiểm tra tuổi thọ dụng cụ và độ chính xác gia công.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trung tâm Nghiên cứu Ứng dụng Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên, đề tài mã số UTEHY.T018.P1718.03.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Ozawa, O., Gas exhaust system and pump cleaning system for a semiconductor manufacturing. *Kashiyama Industry Co., Ltd.*, Tokyo, US Patent No. 5443644, 1995.
- [2]. Litvin, F.L. and Fuentes, A., Gear Geometry and Applied Theory (2nd ed.). *Cambridge University Press*, Cambridge, 2004.
- [3]. Becher, U.F., Twin Screw Rotors and Displacement Machines Containing the Same. U. S. Patent No. 6702558B2, 2004.
- [4]. Boral, P., and Nieszporek T., The Problems of the Design and Engineering of Variable-Pitch Cone Worms. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 2013, **5(1)**, pp. 25-30.
- [5]. Yan, H.S., Cheng, H.Y., Geometric Design and Machining of Variable Pitch Lead Screw with Swinging and Translating Meshing Rollers. *JSME International Journal*, 1997, **40(1)**, pp. 120-127.
- [6]. Yan, H.S., Cheng, H.Y., The Generation of Variable Pitch Lead Screws by Profiles of Pencil Grinding Wheels. *International Journal of Mathematical and Computer Modeling*, 1997, **25(3)**, pp. 91-101.
- [7]. Han, M., Li, S., Deng, L.T., Study on the Computer Numerical Control Process of Variable Pitch, Groove Depth and Groove Width Screw. *Advanced Materials Research*, 2011, **201**, pp. 85-88.
- [8]. Yan, H.S., and Liu, J.Y., Geometric Design and Machining of Variable Pitch Lead Screws with Cylindrical Meshing Elements. *ASME Transactions, Journal of Mechanical Design*, 1993, **115(3)**, pp. 490-495.
- [9]. Lee, J.N., Huang, C.B., Chen, T.C., Tool path generation method for four-axis NC machining of helical rotor. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2008, **31(2)**, pp. 510-517.

A MANUFACTURING METHOD FOR GENERATING A VARIABLE-PITCH ROTOR OF TWIN-SCREW VACUUM PUMP

Abstract:

The twin-screw dry vacuum pump is widely used in low and medium-low vacuum applications. Its core element consists of a pair of rotors rotating in opposite direction on parallel axes. Screw rotors with uniform pitch are usually finished by the form grinding method, but the rotors with variable pitch are not. The advantage of variable pitch twin-screw vacuum pump is the high energy efficiency due to high volumetric compression ratio when transporting gas from inlet to outlet. In this paper, a novel manufacturing process for generating the tooth profile of the screw rotor with variable pitch by CNC lathe turning is proposed. The initial position, trajectory of turning tool and profile error of the manufactured screw rotors are derived and verified numerically. A numerical example is presented to validate the proposed method. The simulation results reveal that the proposed CNC turning process is feasible and flexible.

Keywords: Screw rotors; turning process; variable pitch; twin-screw vacuum pump.