

THIẾT KẾ MÔ HÌNH TOÁN HỌC XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ ĐIỂM TIẾP XÚC TRONG QUÁ TRÌNH LẮP RÁP TỰ ĐỘNG TRỤC CÓ BIÊN DẠNG PROFILE

DESIGN MATHEMATICAL MODEL FOR AUTOMATIC ASSEMBLY PROFILE SHAFT

ThS. Trần Đình Văn, ThS. Lê Trạch Trường
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

TÓM TẮT

Nội dung bài báo phân tích các loại trạng thái tiếp xúc khi lắp ráp các trục biên dạng profile và trình bày phương pháp xác định vị trí điểm tiếp xúc bằng tín hiệu đầu ra của cảm biến moment lực. Phương pháp này, áp dụng tịnh tiến và xoay hệ trục tọa độ trong không gian để xác định các mối liên hệ giữa lực và moment xoắn xảy ra trong quá trình lắp ráp. Từ đó, xác định vị trí các điểm tiếp xúc. Quá trình nghiên cứu bao gồm lý thuyết và thực nghiệm để đưa ra được kết quả.

Từ khóa: Lắp ráp bằng Robot; Chi tiết biên dạng profile; Trình tự lắp ráp; Điểm tiếp xúc; Cảm biến moment lực.

ABSTRACT

In the article, the analysis of the classification of contacts for profile connections is also considered, we will also consider the issue of determining the position of the point of contact with one-point contact of profile parts based on the output signals from the force-torque sensor. Using the method of transfer and rotation of coordinates in space, we obtain the equations for the relationship of forces and moments measured by the sensor, with the parameters that determine the position of the contact point of the parts. A physical experiment of the installation with a robot is carried out and the consistency of the analytical model and the experimental results is discussed.

Keywords: Robotic assembly; Profile parts; Assembly sequence; Single-point contact; Force-torque sensor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

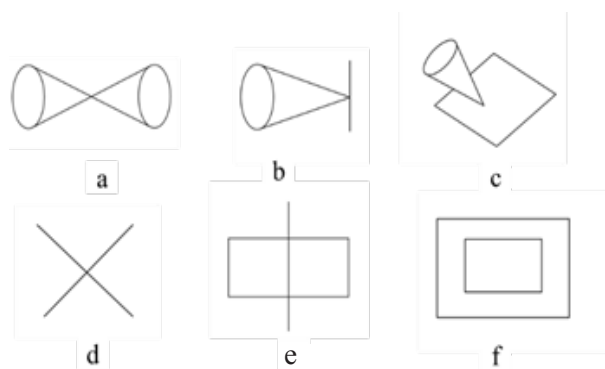
Trong bất kỳ quá trình lắp ráp nào, điều quan trọng nhất là xác định vị trí của các chi tiết, từ đó, tiến hành lắp ráp để đảm bảo độ lệch của các vị trí đủ nhỏ để quá trình diễn ra thành công. Nếu không tính toán hợp lý các góc lệch

này để điều chỉnh thì trong quá trình lắp ráp sẽ khiến các thiết bị máy móc bị hư hỏng. Ví dụ, khi lắp ráp một trục hình vuông vào lỗ, đầu tiên của quá trình lắp ráp, trục tiếp cận ống và tiếp xúc với bề mặt của ống, để tính toán các góc lệch cần phải xác định vị trí tiếp xúc. Quá trình xác định vị trí điểm tiếp xúc này được sử dụng

trong trường hợp khi tiến hành lắp ráp, vị trí của trục bị sai và cần tìm vị trí trục mới để tiếp tục quá trình lắp ráp.

2. PHÂN LOẠI CÁC TRẠNG THÁI TIẾP XÚC

Quá trình xác định hành trình để lắp trục profile vào lỗ bắt đầu bằng việc liệt kê một tập hợp các trạng thái tiếp xúc có thể xảy ra. Từ đó, có thể xây dựng được chuỗi các trạng thái tiếp xúc liên tiếp từ trạng thái tiếp xúc ban đầu đến trạng thái cuối cùng. Có thể thấy rằng, tập hợp các trạng thái tiếp xúc tỉ lệ thuận với độ phức tạp của hình dạng trục profile. Hình 1, mô tả tập hợp các trạng thái tiếp xúc xảy ra trong quá trình lắp ráp 2 chi tiết có biên dạng profile. Trong tập hợp này có 2 trạng thái không ổn định, chúng chỉ được xem như là trạng thái trung gian giữa các quá trình khác [1]. Hai trạng thái tiếp xúc “đỉnh-đỉnh” và “đỉnh-cạnh” được xem như là các trạng thái trung gian trong quá trình lắp ráp.

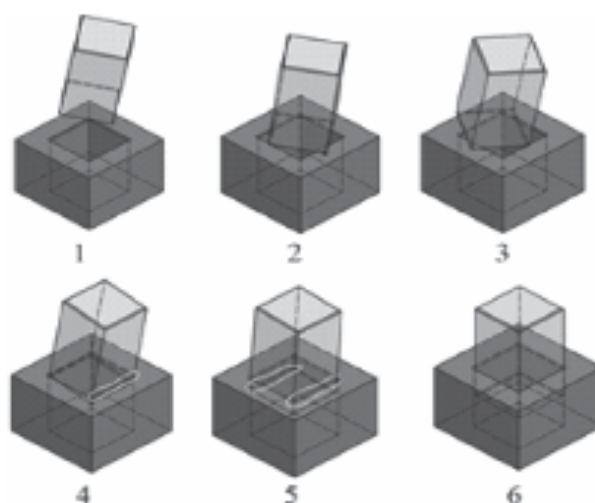


- a) “Đỉnh - đỉnh”;
- b) “Đỉnh-cạnh”;
- c) “Đỉnh-mặt”;
- d) “Cạnh-cạnh”;
- e) “Cạnh-mặt”;
- f) “Mặt-mặt”.

Hình 1. Các trạng thái tiếp xúc khác nhau trong quá trình lắp ráp

3. MÔ HÌNH TOÁN HỌC XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ ĐIỂM TIẾP XÚC KHI TRỤC TIẾP XÚC TRÊN BỀ MẶT

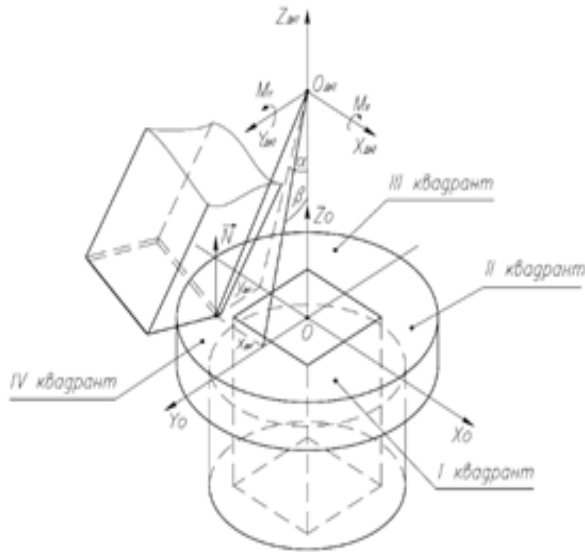
Quy trình lắp ráp của trục biên dạng Profile có thể được chia thành 6 giai đoạn (hình 2): 1 - Vận chuyển các chi tiết được ghép đến vị trí lắp ráp; 2 - Trạng thái tiếp xúc đỉnh và mặt “e-f” (Đỉnh của trục tiếp xúc với bề mặt của lỗ); 3 - Trạng thái tiếp xúc cạnh – cạnh “e-e” (Cạnh mặt bên dưới của trục tiếp xúc với cạnh bên trong của lỗ); 4 - Mặt bên của trục tiếp xúc với cạnh bên trong của lỗ (e-f); 5- Hoàn thành việc lắp ráp.



Hình 2. Sơ đồ quá trình lắp ráp trục biên dạng Profile 4 mặt

Quá trình lắp ráp tự động các kết nối biên dạng có thể được coi là một chuỗi thay đổi các trạng thái tiếp xúc, được gọi là các giai đoạn của hoạt động lắp ráp. Khi bắt đầu quá trình lắp ráp, trục tiếp cận lỗ dọc theo một đường được lập trình và tiếp xúc với bề mặt ống lót. Tiếp theo, trục đi qua các trạng thái tiếp xúc khác nhau và tiến hành lắp ráp cho đến khi hoàn tất. Hình 3, mô tả phản lực tác dụng lên điểm tiếp xúc và các giá trị góc lệch α , β cho phép xác định vị trí điểm tiếp xúc A. A là điểm tiếp xúc giữa trục và bề mặt của lỗ.

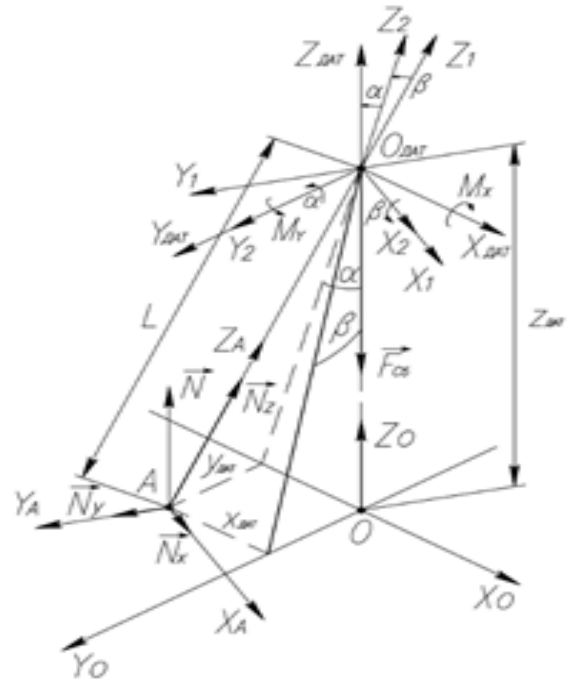




Hình 3. Sơ đồ lực tác dụng lên bề mặt của chi tiết

Để xác định đại lượng α , β có thể sử dụng phương pháp dịch chuyển và quay hệ trục tọa độ trong không gian 3 chiều bằng cách chuyển đổi hệ tọa độ liên kết với điểm tiếp xúc sang hệ tọa độ của cảm biến mô-men xoắn. Hệ tọa độ của cảm biến và ống bọc (chi tiết liên kết) trùng nhau (Hình 4). Tác giả Simakov A.L.[3] cũng áp dụng phương pháp tương tự để xác định vị trí điểm tiếp xúc đối với trường hợp lắp ráp trực hình trụ.

Ta có: $OX_0Y_0Z_0$ – Hệ tọa của Robot; $O_{\text{дат}}X_{\text{дат}}Y_{\text{дат}}Z_{\text{дат}}$ – Hệ tọa độ của cảm biến; $AX_AY_AZ_A$ – Hệ tọa độ của điểm tiếp xúc A; $\vec{N}$ – Phản lực tác dụng lên điểm tiếp xúc; $\vec{F}_{\text{cb}}$ – Lực lắp ráp (được đo bằng cảm biến); M_x, M_y, M_z – Moment xoắn theo trục $O X_{\text{дат}} Y_{\text{дат}} Z_{\text{дат}}$ (Được đo bằng cảm biến); $X_{\text{дат}} Y_{\text{дат}}$ – Cánh tay đòn của phản lực $\vec{N}$; L – Chiều dài của trục; α và β – Góc lệch.



Hình 4. Sơ đồ lực và moment trong hệ trục tọa độ trong trường hợp tiếp xúc một điểm

Trình tự quá trình biến đổi như sau:

$$\begin{aligned} AX_A Y_A Z_A &\xrightarrow[L]{O_{AZ_A}} O_{\text{дат}} X_1 Y_1 Z_1 \xrightarrow[\beta]{O_{\text{дат}} X_1} \\ O_{\text{дат}} X_2 Y_2 Z_2 &\xrightarrow[\alpha]{O_{\text{дат}} Y_2} O_{\text{дат}} X_{\text{дат}} Y_{\text{дат}} Z_{\text{дат}} \end{aligned} \quad (1)$$

Sau khi biến đổi hệ trục $AX_A Y_A Z_A$ lần lượt theo khoảng cách L , góc β , α , ta nhận được hệ phương trình lực và moment như sau:

$$\begin{cases} F_x = N_x \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot (N_y \cdot \sin \beta + N_z \cdot \cos \beta) \\ F_y = N_y \cdot \cos \beta - N_z \cdot \sin \beta \\ F_z = N_x \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot (N_y \cdot \sin \beta + N_z \cdot \cos \beta) \\ M_x = N_y \cdot L \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta + N_z \cdot L \cdot \sin \beta \\ M_y = -N_x \cdot L \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - N_z \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \\ M_z = -N_x \cdot L \cdot \sin \beta + N_y \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \end{cases} \quad (2)$$

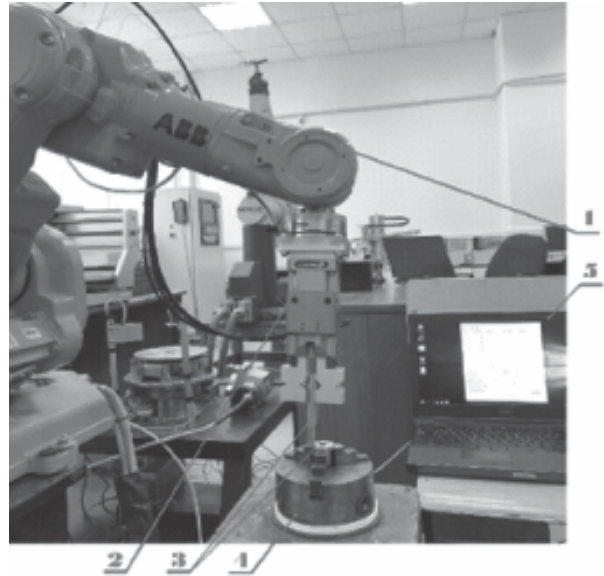
Biến đổi hệ phương trình (2) ta thu được mối quan hệ giữa moment xoắn và góc lệch như sau:

$$\begin{cases} M_x \cdot (F_x \cdot \cos \alpha + F_z \cdot \sin \alpha) \\ + M_y \cdot \left(-F_x \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta + F_y \cdot \cos \beta + F_z \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta \right) \\ + M_z \cdot \left(-F_x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta - F_y \cdot \sin \beta + F_z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \right) = 0 \quad (3) \\ \beta = \arctan \left(-\frac{M_x}{M_y} \cdot \sin \alpha + \frac{M_z}{M_y} \cdot \cos \alpha \right) \end{cases}$$

Giải hệ phương trình (3), ta thu được vị trí của điểm tiếp xúc (góc lệch và tọa độ của điểm tiếp xúc).

4. THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng Robot công nghiệp ABB IRB-140 với bộ điều khiển IRC5 được trang bị gripper khí nén và cảm biến lực moment. Trục được giữ bằng gripper khí nén (2), ống được gá trên thiết bị gá (4). Tín hiệu đầu ra từ cảm biến lực moment được ghi lại bằng máy tính cá nhân (5) (Hình 5).



Hình 5. Mô hình thí nghiệm nghiên cứu quá trình tự động hóa lắp ráp trực biên dạng Profile:

1) Robot công nghiệp ABB IRB 140; 2) Gripper; 3) Chi tiết thí nghiệm; 4) Thiết bị gá, 5) Máy tính.

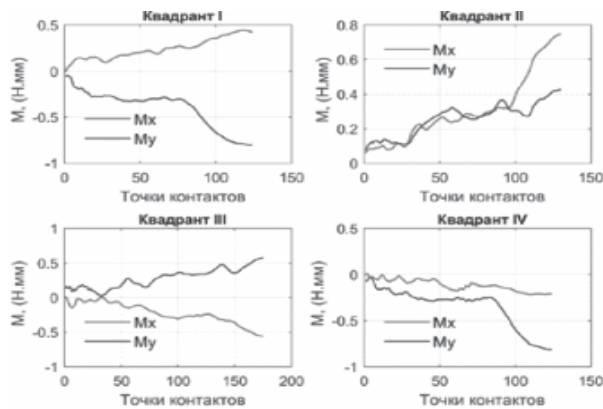
Quá trình thực nghiệm được tiến hành như sau: Trục được gripper kẹp và điều khiển đi xuống với nhiều độ sâu khác nhau. Trong quá trình lắp ráp, giá trị lực và moment được ghi lại và lưu vào máy tính cá nhân.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm:

	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z	α	β
I	-3,05	-1,74	-28,5	0,42	-0,80	0	11,9	6,33
II	1,96	-2,58	-26,9	0,74	0,42	0	9,47	-15,5
III	2,35	2,41	-32,1	-0,55	0,57	0	-13	-12,6
IV	-3,23	1,22	-29,6	-0,2	-0,81	0	-31,	8,36

Khi trực tiếp xúc với bề mặt của ống lót (Hình 6), thu được tín hiệu lực và moment từ

cảm biến. Từ đó, có thể xác định được vị trí của điểm tiếp xúc theo hệ phương trình (3). 



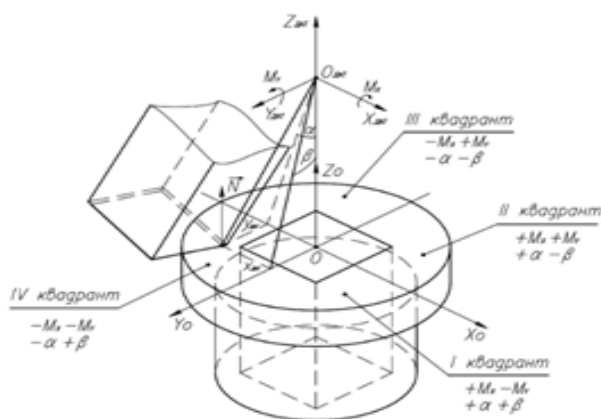
Hình 6. Thay đổi của moment tại điểm tiếp xúc trong 4 vùng khác nhau

Kết quả thực nghiệm được thể hiện ở bảng 1. Thấy rằng, dấu của moment lực và đo được từ cảm biến thay đổi theo quy luật.

Khi điểm tiếp xúc ở vùng I và III thì dấu của góc lệch và moment khác nhau. Khi điểm tiếp xúc ở vùng II và IV góc lệch và moment cùng dấu (Hình 7).

5. KẾT LUẬN

Nội dung của bài báo đề cập đến việc phân loại các trạng thái tiếp xúc trong quá trình lắp ráp các chi tiết biên dạng profile và đề xuất trình tự lắp ráp các chi tiết.



Hình 7. Biểu thị dấu của góc lệch α, β và moment M_x, M_y trong các vùng tiếp xúc

Đề xuất sử dụng phương pháp dịch chuyển và quay hệ trục tọa độ theo các góc quay khác nhau để xác định vị trí của điểm tiếp xúc khi trực tiếp xúc với bề mặt của ống bọc. Kết quả của thực nghiệm cho thấy mối liên hệ của moment và góc lệch trong các vùng tiếp xúc khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho phép tính toán và xác định các điểm tiếp xúc ban đầu để tiến hành xây dựng mô hình toán học của các trạng thái tiếp xúc khác trong toàn bộ quá trình lắp ráp. ♦

Ngày nhận bài: **16/02/2023**

Ngày phản biện: **01/3/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Sturges, R. H.: *A three-dimensional assembly task quantification with application to machine dexterity*, Internat. J. Robotics Res. 7(1) (1988), 34-78.
- [2]. Kim, YL., Song, HC. & Song, JB. *Hole detection algorithm for chamferless square peg-in-hole based on shape recognition using F/T sensor*. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 15, 425-432 (2014).
- [3]. Кузнецова С.В., Симаков А.Л. распознавание положения точки контакта деталей при роботизированной сборке с силомо-ментным оучувствлением// "Автоматизация в промышлен-ности" 2020, №6, с.9-13.
- [4]. Вартанов, М.В. Экспери-ментальные исследования усло-вий собираемости при ак-тивной роботизированной сборке [Текст] / М.В. Вартанов, М.В. Архипов, В.К. Петров, Р.С. Мищенко // «Станки и инструмент», 2017, №4, с. 14 -16.