

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP BỔ SUNG LƯỢNG BÙ DO BIẾN DẠNG ĐÀN HỒI CHO THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH LƯỢNG BÙ SAI SỐ VỊ TRÍ CỦA VÍT ME – ĐAI ỐC BỊ

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHOD OF ADDING ELASTIC DEFORMATION COMPENSATION TO THE ALGORITHM FOR DETERMINING POSITIONAL ERROR COMPENSATION OF BALLSCREWS

Trần Đức Toàn

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

Email: toan.tranduc@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Vít me – đai ốc bị được coi là lựa chọn ưu tiên hàng đầu khi cần cơ cấu dẫn động cho chuyển động tịnh tiến chính xác cao. Khi chịu tải, chi tiết máy sẽ xảy ra biến dạng đàn hồi, gây sai số vị trí các bề mặt, và lượng biến dạng này sẽ thay đổi khi đặc trưng của tải thay đổi. Nhiều hãng sản xuất vít me – đai ốc bị công bố thông tin phục vụ xác định biến dạng đàn hồi trong bộ truyền này ở mức hạn chế, thông tin chưa đầy đủ [1], thậm chí chỉ công bố sai số giới hạn cố định [2, 3]. Gây khó khăn cho việc tìm hiểu, và tiến tới làm chủ công nghệ, chủ động hoàn toàn trong việc thiết kế, chế tạo sản phẩm công nghiệp có độ chính xác cao, điều khiển tự động. Trên cơ sở nghiên cứu biến dạng đàn hồi, tác giả đã đề xuất bổ sung lượng biến dạng đàn hồi mà các nghiên cứu trước đây chưa tính đến vào trong chương trình tính toán điều khiển lượng bù các sai số vị trí của đai ốc/ bàn máy cho hệ thống điều khiển máy công cụ CNC, góp phần cải thiện và nâng cao độ chính xác gia công.

Từ khóa: Vít me – đai ốc bị; Bù biến dạng đàn hồi; Máy CNC.

ABSTRACT

Ball screws are considered the first choice when a drive mechanism for high precision linear motion is required. When be loaded, the machine part will undergo elastic deformation, causing position errors on the surfaces, and the amount of this deformation will change when the load characteristics change. Many manufacturers of ball screws publish information to determine the elastic deformation in this transmission at a limited level, with incomplete information [1], and even only publish fixed limit errors [2, 3]. Making it difficult to learn, and master the technology, and be completely proactive in designing and manufacturing high-precision, automatic-controlled industrial products. Based on the study of elastic deformation, the author proposed to add the amount of elastic deformation that previous studies had not taken into account into the program to calculate the control of the amount of compensation for position errors of nuts/machine tables for the CNC machine tool control system, contributing to improving and enhancing the machining accuracy.

Keywords: Ballscrews; Elastic deformation compensation; CNC machine.



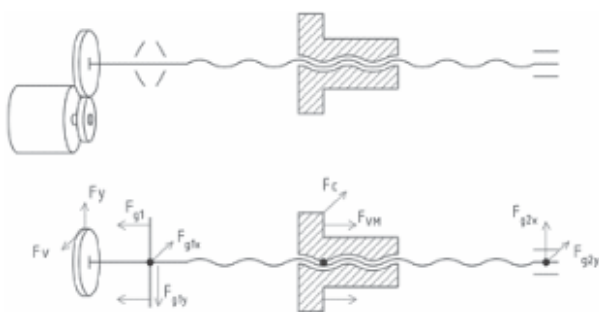
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi hệ thống đo và phản hồi của máy CNC sử dụng Rotary encoder lấy tín hiệu từ trục quay để xác định vị trí thì giá trị sai số do biến dạng đàn hồi là rất lớn. Muốn điều khiển chính xác vị trí của máy/thiết bị, hệ thống điều khiển bắt buộc phải tính toán và bù lượng biến dạng đàn hồi này. Trên cơ sở nghiên cứu các quá trình kỹ thuật xảy ra, cùng các nghiên cứu trước đây về bù sai số cho vít me – đai ốc bị máy CNC nhằm đảm bảo điều khiển chính xác vị trí cho đai ốc [4, 5, 6], tác giả nghiên cứu sửa đổi và bổ sung cho thuật toán tính bù sai số do biến dạng đàn hồi cho lệnh điều khiển vị trí vít me – đai ốc bị, làm cơ sở cho việc xây dựng và bổ sung bộ thông số kỹ thuật cho mỗi bộ vít me – đai ốc bị, nhằm hỗ trợ và nâng cao chất lượng hoạt động, tính toán thông số vị trí cho quá trình điều khiển, cho ra các máy có độ chính xác vị trí làm việc cao, nâng cao chất lượng làm việc của các máy móc/ thiết bị, tự động hóa, công nghiệp hóa sản xuất tại Việt Nam.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Phân tích tải tác động lên vít me và các quá trình vật lý xảy ra, nhận thấy:

Khi làm việc, hệ các lực tác dụng lên vít me được thể hiện trên hình 1.

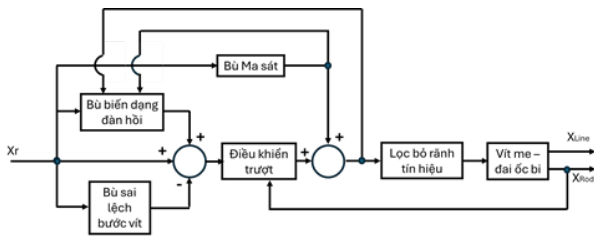


Hình 1. Mô tả các lực tác dụng lên vít me khi làm việc

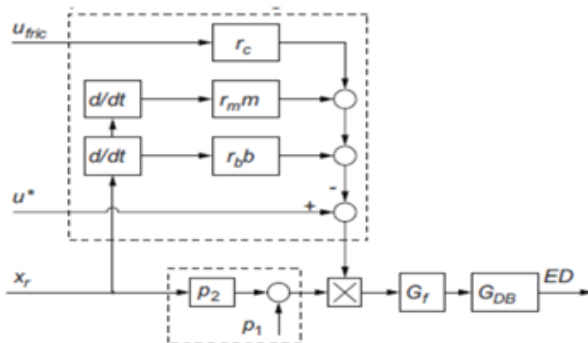
Theo đó, điểm bắt đầu được coi là điểm động cơ bắt đầu nhận lệnh chuyển động quay, khi đó cơ hệ không chịu tải, các kích thước ở trạng thái tự nhiên. Điểm kết thúc chuyển động là tại điểm mục tiêu mong muốn B. Các quá trình xảy ra như sau: Động cơ quay, vít me chịu tải tăng dần và biến dạng đàn hồi, lượng biến dạng sẽ tăng dần ở giai đoạn ma sát nghỉ, ngay khi đai ốc bắt đầu dịch chuyển, thì lượng biến dạng này sẽ thay đổi đột ngột (nhảy cóc, do chuyển đổi trạng thái ma sát nghỉ về trạng thái ma sát khi chuyển động) và lại tăng theo vị trí đai ốc khi di chuyển. Sau đó, khi dao bắt đầu tiếp xúc với phôi, lượng biến dạng này lại tăng lên đột ngột do lực cắt, và tiếp tục tăng ổn định nếu lực cắt ổn định (do vị trí làm việc của đai ốc trên vít me thay đổi), đến khi nhận lệnh dừng bàn máy, vít me đàn hồi tiếp theo hướng chuyển động để trở về kích thước tự nhiên.

Với các quá trình xảy ra, lượng biến dạng đàn hồi trực vít me do kéo nén – ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác vị trí đai ốc cũng chính là độ chính xác gia công – là rất lớn. Có thể ví dụ khi gia công tiện phôi thép C45 với lực cắt khoảng 3000 (N), với vật liệu vít me như công bố, vị trí đai ốc dẫn động bàn máy làm việc cách gối đỡ chặn 300 mm, tính được lượng biến dạng đàn hồi của vít me là $\Delta l = 45 \mu m$ - với gia công chính xác cao thì lượng sai số này không thể bỏ qua.

Một số nhà khoa học đã thực hiện các công trình nghiên cứu về biến dạng đàn hồi và một số nguyên nhân gây sai số điều khiển vị trí của hệ thống điều khiển máy CNC [4, 5]. Theo đó, A Kalalzdeh và cộng sự đưa ra sơ đồ điều khiển bù như sau:



Hình 2. Sơ đồ điều khiển bù sai số biến dạng đàn hồi trong máy công cụ [4]



Hình 3. Sơ đồ điều khiển bù biến dạng đàn hồi [4]

Trên hình:

u_{fric} : Tín hiệu điều khiển điện về ma sát (V);

r_c : Tỷ lệ phân bố tải theo chu vi;

r_m : Hệ số ma sát;

m : Khối lượng;

r_b, b : Ma sát khối giảm chấn;

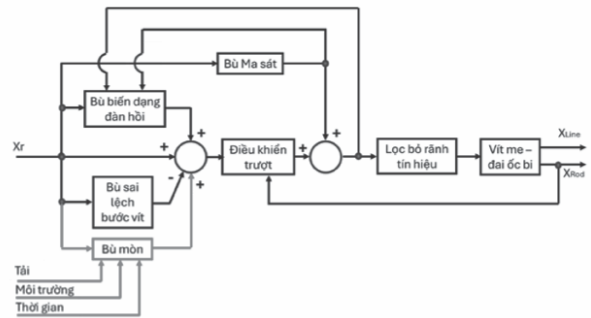
$G_{DB} = (0 \text{ hoặc } 1)$ bộ lọc tín hiệu.

p_1, p_2 : Kí hiệu viết gọn của

$\frac{K_{bering} + K_{nut}}{K_{bering} \cdot K_{nut}}$ và $\frac{1}{K}$ trong công thức tính độ cứng;

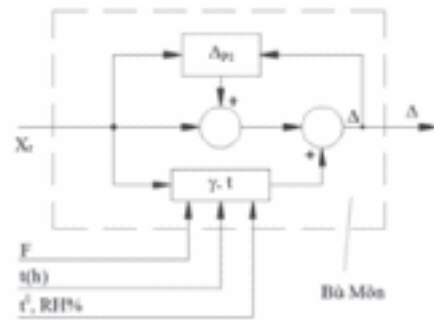
G_f : Giá trị được thêm vào để làm giảm sai số điều khiển.

Bổ sung vào nghiên cứu của [4], nghiên cứu [4] cho rằng cần bù thêm lượng mòn vào quá trình điều khiển. Theo đó, sau mỗi thời gian làm việc nhất định, cần xác định lượng mòn tại từng điểm theo vị trí trên trục vít me, từ đó có dữ liệu bù mòn phù hợp. Sơ đồ tính toán điều khiển bù mòn do [5] đề xuất được mô tả được thể hiện trên hình 4:



Hình 4. Sơ đồ khối tính toán lượng bù sai số vị trí vít me - đai ốc bị [6]

Với cụ thể sơ đồ thuật toán tính mòn được mô tả trên hình 5.

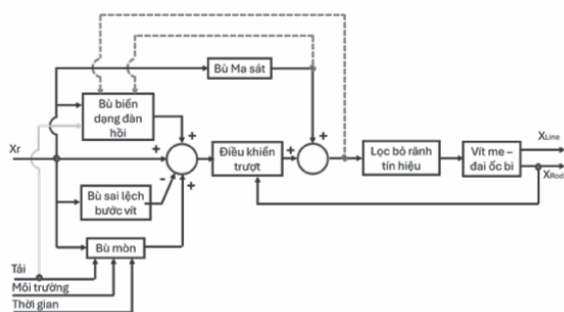


Hình 5. Sơ đồ thuật toán tính mòn [5]

Trong quá trình nghiên cứu về xác định lượng biến dạng đàn hồi, tác giả nhận thấy hệ thống điều khiển xác định lượng bù mòn theo [4] là chưa đầy đủ, do đầu vào quá trình tính bù mòn không có thông tin về tải (không có thông tin về các thông số công nghệ) mà chỉ lấy thông tin qua các phản hồi từ thông số điều khiển kiểu áp đặt để tính lượng bù. [5] thì ngầm công nhận bù biến dạng đàn hồi theo [4] là đúng, nên chỉ bổ sung quá trình tính lượng bù do mòn vào sơ đồ điều khiển. Do đó, rất cần cần bổ sung nghiên cứu sâu hơn để đưa ra kết quả chính xác hơn, giúp điều khiển vị trí chính xác hơn.

Dù có thể tính toán thông tin về tải đặt vào vít me thông qua các thông số khối lượng, 

tốc độ, gia tốc và ma sát [4], nhưng theo như chương trình tính toán [4] thì các thông tin này hoàn toàn lấy từ lệnh điều khiển với những tham số áp đặt. Do đó, lấy thông tin từ thông số công nghệ thực tế để tính toán lượng bù biến dạng, tất nhiên sẽ cho độ tin cậy cao hơn. Đề xuất của tác giả về sơ đồ tính toán lượng bù do các nguyên nhân biến dạng đàn hồi, sai lệch bước vít, ma sát, mòn được thể hiện ở hình dưới đây.

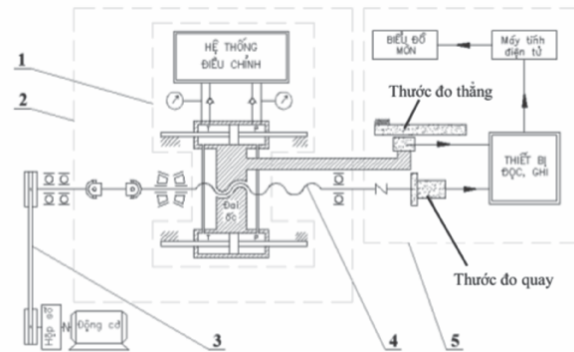


Hình 6. Sơ đồ tính toán sai số vị trí đai ốc

Theo như sơ đồ, đường truyền thông tin được tác giả đề xuất bỏ là đường nét đứt tô đỏ, đường truyền thông tin được đề xuất thêm vào là màu xanh. Sở dĩ bỏ đường truyền màu đỏ vì tất cả thông tin có được chỉ đều xuất phát từ lệnh điều khiển vị trí mong muốn, lệnh này không theo bước và thông số công nghệ, cũng như không phải là biến số; tương tự như vậy, tác giả thêm đường màu xanh thể hiện thông tin bước và thông số công nghệ phải được cập nhật liên tục cùng lệnh điều khiển vị trí tương ứng, và nó là nguyên liệu để tính toán ra trực tiếp tải gây biến dạng, chứ không phải tính tải gây biến dạng gián tiếp qua khối lượng, vận tốc, gia tốc như [4].

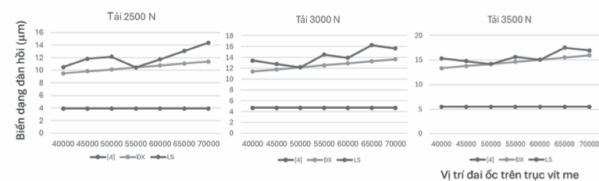
3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Sử dụng thiết bị thử nghiệm và đo mòn vít me – đai ốc bị [5]. Hình dưới thể hiện tổng thể nguyên lý của thiết bị đo này:



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý thiết bị thử nghiệm và đo mòn [5]

Sử dụng thiết bị thử nghiệm và đo mòn vít me – đai ốc bị để đo lượng biến dạng đàn hồi thực tế và so sánh với tính toán theo sơ đồ đề xuất, hình dưới thể hiện kết quả đo.



Hình 8. Lượng biến dạng đàn hồi theo nhà sản xuất và thực tế.

Như vậy có thể kết luận: việc tính toán tải thông qua thông số công nghệ đầu vào tại mỗi bước công nghệ cho độ tin cậy cao hơn so với việc áp đặt mỗi thông số cố định cho mỗi vị trí đai ốc vít me do hình dạng đồ thị lượng biến dạng đàn hồi là phù hợp và sát với lý thuyết về sự biến dạng đàn hồi.

Nghiên cứu thay đổi tham số điều khiển và can thiệp vào chương trình điều khiển của một máy CNC công nghiệp có sẵn, và hơn nữa là thử nghiệm trên các máy CNC của các hãng sản xuất khác nhau là rất khó đạt được sự chấp thuận và rất tốn kém. Do vậy, nghiên cứu mới chỉ dừng ở việc là nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm đơn lẻ, ngẫu nhiên cho một chủng loại

vít me của một hãng được lựa chọn ngẫu nhiên. Kết quả của nghiên cứu chắc chắn chưa thể áp dụng tổng quát và đại trà cho mọi chủng loại vít me của mọi hãng bất kỳ. Đây là thiếu sót của nghiên cứu này. Nhưng đóng góp của nghiên cứu là đã chỉ ra việc lấy thông tin từ lệnh điều khiển vị trí, tốc độ, gia tốc, khối lượng để gián tiếp tính ngược ra tải gây biến dạng đàn hồi, hoặc chỉ đưa ra thông số biến dạng đàn hồi lớn nhất, cố định, là phi thực tế, cho độ tin cậy thấp, và cần nghiên cứu, thử nghiệm nhiều hơn nữa để đưa ra một công thức tin cậy để xác định lượng sai số do các nguyên nhân khác nhau. ❖

Ngày nhận bài: **05/5/2025**

Ngày phản biện: **21/5/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hiwin, Ball screws technical information. 2018.
- [2]. NSK, Precision Machine Components. 2008.
- [3]. Thomson, Ball screws and ball Splines. 2021.
- [4]. A. Kamalzadeh, D.J. Gordon, K. Erkorkmaz, “Robust compensation of elastic deformations in ball screw drives”. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 50(6), (2010) 559-574.
- [5]. Trần Đức Toàn, Phạm Văn Hùng, “Nghiên cứu ổn định độ chính xác gia công bằng phương pháp bù sai số dịch chuyển do mòn của vít me – đai ốc bi máy CNC”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường đại học kỹ thuật (2016). ISSN 2354 – 1083.