

Nghiên cứu độ cứng vững và tuổi thọ, độ tin cậy của cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 khi tải ngoài thay đổi

Study on the Stiffness, Longevity and Reliability of the Spindle Unit of Eclipse 300 CNC Lathe with Different External Load

Phạm Văn Hùng¹, Nguyễn Thùy Dương^{1*}, Phạm Minh Tâm²

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

²Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, Thành phố Vinh, Nghệ An, Việt Nam

*Email: duong.nguyenthuy@hust.edu.vn

Tóm tắt

Độ cứng vững của cụm ổ trục chính máy công cụ nói chung và máy CNC nói riêng là chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng gia công của máy. Tải đặt trước trong cụm ổ trục chính tạo ra độ cứng vững ban đầu. Trong quá trình làm việc, dưới tác động của tải ngoài bao gồm lực cắt và tốc độ, cụm ổ trục chính bị mòn làm suy giảm độ cứng vững, dẫn tới độ chính xác gia công giảm. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sự thay đổi độ cứng vững cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse 300, khi chịu tải ngoài thay đổi, trong điều kiện phòng thí nghiệm. Trên cơ sở mối quan hệ giữa độ cứng vững, lượng mòn tổng cộng dọc trục của cụm ổ trục chính với thời gian làm việc cũng như giá trị độ cứng vững giới hạn cho phép còn lại để dự báo tuổi thọ, độ tin cậy, thời điểm điều chỉnh tải đặt trước nhằm duy trì độ cứng vững và độ chính xác gia công.

Keywords: Cụm trục chính, độ cứng vững, máy tiện CNC, mòn ổ lăn, tuổi thọ, độ tin cậy

Abstract

The stiffness of the spindle unit of machine tools in general and CNC machines in particular is an important criterion to evaluate the quality of machining. The initial stiffness of the spindle unit is created by the pre-load. During operating, the spindle unit is wear under the influence of external loads including cutting force and speed. It reduces the stiffness of the spindle unit, as well as decreasing machining accuracy. This paper presents the research results of the stiffness change of the Eclipse 300 CNC lathe spindle unit under different external loads in laboratory conditions. Based on the relationship between the stiffness and the amount of axial wear of the spindle unit according to the working time, as well as the permissible remaining stiffness limit to predict the longevity, reliability and time of adjusting the pre-load to maintain the stiffness and machining accuracy.

Keywords: Spindle unit, stiffness, CNC turning machines, wear of bearing, longevity, reliability

1. Giới thiệu

Máy công cụ CNC có độ cứng vững của cụm ổ trục chính cao do đó độ chính xác của chi tiết gia công cao và ổn định. Với đặc trưng tính linh hoạt cao nên máy CNC phù hợp với sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ, khi đó tải ngoài tác động lên cụm ổ trục chính luôn thay đổi. Trong quá trình gia công, cụm ổ trục chính phải chịu tải ngoài bao gồm lực cắt gọt và tốc độ quay. Cụm ổ trục chính máy công cụ yêu cầu đảm bảo độ chính xác từ 1µm (mài, doa) đến 100 µm (tiện, phay) [1], vì vậy, cần phải có độ cứng vững ban đầu là yêu cầu bắt buộc. Đồng thời dự báo được qui luật suy giảm độ cứng vững theo thời gian là yêu cầu quan trọng. Xác định chu kỳ điều chỉnh sức căng ban đầu để duy trì độ cứng vững cho cụm ổ trục chính theo thời gian làm việc nói chung sẽ không phù hợp khi tải ngoài không ổn định.

Độ cứng vững của cụm ổ trục chính máy tiện CNC phụ thuộc vào giá trị tải đặt trước và cách lựa chọn các kết cấu khác nhau của cụm ổ chịu tải chính. Để duy trì và cải thiện độ chính xác gia công trên cơ sở độ cứng vững của cụm ổ trục chính, Momir Šarenac [2] đã lựa chọn kết cấu tối ưu cho ổ lăn cho cụm trục chính từ đó đảm bảo được độ cứng vững yêu cầu cho cụm trục chính.

Mặt khác, Tri Prakosa et al. [3] đã đi sâu nghiên cứu về cách đặt tải trước, khoảng cách ổ, số lượng ổ nhằm tăng độ cứng vững của cụm ổ trục chính. Holroyd et al. [4] đã nghiên cứu và lựa chọn phương án tích hợp các cụm ổ lăn để xác định mối quan hệ giữa độ cứng vững và rung động của cụm trục chính. Rastegari. A et al. [5] đã xác định nguyên nhân suy giảm độ cứng vững là do mòn cụm ổ trục chính trong điều kiện chịu tải ngoài, bao gồm 4 vùng, hoàn toàn phù hợp với quy luật mòn chung [6,7] như trên Hình 1.

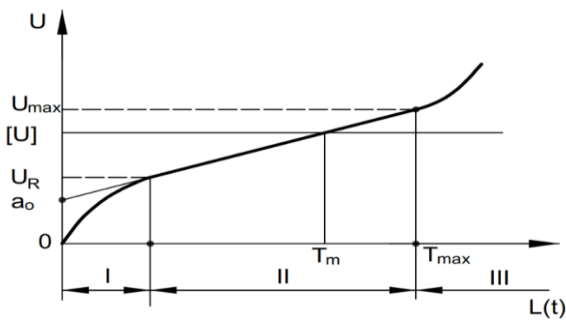
Giai đoạn chạy rà (I), tốc độ mòn giảm dần tới giá trị ổn định.

Giai đoạn mòn ổn định (II): tốc độ mòn có giá trị không đổi. Tuổi thọ chủ yếu nằm trong giai đoạn này.

Giai đoạn mòn khốc liệt (III): Có thể chia thành hai vùng:

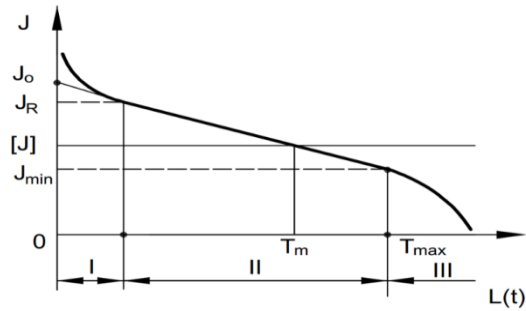
Vùng lân cận sau điểm T_{max} : Khoảng chuyển tiếp rất ngắn, các hiện tượng hư hỏng cục bộ bắt đầu xuất hiện. Đối với cụm ổ trục chính rung động bắt đầu có đột biến, các chi tiết như con lăn, ca trong, ca ngoài hay vòng cách bắt đầu xuất hiện các hư hỏng cục bộ. Tốc độ mòn bắt đầu tăng.

Vùng mòn khốc liệt, $T > T_{max}$: Tốc độ mòn tăng vọt, cần dừng máy và thay thế. Đối với cụm trục chính, nếu không thay thế cụm ổ trục chính sẽ dẫn tới phá hủy.



Hình 1. Quan hệ lượng mòn U theo thời gian t hay quãng đường ma sát L

Như vậy, để duy trì độ chính xác gia công lâu dài cần phải xác định các thời điểm điều chỉnh duy trì sức căng ban đầu trong giai đoạn mòn ổn định của cụm vòng bi trục chính, khi chưa xuất hiện giai đoạn III nói trên. Khi chuyển sang giai đoạn III thì cụm ổ trục chính không thể phục hồi độ cứng vững ban đầu được nữa, bề mặt ma sát bắt đầu hư hỏng.



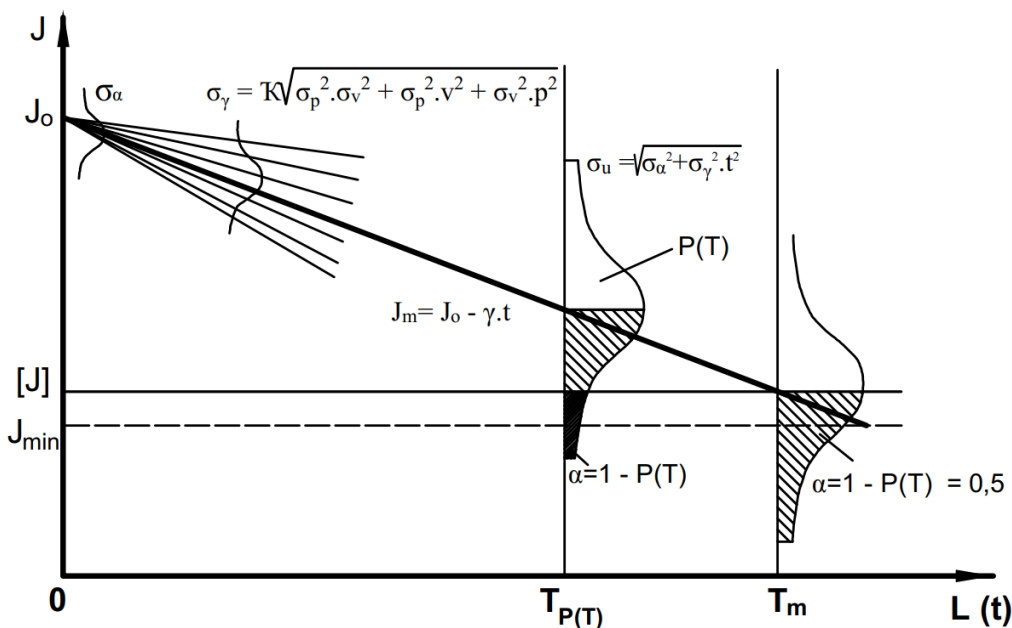
Hình 2. Quan hệ độ cứng vững J theo thời gian t hay quãng đường ma sát L

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mối quan hệ giữa độ cứng vững, mòn dọc trục của cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 theo thời gian nhằm khẳng định giả thiết trên Hình 2. Từ đó, xác định các thông số cần thiết cho bài toán tính tuổi thọ và độ tin cậy theo độ cứng vững khi tải ngoài thay đổi trong điều kiện phòng thí nghiệm. Kết quả cũng làm cơ sở cho việc tính toán tuổi thọ theo độ cứng vững khi có bôi trơn

2. Phương pháp tính tuổi thọ theo độ cứng vững cụm ổ trục chính

Từ qui luật mòn chung trên hình 1 và [5], có thể giả thiết qui luật thay đổi độ cứng vững J theo thời gian hoặc quãng đường ma sát như trên Hình 2, trong điều kiện mòn bình thường cũng gồm ba giai đoạn: Giai đoạn chạy rà, tốc độ giảm độ cứng vững giảm dần; Giai đoạn ổn định, tốc độ giảm độ cứng vững không thay đổi; Giai đoạn độ cứng vững suy giảm nhanh, tốc độ giảm độ cứng vững tăng vọt.

Trên cơ sở quan hệ của mòn và tuổi thọ, độ tin cậy [7], đưa ra được quan hệ giữa độ cứng vững J và tuổi thọ, độ tin cậy như trên Hình 3.



Hình 3. Sự phụ thuộc độ cứng vững J theo thời gian và độ tin cậy

Độ cứng vững cụm trục chính J thay đổi theo thời gian (t) thừa nhận tuân theo quy luật tuyến tính và được thể hiện bằng phương trình sau:

$$J_m = J_0 - \gamma_m \cdot t \quad (1)$$

trong đó:

J_m - Độ cứng vững trung bình cụm ổ trục chính theo thời gian,

J_0 - Độ cứng vững ban đầu của cụm ổ trục chính,

γ_m - Tốc độ suy giảm trung bình của độ cứng vững

Tốc độ giảm trung bình độ cứng vững theo thời gian có thể tính theo phương trình tương tự tốc độ mòn [7]:

$$\gamma_m = k_j \cdot P_m \cdot V_m \rightarrow \gamma_m = k \cdot P_m \cdot n_m \quad (2)$$

trong đó:

P_m - Tải trọng trung bình,

V_m - Vận tốc trung bình

n_m - Tốc độ quay trung bình,

k_j và k là các hệ số có thể xác định từ các kết quả thực nghiệm.

Trong điều kiện làm việc bình thường có thể xem tải trọng và tốc độ là hai biến ngẫu nhiên có độ lệch chuẩn là $\sigma_p(N)$ và $\sigma_n(vg/ph)$. Như vậy, tốc độ suy giảm độ cứng vững γ cũng là biến ngẫu nhiên tuân theo luật số lớn, phân phối chuẩn có kỳ vọng γ_m và sai lệch tiêu chuẩn σ_γ với hàm mật độ $f(\gamma)$ được tính theo công thức [7]:

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\gamma - \gamma_j]^2}{2\sigma_\gamma^2} \right\} \quad (3)$$

trong đó:

$$\sigma_\gamma = \sqrt{D(kpn)} = k \sqrt{\sigma_p^2 \sigma_n^2 + \sigma_p^2 n_m^2 + \sigma_n^2 p_m^2} \quad (4)$$

$$\gamma_m = \frac{J_m}{T} \quad (5)$$

T - tuổi thọ dự kiến.

D- Phương sai

Sai lệch tiêu chuẩn của J_m được tính:

$$\sigma_J = \sqrt{\sigma_{J_0}^2 + \sigma_\gamma^2 T^2} \quad (6)$$

$P(t)$ là xác suất làm việc không hỏng của cụm ổ trục chính theo độ cứng vững J , ứng với chu kỳ làm việc có thời gian $t = T$. Xác suất làm việc không hỏng của cụm trục chính tính theo độ cứng vững J tương ứng bằng diện tích nằm dưới đường cong mật độ xác suất của $J: f(J)$ và nằm trong khoảng $[J] \leq J \leq J_0$ (Hình 3)

Xác suất làm việc $P(t)$ - đặc trưng cho khả năng làm việc liên tục, được tính thông qua toán tử Laplace [7] như sau:

$$P(t) = 0,5 + \phi \left[\frac{J_0 - \gamma_m T - [J]}{\sqrt{\sigma_{J_0}^2 + \sigma_\gamma^2 T^2}} \right] \quad (7)$$

Trong đó:

Φ - Toán tử Laplace;

T - Tuổi thọ dự kiến;

σ_{J_0} - Sai lệch tiêu chuẩn của độ cứng vững ban đầu;

σ_γ - Sai lệch tiêu chuẩn tốc độ suy giảm độ cứng vững;

$[J]$ - Độ cứng vững còn lại cho phép.

Tùy thuộc vào độ tin cậy, đối số của hàm Laplace (Ua) có giá trị khác nhau. Phương trình tuổi thọ trên cơ sở độ cứng vững theo độ tin cậy sẽ là:

$$U_a(\sqrt{\sigma_{J_0}^2 + \sigma_\gamma^2 T^2}) = J_0 - \gamma_m T - [J] \quad (8)$$

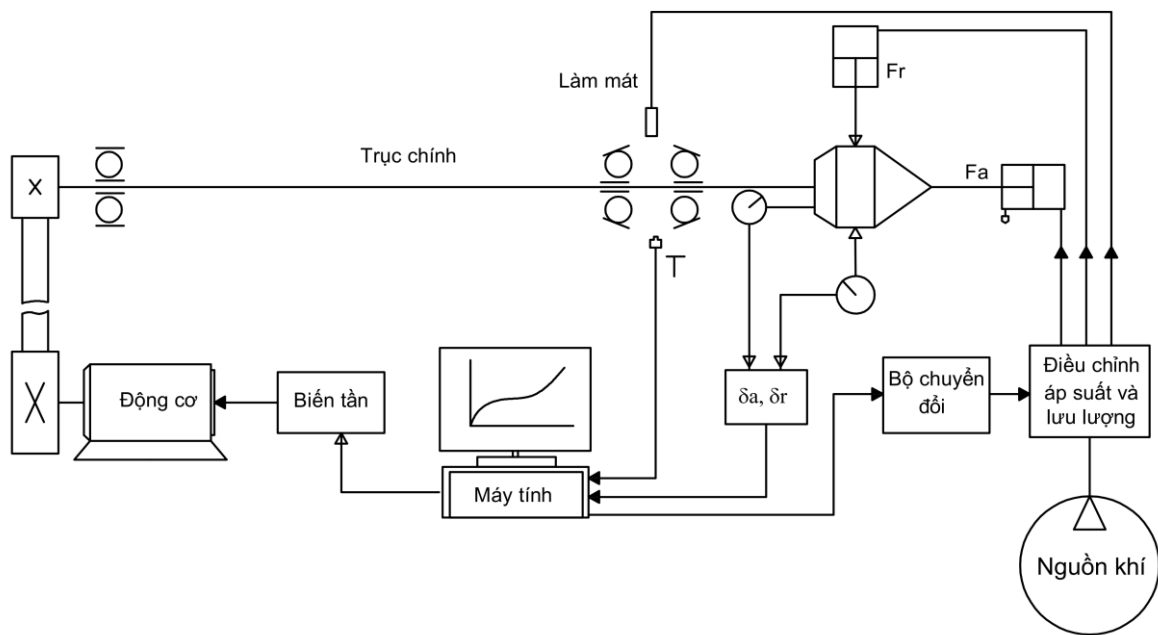
Phương trình (8) về nguyên tắc có hai nghiệm T_1 và T_2 , tuy nhiên độ tin cậy 50% là nhỏ nhất do đó nghiệm của phương trình này phải nằm trong khoảng $0 < T < T_m$. Tuổi thọ trung bình T_m của cụm ổ trục chính khi có độ cứng vững còn lại $[J]$ cho phép sẽ được xác định theo công thức:

$$T_m = \frac{J_0 - [J]}{\gamma_m} \quad (9)$$

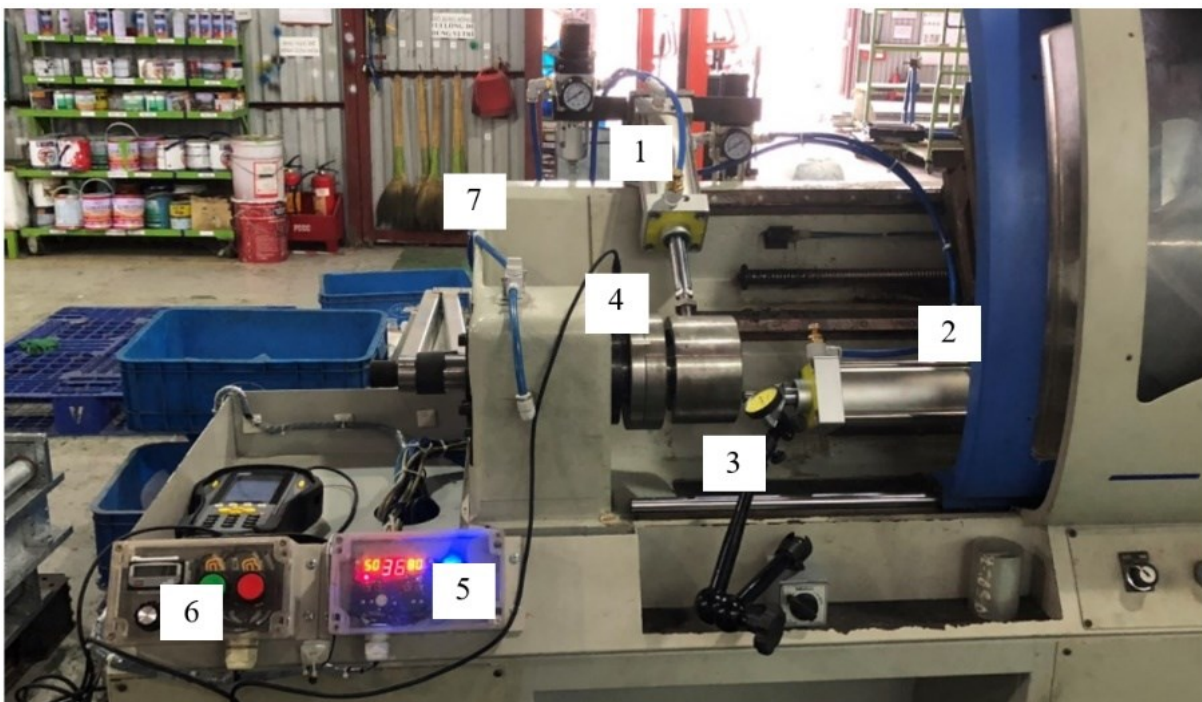
3. Hệ thống thiết bị thí nghiệm

Dựa trên nguyên tắc phép đo độ cứng vững và đo lượng mòn tổng cộng xác định tuổi thọ trục chính máy tiện theo (ISO 13041 - 1:2004) [8] xây dựng sơ đồ hệ thống thiết bị thí nghiệm được trình bày như trên Hình 4. Hệ thống thiết bị thí nghiệm được bố trí trực tiếp trên cụm trục chính máy tiện CNC Elipse 300. Trong hệ thống này, sử dụng 02 xy-lanh pít tông khí nén theo phương dọc trục và phương hướng kính được điều chỉnh áp suất tương ứng với lực cắt tính toán. Để giảm thời gian, thực nghiệm được tiến hành trong điều kiện không có chất bôi trơn. Cụm ổ trục chính được đảm bảo làm việc trong điều kiện ổn định, nhiệt độ làm việc được duy trì nhỏ hơn 60 °C bằng hệ thống làm mát khí nén [9,10]. Các cảm biến nhiệt độ gắn áp vào ca ngoài của ổ lăn để điều khiển dòng khí làm mát phù hợp. Đo dịch chuyển hướng kính và lượng mòn dọc trục sử dụng đồng hồ so Mitutoyo 1/1000, phạm vi đo: 0 - 0,14 mm; Độ chia: 0,001 mm.

Trong hệ thống thí nghiệm, máy CNC Elipse 300 có cặp ổ lăn 7210 của hãng NSK lắp theo kiểu lưng đối lưng và tải trọng trung bình. Giá trị của tải đặt trước 250N theo phương dọc trục tương ứng với lượng dịch chuyển dọc trục của ổ lăn là $\delta_a=6 \mu m$ [11]. Thừa nhận giá trị $[\delta_a] \sim 5 \mu m$ cũng là lượng mòn tổng cộng dọc trục lớn nhất cho phép của cụm ổ theo ISO13041-1 [8]. Sơ đồ hệ thống thiết bị thí nghiệm được thể hiện trên Hình 5.



Hình 4. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm



Hình 5. Thiết bị thực nghiệm đánh giá chất lượng cụm trục chính trên máy tiện CNC Eclipse 300

1- Xy-lanh tạo lực hướng kính; 2- Xy-lanh tạo lực dọc trục; 3 – Đồng hồ so; 4 – Cụm trục chính máy tiện CNC; 5 – Bộ theo dõi và khống chế nhiệt độ; 6- Bộ điều khiển tốc độ trục chính; 7- Đường khí nén làm mát.

Các thông số kỹ thuật cơ bản của các thí nghiệm được thể hiện trên Bảng 1. Thực nghiệm được tiến hành theo các thí nghiệm có tải ngoài theo Bảng 2.

Ở các thí nghiệm có tải ngoài (P, n) khác nhau, tiến hành theo các bước: Đặt tải trước để tạo sức căng ban đầu cho ổ lăn theo quy định của nhà sản xuất, giá trị của tải đặt trước là $F_{Preload} = 250N$.

Sau mỗi khoảng thời gian $t = 6$ h, dừng máy và thực hiện phép đo độ cứng vững và đo lượng mòn tổng cộng dọc trục. Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần để đảm bảo độ chính xác phép đo;

Đo độ cứng vững $J(N/\mu m)$: Xác định chuẩn kiểm tra đo theo phương hướng kính; Tác động lực hướng kính F_r ; Xác định dịch chuyển hướng kính tại

vị trí đo y (μm); Đo chuyển vị thực hiện với 20 điểm đo theo chu vi; Tính độ cứng vững $J = F_r/y$ ($\text{N}/\mu\text{m}$)[2].

Đo lượng mòn tổng cộng dọc trục δ (μm): Xác định chuẩn đo theo phương dọc trục; Tác động lực dọc trục; Xác định chuyển dịch dọc trục δ (μm); Lặp lại 3 lần các bước và lấy giá trị trung bình.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật cơ bản của thí nghiệm

STT	Thông số	Giá trị
1	7210B của NSK	D=90 mm, d=50 mm, $C_r = 60500$ mm, $\alpha = 15$
2	Tốc độ quay, n	1800, 2000, 2200 vg/ph
3	Tải trọng tương đương, P	1310, 1915, 2520N
4	Bôi trơn	Không bôi trơn
5	Bước thời gian	6h
6	Làm mát	Khí nén đảm bảo $T < 60^\circ\text{C}$

Bảng 2. Thông số tải ngoài của các thí nghiệm

Thông số	TN1	TN2	TN3	TN4	TN5
P(N)	1310	2520	1310	2520	1915
n(vg/ph)	1800	1800	2200	2200	2000

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Kết quả thí nghiệm

Kết quả của các thí nghiệm xác định độ cứng vững của cụm trục chính theo phương hướng kính và mòn tổng cộng dọc trục theo thời gian trong các thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 3.

Căn cứ vào số liệu Bảng 3 xây dựng đồ thị biến thiên của độ cứng vững và lượng mòn tổng cộng dọc trục của cụm ổ trục chính theo thời gian với các điều kiện tải ngoài khác nhau, như trên Hình 6

Các kết quả thực nghiệm cho thấy độ cứng vững của cụm ổ trục chính phụ thuộc tuyến tính vào thời gian trong giai đoạn làm việc ổn định ở tất cả các điều kiện thí nghiệm (Hình 6g). Do đó, việc biểu diễn đồ thị nguyên tắc của độ cứng vững theo thời gian trên hình 2 là phù hợp và là cơ sở cho tính toán tuổi thọ, độ tin cậy cho cụm ổ trục chính.

Thay đổi độ cứng vững J và lượng mòn tổng cộng dọc trục δ của cụm ổ trục chính theo thời gian, ở các giá trị tải ngoài (P và n) khác nhau, là ngược chiều với nhau (Hình 4 a,b,c,d,e). Khi lượng mòn tổng cộng tăng tuyến tính theo thời gian làm việc thì độ cứng vững cũng giảm tuyến tính, cho thấy nguyên nhân chính làm giảm độ cứng vững của trục chính là do mòn cụm ổ trục chính.

Bảng 3. Độ cứng vững của cụm trục chính theo phương hướng kính và mòn tổng cộng dọc trục trong

các điều kiện tải ngoài khác nhau theo các bước thời gian

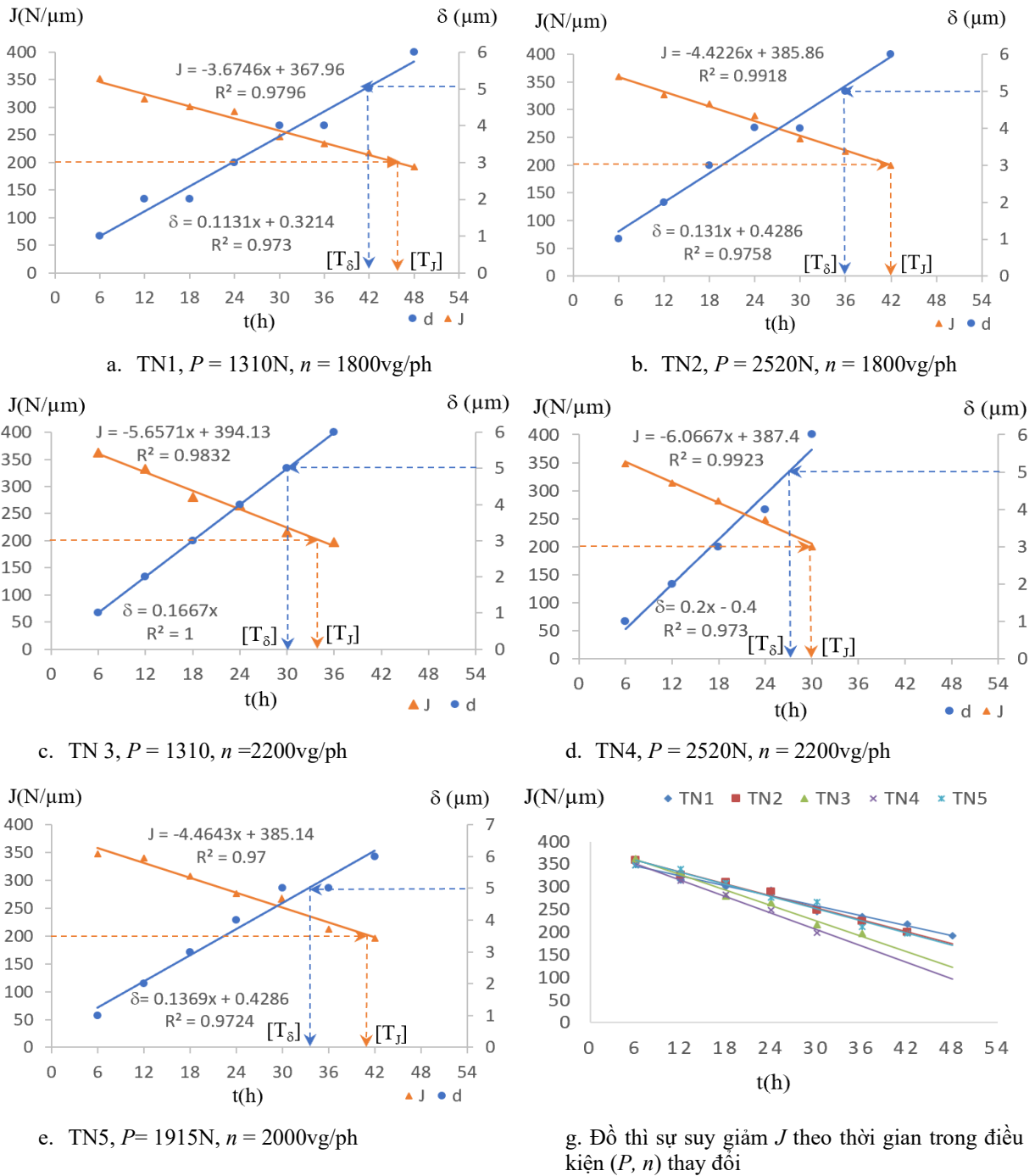
Thời gian	Giá trị đo	TN1	TN2	TN3	TN4	TN5
6(h)	$\delta(\mu\text{m})$	1	1	1	1	1
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	352	359	362	348	347
12(h)	$\delta(\mu\text{m})$	2	2	2	2	2
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	315	327	332	314	340
18(h)	$\delta(\mu\text{m})$	2	3	3	3	3
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	301	310	280	282	308
24(h)	$\delta(\mu\text{m})$	3	4	4	4	4
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	292	289	265	248	276
30(h)	$\delta(\mu\text{m})$	4	4	5	6	4
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	246	248	216	199	267
36(h)	$\delta(\mu\text{m})$	4	5	6		5
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	234	225	197		212
42(h)	$\delta(\mu\text{m})$	5	6			6
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	218	200			196
48(h)	$\delta(\mu\text{m})$	6				
	$J(\text{N}/\mu\text{m})$	192				

Tại mỗi vùng tải ngoài cụ thể (P và n) với giá trị giới hạn độ cứng vững cho phép còn lại $[J]$ của cụm ổ trục chính máy công cụ, hoàn toàn xác định được giá trị lượng mòn tổng cộng dọc trục δ tương ứng, đây cũng có thể coi là lượng mòn tổng cộng dọc trục giới hạn cho phép $[\delta]$ của cụm ổ trục chính.

Kết quả thực nghiệm cho thấy có thể xác định thời điểm điều chỉnh sức căng ban đầu cụm ổ trục chính theo $[J]$ hoặc $[\delta]$. Thời điểm điều chỉnh cụm ổ trục chính phải hoàn toàn nằm trong vùng độ cứng vững J hoặc lượng mòn δ thay đổi tuyến tính theo thời gian thì mới có thể khôi phục được độ cứng vững ban đầu.

Khi tải trọng ngoài thay đổi (P và n) với một giá trị giới hạn độ cứng vững cho phép $[J]$ thì lượng mòn tổng cộng dọc trục δ có giá trị khác nhau, do đó căn cứ vào giá trị $[\delta]$ để chọn thời điểm t điều chỉnh cụm trục chính, có độ chính xác chưa cao. Mặt khác việc xác định lượng dịch chuyển theo phương dọc trục của cụm ổ trục chính do mòn trong quá trình làm việc là rất khó khăn, khá phức tạp và chuẩn đo lường khó ổn định trong thời gian làm việc dài, trong khi xác định độ cứng vững của cụm trục chính theo phương hướng kính dễ dàng hơn.

Các kết quả thực nghiệm cũng cho thấy tuổi thọ của cụm ổ trục chính căn cứ vào độ cứng vững $[J]$ sẽ lớn hơn đến 12-15% so với khi xác định theo lượng mòn tổng cộng dọc trục giới hạn cho phép $[\delta]$



Hình 6. a,b,c,d,e -Đồ thị sự phụ thuộc của J và δ cụm ô trục chính theo thời gian t

3.2 Xác định tuổi thọ và độ tin cậy của cụm trục chính trên cơ sở độ cứng vững

Tuổi thọ kỳ vọng của cụm ô trục chính trong điều kiện thực nghiệm tại phòng thí nghiệm tính theo công thức (8).

$$T_m = \frac{J_0 - [J]}{\gamma_m} = 37,88(h)$$

trong đó, tốc độ suy giảm trung bình của độ cứng vững xác định từ thực nghiệm Hình 6, $\gamma_m = 4,857$ (N/μm/h), $J_0 = 384$ (N/μm).

Khi độ tin cậy là 50%, 90%, 95%, 99%, 99,9%. Đối số của hàm Laplace lần lượt là $U_\alpha = 0; 1,28; 1,64; 2,33; 3,09$ thay các giá trị vào phương trình (8) và lưu ý giá trị T_m , giá trị tuổi thọ trong điều kiện thực nghiệm tại phòng thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả tính toán tuổi thọ theo xác suất làm việc không hỏng $P(t)$ trong điều kiện phòng thí nghiệm

STT	Độ tin cậy $P(t)$ %	U_α	Tuổi thọ $T(h)$
1	50	0	37,88
2	90	1,28	31,67
3	95	1,64	30,47
4	99	2.33	28,04
5	99,9	3,09	25,78

Như vậy trong điều kiện tải ngoài thay đổi (P và n) tuổi thọ cụm ổ trục chính máy CNC xác định trên cơ sở độ cứng vững còn phụ thuộc vào việc lựa chọn xác suất làm việc không hỏng. Tuổi thọ dài nhất ứng với độ tin cậy 50% và độ tin cậy càng cao tuổi thọ càng thấp. Trong các trường hợp yêu cầu độ tin cậy cao thì tuổi thọ có thể giảm gần 50% so với tuổi thọ trung bình.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu về tuổi thọ, độ tin cậy của cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 trên cơ sở độ cứng vững khi tải ngoài thay đổi đã đưa ra một số kết luận sau:

1. Đã đưa ra một phương pháp xác định tuổi thọ và độ tin cậy của cụm trục chính chịu tải ngẫu nhiên trên cơ sở độ cứng vững cho phép. Kết quả nghiên cứu cho thấy tuổi thọ tăng 12-15% so với trường hợp tính theo chỉ tiêu mòn tổng cộng dọc trục
2. Kết quả thực nghiệm trong phòng thí nghiệm cho thấy rằng độ cứng vững và lượng mòn tổng cộng dọc trục của cụm trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 phụ thuộc tuyến tính vào thời gian làm việc. Tuy nhiên, độ cứng vững và lượng mòn tổng cộng dọc trục của cụm trục chính biến thiên ngược chiều nhau theo thời gian.
3. So với độ tin cậy theo tiêu chuẩn ISO (90%) thì tuổi thọ của cụm trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 giảm 10% khi độ tin cậy là 99% và giảm ~ 20% khi độ tin cậy là 99,9%. Như vậy, tuổi thọ giảm 10 - 20% khi cụm ổ trục chính làm việc có yêu cầu độ tin cậy cao hơn tiêu chuẩn.
4. Thời điểm t điều chỉnh cụm ổ trục chính để khôi phục sức căng ban đầu phụ thuộc vào độ tin cậy

được lựa chọn. Căn cứ tiêu chuẩn ISO với cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 trong điều kiện phòng thí nghiệm thì thời điểm điều chỉnh có $t \sim 31h$. Trong trường hợp độ tin cậy cao hơn thì t sẽ nhỏ hơn như trong bảng 4.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2017-PC-037.

Tài liệu tham khảo

- [1] Eduardo Torres Peres, Study of vibration severity assessment for Machine Tool spindles within Condition Monitoring, M.S. thesis, Stockholm, Sweden, 2016.
- [2] Momir Šarenac, Stiffness of machine tool spindle as a main factor for treatment accuracy, The scientific journal Facta Universitatis, vol.1, no.6, pp. 656-674, 1999.
- [3] Tri Prakosa and Rizky Ilhamsyah Agung Wibowo, Optimizing static and dynamic stiffness of machine tools spindle shaft, for improving machining product quality, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 20, no 4, pp 363-370, 2013.
- [4] Holroyd, Pislaru, Crinela and Ford, Derek G Geoffrey, Determination of stiffness and damping sensitivity for computer numerically controlled machine tool drives, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 217, no. 1, pp.1165-1177, 2003, <https://doi.org/10.1243/095440603322517171>.
- [5] Rastegari. A and Mobin. M Archenti. A, Condition Based Maintenance of Machine Tools: Vibration Monitoring of Spindle Units, Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, FL, USA, 2017 <https://doi.org/10.1109/RAM.2017.7889683>
- [6] Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Hùng, Ma sát học, NXB khoa học & kỹ thuật, 2005.
- [7] I.V.Kragelsky at al, Friction wear lubrication, Publisher, 1981.
- [8] Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres in Part 1: Geometric tests for machines with a horizontal workholding spindle, ISO13041-1, 2004.
- [9] Machine tool spindle bearing selection & mounting guide, NSK, 2012.
- [10] M.M. Khonsari, E.R. Booser. Bearing Design and Lubrication, John Wiley and Sons, 2001.
- [11] Eclipse machine Catalog, Alecop, 2010.