

NGHIÊN CỨU MỐI QUAN HỆ CỦA ĐỘ CỨNG VỮNG VỚI GIÁ TRỊ ĐẶC TRƯNG RUNG ĐỘNG CỦA CỤM Ổ TRỤC CHÍNH MÁY TIỆN CNC THEO THỜI GIAN LÀM VIỆC

STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE STIFFNESS AND VIBRATION CHARACTERISTICS OF CNC LATHE SPINDLE UNIT DURING WORKING PROCESS

Phạm Văn Hùng¹, Nguyễn Doãn Ý¹, Phạm Minh Tâm², Nguyễn Thùy Dương¹

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

²Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

TÓM TẮT

Độ cứng vững là một trong các chỉ tiêu kỹ thuật quan trọng của cụm ổ trục chính, ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác gia công trên máy tiện CNC. Theo thời gian làm việc, độ cứng vững cụm ổ trục chính máy tiện CNC suy giảm, đồng thời rung động gia tăng. Việc xác định được thời gian làm việc khi độ cứng vững bị suy giảm đến giá trị giới hạn cho phép là căn cứ quan trọng trong việc bảo dưỡng, điều chỉnh cụm ổ trục chính.

Bài báo này, trình bày kết quả nghiên cứu mối quan hệ giữa độ cứng vững J và giá trị RMS (Root Mean Square - Giá trị trung bình hiệu dụng) rung động của cụm ổ trục chính máy tiện CNC theo thời gian làm việc. Đã xác định được giá trị giới hạn cho phép của rung động [RMS] xấp xỉ $5,75\text{mm/s}^2$ thì độ cứng vững cụm ổ trục chính máy tiện CNC đạt giới hạn cho phép [J] là $200\text{N}/\mu\text{m}$.

Từ khóa: Cụm trục chính máy công cụ CNC; Độ cứng vững cụm trục chính; Mòn ổ lăn; Rung động của ổ lăn.

ABSTRACT

Stiffness is one of the important technical specifications of the spindle assembly, which directly affects machining accuracy on CNC machine tools. Over time, the spindle unit stiffness of the CNC machine reduces while the vibration increases. Determining the working time leading to a decline of stiffness to the limit value is an important basis for maintenance and adjustment of the spindle unit.

This paper presents a study on the relationship between the stiffness of the spindle unit and the characteristic parameters of the RMS (Root Mean Square) of measured vibrations during working process. The research results show that the limited RMS value can be an important basis for evaluating the spindle stiffness. The study also shows that with the limit value of the spindle stiffness [J] of $200\text{N}/\mu\text{m}$, the [RMS] value of vibration is about 5.75mm/s^2 .

Keywords: CNC machine spindle, stiffness of CNC machine tool spindle, wear of bearing, bearing vibration.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy công cụ CNC là sản phẩm cơ điện tử hiện đại, có độ chính xác gia công cao và ổn định. Với đặc điểm sản xuất linh hoạt, nên các yếu tố ngoại lực tác động lên cụm trục chính trong quá trình làm việc luôn thay đổi. Độ cứng vững của cụm ổ trục chính được xác định theo chuyển vị đầu trước trục chính, bao gồm độ cứng vững của bản thân trục chính và cụm ổ trục chính khi có ngoại lực tác dụng. Do đó, độ cứng vững của cụm trục chính là chỉ tiêu quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác gia công.

Các nghiên cứu về độ cứng vững cụm trục chính trên máy công cụ chủ yếu đưa ra các kết cấu khác nhau để tăng độ cứng vững cụm trục chính và ảnh hưởng của độ cứng vững cụm trục chính đến độ chính xác gia công. Momir Šarenac [1] đã đưa ra phương án lựa chọn ổ lăn tối ưu cho cụm trục chính máy công cụ nhằm tăng độ cứng vững. Tri Prakosa [2] đã nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố: Tải đặt trước, khoảng cách ổ, số lượng ổ tới độ cứng vững của trục chính máy công cụ và đưa ra các giải pháp thiết kế để tối ưu hóa độ cứng vững trục chính. Holroyd [3] đã khảo sát rung động và độ cứng vững của trục chính máy công cụ với các loại cụm ổ, lắp trên các trục chính khác nhau, từ đó lựa chọn được cụm ổ tối ưu về độ cứng vững, rung động.

Trong quá trình máy công cụ làm việc, cụm ổ trục chính bị mòn theo thời gian, khe hở tăng lên, do đó độ cứng vững của trục chính giảm dần, rung động tăng lên, chất lượng gia công giảm [4]. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mối quan hệ của độ cứng vững J với giá trị đặc trưng rung động RMS của cụm ổ trục chính máy tiện CNC theo thời gian làm việc.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Độ cứng vững trục chính máy tiện CNC

Độ cứng vững của hệ thống công nghệ nói chung và cụm trục chính máy tiện CNC nói riêng là khả năng chống lại biến dạng do ngoại lực gây ra, được tính theo bằng công thức [1]:

$$J = \frac{Py}{y} \quad (1)$$

Trong đó:

J : Độ cứng vững (N/ μm);

P_y : Lực tác dụng theo phương hướng kính của bề mặt gia công (N);

y : Lượng dịch chuyển trục chính theo phương của lực (μm).

Đối với máy tiện CNC, độ cứng vững theo phương hướng kính với đường tâm trục chính, thẳng góc với bề mặt gia công, có ảnh hưởng lớn nhất tới sai số gia công [2]. Trục chính máy công cụ nói chung và máy tiện CNC nói riêng, độ cứng vững của cụm ổ trục chính không được nhỏ hơn độ cứng của vật liệu.

2.2. Rung động của cụm trục chính máy tiện CNC

Hiện nay, đánh giá chất lượng làm việc của máy công cụ nói chung và máy tiện CNC nói riêng, sử dụng phổ biến phương pháp phân tích rung động thông qua giá trị RMS của rung động [4]. Giá trị RMS có thể tính nhanh nhờ chương trình máy tính [5] với công thức:

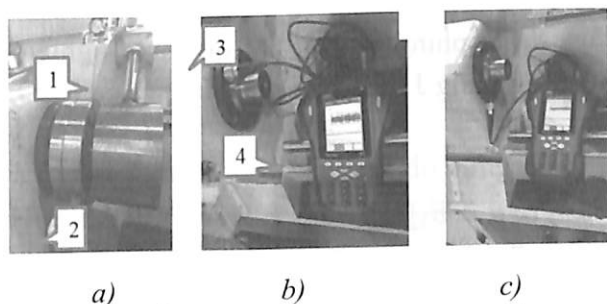
$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2)$$

Trong đó: $x(t)$ là phương trình gia tốc dao động theo thời gian.

T là thời gian đo.

2.3. Các thông số cơ bản của nghiên cứu thực nghiệm

Thực nghiệm khảo sát độ cứng vững và rung động của cụm ổ trục chính máy tiện CNC theo thời gian làm việc được thực hiện ở các tốc độ và tải trọng khác nhau, trên hệ thống thiết bị BK-CT-2017 (hình 1). Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện không bôi trơn. Hệ thống làm mát bằng khí nén đảm bảo nhiệt độ cụm ổ trục chính trong phạm vi làm việc bình thường ($t^0 < 60^0C$).



Hình 1. Thiết bị đo độ cứng vững, rung động cụm trục chính máy tiện CNC:

- a) Đo độ cứng vững; b) Đo rung động phương dọc trục; c) Đo rung động phương hướng kính;
- 1) Xylanh tạo tải hướng kính; 2) Đồng hồ so;
- 3) Cảm biến đo rung động;
- 4) Thiết bị phân tích rung động

Phép đo rung động trục chính thực hiện trong điều kiện chạy không tải theo ISO/TR

17243-2 [6] trên thiết bị BK-CT-2017, tích hợp với máy tiện CNC Eclipse 300. Giá trị rung động thu được là giá trị lớn nhất ở các vị trí đo và hướng đo. Giá trị chuyển vị thu được là giá trị trung bình của 20 phép đo ở các góc xoay khác nhau của cụm trục chính. Các thông số cơ bản trong thực nghiệm được trình bày trên bảng 1.

Bảng 1. Thông số cơ bản các thí nghiệm:

TN \ Thông số	I	II	III	IV	V
Tải dọc trục Fa (N)	400	800	600	400	800
Tải hướng kính Fr (N)	500	1000	750	500	1000
Tốc độ trục chính n (v/ph)	1800	1800	2000	2200	2200

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

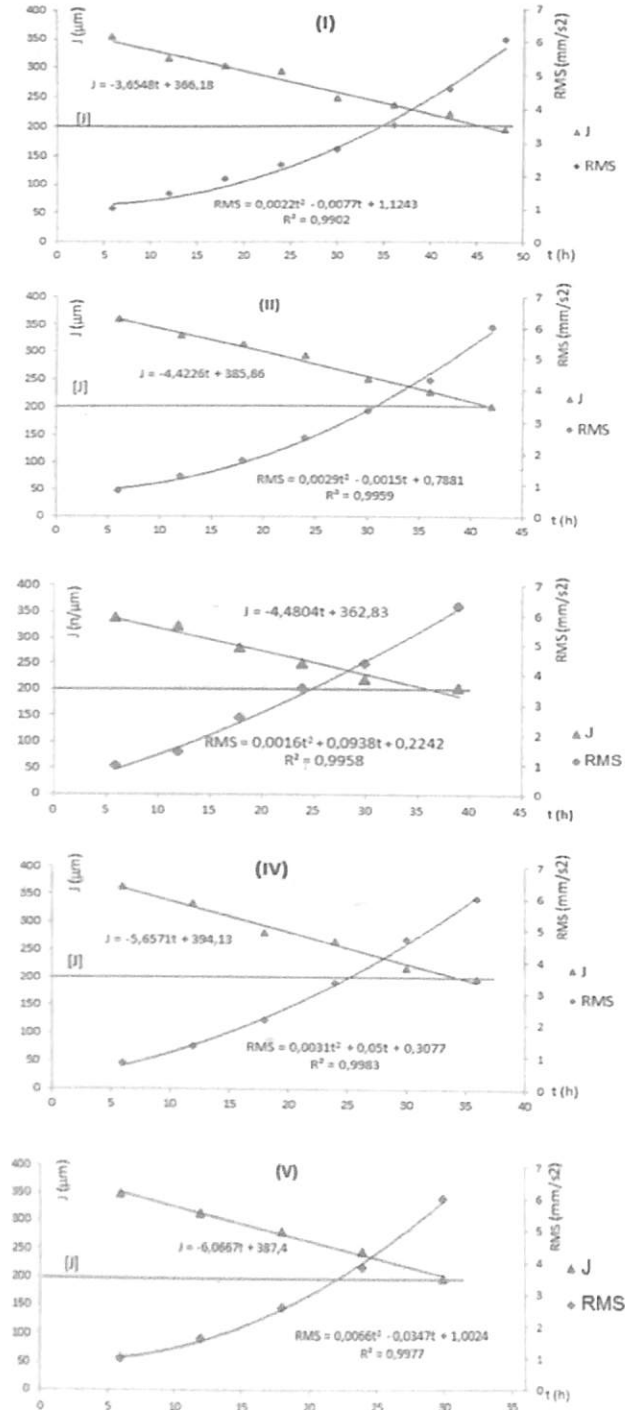
3.1. Kết quả

Giá trị RMS và độ cứng vững J của cụm ổ trục chính theo thời gian dưới tác dụng của tải trọng, tốc độ trục chính khác nhau, trong điều kiện phòng thí nghiệm, được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phép đo độ cứng vững J (N/ μ m) và giá trị RMS (mm/s²) theo thời gian làm việc của cụm trục chính máy tiện CNC:

TG \ TN	6h		12h		18h		24h		30h		36h		42h		48h	
	J	RMS	J	RMS	J	RMS	J	RMS	J	RMS	J	RMS	J	RMS	J	RMS
I	352	0,98	315	1,452	301	1,901	292	2,322	246	2,768	234	3,512	218	4,561	192	6,022
II	359	0,802	327	1,269	310	1,762	289	2,492	248	3,341	225	4,31	200	6,021		
III	337	0,921	320	1,376	278	2,511	246	3,495	217	4,325	211	6,218	176	6,612		
IV	362	0,768	332	1,301	280	2,106	265	3,309	216	4,671	197	5,989				
V	348	0,982	314	1,626	282	2,566	248	3,84	199	5,986						

- Dựa vào bảng 2, vẽ được đồ thị biểu diễn tổng hợp độ cứng vững J và giá trị RMS của cụm trục chính máy tiện CNC Eclipse 300 theo thời gian làm việc như hình 2.



Hình 2. Đồ thị tổng hợp độ cứng vững J và đặc trưng RMS trong các thí nghiệm

Thông thường, độ cứng vững cụm ổ trục chính phải xấp xỉ gần bằng độ cứng vững của bản thân vật liệu trục chính. Tuy nhiên, theo thời gian làm việc, độ cứng vững trục chính sẽ bị suy giảm. Khi độ cứng vững của cụm ổ trục chính suy giảm đến giá trị giới hạn cho phép [J], căn cứ vào cấp chính xác máy, máy CNC không duy trì được độ chính xác gia công và độ tin cậy yêu cầu. Lúc này cần phải tiến hành chu kỳ bảo dưỡng phục hồi để điều chỉnh, bảo trì cụm ổ trục chính đạt độ cứng vững ban đầu.

Từ phương trình hồi qui thực nghiệm độ cứng vững J theo thời gian:

$$J = b_{11}t + b_{12} \rightarrow t = \frac{J - b_{12}}{b_{11}} \quad (4)$$

Và phương trình hồi qui thực nghiệm giá trị RMS theo thời gian:

$$RMS = b_{21}t^2 + b_{22}t + b_{23} \quad (5)$$

Rút ra được:

$$RMS = b_{21} \left(\frac{J - b_{12}}{b_{11}} \right)^2 + b_{22} \left(\frac{J - b_{12}}{b_{11}} \right) + b_{23} \quad (6)$$

Trong đó: b_{11}, b_{12} là hệ số thực nghiệm độ cứng vững J;

b_{21}, b_{22}, b_{23} là hệ số thực nghiệm giá trị RMS.

Kết quả tính toán giá trị giới hạn cho phép [RMS] của rung động và thời gian thực hiện điều chỉnh, bảo dưỡng T_{dc} được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán [RMS] theo thực nghiệm khi [J]=200N/μm:

TN \ Hệ số	b_{11}	b_{12}	b_{21}	b_{22}	b_{23}	T_{dc} (giờ)	[RMS] mm/s ²
I	-3,655	366,180	0,002	-0,008	1,124	45,469	5,323
II	-4,423	385,860	0,003	-0,002	0,788	42,025	5,847
III	-4,480	362,830	0,002	0,098	0,224	36,343	5,910
IV	-5,657	394,130	0,003	0,050	0,308	34,316	5,674
V	-6,067	387,400	0,007	-0,035	1,002	30,890	6,228

3.2. Thảo luận

- Các đồ thị tổng hợp độ cứng vững J và giá trị RMS theo thời gian làm việc, cho phép lượng hóa mối quan hệ giữa giá trị độ cứng vững giới hạn cho phép [J] và giá trị giới hạn cho phép [RMS] của rung động với mỗi bộ thông số đầu vào. Từ [J] hoàn toàn xác định được giá trị [RMS] và nó thay đổi khoảng ±8% khi bộ thông số tải ngoài biến thiên, trong điều kiện phòng thí nghiệm trên máy tiện CNC Eclipse 300.

- Trong điều kiện phòng thí nghiệm, khi giá trị RMS ~ 5,75 mm/s² thì cụm ổ trục chính máy tiện CNC suy giảm độ cứng vững đến giới hạn cho phép. Trên thực tế làm việc, giá trị giới hạn cho phép [RMS] của rung động là căn cứ quan trọng để xác định được thời điểm dừng máy điều chỉnh sức căng ban đầu của cụm ổ trục chính về trạng thái ban đầu hay nói cách khác là cụm trục chính đã được phục hồi trong chu kỳ bảo dưỡng, sửa chữa.

4. KẾT LUẬN

- Giá trị RMS và độ cứng vững J của cụm trục chính máy tiện CNC có quan hệ nghịch biến và xác định được thông qua

phương trình hồi quy tương tác thực nghiệm có dạng:

$$RMS = a_2 \left(\frac{J-b_2}{a_2} \right)^2 + b_2 \left(\frac{J-b_2}{a_2} \right) + c_2.$$

- Giá trị giới hạn cho phép [RMS] và thời gian điều chỉnh, bảo dưỡng T_{dc} , có thể được suy từ độ cứng vững giới hạn cho phép [J] trên đồ thị tổng hợp độ cứng vững J và giá trị RMS hoặc tính ra từ phương trình hồi quy tương tác thực nghiệm. Trong trường hợp sử dụng máy tiện CNC tổng quát, giá trị giới hạn cho phép [RMS] có thể thay đổi trong phạm vi ±8%.

- Điều chỉnh, bảo dưỡng để duy trì sức căng ban đầu (PPreload - tải trước) của ổ trục chính đúng thời điểm trong quá trình làm việc sẽ góp phần nâng cao tuổi thọ và độ tin cậy của cụm trục chính máy công cụ nói chung và máy tiện CNC nói riêng.

- Các phân tích sâu hơn về độ cứng vững và giá trị đặc trưng của rung động để tính toán tuổi thọ dự kiến và độ tin cậy của cụm ổ trục chính máy tiện CNC sẽ được trình bày trong các nghiên cứu tiếp theo. ❖

Ngày nhận bài: 15/6/2018

Ngày phản biện: 25/6/2018



Tài liệu tham khảo:

- [1]. 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.
- [2]. 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, 2013.
- [3]. 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, no. ISSN 0954-4062, pp. 1165-1177, 2003.
- [5]. Rastegari. A and Mobin. M Archenti. A, "Condition Based Maintenance of Machine Tools: Vibration Monitoring of Spindle Units" IEEE 63rd Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2017.
- [5]. Nguyễn Phong Điền; Kỹ thuật đo và phân tích dao động cơ học, NXB. Giáo dục Việt Nam, 2015.
- [6]. ISO/TR 17243-2, "Machine Tool spindles - Evaluation of machine tool spindle vibrations by measurements on spindle housing," 2017.