

## **Nghiên cứu, thiết kế hệ thống thiết bị đánh giá chất lượng làm việc cụm ổ trục chính máy công cụ CNC trên cơ sở khảo sát rung động theo tiêu chí mòn tổng cộng**

Studying and design the equipment system evaluating the quality of CNC machine tool spindle by analysis the vibration according to the total wear criteria

Phạm Minh Tâm<sup>1,\*</sup>, Phạm Văn Hùng<sup>2</sup>, Nguyễn Thùy Dương<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí Chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

<sup>2</sup>Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: [tampm.ktv@gmail.com](mailto:tampm.ktv@gmail.com)

Mobile: 0913272219

---

### **Tóm tắt**

*Từ khóa:*

Cụm ổ trục chính máy công cụ CNC; Độ cứng vững trục chính máy công cụ; Rung động của ổ lăn; Tuổi thọ của ổ lăn

Trong các máy công cụ nói chung và máy CNC nói riêng, rung động được coi là một thông số quan trọng để đánh giá tình trạng của máy trong suốt thời gian hoạt động, nhưng hiện nay chưa có tiêu chuẩn để đánh giá tình trạng hoạt động của cụm ổ trục chính thông qua khảo sát rung động. Dựa trên kết cấu, chức năng của cụm ổ trục chính, phân tích quá trình mòn của cụm ổ trục chính; áp dụng các tiêu chuẩn kiểm tra hình học trục chính; tiêu chuẩn đo và phân tích rung động trên máy công cụ; bài báo này nghiên cứu, xây dựng và tích hợp hệ thống thiết bị để đánh giá chất lượng làm việc của cụm ổ trục chính máy tiện CNC trên cơ sở phân tích rung động theo tiêu chí mòn tổng hợp. Tiến hành thử nghiệm hệ thống thiết bị để đánh giá chất lượng làm việc của cụm ổ trục chính thông qua các thông số đặc trưng của rung động đo được. Các kết quả thử nghiệm hệ thống thiết bị cho thấy quá trình thử nghiệm đã xác định được mối quan hệ tương quan giữa lượng mòn tổng cộng dọc trục của cụm ổ trục chính máy công cụ CNC (phản ánh chất lượng là việc của cụm ổ trục chính) và thông số đặc trưng RMS khi phân tích kết quả đo rung động của cụm ổ trục chính.

### **Abstract**

*Keywords:*

CNC machine tool spindle ; Stiffness machine tool spindle; Bearing vibration; Bearing life

Generally, characteristic of spindle - vibration is considered as an important parameter to evaluate condition of the machine during operation, However, there is currently no standard to evaluate the performance of the spindle bearing cluster via vibration. Based on the structure, function of the spindle, analysis of the wear; the spindle geometry testing standards; standard measurement and analysis vibration on machine tools; This paper investigates, builds and integrates the equipment system to assess the quality of the CNC lathe spindle on the basis of vibration analysis according to the synthetic wear criteria. Carry out a test of the equipment system to evaluate the performance of spindle bearing through the vibration characteristics. The test equipment system results show that the testing process has determined the correlation between the total axial wear of the CNC machine tool spindle and RMS when analyzing vibration test results of spindle bearing.

Ngày nhận bài: 30/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 12/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Cụm trục chính là một bộ phận quan trọng, là bộ phận chấp hành trong xích động của máy công cụ CNC. Việc đánh giá tình trạng hoạt động của cụm trục chính máy công cụ có vai trò rất quan trọng vì nó quyết định độ chính xác của máy và giúp chủ động trong việc lập kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa, tăng độ an toàn vận hành của thiết bị. Các yêu cầu kỹ thuật cơ bản đối với cụm trục chính là độ chính xác chuyển động quay, độ cứng vững, khả năng chống rung, tuổi thọ và khả năng vận hành êm. Kết cấu của một cụm trục chính máy CNC thường bao gồm: trục, bộ phận gá (dao hoặc phôi), hệ thống dẫn động, các ổ lăn, bộ đỡ và hệ thống làm mát, bôi trơn.

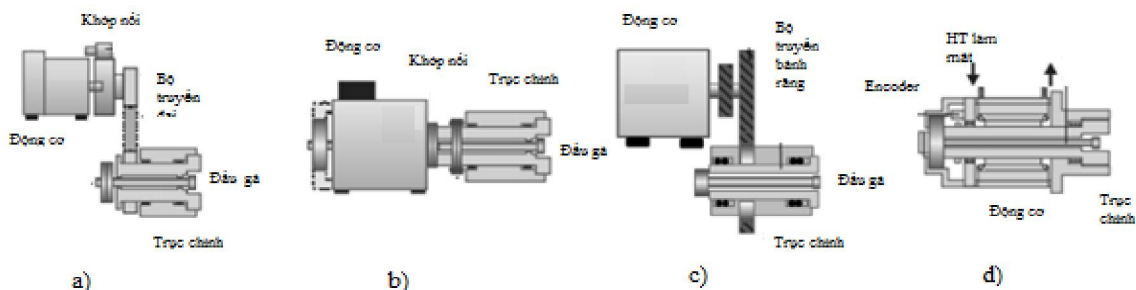
Rung động xuất hiện trong quá trình vận hành của máy công cụ thường phản ánh rất nhạy và chính xác đối với sự thay đổi tình trạng hoạt động. Các tín hiệu rung động được dùng để đánh giá tình trạng hoạt động máy công cụ nói chung và cụm ổ trục chính nói riêng rất thuận lợi.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng và tích hợp hệ thống thiết bị đánh giá chất lượng trục chính thông qua đặc trưng rung động trên cơ sở xác định lượng mòn tổng hợp của cụm ổ trục chính. Hệ thống thiết bị cho phép khảo sát được mối quan hệ giữa các thông số đặc trưng của tín hiệu dao động đo được và chất lượng làm việc của cụm trục chính mà cụ thể là lượng mòn cụm ổ trục chính máy công cụ CNC.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Kết cấu cơ bản trục chính máy công cụ CNC

Cụm trục chính đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ chính xác và hiệu suất của máy công cụ. Độ tin cậy của cụm trục chính ảnh hưởng đến toàn bộ hiệu quả sản xuất và tính ổn định của thiết bị. Về mặt kỹ thuật, trục chính máy công cụ có chức năng quan trọng: truyền chuyển động quay chính xác đến công cụ (ví dụ khoan, phay và mài) hoặc phôi (ví dụ: tiện) và truyền năng lượng đến vùng cắt để loại bỏ vật liệu [1]. Trong quá trình gia công trục chính phải chịu tải do cắt gọt và nhiệt phát sinh do ma sát trong ổ lăn. Lực và mô men cắt bao gồm dạng tĩnh và động, thông qua hệ thống dụng cụ (đồ gá dụng cụ và dụng cụ) tác dụng đến các vòng bi trục chính. Thông thường, trên các máy công cụ, cụm trục chính phải làm việc ở tốc độ quay ở tốc độ cao (đến 20.000 vòng/phút) và đảm bảo độ chính xác yêu cầu từ 1µm (ví dụ mài, doa) đến 100 µm (ví dụ: tiện, phay) [2].



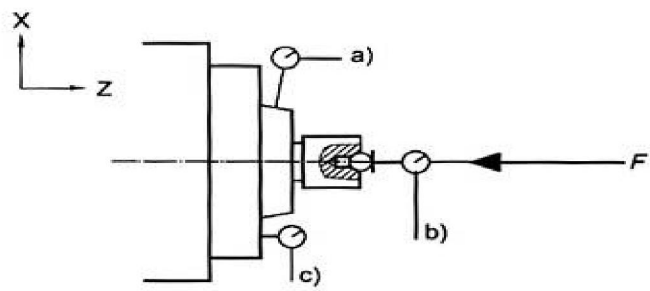
**Hình 1.** Các phương pháp dẫn động trục chính

a-Dẫn động bằng bộ truyền đai; b-Dẫn động trực tiếp; c-Dẫn động bằng bộ bánh răng; d- Dẫn động tích hợp

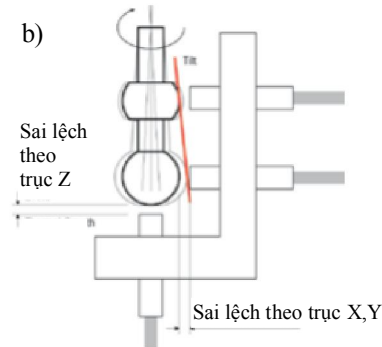
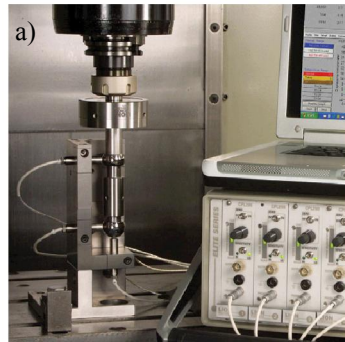
Cụm trục chính máy công cụ CNC bao gồm các thành phần cơ bản là: bộ phận gá, trục, các ổ đỡ, hệ thống dẫn động, hệ thống làm mát. Có một số loại hệ thống dẫn động khác nhau, về cơ bản nó bao gồm động cơ dẫn động trực tiếp hoặc gián tiếp (hình 1) [1]. Phần lớn máy công cụ nói chung và máy CNC nói riêng sử dụng dẫn động gián tiếp với đường truyền gồm động cơ, bộ truyền động (bánh răng; đai hay khớp nối) và trục chính như hình 1.a. Về kết cấu cụm ổ trục

chính thông thường có cụm ổ chịu lực chính (cụm ổ phía trước), có thể điều chỉnh độ dôi ban đầu và cụm ổ đỡ (ổ phía sau) để phòng ngừa giãn nở nhiệt theo chiều trục [3].

Bằng cách đo độ đảo đầu trục chính theo phương hướng kính và dọc trục, ta sẽ đánh giá được độ chính xác chuyển động quay (hình 2). Hiện nay, đã có nhiều nghiên cứu về đánh giá chất lượng cụm trục chính máy công cụ thông qua kiểm tra hình học và đã xây dựng được tiêu chuẩn quy định về kiểm tra hình học của máy công cụ CNC [4,5], nhiều hãng chế tạo ra các hệ thống thiết bị hoàn chỉnh nhằm đánh giá chất lượng cụm trục chính máy CNC thông qua các phép đo sai lệch hình học như trên hình 3.

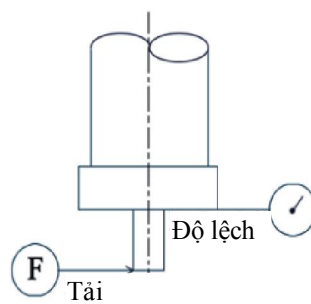


**Hình 2.** Phương pháp kiểm tra độ đảo mặt đầu và độ đảo hướng kính và dịch chuyển dọc trục của trục chính máy công cụ (theo TCVN 7681-1-2013)  
a- Kiểm tra độ đảo hướng kính, b- Kiểm tra lượng dịch chuyển dọc trục; c - kiểm tra độ đảo dọc trục



**Hình 3.** Thiết bị đánh giá độ chất lượng làm việc máy công cụ CNC thông qua kiểm tra hình học của cụm trục chính Spindle Error Analyzer (hãng LION)  
a-Thiết bị; b-Sơ đồ đo

Tri Prakosa và các tác giả đã thực hiện nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố như tải trước, khoảng cách ổ, số lượng ổ,... tới độ cứng của trục chính máy công cụ và đề xuất các giải pháp thiết kế để tối ưu hóa độ cứng vững trục chính [6]. Trong nghiên cứu này, sơ đồ đo độ cứng của trục chính máy công cụ được thể hiện trên hình 4. Lực hướng kính được tác dụng vào cụm trục chính bằng xy lanh khí nén và độ lệch được đo bằng đồng hồ so.



**Hình 4.** Sơ đồ và thiết bị đo độ cứng trục chính máy công cụ của Tri Prakosa và các tác giả

Trong quá trình làm việc của máy công cụ, thông số kỹ thuật quan trọng nhất chính là độ cứng vững của cụm trục chính. Tuy nhiên, hiện nay các dữ liệu và phương pháp, quy trình kiểm tra độ cứng vững của cụm trục chính máy công cụ CNC chưa được công bố.

## 2.2. Kỹ thuật đo và phân tích rung động trong giám sát tình trạng kỹ thuật cụm trục chính

Việc phân tích dao động để đánh giá tình trạng hoạt động của thiết bị đã đạt được nhiều thành tựu, nhiều phương pháp và giải pháp được áp dụng rộng rãi trong giám sát chất lượng, chẩn đoán các chi tiết quay (ổ lăn, bánh răng,...).

Phương pháp đánh giá thông qua rung động có các đặc điểm [7]:

- Đánh giá dựa trên cơ sở đo dao động tại vị trí không quay.
- Đánh giá được tiến hành khi thiết bị đang hoạt động.
- Thực hiện đối với thiết bị cụ thể, kết quả phân tích chỉ cho biết trạng thái chính thiết bị đó.
- Đánh giá có thể được tiến hành liên tục hoặc định kỳ.

Các đại lượng đo được trong tín hiệu rung động thay đổi rất nhanh, trong khi đó tình trạng thiết bị thay đổi theo ngày, tuần, hay tháng; vì vậy phải tách được các thông số chẩn đoán từ tín hiệu đo được nhờ các công cụ phân tích tín hiệu hiện đại. Các thông số chẩn đoán này thường được biểu diễn dưới dạng một giá trị (bằng số) và thay đổi chậm tương ứng với trạng thái kỹ thuật của thiết bị [7].

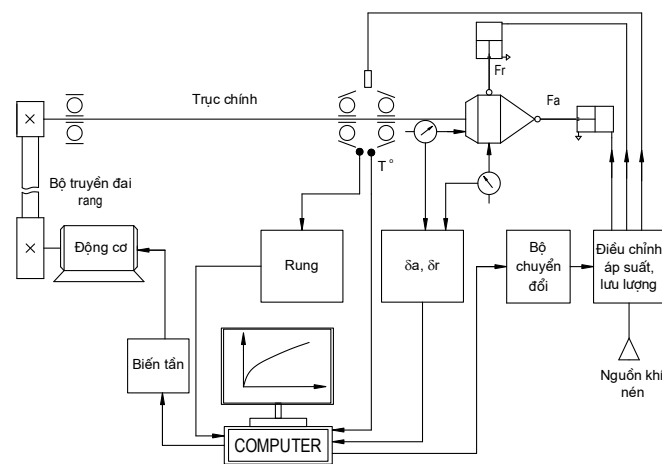
Tiêu chuẩn ISO 10816 [8] đề cập tới việc đánh giá rung động của máy quay thông qua các kết quả đo rung động tại các bộ phận không quay, áp dụng cho các máy công suất trên 15kW và tốc độ từ 120 đến 15000 vòng/phút. Mức rung động của thiết bị với được chia làm 4 vùng A, B, C và D ứng với tình trạng làm việc khác nhau của thiết bị với công suất và chế độ đo khác nhau.

Phương pháp đo, loại cảm biến, quy trình kỹ thuật đo rung động, và phương pháp phân tích tín hiệu rung động trong máy đã được đề cập đến trong nhiều tài liệu [1,7,8].

Tuy nhiên, việc nghiên cứu mối quan hệ giữa các thông số đặc trưng của rung động và chất lượng làm việc của cụm ổ trục chính máy công cụ nói chung và máy công cụ CNC nói riêng, ít được nghiên cứu mà chủ yếu tập trung nghiên cứu các cụm vòng bi đơn lẻ; ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn hoặc quy trình đánh giá chất lượng làm việc của cụm trục chính máy công cụ CNC dựa vào các thông số đặc trưng của rung động.

## 2.3. Sơ đồ thí nghiệm

Trên cơ sở áp dụng các khuyến nghị về phép đo rung động cụm trục chính máy theo ISO 10816, và phép đo hình học trên trục chính máy tiện theo TCVN 7681-1-2013; cấu trúc của hệ thống thiết bị thực nghiệm được bố trí như hình 5.



**Hình 5.** Sơ đồ hệ thống thiết bị thực nghiệm

$T^{\circ}$  - cảm biến nhiệt độ;  $\delta a$ ,  $\delta r$  - độ dịch chuyển dọc trục và độ dịch chuyển hướng kính của trục chính;  $F_a$ ,  $F_r$  - tải dọc trục và tải hướng kính.

Với mục tiêu xác định được mối quan hệ giữa các thông số đặc trưng của rung động cụm ổ trục chính tương ứng với lượng mòn tổng cộng theo đặc trưng động lực học là tải trọng, tốc độ quay, để đảm bảo thiết bị đo rung động phản ánh đúng tình trạng hoạt động của cụm ổ trục chính, hệ thống thí nghiệm được tích hợp trực tiếp trên cụm trục chính máy tiện CNC Eclipse 300.

Hệ thống thử nghiệm làm việc trong điều kiện không có chất bôi trơn tại cụm ổ trục chính chịu lực chính (cụm ổ phía trước) nhằm giảm thời gian thực nghiệm trong quá trình mòn tuyến tính. Tuy nhiên, để đảm bảo điều kiện làm việc bình thường của ổ lăn cần khống chế nhiệt độ làm việc nhỏ hơn  $70^{\circ}\text{C}$  (theo quy định của nhà sản xuất) [9,10]. Việc duy trì nhiệt độ làm việc của cụ ổ trục chính nhỏ hơn  $70^{\circ}\text{C}$  được thực hiện bằng hệ thống làm mát khí nén. Các vòi phun khí nén được bố trí thổi vào xung quanh ổ. Trên hệ thống có lắp cảm biến nhiệt độ (được gắn áp vào ca ngoài của ổ lăn) để điều khiển dòng khí làm mát phù hợp.

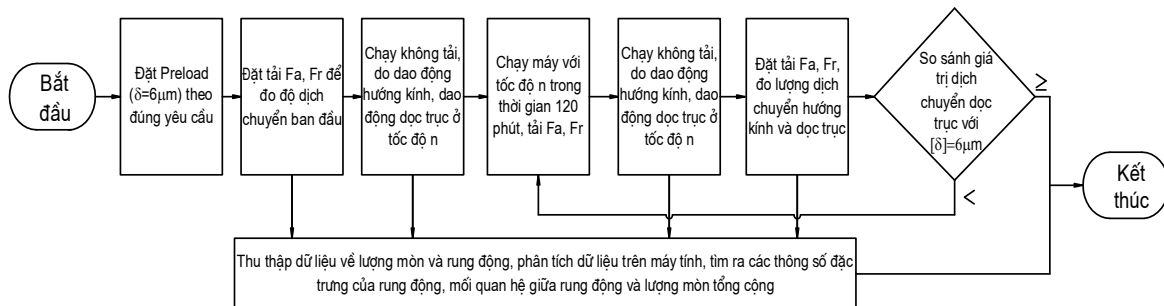
Trong quá trình gia công trên máy tiện CNC, trục chính chịu các lực cắt hướng kính và lực dọc trục. Do vậy, trong hệ thống thiết bị thí nghiệm này, thay thế cho lực cắt, sử dụng 02 xy lanh pít tông khí nén theo phương dọc trục và phương hướng kính. Các xy lanh pít tông được lắp van điều áp để điều chỉnh áp suất tương ứng với lực cắt tính toán.

So với phương án tạo lực bằng lò xo, hệ thống này có ưu điểm là lực tác dụng lên cụm trục chính không thay đổi khi lượng mòn của cụm ổ trục chính tăng lên theo thời gian thử nghiệm.

Đối với máy công cụ, cụm ổ trục chính phải được tạo một ứng lực nhất định nhằm đảm bảo độ cứng vững của ổ trục chính máy công cụ theo yêu cầu của nhà sản xuất, giá trị lực đặt trước phụ thuộc vào loại ổ và cỡ ổ và sơ đồ lắp ổ. Trong hệ thống thí nghiệm này, ứng với cặp ổ lăn 7210 của hãng NSK lắp theo kiểu lưng đối lưng và tải trọng trung bình. Xác định được giá trị của tải trước theo phương dọc trục tương ứng có lượng dịch chuyển dọc trục của ổ lăn khi đặt tải trước là  $\delta_a = 6\mu\text{m}$  [11]. Lưu ý giá trị  $\delta_a$  cũng chính là lượng mòn tổng cộng theo phương dọc trục cho phép của cụm ổ.

#### 2.4. Quy trình tổng quát thực hiện thử nghiệm

Quy trình thử nghiệm thực hiện theo các bước như sơ đồ trên hình 6, kết quả của phép đo lượng dịch chuyển được nhập vào máy tính; kết quả phép đo rung động được lưu giữ trong thiết bị đo CMX-A44 và chuyển sang máy tính để phân tích và tính toán giá trị đặc trưng theo phần mềm Mycrolog Analysis and Reporting của hãng SKF được cài đặt sẵn.



Hình 6. Sơ đồ quy trình thực hiện phép đo và thu thập dữ liệu

Trong đó, số liệu lượng mòn tổng hợp theo phương dọc trục của cụm ổ trục chính được xác định như sau:

- Xác định chuẩn kiểm tra đo theo phương dọc trục khi lực tác động dọc trục bằng không.

- Tác động tải sơ bộ  $F_a = 250N$  (bằng giá trị tải trước  $F_{Preload}$ ).
- Xác định chuyển dịch dọc trục.

### 2.5. Thử nghiệm hệ thống thiết bị đối với một bộ thông số cụ thể

Để tiến hành thử nghiệm thiết bị, căn cứ vào các thông số kỹ thuật của máy tiện CNC Eclipse, các thông số của hệ thống thiết bị và quá trình thực nghiệm được tính toán, chọn lựa cụ thể như sau:

- Thiết bị đo rung động Microlog CMX-A44 (hình 7).

Các thông số cài đặt:

- + Sensor type: Accell G  $m/s^2$
- + Sens ( $mV/m/s^2$ ): 100
- + Y-Axis units: Time
- + X-axis units: s
- + Detection: RMS
- + Freq Range: 500Hz.
- + Samples: 4096

- Tải trọng tác động hướng kính và dọc trục trong quá trình thí nghiệm: Tải hướng kính trong quá trình thí nghiệm là 590N (tương đương áp suất qua van điều áp là 1,9 bar); tải dọc trục là 250N (tương đương áp suất qua van điều áp là 0,9bar).

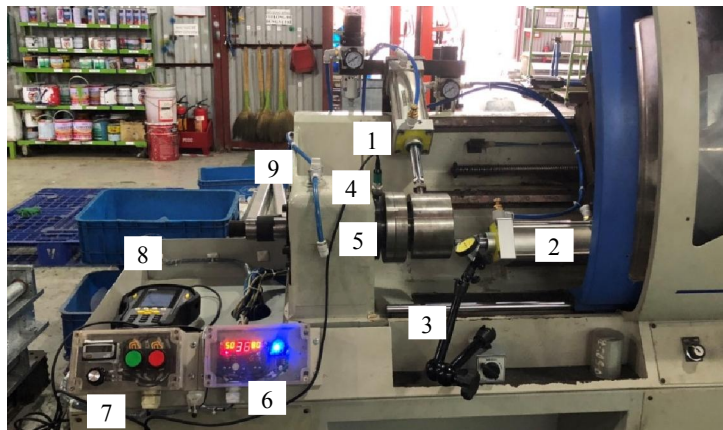
- Tốc độ trục chính:  $n = 2000$  vòng/phút
- Giới hạn nhiệt độ làm việc của cụm ổ trục chính:  $<60^{\circ}C$ .



**Hình 7.** Thiết bị đo và phân tích rung động CMX-A44 của hãng SKF

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kết quả chế tạo hệ thống thiết bị



**Hình 8.** Thiết bị thực nghiệm đánh giá chất lượng cụm trục chính bằng khảo sát rung động trên máy tiện CNC Eclipse 300

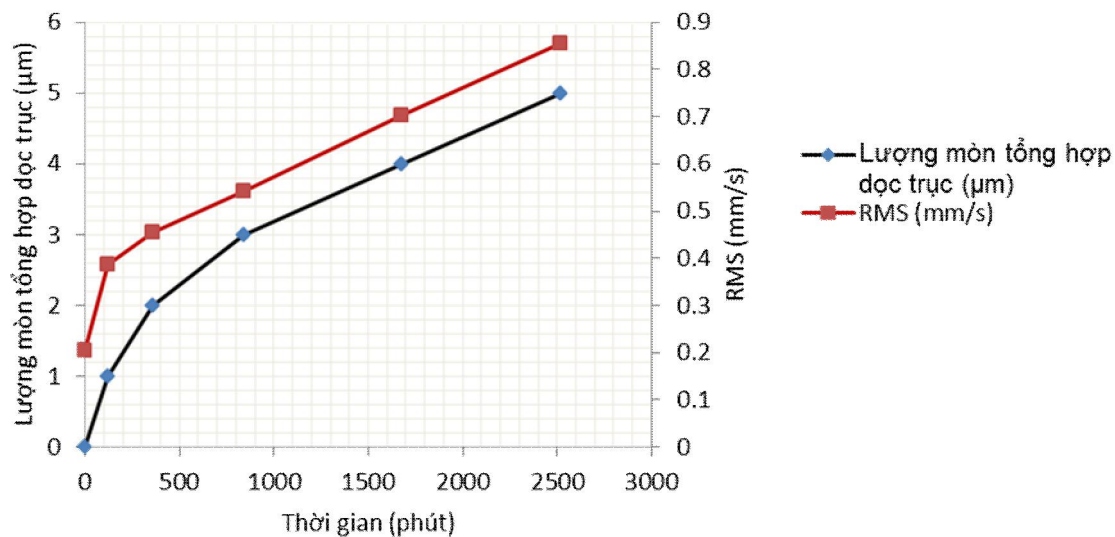
- 1- Xy lanh tạo lực hướng kính; 2- Xy lanh tạo lực dọc trục; 3- Đồng hồ so; 4- Cảm biến đo rung;
- 5- Cụm trục chính máy tiện CNC; 6- Bộ theo dõi và khống chế nhiệt độ; 7- Bộ điều khiển tốc độ trục chính;
- 8- Thiết bị phân tích rung động; 9- Đường khí nén làm mát.

Từ các phân tích và kết cấu cụ thể của máy tiện CNC Eclipse 300, hệ thống thiết bị BK-CT-17 được thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh để đánh giá chất lượng làm việc của cụm ổ trục chính

trên cơ sở phân tích rung động cụm ổ và lượng mòn tổng cộng dọc trục trục chính máy công cụ CNC như hình 8. Trong nghiên cứu này, các thử nghiệm được thực hiện trực tiếp trên máy tiện CNC thương mại của hãng ALECOP (Tây Ban Nha), đạt các yêu cầu kỹ thuật khi xuất xưởng. Thiết bị đo rung của hãng SKF và thiết bị đo dịch chuyển của hãng Multitoyo đã được thẩm định chất lượng. Quy trình đo dịch chuyển theo TCVN 7681-1-2013 và đo, phân tích rung động được thực hiện ISO 10816.

### 3.2. Kết quả thử nghiệm hệ thống thiết bị với một bộ thông số thí nghiệm cụ thể

Từ các dữ liệu thu được sau khi tiến hành thử nghiệm, xác định được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa lượng mòn dọc trục tổng cộng của cụm ổ trục chính, giá trị RMS của rung động và thời gian. Trên hình 9 là kết quả thử nghiệm thăm dò thiết bị với bộ thông số thử nghiệm trong mục 2.5.



**Hình 9.** Đồ thị biểu diễn lượng mòn tổng hợp dọc trục của cụm ổ lăn và giá trị RMS của rung động cụm trục chính theo thời gian

### 3.3. Thảo luận kết quả

Từ kết quả thử nghiệm thăm dò, nhận thấy hệ thống thiết bị thí nghiệm đã thu được các thông tin về giá trị về độ cứng vững của trục chính, lượng mòn tổng hợp theo phương dọc trục và giá trị đặc trưng của rung động cụm ổ trục chính. Các kết quả thu được đối với cụm ổ trục chính mới đều nằm trong giới hạn của nhà sản xuất quy định.

Giá trị lượng mòn tổng hợp dọc trục của trục chính theo thời gian hoạt động tuân theo quy luật biểu diễn lượng mòn trong điều kiện bình thường của chi tiết máy dạng kính điện [12], gồm 2 giai đoạn trong quá trình mòn bình thường:

**Giai đoạn 1:** Giai đoạn ban đầu (giai đoạn chạy rà). Lượng mòn tổng hợp của ổ lăn tăng nhanh nhằm san phẳng các nhấp nhô ban đầu do chế tạo, do đó giá trị độ đảo trục chính tăng nhanh.

**Giai đoạn 2:** Giai đoạn ổn định (giai đoạn làm việc bình thường). Lượng mòn của ổ ổn định, tốc độ mòn nhỏ và tuyến tính theo thời gian, do đó giá trị độ đảo trục chính tăng tuyến tính theo thời gian.

Với giá trị lượng mòn tổng hợp cho phép  $[\delta] = 6\mu\text{m}$  hoàn toàn xác định được tuổi thọ dự kiến của cụm ổ trục chính máy tiện CNC Eclipse trong điều kiện thử nghiệm.

Giá trị đặc trưng của rung động RMS cũng có các giai đoạn tương ứng với các giai đoạn mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính. Khi lượng mòn tổng cộng dọc trục, giá trị RMS của rung động cũng tăng. Xác định giá trị RMS của rung động khi lượng mòn tổng cộng đạt đến  $[\delta]$  là rất quan trọng, đây là tín hiệu cho biết cần bảo dưỡng, sửa chữa mà không cần tháo máy.

Như vậy, căn cứ vào lượng mòn tổng hợp dọc trục của cụm ổ trục chính và giá trị RMS có thể xây dựng được mối quan hệ giữa các thông số này cho các loại cụm trục chính khác nhau.

#### 4. KẾT LUẬN

Hệ thống thiết bị đáp ứng yêu cầu về khảo sát chất lượng cụm ổ trục chính về lượng mòn tổng cộng theo thời gian. Các dữ liệu thu được cho phép tìm ra mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng và các thông số đặc trưng của rung động cụm ổ trục chính ở các tải trọng và thời gian khác nhau.

Hệ thống thiết bị thử nghiệm cho kết quả lượng mòn tổng hợp theo phương dọc trục của cụm ổ trục chính máy công cụ CNC tuân theo quy luật mòn bình thường của cặp ma sát trong điều kiện thử nghiệm, cho thấy các điều kiện, thông số thiết bị và quy trình đo phù hợp.

Hệ thống thiết bị thử nghiệm là hệ thống đo tích cực kết nối với phần tử xử lý tín hiệu và xây dựng được đồ thị biểu diễn kết quả đo theo thời gian thực.

Từ giới hạn lượng mòn tổng hợp theo phương dọc trục  $[\delta]$  xác định được giá trị giới hạn RMS cụ thể cho từng cụm trục chính máy công cụ. Mặt khác, kết quả của phép phân tích rung động cũng cho phép chúng ta chẩn đoán các dạng hỏng khác của cụm ổ trục chính như hỏng ca ngoài, ca trong hay hỏng con lăn.

Đây là các kết quả thử nghiệm bước đầu, các dữ liệu về độ cứng, độ dịch chuyển dọc trục, rung động mối quan hệ của chúng tới độ tin cậy, tuổi thọ của cụm ổ trục chính ở các tốc độ và tải trọng khác nhau sẽ được xử lý ở các nghiên cứu tiếp theo và sẽ đưa đến những kết quả tổng quát hơn.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các Thầy, Cô trong Bộ môn Máy và Ma sát, Viện Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội đã hỗ trợ và có những ý kiến đóng góp quý giá trong thời gian thực hiện nghiên cứu.

#### DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU

RMS - Giá trị trung bình hiệu dụng của rung động.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Eduardo Torres Peres. *Study of vibration severity assessment for Machine Tool spindles within Condition Monitoring*. Master Degree Project, Stockholm, Sweden, 2015.

[2]. Tao Xu, Guanghua Xu, Qin Zhang, Cheng Hua, Hu Zhang and Kuosheng Jiang, *Experimental study on bearing preload optimum of machine tool spindle*, International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering (2012).

[3]. AvrahamHarnoy. *Bearing Design in Machinery*, Marcel Dekker, 2003, pp.418-436.



- [4]. TCVN 7681-1:2013. *Điều kiện kiểm tra máy tiện điều khiển số và trung tâm tiện - Phần 1: Kiểm hình học cho các máy có một trục chính mang phôi nằm ngang.*
- [5]. TCVN 7011-7:2013 (ISO 230-7:2006) *Phần 7: Độ chính xác hình học của các trục tâm của chuyển động quay;*
- [6]. Tri Prakosa, Agung Wibowo and Rizky Ilhamsyah. “*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 2013
- [7] Nguyễn Trọng Du. “*Chẩn đoán hư hỏng của hộp số bánh răng bằng phân tích thời gian - tần số các dao động cơ học*”. Luận án tiến sĩ. ĐH Bách Khoa HN, năm 2015.
- [8]. ISO 10816 (1995-2000). *Mecanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating part.*
- [9]. M.M. Khonsari, E.R. Booser. *Bearing Design and Lubrication*, John Wiley and Sons, 2001.
- [10]. NSK, *Machine tool spindle bearing selection & mounting guide.*
- [11]. Alecop, *Eclipse machine Catalog*, 2010.
- [12]. Nguyễn Doãn Ý, *Giáo trình ma sát mòn bôi trơn*, NXB Khoa học và kỹ thuật (2008).