

NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CỤM Ổ TRỤC CHÍNH MÁY TIỆN CNC THÔNG QUA GIÁ TRỊ TRUNG BÌNH HIỆU DỤNG CỦA RUNG ĐỘNG VÀ CHỈ TIÊU MÒN TỔNG CỘNG

STUDY AND EVALUATE THE ACCURACY OF A CNC LATHE SPINDLE UNIT THROUGH THE ROOT MEAN SQUARE OF VIBRATION AND TOTAL WEAR CRITERIA

Phạm Minh Tâm¹, Phạm Văn Hùng², Nguyễn Thùy Dương²

¹Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

²Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Độ chính xác gia công của máy công cụ CNC không đạt yêu cầu nếu độ cứng vững và độ tin cậy của cụm trục chính không đảm bảo. Việc duy trì độ cứng vững, độ tin cậy của cụm trục chính máy công cụ CNC trong quá trình làm việc thường được thực hiện bằng các giải pháp điều chỉnh, bảo trì tích cực khi lượng mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính đạt đến giá trị cho phép. Kỹ thuật phân tích rung động ngày càng được sử dụng rộng rãi với những ưu điểm như: Khả năng đáp ứng nhanh theo thời gian thực, độ tin cậy cao, chi phí hợp lý. Tuy nhiên, quan hệ giữa thông số đặc trưng RMS (Root Mean Square - Giá trị trung bình hiệu dụng) 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 chưa được nghiên cứu nhiều, chủ yếu nghiên cứu các cụm ổ lăn đơn lẻ, quy trình đánh giá tình trạng làm việc của cụm trục chính máy công cụ CNC thông qua thông số đặc trưng của rung động chưa công bố rộng rãi. Bài viết này tập trung nghiên cứu mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính máy tiện CNC. Thực nghiệm tìm mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính (đặc trưng cho tuổi thọ) và thông số RMS (Root Mean Square – Giá trị trung bình hiệu dụng) của rung động đo tại vị trí không quay trên cụm trục chính máy tiện CNC. Xác định giá trị RMS giới hạn của rung động tương ứng với giới hạn mòn tổng cộng cho phép của cụm ổ trục chính trong quá trình hoạt động, chính là thời điểm cần tiến hành điều chỉnh, bảo trì cụm trục chính máy công cụ CNC.

Từ khóa: *Cụm trục chính máy tiện CNC; Kỹ thuật bảo trì theo tình trạng; Mòn ổ lăn; Rung động của ổ lăn.*

ABSTRACT

The machining accuracy of CNC machine tools is not satisfied if the stiffness and reliability of the spindle unit is not unreliable. Maintaining the stiffness and reliability of the CNC machine tool spindle during working is usually accomplished by adjusting and maintaining the spindle unit

when the total wear of the spindle unit is reached to the allowable value. The vibration analysis technology is widely used with the advantages such as fast real-time response, high reliability, and reasonable cost. However, the relationship between the Root Mean Square (RMS) characteristic of the vibration and the working quality of the machine tool spindle in general, and the CNC machine tool spindle in particular, has not yet been extensively studied. In Vietnam, there is no process of assessing the working status of the CNC machine tool spindle through the characteristic parameters of vibration. This writing presents a study on the total wear of a CNC lathe spindle unit. Besides, the experiment is carried out to find the relationship between the total wear of the spindle unit (typical for life expectancy) and the RMS parameter of the vibration measured at the non-rotational position on the CNC lathe spindle. Determining the RMS value of the vibration limit corresponding to the total permissible wear limit of the spindle unit during operation, is the time that the CNC machine tool spindle needs to be adjusted and maintained.

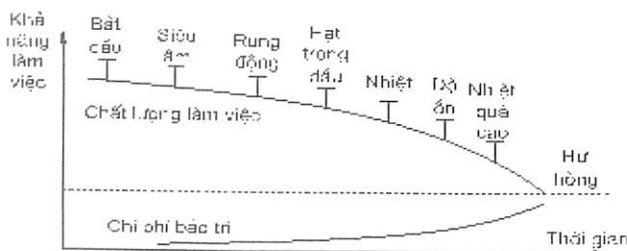
Keywords: CNC turning machine spindle unit, maintenance engineering by working status, wear of bearing, vibration of bearing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kỹ thuật bảo trì trên cơ sở giám sát tích cực tình trạng thiết bị CBM (Condition- Based Maintenance – CBM) được áp dụng rất phù hợp máy công cụ CNC, đặc biệt là các thiết bị quan trọng trong công nghiệp quốc phòng, công nghiệp hàng không vũ trụ,... để duy trì chất lượng làm việc, độ chính xác gia công và nâng cao độ tin cậy, chủ động trong kế hoạch sản xuất, bảo dưỡng cũng như giảm chi phí sản xuất [1]. Từ các dữ liệu giám sát kỹ thuật thu được, qua phân tích sẽ đưa ra các giải pháp kỹ thuật: Điều chỉnh, bảo dưỡng hay sửa chữa thay thế phù hợp để thiết bị đạt độ chính xác gia công, độ tin cậy theo yêu cầu của chất lượng sản phẩm.

Về nguyên tắc, để giám sát kỹ thuật thiết bị theo thời gian thực có thể sử dụng các biện pháp kỹ thuật: Phân tích dầu, nhiệt, siêu âm, phân tích rung động,... [1]. Mỗi biện pháp sẽ phù hợp với tình trạng kỹ thuật của thiết bị ở những giai đoạn vận hành khác nhau. Ví dụ, như hình 1 cho thấy, thiết bị sẽ bị giảm tính năng làm việc sau mỗi quá trình làm việc kèm theo các biểu hiện tình trạng kỹ thuật tuân theo một quy luật chung đó là rung động, ồn, hạt mòn, nhiệt cao,...

Tuy nhiên, các giá trị đơn lẻ của các thông số đặc trưng nói trên sẽ không có thông tin hữu dụng nếu không có mối quan hệ qua lại với chất lượng làm việc đặc trưng của hệ thống được khảo sát. Đối với cụm trục chính máy công cụ CNC thì một trong các đặc trưng chất lượng làm việc của nó chính là lượng mòn tổng cộng của cụm ổ lăn. Khi lượng mòn tổng cộng của cụm ổ lăn trục chính đạt đến giá trị giới hạn (được xác định bởi tiêu chuẩn ISO 13041 - 1:2004) [2], phải tiến hành điều chỉnh, bảo trì để duy trì tình trạng kỹ thuật của máy công cụ CNC.

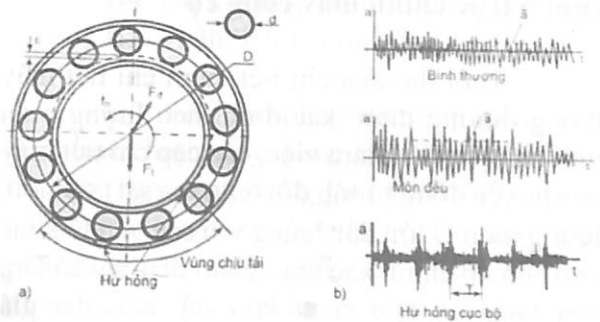


Hình 1: Khả năng phát hiện lỗi của các phương pháp giám sát kỹ thuật và chi phí bảo trì của thiết bị theo thời gian [1]

Phân tích rung động với mục đích giám sát chất lượng cụm ổ trục chính được sử dụng rất phù hợp trên các máy công cụ CNC do tính linh hoạt và độ tin cậy cao. Giám sát rung động cho phép phát hiện kịp thời các dấu hiệu như mòn, mất cân bằng ở các bộ phận chuyển động khứ hồi hoặc chuyển động quay, từ đó đề xuất các biện pháp kỹ thuật nhằm nâng cao độ tin cậy và chất lượng gia công, giảm chi phí sản xuất và bảo trì [1]. Cụm trục chính máy công cụ CNC là bộ phận quan trọng, ảnh hưởng đến toàn bộ quá trình sản xuất và tính ổn định của máy, do đó việc giám sát rung động sẽ được thực hiện trên cụm trục chính của máy [3]. Trong đó, tình trạng kỹ thuật của cụm ổ lăn có vai trò quyết định chất lượng làm việc của cả cụm trục chính [3].

rung rất lớn. Lúc này cần tiến hành thay thế cụm ổ trục chính ngay để không gây hư hỏng đến các chi tiết, cơ cấu khác trong trục chính.

Hình 2, biểu diễn kết cấu của ổ lăn và dạng tín hiệu dao động đo được tại vỏ ổ tương ứng với từng giai đoạn làm việc của ổ lăn [4]. Đối với ổ lăn thông thường, luôn tồn tại khe hở hướng kính giữa ca trong, ca ngoài và viên bi.



Hình 2: a) Kết cấu của ổ lăn; b) Dạng tín hiệu dao động ở vỏ ổ [4]

Quá trình giám sát tình trạng kỹ thuật cụm ổ trục chính máy công cụ CNC thông qua các đặc trưng rung động có thể được mô tả qua bốn giai đoạn [4]:

- Giai đoạn thứ nhất: Cụm ổ trục chính còn hoạt động tốt, lúc này biên độ rung động sẽ rất nhỏ do chưa xuất hiện hiện tượng mòn và các sự cố.

- Giai đoạn thứ hai: Cụm ổ trục chính bị mòn đồng bộ, khi đó biên độ của rung động tăng theo thời gian, tương ứng với khe hở giữa các bộ phận của cụm ổ tăng lên hay mòn tổng cộng tăng.

- Giai đoạn thứ ba: Xuất hiện các hiện tượng hư hỏng cục bộ trong cụm ổ trục chính, lúc này ca trong, ca ngoài, con lăn hoặc vòng cách xuất hiện các vết tróc, phân tích vận tốc hay tần số rung động có thể phát hiện lỗi ở các chi tiết đó.

- Giai đoạn bốn: Các chi tiết trong cụm ổ trục chính bị phá hủy do có sự khuếch tán kim loại giữa các bề mặt tiếp xúc, các mức

Nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã tìm ra mối liên hệ giữa các dạng hỏng cục bộ của ổ lăn trên các thiết bị công nghiệp như hỏng ca ngoài, ca trong hay con lăn và đặc trưng của rung động dựa trên các phép phân tích trong miền thời gian, miền tần số hay miền thời gian – tần số [5] [6]. Tuy nhiên, các kết quả này thường được áp dụng trong các ngành công nghiệp nặng, các thiết bị làm việc với tải trọng và công suất lớn mà chưa được áp dụng trên máy công cụ CNC do đặc thù của máy công cụ CNC là phải duy trì độ chính xác làm việc lâu dài với các chu kỳ điều chỉnh ổ bắt buộc. Phải tiến hành điều chỉnh, bảo dưỡng cụm ổ trục chính ngay cả khi chưa xuất hiện các dạng hỏng cục bộ của các chi tiết trong quá trình làm việc khi không đảm bảo độ cứng vững sau thời gian làm việc.

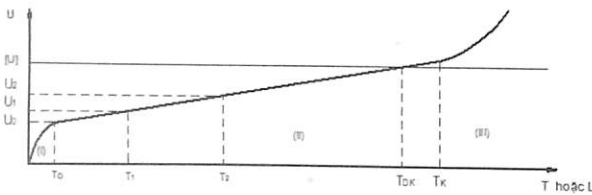
Bài báo này, trình bày nghiên cứu mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính (đặc trưng cho tuổi thọ) và thông

số đặc trưng của rung động đo được trong giai đoạn mòn tuyến tính, xác định giá trị RMS giới hạn (Root Mean Square - Giá trị trung bình hiệu dụng) của rung động tương ứng với giới hạn mòn tổng cộng cho phép của cụm ổ trục chính trong quá trình hoạt động.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Chỉ tiêu mòn tổng cộng và tuổi thọ của cụm ổ trục chính máy công cụ

Tuổi thọ của chi tiết, cụm chi tiết máy thông thường được xác định theo lượng mòn giới hạn [U]. Khi làm việc, các cặp chi tiết máy có chuyển động tương đối (cặp ma sát) sẽ mòn, lượng mòn U lớn dần, cùng với các yếu tố khác làm cho độ chính xác máy giảm dần, sai số làm việc tăng lên. Khi sai số làm việc tăng đến giá trị cho phép, thường được xác định theo tiêu chuẩn khác nhau cho phép, máy sẽ không thực hiện được yêu cầu làm việc theo thiết kế (trong đó có yêu cầu về độ chính xác gia công). Như vậy, do lượng mòn U cùng một số yếu tố khác làm cho độ chính xác gia công của máy suy giảm và dần dần hết tuổi thọ của máy.



Hình 4: Sự phụ thuộc mòn vào thời gian t hay quãng đường ma sát L

Trong điều kiện ma sát mòn bình thường, sự phụ thuộc của lượng mòn U theo thời gian hoặc quãng đường ma sát được chia thành thành ba giai đoạn cơ bản: Giai đoạn chạy rà (I), giai đoạn mòn ổn định (II) và giai đoạn mòn khốc liệt (III). Hình 4, biểu diễn sự phụ thuộc của lượng mòn vào thời gian, bao gồm 3 giai đoạn:

Trong điều kiện ma sát mòn bình thường, sự phụ thuộc của lượng mòn U theo thời gian hoặc quãng đường ma sát được chia thành thành ba giai đoạn cơ bản: Giai đoạn chạy rà (I), giai đoạn mòn ổn định (II) và giai đoạn mòn khốc liệt (III). Hình 4, biểu diễn sự phụ thuộc của lượng mòn vào thời gian, bao gồm 3 giai đoạn:

- Giai đoạn chạy rà ($0 < t < T_0$) là giai đoạn có tốc độ mòn $\frac{dU}{dt} \downarrow$ giảm dần do ban đầu

diện tích tiếp xúc thực nhỏ, áp suất lớn gây biến dạng dẻo, các nhấp nhô bị phá hủy và đồng thời bị nén ép tạo thành các bề mặt thứ cấp có tiếp xúc thực lớn hơn, khi áp suất riêng trung bình phù hợp với áp suất riêng cho phép thì tốc độ mòn sẽ giảm đến một giá trị ổn định theo thời gian, quá trình mòn lúc này chuyển sang giai đoạn mòn ổn định.

- Giai đoạn mòn ổn định ($T_0 \leq t < T_k$): Đối với cặp ma sát mòn bình thường, giai đoạn này lượng mòn tuyến tính với thời gian hoặc quãng đường ma sát, $\frac{dU}{dt} = const$. Đây là giai đoạn dài nhất trong tuổi thọ làm việc của cụm ổ lăn. Với lượng mòn giới hạn [U] được xác định trước có thể dự báo được tuổi thọ làm việc của cặp ma sát T_{dk} .

- Giai đoạn mòn khốc liệt $t \geq T_k$: Lượng mòn U tăng nhanh phi tuyến, có sự thay đổi rõ rệt chế độ lắp ghép, tăng sai lệch hình dáng hình học của bề mặt tiếp xúc dẫn đến va đập của các bề mặt ma sát và chuyển nhanh sang quá trình mòn khốc liệt, trạng thái hình học tế vi xấu đi, nhấp nhô tăng lên làm tốc độ mòn ngày càng tăng mạnh $\frac{dU}{dt} \uparrow$.

Để xác định được quy luật của giai đoạn mòn ổn định cần ít nhất giá trị của lượng mòn tại hai thời điểm khác nhau, từ đó xác

định được tốc độ mòn của giai đoạn mòn bình thường này.

Đối với ổ lăn lắp trên trục chính máy công cụ CNC, theo tiêu chuẩn ISO 13042 - 1:2004, lượng dịch chuyển dọc trục tối đa cho phép của máy tiện điều khiển số và trung tâm tiện có một trục chính theo phương nằm ngang là $[\delta_a] = 5\mu\text{m}$, khi có điều chỉnh tạo độ dôi ban đầu, đây chính là lượng mòn tổng cộng của cụm ổ trục chính theo phương dọc trục trong một chu kỳ sửa chữa phục hồi [2].

Khi đó, tuổi thọ cụm ổ trục chính được xác định dựa theo tiêu chí mòn [7]:

$$T_{h\text{tn}} = \frac{[U]}{\gamma} \quad (1)$$

Trong đó:

Th tn: Tuổi thọ xác định bằng thực nghiệm (giờ);

[U]: Lượng mòn dọc trục giới hạn

$$[U] = m \cdot [\delta_a]; \quad (2)$$

γ : Tốc độ mòn;

$[\delta_a]$: Lượng dịch chuyển dọc trục giới hạn theo tiêu chuẩn ISO 13042 - 1:2004;

m: Số lần điều chỉnh cụm trục chính đến khi hết tuổi thọ.

Lượng mòn dọc trục (δ_a) trong khoảng thời gian thực hiện thí nghiệm chính là hiệu của lượng dịch chuyển dọc trục của trục chính giữa 2 lần đo liên tiếp với điều kiện đặt lực dọc trục chuẩn bằng lực tạo độ dôi ban đầu (PPreload) của cụm ổ trục chính.

$$\delta_a = \delta_a^{i+1} - \delta_a^i \quad (3)$$

Trong đó:

δ_a^i : Lượng dịch chuyển dọc trục đo được ở lần thứ i;

δ_a^{i+1} : Lượng dịch chuyển dọc trục đo được ở lần thứ i + 1.

2.2. Kỹ thuật đo và phân tích rung động trên trục chính máy công cụ CNC

Các phép đo rung động được tiến hành các bước cơ bản như sau [4]:

B1. Lập kế hoạch thực nghiệm.

B2. Lựa chọn đại lượng đo và thông số đo, vị trí và hướng đo.

B3. Kiểm chuẩn hệ thống thiết bị đo.

B4. Đo thu thập và lưu trữ dữ liệu.

B5. Phân tích kết quả đo.

Đối với các phép đo rung động trên cụm trục chính máy công cụ, các bước 1,2,3,4 đã được quy định trong ISO 10816 [9]. Riêng phép phân tích kết quả đo có thể thực hiện phân tích trong miền thời gian, phân tích trong miền tần số hoặc phân tích trong miền thời gian – tần số. Kết quả phép phân tích trong miền thời gian đưa ra các thông số đặc trưng của rung động như giá trị trung bình (mean), giá trị trung bình hiệu dụng (RMS- root mean square), giá trị cực đại (maximum), giá trị cực tiểu (minimum) hay hệ số Crest (Crest factor), ... Các giá trị đặc trưng này được sử dụng để đánh giá tín hiệu rung động do một số đặc điểm như giá trị của nó thay đổi chậm tương ứng với sự thay đổi của tình trạng thiết bị, các giá trị này là giá trị bằng số nên dễ lưu trữ và công thức tính các giá trị này tương đối đơn giản, có thể tính nhanh nhờ chương trình máy tính. Trong các nghiên cứu về giám sát cụm ổ trục chính ở trạng thái mòn đồng bộ, thông số thường được sử dụng là giá trị RMS của gia tốc rung động [4].

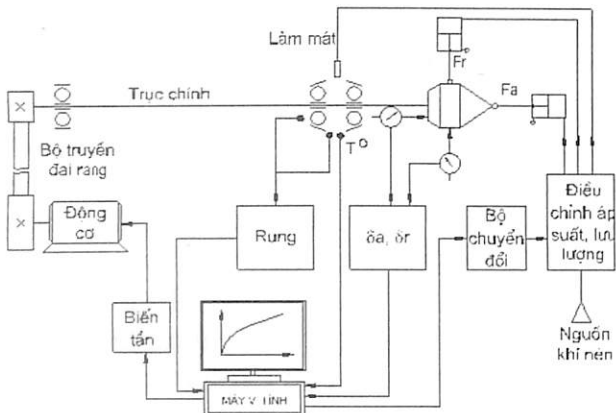
2.3. Hệ thống thiết bị thí nghiệm

2.3.1. Yêu cầu của hệ thống thiết bị thí nghiệm:

Để xác định được lượng mòn tổng cộng U của cụm ổ trục chính máy tiện CNC đồng thời với giá trị đặc trưng RMS của rung

động. Hệ thống thiết bị thí nghiệm phải có khả năng thay đổi số vòng quay trục chính, thay đổi tải trọng tác động lên trục chính. Điều kiện thí nghiệm là không bôi trơn nhưng đảm bảo nhiệt độ cụm ổ trục chính trong phạm vi bình thường ($t_0 < 60^{\circ}\text{C}$) qua hệ thống làm mát bằng khí nén.

Căn cứ vào các phép đo rung động cụm trục chính máy công cụ theo ISO 10816, và phép đo hình học trên trục chính máy tiện theo TCVN 7681-1-2013 (ISO 13041 - 1:2004); Sơ đồ hệ thống thực nghiệm BK-CT-2017 được trình bày như hình 5.



Hình 5: Sơ đồ cấu trúc hệ thống thiết bị thí nghiệm

Trong đó: δ_a, δ_r là giá trị dịch chuyển dọc trục và dịch chuyển hướng kính; F_a, F_r là giá trị tải dọc trục và tải trong hướng kính tác dụng lên trục chính.

Hệ thống thiết bị thí nghiệm được tích hợp trên máy tiện CNC Eclipse 300 để đảm bảo các phép đo phản ánh đúng tình trạng làm việc của cụm trục chính. Cụm ổ trục chính chịu lực chính của máy tiện CNC Eclipse 300 có cấu tạo là 02 ổ lăn 7210B của hãng NSK lắp cặp lưng đối lưng (DB) có các thông số kỹ thuật như bảng 2. [10]

Bảng 2. Thông số kỹ thuật cặp ổ lăn 7210B lắp cặp lưng đối lưng:

Thông số	d (mm)	D (mm)	C_r (N)	C_o (N)	α ($^{\circ}$)
Giá trị	50	90	60500	57000	15

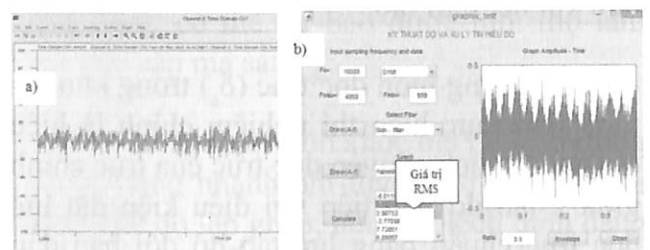
2.3.2. Phương pháp xác định các đại lượng đo

- Xác định được giá trị đặc trưng RMS của rung động thông qua cảm biến đo rung động gắn trên mặt bích lắp với ca ngoài của cụm ổ lăn, đo theo phương hướng kính và dọc trục, đo tại các vị trí 90° và 180° đối với điểm thấp nhất của mặt bích. Giá trị rung động hiệu dụng tính toán là giá trị lớn nhất tại các vị trí đo và hướng đo. Sử dụng phần mềm Microlog Analysis của hãng SKF để phân tích rung động và các tính toán thực hiện trên phần mềm Matlab (hình 6) để tính toán ra giá trị RMS. Công thức tính RMS [4]:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt} \quad (4)$$

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

T là thời gian đo.



Hình 6: a) Đồ thị rung động vẽ trên phần mềm Microlog Analysis; b) Ứng dụng tính giá trị đặc trưng của rung động trên Matlab.

- Xác định lượng mòn tổng hợp theo phương dọc trục của cụm ổ trục chính được thực hiện theo các bước: 1) Xác định chuẩn đo theo phương dọc trục khi lực tác động dọc trục

bằng không; 2) Tác động tải chuẩn $F_a=250N$ (bằng giá trị tải trước $F_{preload}$ trên cụm ổ trục chính); 3) Xác định chuyên dịch dọc trục.

2.3.3. Các thông số đầu vào của thí nghiệm:

Trong thực nghiệm của nghiên cứu, số biến đầu vào là 3 (tải hướng kính F_r , tải dọc trục F_a và tốc độ quay n). Thực hiện quy hoạch thực nghiệm toàn phần dạng 2^k [11] và một thí nghiệm tại tâm quy hoạch. Tổng số thí nghiệm là $2^3+1 = 9$ thí nghiệm.

Thời gian cho mỗi lần thực hiện thu thập dữ liệu t : Từ phép chạy thử nghiệm sau khi chế tạo thành công hệ thống thiết bị thí nghiệm BK-CT-2017, chọn thời gian tổng của mỗi chu kỳ lấy dữ liệu là $t = 6h$ để đảm bảo các yêu cầu thu thập dữ liệu cần thiết.

Giá trị tải và tốc độ trục chính được xác định từ thông số kỹ thuật của máy tiện CNC Eclipse 300, cụ thể như sau:

- F_a : từ 400N đến 800N;
- F_r : từ 800N đến 1200N;
- n : từ 1800 vòng/phút đến 2200 vòng/phút.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả

Thực nghiệm toàn phần với 9 thí nghiệm tương ứng với bộ 3 thông số đầu vào như trên. Tuy nhiên, để xác định bước đầu các mối quan hệ theo mục tiêu thực nghiệm đã đề ra, làm cơ sở cho các thử nghiệm đầy đủ nhiều hàm mục tiêu, tiến hành thực nghiệm riêng phần như trong bảng 3.

Bảng 3. Thông số thực hiện các thí nghiệm:

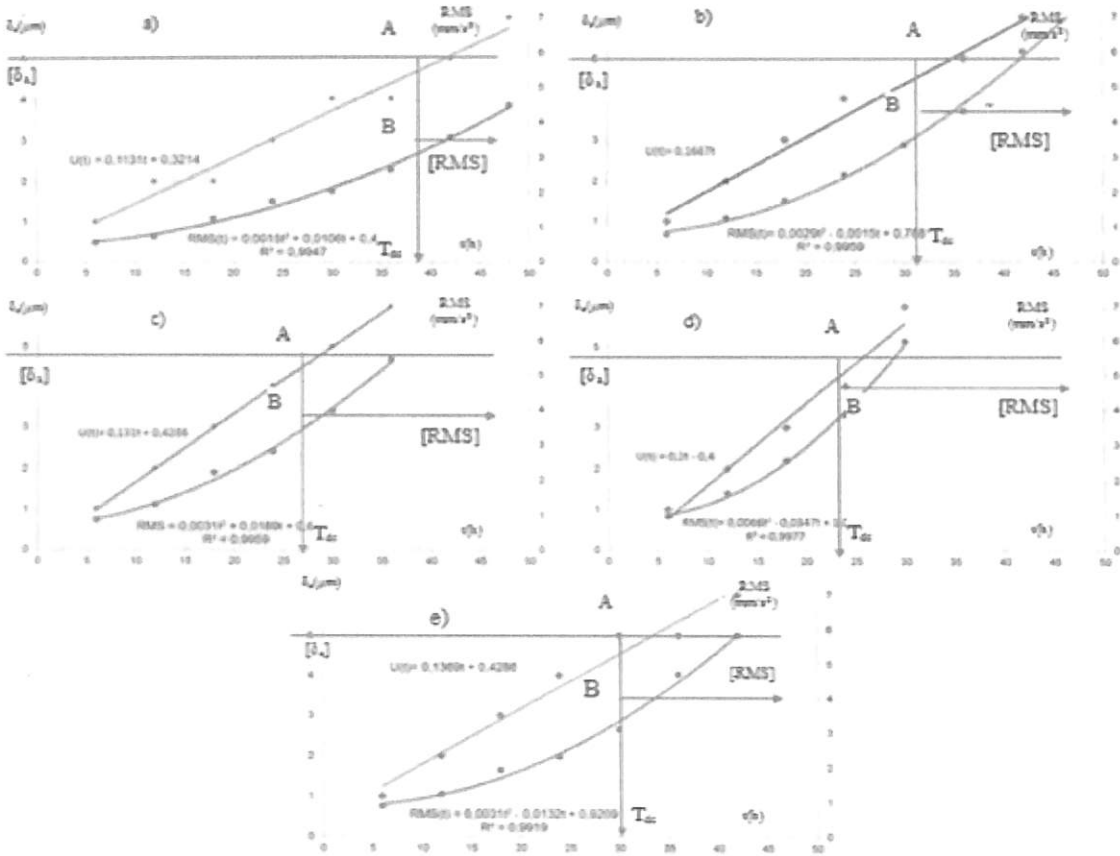
	TN 1	TN 2	TN 3	TN 4	TN 5
F_a (N)	400	800	400	800	600
F_r (N)	500	1000	500	1000	750
n (vòng/phút)	1800	1800	2200	2200	2000

Kết quả phép đo lượng dịch chuyển dọc trục tổng cộng và giá trị RMS của rung động cụm trục chính máy tiện CNC trong các thí nghiệm riêng phần như bảng 4:

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm riêng phần:

TN	6 (giờ)		12 (giờ)		18 (giờ)		24 (giờ)		30 (giờ)		36 (giờ)		42 (giờ)		48 (giờ)	
	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2	δa μm	RMS mm/s^2
1	1	0,582	2	0,753	2	1,252	3	1,756	4	2,045	4	2,667	5	3,576	6	4,483
2	1	0,802	2	1,269	3	1,762	4	2,492	4	3,341	5	4,31	6	6,021		
3	1	0,868	2	1,301	3	2,206	4	2,817	5	3,956	6	5,462				
4	1	0,982	2	1,626	3	2,566	4	3,84	6	5,986						
5	1	0,892	2	1,231	3	1,91	4	2,291	5	3,095	5	4,691	6	5,828		

- Từ các kết quả thí nghiệm, vẽ được đồ thị biểu diễn tổng hợp giữa lượng dịch chuyển dọc trục (lượng mòn tổng cộng δ_a) và giá trị RMS như hình 7.



Hình 7. Đồ thị tổng hợp giữa lượng mòn tổng cộng và đặc trưng RMS trong các thí nghiệm:
 a) Thí nghiệm 1; b) Thí nghiệm 2; c) Thí nghiệm 3; d) Thí nghiệm 4; e) Thí nghiệm 5

Từ các đồ thị trên hình 7, có thể xác định được giá trị giới hạn [RMS] từ giới hạn mòn tổng cộng cho phép được xác định theo TCVN 7681-1-2013 (ISO 13041 - 1:2004) khi sử dụng phương pháp toán đồ như sau: Đường thẳng giá trị mòn giới hạn $[\delta_a]$ cắt đường lượng mòn $U(t)$ tại điểm A, từ A chiếu xuống trục thời gian xác định được T_{dc} – là thời điểm phải dừng máy để điều chỉnh, bảo trì phục hồi, đường chiếu này cắt đồ thị $RMS(t)$ tại điểm B, từ điểm B chiếu vào trục RMS xác định được giá trị [RMS] của thí nghiệm.

3.2. Thảo luận

- Các kết quả thực nghiệm thể hiện trên đồ thị tổng hợp lượng mòn tổng cộng và RMS đặc trưng cho thấy mối quan hệ giữa lượng mòn $[\delta_a]$ và [RMS] với mỗi bộ thông số đầu vào.

- Các kết quả thực nghiệm bước đầu thu được trên máy thí nghiệm, với giá trị $[\delta]$ theo ISO 10816 và TCVN 7681-1-2013 thì giá trị [RMS] hoàn toàn xác định được và ít thay đổi.

- Trong điều kiện thử nghiệm cụ thể của nghiên cứu cho thấy khi giá trị đặc trưng RMS đo được ở chế độ không tải theo (ISO 10816 và TCVN 7681-1-2013) từ 4-4,5 (mm/s²) thì cần phải dừng máy điều chỉnh lại độ dôi ban đầu của cụm trục chính thì mới duy trì độ chính xác gia công và độ tin cậy như thiết kế.

- Giá trị RMS giới hạn là căn cứ quan trọng để xác định được thời điểm dừng máy để điều chỉnh độ dôi 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 đặc trưng của rung động RMS và lượng mòn tổng cộng cụm ổ trục chính có quan hệ đồng biến và hoàn toàn xác định được thông qua thực nghiệm trên thiết bị BK-CT-2017.

- Giá trị RMS giới hạn cho phép của cụm ổ trục chính để xác định thời điểm điều chỉnh, bảo dưỡng có thể được suy ra từ lượng dịch chuyển cho phép $[\delta]$ trên đồ thị tổ hợp lượng mòn tổng cộng và RMS.

- Quy trình xác định mòn tổng cộng và RMS cho phép giám sát chất lượng cụm ổ trục chính máy CNC trong điều kiện vận hành bình thường và chỉ ra thời điểm điều chỉnh ổ trục chính trong chu kỳ làm việc để đảm bảo duy trì chất lượng làm việc của máy CNC.

- Việc điều chỉnh để duy trì được độ dôi ban đầu (sức căng ban đầu - PPreload) của cụm trục chính đúng thời điểm trong quá trình làm việc và giá trị điều chỉnh phù hợp sẽ nâng cao tuổi thọ và độ tin cậy của cụm trục chính máy công cụ nói chung và máy công cụ CNC nói riêng.

- Các phân tích sâu hơn về lượng mòn và giá trị đặc trưng của rung động để xác định các thông số điều chỉnh tối ưu sẽ được trình bày trong các nghiên cứu tiếp theo. ❖

Ngày nhận bài: 05/7/2018

Ngày phản biện: 18/7/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Rastegari. A and Mobin. M, Archenti. A, "Condition Based Maintenance of Machine Tools: Vibration Monitoring of Spindle Units" IEEE 63nd Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2017.
- [2]. ISO13041-1 2004, "Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres" in Part 1: Geometric tests for machines with a horizontal workholding spindle.
- [3]. E. Abele, C. Brecher Y. Altintas, "Machine tool spindle units" CIRP Annals - Manufacturing Technology, pp. 781-802, 2010.
- [4]. Nguyễn Phong Điền; "Kỹ thuật đo và phân tích dao động cơ học", NXB. Giáo dục Việt Nam, 2015.
- [5]. T.A. Harris, "Rolling Bearing Analysis", New York, JohnWiley and Sons, 2006.
- [6]. Tao Xu, Qin Zhang, Cheng Hua, Hu Zhang and Kuosheng Jiang Guanghua Xu, "Experimental study on bearing preload optimum of machine tool spindle" International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering, 2012.
- [7]. Phạm Văn Hùng Nguyễn Anh Tuấn; "Ma sát học" NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [8]. Nguyễn Doãn Ý; "Giáo trình ma sát mòn bôi trơn" NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2008.
- [9]. ISO 10816, Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.
- [10]. NSK Company, Ball Bearing Catalogue.