

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM ĐỒ GÁ LINH HOẠT CHỦ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH RUNG ĐỘNG CỦA PHÔI TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG PHAY

MANUFACTURING AND TESTING THE FLEXIBLE FIXTURE WITH THE ACTIVELY ADJUSTION OF WORKPIECE VIBRATION IN MILLING PROCESS

Nguyễn Như Tùng^{1,*}, Phạm Văn Đông¹,
Hoàng Tiến Dũng¹, Vũ Đình Toàn¹, Lê Văn Phong¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.079>

TÓM TẮT

Một hệ thống đồ gá linh hoạt nhằm chủ động điều chỉnh thông số của hệ dao động máy - dụng cụ cắt - phôi đã được thiết kế, chế tạo và thử nghiệm thành công. Đồ gá linh hoạt đã được thiết kế, chế tạo với sự tích hợp và bố trí cân đối của 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương X, 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương Y và 4 lò xo theo phương Z. Độ cứng của các lò xo được điều chỉnh bằng cách nới lỏng hoặc siết chặt các đai ốc căng lò xo. Việc điều chỉnh độ cứng của lò xo dẫn tới sự thay đổi tần số riêng của hệ thống và ảnh hưởng đến rung động, lực cắt của quá trình gia công. Với điều kiện siết chặt đai ốc thông thường, lực cắt và rung động đều có giá trị nhỏ hơn so với khi không dùng đồ gá linh hoạt hoặc khi siết chặt hơn đai ốc. Khi sử dụng đồ gá linh hoạt, nếu tăng tốc độ trục chính từ 750 vòng/phút đến 4000 vòng/phút, ban đầu rung động và lực cắt tăng dần, sau đó cả lực cắt và rung động đều có xu hướng giảm dần. Trong nghiên cứu này, tần số riêng của hệ thống nằm trong khoảng từ 67 - 100Hz. Ở tốc độ 4000 vòng/phút, lực cắt và rung động đều nhỏ và ổn định hơn vì tần số của lực cắt xa giá trị tần số riêng của hệ thống. Khi tốc độ trục chính bằng 3000 vòng/phút lực cắt và rung độ có giá trị lớn và không ổn định vì tần số lực cắt có giá trị gần với giá trị tần số riêng của hệ thống.

Từ khóa: Đồ gá linh hoạt; lực cắt, dao động; hệ thống máy - công cụ - phôi; quá trình phay.

ABSTRACT

A flexible fixture system to actively adjust the structure parameters of the machine - cutting tool - workpiece vibration system was successfully designed, manufactured, and tested. The flexible fixture was designed and manufactured with the integration and balanced arrangement of 4 springs, 2 dampers in the X direction, 4 springs, 2 dampers in the Y direction and 4 springs in the Z direction. The stiffness of the springs is adjusted by loosening or tightening the spring tensioning nuts. Adjusting the stiffness of the spring leads to a change in the natural frequency of the system and influence on the vibration and cutting force in the machining process. Under the normal nut tightening conditions, the cutting force and vibrations are both smaller than when the using the normal fixture or when using the flexible fixture with the nut to be tightened more. When using this flexible fixture, if the spindle speed is increased from 750rpm to 4000rpm, the vibrations and cutting forces increase gradually at first, and then, both cutting force and vibrations are all decrease. In this study, the natural frequency of the system is between 67 - 100Hz. At the spindle speed of 4000 rpm, the cutting forces and vibrations are both small and stable because the frequency of the cutting forces is far from the natural frequency value of the system. When the spindle speed is 3000rpm, the cutting forces and vibrations are large and unstable because the cutting force frequency is close to the system's natural frequency value.

Keywords: Flexible fixture; cutting forces, vibration; machine-tool-workpiece system, milling.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tungnn@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/02/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/3/2023

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2023

1. GIỚI THIỆU

Gia công cắt gọt được thực hiện với nhiều phương pháp khác nhau như: phay, tiện, khoan,... trong đó, phay là một trong những phương pháp được sử dụng nhiều nhất để thực hiện quá trình gia công các chi tiết có độ chính xác cao và chất lượng bề mặt tốt. Độ chính xác và chất lượng bề mặt trong quá trình gia công phụ thuộc vào rất nhiều thông số như: thông số hình học và vật liệu của dụng cụ cắt, thông số chế độ cắt, thông số về độ cứng vững, độ giảm chấn của hệ thống công nghệ [1],.... Trong đó, một trong những thông số ảnh hưởng lớn đến chất lượng của quá trình gia công chính là rung động.

Hiện tượng rung động là một phần không thể tách rời của bất kỳ quá trình gia công nào và các nhà chế tạo máy, vận hành gia công bằng các hiện đại luôn nhận thức rõ tác động bất lợi của rung động. Rung động của máy gia công có thể làm mất ổn định quy trình gia công và trong tình huống cực đoan dẫn đến hiện tượng va đập (chatter) có ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất

lượng, tuổi thọ của dụng cụ và khả năng gia công. Rung động đóng một vai trò quan trọng trong việc giới hạn các thông số năng suất và chất lượng của quá trình gia công [1]. Bề mặt hoàn thiện kém và ổ đỡ trục chính bị hư hỏng có thể do rung động quá mức [1 - 3]. Có cả dao động cưỡng bức và dao động tự kích thích của máy công cụ trong quá trình gia công và cả hai loại này đều gây bất lợi cho sự an toàn và chất lượng của quá trình gia công [4]. Rung động rất quan trọng trong quá trình gia công; Vì vậy, việc nghiên cứu và kiểm soát các rung động của máy công cụ là cần thiết trong việc cải thiện chất lượng và hiệu quả của quá trình gia công.

Trong quá trình gia công phay, việc nghiên cứu về cơ sở lý thuyết để nâng cao khả năng làm việc của hệ thống công nghệ đã được thực hiện bởi nhiều nhà khoa học [5]. Các nghiên cứu thường tập trung vào nâng cao khả năng làm việc (độ cứng vững, độ giảm chấn,...) của trục chính [6] nhằm làm giảm rung động trong quá trình gia công.

Ngoài ra, một số nghiên cứu về mối quan hệ giữa cấu trúc hệ thống dao động máy - dụng cụ cắt - phôi đến tần số của lực cắt, từ đó hạn chế hiện tượng va đập (chatter) và mở rộng miền ổn định trong quá trình gia công [1, 5]. Một số nghiên cứu tập trung vào phân tích cấu trúc của hệ thống máy - dụng cụ cắt - phôi đối với các trường hợp có kích thước phôi lớn, nhằm giảm rung động, ổn định lực cắt và đảm bảo chất lượng của quá trình gia công [7 - 10]. Với hướng nghiên cứu này, một số tác giả đã đề xuất một số cấu trúc đồ gá linh hoạt và thường được áp dụng cho từng đối tượng cụ thể [7].

Một số nghiên cứu đã thiết kế một số đồ gá nhằm giảm rung động khi gia công các loại phôi có tính linh hoạt cao như các loại phôi có thành mỏng, phôi có chiều cao lớn [11, 12]. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung để cố định phôi với trạng thái tốt nhất khi gia công chứ chưa nghiên cứu đã thay đổi cấu trúc của hệ thống đồ gá - phôi nhằm thay đổi tần số riêng của hệ thống khác với tần số lực cắt để đảm bảo tính ổn định trong quá trình gia công.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm thiết kế, chế tạo đồ gá linh hoạt và thử nghiệm trong quá trình phay để có thể điều chỉnh thông số thông số cấu trúc của hệ dao động máy - dụng cụ cắt - phôi để nhằm giảm và ổn định rung động, lực cắt khi gia công phay thép C45.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỒ GÁ LINH HOẠT TRONG QUÁ TRÌNH PHAY

2.1. Cơ sở lý thuyết về hệ rung động trong quá trình gia công phay

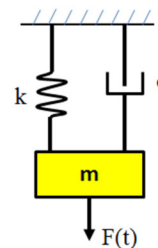
Một hệ rung động đơn giản có một bậc tự do bao gồm ba thành phần chính là khối lượng (m), lò xo có độ cứng k và bộ giảm chấn (c) như mô tả trên hình 1. Khi có ngoại lực tác dụng vào hệ dao động, chuyển động của hệ được mô tả bằng các phương trình dao động như ở phương trình (1) và phương trình (2).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \tag{1}$$

hoặc

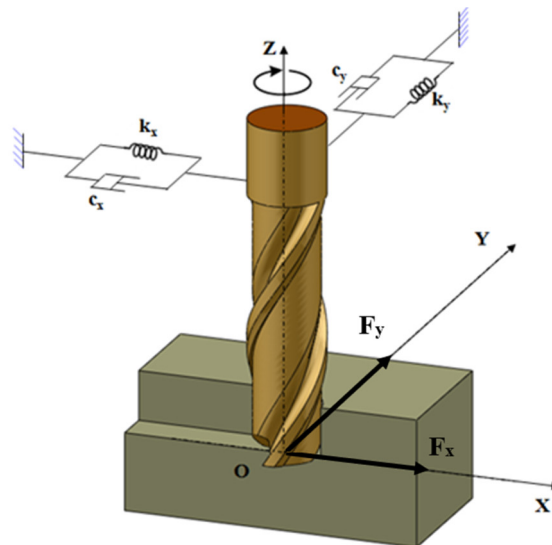
$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{\omega_n^2}{k}F(t) \tag{2}$$

Trong đó: ω_n là tần số riêng (tần số tự nhiên) của hệ, ζ là hệ số giảm chấn của hệ.



Hình 1. Hệ dao động đơn giản với một bậc tự do

Trong quá trình gia công phay, hệ thống máy - dụng cụ cắt - phôi là một hệ rung động phức tạp [1]. Để đơn giản trong quá trình nghiên cứu khảo sát, hệ thống máy - dụng cụ cắt - phôi có thể được đưa về hệ có hai bậc tự do như ở hình 2 [1], hoặc hệ 4 bậc tự do như ở hình 3 [4]. Trong các trường hợp này, dao động của hệ thống theo phương z thường ít được quan tâm, vì dao động theo phương này rất nhỏ, thường không thể điều khiển được và cũng ít ảnh hưởng đến chất lượng của quá trình gia công [1, 4].



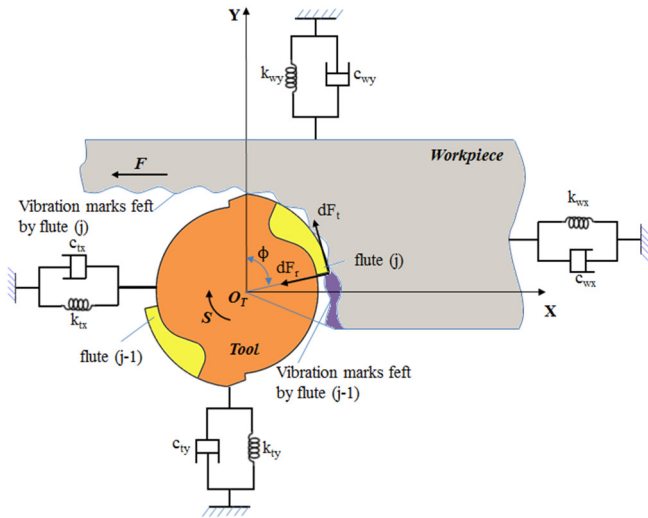
Hình 2. Hệ dao động máy - dụng cụ cắt - phôi với 2 bậc tự do trong quá trình phay

Với hệ dao động có 2 bậc tự do (bỏ qua bậc tự do theo phương z) được mô tả ở hình 2, hệ dao động được mô hình bởi khối lượng tương đương (m), độ cứng tương đương (k) và độ giảm chấn tương đương (c) đặt trên dụng cụ cắt theo hai phương x và y. Quá trình dao động được mô tả bằng phương trình (3).

$$\begin{cases} m_x\ddot{x}(t) + c_x\dot{x}(t) + k_x x = F_x(t) \\ m_y\ddot{y}(t) + c_y\dot{y}(t) + k_y y = F_y(t) \\ m_z\ddot{z}(t) + c_z\dot{z}(t) + k_z z = F_z(t) \end{cases} \tag{3}$$

Trong thực tế, quá trình phay bao gồm quá trình cắt và dao động. Trong quá trình phay, lực cắt tuần hoàn là ngoại lực gây ra dao động cưỡng bức trong hệ thống phay. Để

đơn giản, hệ dao động này cũng có thể được mô hình bởi hệ dao động với 4 bậc tự do như ở hình 3.



Hình 3. Hệ dao động bốn bậc tự do trong gia công phay

Lực cắt sinh ra sẽ tác động đến hệ thống máy - dụng cụ cắt và máy - phôi làm cho máy, dụng cụ cắt, phôi dao động. Hệ dao động này có thể được mô tả đơn giản bao gồm: khối lượng tương đương (m), độ cứng tương đương (k) và độ giảm chấn tương đương (c) đặt trên dụng cụ cắt và đặt trên phôi theo hai phương x và y (hình 3). Quá trình dao động của dụng cụ cắt và phôi được mô tả bằng phương trình (4).

$$\begin{cases} m_{xt}\ddot{x}_t(t) + c_{xt}\dot{x}_t(t) + k_{xt}x_t = F_x(t) \\ m_{yt}\ddot{y}_t(t) + c_{yt}\dot{y}_t(t) + k_{yt}y_t = F_y(t) \\ m_{zt}\ddot{z}_t(t) + c_{zt}\dot{z}_t(t) + k_{zt}z_t = F_z(t) \\ m_{xw}\ddot{x}_w(t) + c_{xw}\dot{x}_w(t) + k_{xw}x_w = -F_x(t) \\ m_{yw}\ddot{y}_w(t) + c_{yw}\dot{y}_w(t) + k_{yw}y_w = -F_y(t) \\ m_{zw}\ddot{z}_w(t) + c_{zw}\dot{z}_w(t) + k_{zw}z_w = -F_z(t) \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó:

x_t, y_t, z_t là các thông số của hệ máy - dụng cụ cắt lần lượt theo các phương x, y, z.

x_w, y_w, z_w là các thông số của hệ máy - phôi lần lượt theo các phương x, y, z.

2.2. Cơ sở thiết kế đồ gá linh hoạt

Từ cơ sở dao động trong quá trình phay có thể thấy rằng, để điều chỉnh được quá trình dao động trong quá trình phay có thể điều chỉnh một số thông số sau:

Thứ nhất là điều chỉnh lực cắt: Lực cắt phụ thuộc vào rất nhiều thông số như chế độ cắt, dụng cụ cắt, vật liệu gia công,... trong thực tế, lực cắt là đại lượng trung gian và sẽ thay đổi theo từng quá trình cắt khác nhau. Lực cắt trong quá trình phay thường biến động theo tần số nhất định phụ thuộc vào tốc độ trục chính và số răng cắt như công thức (5). Như vậy, việc điều chỉnh giá trị của lực cắt là rất khó khăn, tuy nhiên, trong gia công phay hoàn toàn có thể điều chỉnh tốc độ trục chính từ đó điều chỉnh tần số của lực cắt.

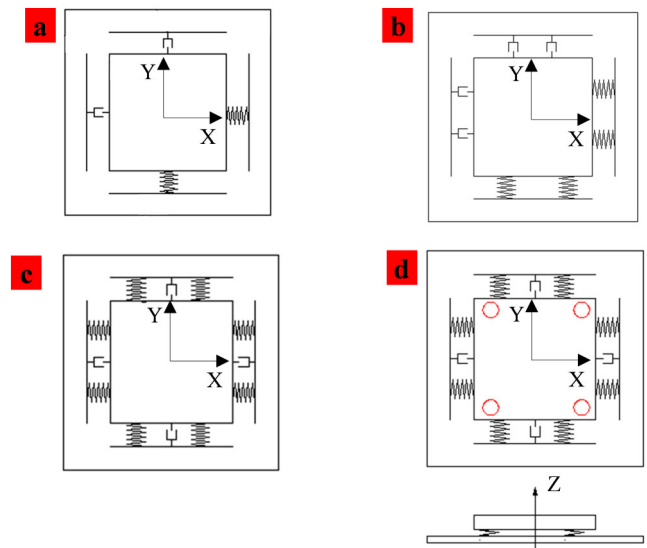
$$f = \frac{N \cdot S}{60} \quad (5)$$

Trong đó:

N là số răng cắt của dụng cụ cắt (răng)

S là tốc độ trục chính (vòng/phút).

Đối với hệ máy - dụng cụ cắt - phôi: Các thông số như khối lượng tương đương, độ giảm chấn tương đương của máy - dụng cụ cắt phụ thuộc vào kết cấu của trục chính và sự liên kết của trục chính với khung máy, do đó, các thông số này gần như không thể thực hiện được. Độ cứng của máy - dụng cụ cắt có thể được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh chiều dài của dụng cụ cắt, tuy nhiên, chiều dài của dụng cụ cắt là có hạn, đồng thời, trong một số quá trình gia công (phay hốc, phay thành,...) nếu để dụng cụ cắt quá ngắn sẽ thông thể thực hiện quá trình gia công. Chính vì vậy, việc điều chỉnh các thông số hệ dao động máy - dụng cụ cắt là rất khó khăn. Việc điều chỉnh thông số của hệ thống dao động có thể tập trung vào việc điều chỉnh thông số của hệ dao động máy - phôi. Trong trường hợp này có thể thay đổi độ giảm chấn, độ cứng của hệ dao động máy - phôi. Với hướng tiếp cận này, bốn sơ đồ của hệ dao động máy - phôi đã được đề xuất như ở hình 4.



Hình 4. Sơ đồ hệ dao động máy - phôi

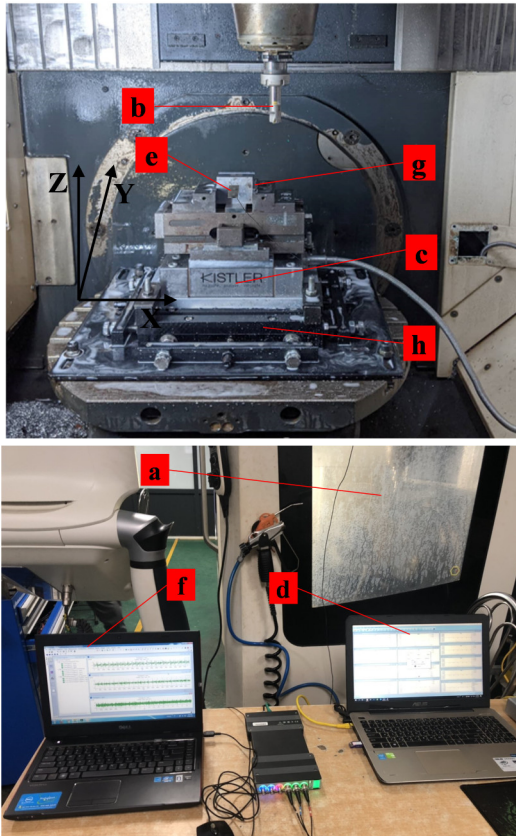
Trên sơ đồ đơn giản nhất (hình 4a), hệ dao động được tính hợp thêm 1 lò xo, 1 giảm chấn theo phương X và 1 lò xo, 1 giảm chấn theo phương Y. Hệ máy - phôi ở hình 4b bao gồm 2 lò xo, 2 giảm chấn theo phương X và 2 lò xo, 2 giảm chấn theo phương Y, các lò xo được bố trí về một phía, các giảm chấn cùng được bố trí về 1 phía. Hệ máy - phôi ở hình 4c bao gồm 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương X, 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương Y. Ba hệ dao động được đề xuất đã có thể thay đổi được các thông số của hệ dao động máy - dụng cụ cắt. Tuy nhiên, một số hệ được bố trí không cân đối (hệ 4a, 4b), cả ba hệ mới chỉ tính đến dao động theo hướng X, Y, chưa linh hoạt theo phương Z. Để xuất hệ 4c có bổ sung thêm 4 lò xo theo phương Z (hình 4d) đã khắc phục được các nhược điểm nói trên và cũng là hệ dao động có thể chế tạo, lắp đặt dễ dàng. Do đó, hệ dao động 4c được lựa chọn để điều chỉnh thiết kế đồ gá linh hoạt

nhằm điều chỉnh thông số của hệ dao động máy - phôi trong quá trình gia công phay.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Hệ thống thực nghiệm

Để tiến hành thực nghiệm sử dụng đồ gá linh hoạt trong quá trình gia công phay, một trung tâm gia công CNC 5 trục DMG DMU 50 đã được sử dụng (hình 5a). Dụng cụ cắt là loại dao phay gắn mảnh cắt hình thang có đường kính bằng 20mm với 2 mảnh cắt, góc xoắn bằng 30°, như trên hình 5b.



Hình 5. Hệ thống thực nghiệm

Hệ thống đo lực là thiết bị đo ba thành phần lực của hãng Kistler (hình 5c) và phần mềm Dynoware (hình 5d). Giá trị lực cắt theo mỗi phương được xác định là giá trị trung bình của nó trong quá trình phay. Hệ thống đo rung bao gồm cảm biến gia tốc 3 chiều có ký hiệu 4525-B-001 (hình 5e), bộ xử lý dữ liệu và phần mềm PLUSE được sử dụng để đo rung động của hệ thống (hình 5f). Hệ thống thực nghiệm được mô tả trên hình 5. Phôi gia công (hình 5g) được gá trên đồ gá linh hoạt (hình 5h) là thép C45. Mẫu phôi thép thực nghiệm này có kích thước dài, rộng, cao tương ứng là 60mm, 48mm và 60mm (hình 6). Thành phần hóa học của các nguyên tố chính trong thép được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép C45 (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu
0,45	0,25	0,7	0,3	0,25	0,035	0,04	0,25



Hình 6. Thép C45 dùng trong thí nghiệm

3.2. Kế hoạch thực nghiệm

Để đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống đồ gá chủ động điều chỉnh rung, 2 loạt thực nghiệm đã được thiết kế và thực hiện. Loạt thực nghiệm 1 được tiến hành để đánh giá sự thay đổi của lực cắt, rung động với các điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá bao gồm các thực nghiệm 1, 2, 3, 4 (bảng 3). Sử dụng đồ gá chủ động điều chỉnh rung, loạt 2 được tiến hành để khảo sát sự thay đổi của lực cắt, rung động với các giá trị tốc độ trục chính khác nhau bao gồm các thực nghiệm 4, 5, 6, 7 (bảng 2).

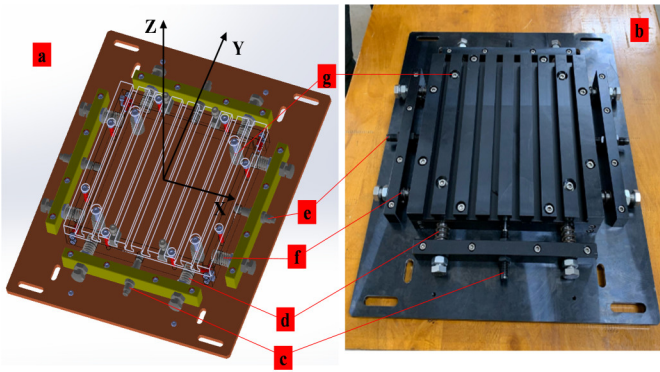
Bảng 2. Kế hoạch thực nghiệm

TT	a (mm)	F (mm/min)	S (rev/min)	Điều kiện hoạt động của đồ gá
1	0,2	450	750	Không sử dụng đồ gá linh hoạt
2	0,2	450	750	Siết đai ốc căng lò xo vừa phải
3	0,2	450	750	Siết chặt các đai ốc căng lò xo thêm 2 ren
4	0,2	450	750	Siết chặt các đai ốc căng lò xo thêm 4 ren
5	0,2	450	2000	Thay đổi (tăng) tốc độ trục chính
6	0,2	450	3000	Thay đổi (tăng) tốc độ trục chính
7	0,2	450	4000	Thay đổi (tăng) tốc độ trục chính

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả thiết kế và chế tạo đồ gá linh hoạt trong quá trình gia công phay

Từ cơ sở lý thuyết để lựa chọn đồ gá linh hoạt, hệ thống đồ đã đã được thiết kế sử dụng phần mềm thiết kế NX (hình 7a), được chế tạo và lắp ráp như trên hình 7b. Đồ gá được thiết kế ngoài bộ phận thông thường là bàn gá, đã được tích hợp thêm các bộ phận nhằm tạo ra sự dao động linh hoạt cho phôi là: tấm đế dưới, 2 giảm chấn (hình 7c) và 4 lò xo (hình 7d) theo phương Y, 2 giảm chấn (hình 7e) và 4 lò xo (hình 7f) theo phương X, 4 lò xo (hình 7g) theo phương Z. Đồ gá linh hoạt này đã được ứng dụng để thực hiện quá trình gia công phay với các điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá và với tốc độ trục chính khác nhau như mô tả trên hình 5.

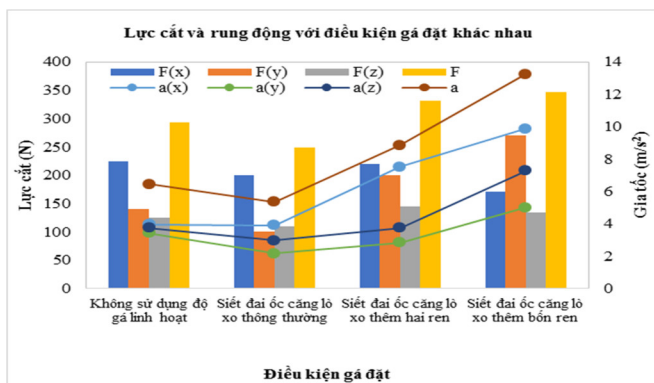


Hình 7. Kết quả thiết kế và chế tạo đồ gá linh hoạt

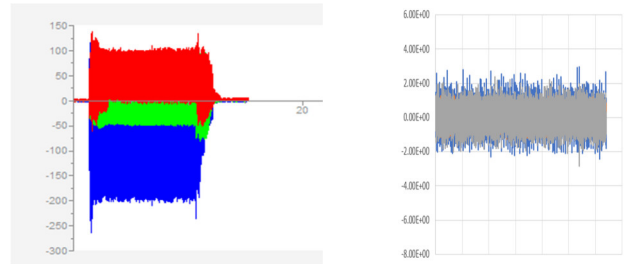
Với đồ gá linh hoạt được chế tạo này, khi gá phôi, phôi không phải được cố định tuyệt đối theo ba phương X, Y, Z mà luôn luôn tồn tại rung động theo cả ba phương này. Các rung động này chủ yếu được hình thành từ lực cắt (có tính tuần hoàn, có chu kỳ phụ thuộc vào tốc độ trục chính và số răng của dụng cụ cắt). Độ cứng của lò xo có thể thay đổi được nhờ các ốc siết của các lò xo (hình 7). Tần số riêng của hệ thống đồ gá này khi gá phôi và sử dụng trong quá trình chạy được tính toán dựa trên khối lượng tương đối M_x, M_y, M_z của các thành phần trong đồ gá linh hoạt, độ cứng K_x, K_y, K_z của các lò xo theo phương X, Y, Z và độ giảm chấn C_x, C_y , trên các phương X, Y (hình 7).

4.2. Lực cắt và rung động với điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá

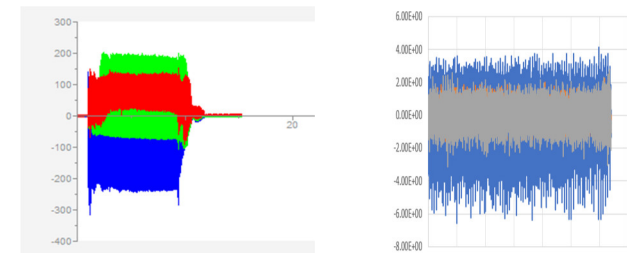
Kết quả thử nghiệm đánh giá sự thay đổi của lực cắt và rung động với các điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá được mô tả trên biểu đồ hình 8a. Kết quả đánh giá từ hình 4a chỉ ra rằng, với các điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá thì rung động theo phương x là lớn nhất, rung động theo phương y là nhỏ nhất. Lực cắt thường lớn nhất theo phương x và nhỏ nhất theo phương z. Ở điều kiện không sử dụng đồ gá, rung động và lực cắt có giá trị lớn hơn so với khi sử dụng đồ gá linh hoạt với trường hợp sử dụng đồ gá linh hoạt mà đai ốc căng xo lo được siết chặt thông thường. Trong cả hai trường hợp này, lực cắt và rung động thường có giá trị nhỏ và ổn định (hình 8b). Tuy nhiên, khi siết đai ốc với số lượng ren tăng dần (độ cứng của lò xo tăng dần), lực cắt và rung động có xu hướng tăng dần và không ổn định (hình 8c).



(a) Lực cắt và rung động với điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá



(b) Thí nghiệm 2 (điều kiện siết lò xo vừa phải)

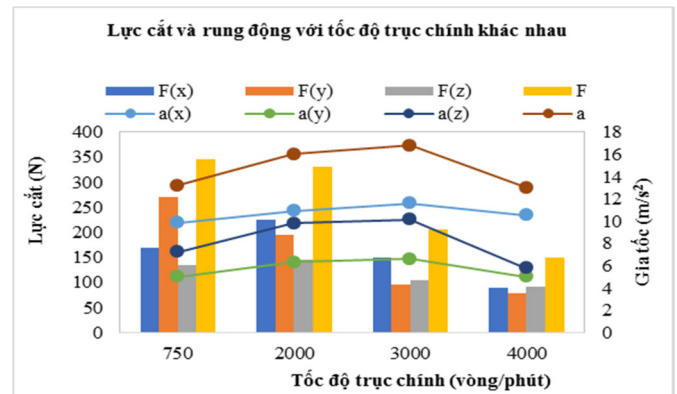


(c) Thí nghiệm 3 (siết lò xo ở thí nghiệm 2 thêm 2 ren)

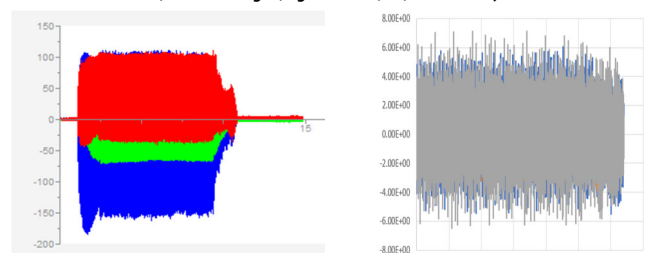
Hình 8. Phân tích lực cắt và rung với điều kiện làm việc khác nhau của đồ gá

Điều này có thể thấy rằng, việc siết càng chặt lò xo để tăng độ cứng vững cho đồ gá chưa chắc đã giảm được rung cho quá trình gia công. Có thể trong trường hợp này, tần số của lực cắt (phụ thuộc vào tốc độ trục chính) đã gần với tần số riêng của hệ thống (trong trường hợp này tần số riêng thay đổi do độ cứng của lò xo thay đổi), làm cho hệ thống tiến dần tới trạng thái cộng hưởng, gây ra hiện tượng va đập (chatter) và làm cho rung động và lực cắt có xu hướng tăng dần. Chính vì vậy, việc điều chỉnh để giá trị tần số riêng của hệ thống khác xa giá trị tần số của lực cắt sẽ hạn chế được rung động và ổn định được lực cắt.

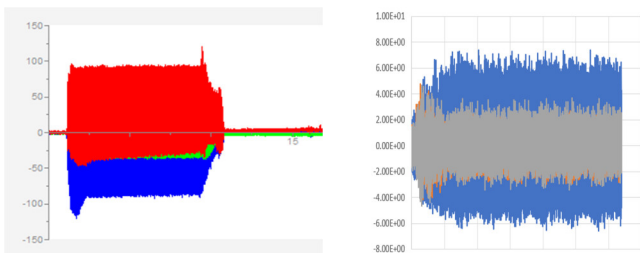
4.3. Lực cắt và rung động với tốc độ trục chính khác nhau



(a) Lực cắt và rung động khi tốc độ trục chính thay đổi



(b) Thí nghiệm 6 (kém ổn định)



(c) Thí nghiệm 7 (ổn định)

Hình 9. Phân tích lực cắt và rung khi tốc độ trục chính thay đổi

Việc điều chỉnh đai ốc siết lò xo sẽ điều chỉnh độ cứng của lò xo và vì vậy làm cho tần số riêng của hệ thống cũng thay đổi. Như kết quả phần 4.1, việc thay đổi giá trị tần số lực cắt (tốc độ trục chính) gần với tần số riêng của hệ thống sẽ làm làm rung động và lực cắt có xu hướng tăng, ngược lại, giá trị tần số lực cắt xa giá trị tần số riêng của hệ thống sẽ góp phần làm rung động, lực cắt giảm và ổn định hơn. Kết quả từ thực nghiệm trong trường hợp này được mô tả trên hình 9a. Kết quả phân tích chỉ ra rằng, khi tăng tốc độ trục chính từ 750 vòng/phút đến 4000 vòng trên phút, ban đầu rung động và lực cắt tăng dần, sau đó, lực cắt đạt giá trị lớn nhất ở tốc độ 2000 vòng/phút, rung động đạt giá trị lớn nhất ở 3000 vòng/phút (điều kiện cắt kém ổn định) như mô tả ở hình 9b, sau đó cả lực cắt và rung động đều giảm dần, ở tốc độ 4000 vòng/phút, lực cắt và rung động đều nhỏ và ổn định hơn (hình 9c), đây là giá trị của tốc độ trục chính tạo ra điều kiện cắt ổn định hơn.

Như vậy, có thể thấy rằng, tần số riêng của hệ thống nằm trong khoảng từ 2000 - 3000 vòng/phút (tương đương 67 - 100Hz với dao hai răng), khi tần số lực cắt (tốc độ trục chính) có giá trị xa giá trị của tần số riêng của hệ thống thì rung động và lực cắt có xu hướng giảm dần và ổn định hơn như mô tả trên hình 9c.

5. KẾT LUẬN

Một số kết luận được rút ra từ nghiên cứu này đó là:

- Đồ gá linh hoạt đã được thiết kế, chế tạo với sự tích hợp của 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương X, 4 lò xo, 2 giảm chấn theo phương Y và 4 lò xo theo phương Z, các lò xo, bộ giảm chấn được bố trí cân đối nhằm đảm bảo khả năng hoạt động ổn định của hệ thống.

- Độ cứng của các lò xo được điều chỉnh bằng cách nới lỏng hoặc siết chặt các đai ốc căng lò xo. Việc điều chỉnh độ cứng của lò xo dẫn tới sự thay đổi tần số riêng của hệ thống và ảnh hưởng đến rung động, lực cắt của quá trình gia công.

- Với điều kiện siết chặt đai ốc căng lò xo thông thường, lực cắt và rung động đều có giá trị nhỏ hơn so với khi không dùng đồ gá linh hoạt hoặc khi siết chặt hơn đai ốc căng lò xo thêm 2 hoặc 4 ren.

- Trong nghiên cứu này, tần số riêng của hệ thống nằm trong khoảng từ 67 - 100Hz. Khi tăng tốc độ trục chính từ 750 vòng/phút đến 4000 vòng/phút, ban đầu rung động và lực cắt tăng dần, sau đó, lực cắt đạt giá trị lớn nhất ở tốc độ 2000 vòng/phút, rung động đạt giá trị lớn nhất ở 3000 vòng/phút (điều kiện cắt kém ổn định), sau đó cả lực cắt và rung động đều giảm dần.

- Ở tốc độ 4000 vòng/phút, lực cắt và rung động đều nhỏ và ổn định hơn, đây là điều kiện cắt ổn định vì tần số lực cắt có giá trị xa giá trị tần số riêng của hệ thống. Khi tốc độ trục chính bằng 3000 vòng/phút lực cắt và rung độ có giá trị lớn và không ổn định vì tần số lực cắt có giá trị gần với giá trị tần số riêng của hệ thống.

Nghiên cứu để xác định chính xác điều kiện gá đặt tốt nhất nhằm giảm rung động, tăng miền ổn định khi gia công phay hàng loạt sản phẩm ứng dụng đồ gá linh hoạt là các hướng nghiên cứu tiếp theo của nghiên cứu này.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường có mã số: 09-2022-RD/HĐ-ĐHCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Altintas Y., 2012. *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. Cambridge university press.
- [2]. Hashimoto M., Marui E., Kato S., 1996. *Experimental research on cutting force variation during regenerative chatter vibration in a plain milling operation*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36(10), 1073-1092.
- [3]. Toh C. K., 2004. *Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel*. Journal of Sound and Vibration, 278(1), 101-115.
- [4]. Nguyen Nhu Tung, 2020. *Modeling of Machining Dynamics: Cutting Forces and Machining Characteristics in Three-Axis Milling Processes*. Science and Technics Publishing House, Ha Noi, Vietnam.
- [5]. Quintana Guillem, Joaquim Ciurana, 2011. *Chatter in machining processes: A review*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51(5), 363-376.
- [6]. Gagnon V., B. C. Bouzgarrou, P. Ray, C. Barra, 2007. *Model-based chatter stability prediction for high-speed spindles*. International Journal of machine tools and manufacture, 47(7-8), 1176-1186.
- [7]. Fei J., Xu F., Lin B., Huang T., 2020. *State of the art in milling process of the flexible workpiece*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 109, 1695-1725.
- [8]. Quintana G., Ciurana J., 2011. *Chatter in machining processes: A review*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51, 363-376.
- [9]. Munoa J., I. Mancisidor, N. Loix, L. G. Uriarte, R. Barcena, M. Zatarain, 2013. *Chatter suppression in ram type travelling column milling machines using a biaxial inertial actuator*. CIRP Annals, 62(1), 407-410.
- [10]. Munoa Jokin, Xavier Beudaert, Z. Dombvari, Yusuf Altintas, Erhan Budak, Christian Brecher, Gabor Stepan, 2016. *Chatter suppression techniques in metal cutting*. CIRP annals, 65(2), 785-808.
- [11]. Zeng Shasha, Xiaojin Wan, Wenlong Li, Zhouping Yin, Youlun Xiong, 2012. *A novel approach to fixture design on suppressing machining vibration of flexible workpiece*. International journal of machine tools and manufacture, 58(2012): 29-43.
- [12]. D. Biermann, P. Kersting, T. Surmann, 2010. *A general approach to simulating workpiece vibrations during five-axis milling of turbine blades*. CIRP Annals Manufacturing Technology, 59(1), 125-128.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Nhu Tung, Pham Van Dong, Hoang Tien Dung, Vu Dinh Toan, Le Van Phong
Hanoi University of Industry