

**ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ GÁ DAO
ĐẾN ĐỘNG LỰC HỌC PHI TUYẾN QUÁ TRÌNH TIỆN ĐA DAO**
INFLUENCE OF TOOL ATTACHMENT PARAMETERS ON THE NONLINEAR
DYNAMICS OF MULTI-CUTTER TURNING PROCESS

ĐINH ĐỨC TÙNG

Phòng Cơ khí, Động lực, Viện Kỹ thuật Hải quân

**Email liên hệ: mechanic.rk5@gmail.com*

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số gá dao đến động lực học phi tuyến của quá trình tiện đa dao. Tính ổn định cắt liên tục với chiều dày phoi không đổi trong quá trình tiện đa dao được đánh giá qua khả năng kích thích sự tự dao động của các dao bằng biểu đồ phân miền động lực học Poincare - Andronov - Hopf. Sự thay đổi các thông số gá dao dẫn đến sự thay đổi của biểu đồ ổn định với sự dịch chuyển của các đường ranh giới giữa vùng ổn định và vùng mất ổn định của quá trình cắt liên tục. Ngoài ra, mô phỏng các thông số đặc trưng động lực học của quy trình cắt như dao động của dao, sự hình thành phoi,... cho phép đánh giá ảnh hưởng của thông số gá dao đến động lực học phi tuyến của quá trình tiện đa dao.

Từ khóa: *Tiện đa dao, động lực học phi tuyến quy trình cắt, ổn định động lực học, mô hình tiện đa dao, biểu đồ phân miền.*

Abstract

This paper studies the influence of tool attachment parameters on the nonlinear dynamics of multi-cutter turning. The continuous cutting stability with constant chip thickness in multi-cutter turning process is evaluated through the self-oscillating excitation possibility of the cutters using the Poincare - Andronov - Hopf dynamical bifurcation diagram. Changing the tool attachment parameters conditions results in a change of the stability diagram with the boundary curves displacement between the stable and unstable regions of continuous cutting process. In addition, simulating the dynamic characteristics of the cutting process such as tool vibration, chip formation, etc. allows to evaluate the influence of tool attachment parameters on the nonlinear dynamic of the multi-cutter turning process.

Keywords: *Multi-cutter turning, nonlinear dynamic of cutting process, dynamic stability, multi-cutter turning model, bifurcation diagram.*

1. Mở đầu

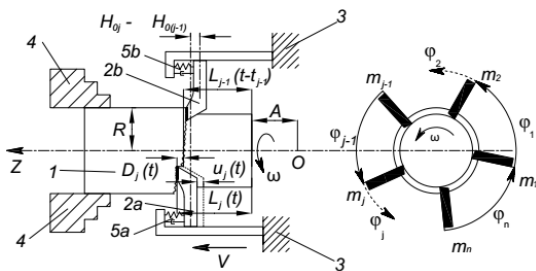
Tiện đa dao là một trong những phương pháp để nâng cao hiệu quả quá trình tiện cơ khí bằng cách kết hợp đồng thời các bước gia công khác nhau như tiện thô và tiện tinh: Trong cùng một bước tiện dao có thể gia tăng chiều sâu cắt, cân bằng các lực hướng tâm, rút ngắn thời gian chạy máy [1-3],... Tuy nhiên, trong một số điều kiện nhất định, quá trình cắt liên tục với độ dày phoi không đổi có thể dẫn đến hiện tượng mất ổn định động lực học của hệ công nghệ [4, 5]. Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự mất ổn định động lực học là xuất hiện sự tự kích thích dao động của dao hoặc phôi do sự phụ thuộc phi tuyến của lực cắt và lực ma sát ở cạnh sau của dao vào vận tốc cắt và độ dày phoi dẫn đến hiện tượng đứt (bẻ) gãy của các phoi dây [6, 7]. Ngoài ra, còn một số nguyên nhân khác như: Hiệu ứng di chuyển trong quy trình cắt, biến dạng dẻo của vật liệu phôi, hiệu ứng nhiệt trong quá trình gia công,... [8-10].

Với quá trình tiện đa dao, sự tự kích thích dao động dọc theo phương tiến dao của các dao tiện là hiện tượng phổ biến. Trong đó, sự đàn hồi, tiêu tán năng lượng đàn hồi tại các liên kết giữa dao và ổ gá đóng vai trò quyết định đến các kiểu dao động khác nhau của dao. Kết quả của quá trình này có thể tạo ra các hình dạng phoi khác nhau. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung nghiên cứu, đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số gá dao đến sự ổn định động lực học quá trình cắt liên tục với chiều dày phoi không đổi của hệ công nghệ tiện đa dao thông qua việc phân tích, đánh giá khả năng tự kích thích dao động của các dao bằng biểu đồ phân miền động lực học Poincare - Andronov - Hopf được xây dựng cho các trường hợp khác nhau của các thông số gá dao. Đồng thời, tiến hành mô phỏng các thông số đặc trưng của quy trình cắt như dao động của các dao, mặt cắt ngang phoi và biến thiên độ dày phoi để đánh giá ảnh hưởng của các thông số gá dao đến động lực học của hệ công nghệ. Kết quả mô phỏng là cơ sở để tối ưu quá trình cắt đa dao với khả năng điều khiển quá trình tạo phoi theo mong muốn.

2. Hệ công nghệ dao - phôi trong tiện đa dao

Hệ công nghệ dao - phôi trong tiện đa dao được cấu thành từ hai thành phần chính là các dao tiện và phôi. Tương tác chính trong hệ là tương tác giữa dao và phôi.

Trong nghiên cứu này, phôi được coi như một vật rắn tuyệt đối có dạng hình trụ bán kính R và chiều dài l . Phôi được gá cứng, cố định trên mâm cặp phôi được dẫn động và chỉ có thể quay đồng tốc cùng trục chính với vận tốc ω . Các dao tiện có khối lượng m_j được coi như vật rắn tuyệt đối và được bố trí theo đường tròn tiết diện ngang của phôi. Hai dao liền kề tạo với nhau góc φ_j , có nghĩa là $\sum_{j=1}^n \varphi_j$ (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý quá trình tiện đa dao

- 1- Phôi; 2a- Dao tiện thứ j; 2b- Dao tiện thứ (j-1);
 3- Ổ gá dao tiện; 4- Mâm kẹp phôi; 5a- Phần tử dao động k_j, d_j ; 5b- Phần tử dao động k_{j-1}, d_{j-1}

Các dao được kẹp trên ổ gá dao bằng liên kết đàn hồi dọc theo phương tiến dao với các thành phần độ cứng đàn hồi được đặc trưng bởi hệ số độ cứng k_j và thành phần tiêu tán năng lượng được đặc trưng bởi hệ số giảm chấn d_j . Các ổ gá dao được cố định trên trục của máy và chỉ có thể chuyển động tịnh tiến với vận tốc V . Trong nghiên cứu này chỉ xem xét dao động của các dao dọc theo phương tiến dao.

Trong Hình 1: H_{0j} - Độ lệch của dao thứ j so với dao thứ nhất dọc theo phương tiến dao; A - Khoảng cách từ tọa độ ban đầu của dao thứ nhất đến mặt đầu bên phải của phôi; $D_j(t)$ - Khoảng cách từ dao thứ j đến mặt phẳng đã được gia công bởi dao phía trước, tức là dao thứ $(j - 1)$ tại thời điểm $(t - t_{j-1})$ trước đó; t - Thời gian hiện tại; $L_j(t)$ - Khoảng cách từ mặt đầu bên phải của phôi đến mặt phẳng đang được gia công bởi dao thứ j tại thời điểm t ; $L_{j-1}(t - t_{j-1})$ - khoảng cách từ mặt đầu bên phải của phôi đến mặt phẳng đã được gia công bởi dao thứ $(j - 1)$ tại thời điểm $(t - t_{j-1})$; $u_j(t)$ - Dao động dọc theo phương tiến dao của dao thứ j ; m_j - Khối lượng của dao. Bước tiến dao được tính theo công thức $h_0 = VT$ với T là chu kỳ quay phôi, với $T = 2\pi/\omega$.

3. Mô hình toán của quá trình tiện đa dao

Trong quá trình tiện đa dao, các dao sẽ gia công các bề mặt riêng biệt, sự liên hệ giữa các dao thông qua các bề mặt đã được gia công trước đó bởi dao phía trước (sự di chuyển). Có nghĩa là tại thời điểm t dao thứ j sẽ gia công bề mặt đã được dao thứ $(j - 1)$ gia công tại thời điểm $(t - t_{j-1})$ trước đó hay có thể hiểu rằng thông tin trạng thái mặt phẳng đầu vào của dao thứ j chính là thông tin trạng thái mặt phẳng đầu ra của dao thứ $(j - 1)$. Mô hình toán của quá trình tiện đa dao có thể được mô tả dưới dạng hệ phương trình gồm ba nhóm phương trình như sau:

$$\begin{cases} D_j(t) = Vt - u_j(t) - L_{j-1}(t - t_{j-1}) + A - H_{0j} \\ h_j(t) = \max[0, D_j(t)] \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} L_j(t) = L_{j-1}(t - t_{j-1}) + h_j(t) \\ m_j \ddot{u}_j = -d_j \dot{u}_j - k_j u_j + F_{cj} \end{cases} \quad (1.2) \quad (1)$$

$$\begin{cases} F_{cj} = K_0 h_j(t) \frac{c + r h_j(t)}{c + h_j(t)} \\ j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (1.3)$$

Trong đó: Các phương trình (1.1), (1.2) và (1.3) lần lượt là phương trình tạo mặt mới, phương trình chuyển động của các dao và phương trình lực cắt với mô hình dạng phân thức hữu tỷ ba hằng số [10]; t_{j-1} - Được gọi là biến trễ; $h_j(t)$ - Giá trị tức thời của độ dày phoi được cắt bởi dao thứ j tại thời điểm t ; F_{cj} - Thành phần lực cắt tác động lên dao thứ j dọc theo phương tiến dao tại thời điểm t khi giá trị tức thời của độ dày phoi là $h_j(t)$; c, r - Các hằng số thực nghiệm. $K_0 = \gamma \sigma_w B$ - Độ cứng cắt, với σ_w - Là độ cứng đặc trưng của vật liệu phôi; B - Chiều sâu cắt (trong trường hợp này là chiều rộng phoi); γ - Hệ số được xác định bằng thực nghiệm, đặc trưng cho ảnh hưởng của các thống số hình học của dao, điều kiện cắt, chế độ gia công đến lực cắt.

Hệ phương trình (1) được gọi là mô hình động lực học đầy đủ của quá trình tiện đa dao. Để thuận tiện cho quá trình nghiên cứu, hệ phương trình (1) được đưa về dạng không thứ nguyên (dimensionless form) với các hằng số tỷ lệ đồng dạng tuyến tính theo bước tiến dao h_0 , thời gian một chu kỳ dao động của dao T_* và theo lực cắt F_* với:

$$T_* = \sqrt{\sum_{j=1}^n T_j^2 / n}; \quad T_j = 2\pi \sqrt{m_j / k_j} \quad \text{và} \quad F_* = K_0 h_0$$

Sử dụng các hằng số trên chúng ta có:

$$(A_j, \Delta_j, \xi_j, \eta_j, \eta_*, A, H_{0j}) = \frac{1}{h_0} (L_j, D_j, u_j, h_j, c, A, H_{0j});$$

$$(\tau, \rho) = \frac{1}{T_*} (t, T), \quad \frac{Vt}{h_0} = \frac{\tau}{\rho}, \quad \zeta_j = \frac{d_j}{2\sqrt{m_j k_j}}; \kappa_j = \frac{K_0}{k_j}; \Pi_j = \frac{F_{c_j}}{F_0 h_0}$$

Trong đó: ρ - Là tỷ số giữa tần số dao động riêng của dao với tần số quay phôi, $1/\rho = \omega/\omega_*$ là đại lượng không thứ nguyên của vận tốc cắt; κ_j - Độ cứng cắt tương đối, là tỷ số giữa độ cứng của vật liệu và độ cứng đàn hồi của liên kết dao với ổ gá, để đảm bảo quá trình cắt diễn ra thì $0 < \kappa_j \leq 1$; Π_j - Dạng không thứ nguyên của lực cắt F_{c_j} .

Thay các biểu thức tỷ lệ vào hệ phương trình (1) chúng ta được dạng không thứ nguyên của mô hình động lực học quá trình tiện đa dao như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_j(\tau) = \tau/\rho - \xi_j(\tau) - \Lambda_{j-1}(\tau - \tau_{j-1}) + A - H_{0j}; \\ \eta_j(\tau) = \max[0, \Delta_j(\tau)]; \\ \Lambda_j(\tau) = \Lambda_{j-1}(\tau - \tau_{j-1}) + \eta_j(\tau); \\ \xi_j + 4\pi\zeta_j \dot{\xi}_j + 4\pi^2 \kappa_j \xi_j = 4\pi^2 \kappa_j \Pi_j; \\ \Pi_j = \eta_j \frac{\eta_* + r\eta_j}{\eta_* + \eta_j}; \\ j = \overline{1, n}; \sum_{j=1}^n \tau_j = \rho \end{array} \right. \quad (2)$$

Phương trình tọa độ mặt $\Lambda_j(\tau)$ được gọi là phương trình đại số với biến trễ. Để giải, chúng cần được xác định trước bằng các tập hợp giá trị ban đầu. Giả sử rằng bề mặt tự do chưa gia công của phôi là lý tưởng phẳng tuyệt đối. Có nghĩa, trước khi quá trình cắt diễn ra $\Lambda_j(\tau) = 0$ với $\tau < 0$. Các hàm giá trị ban đầu của $\Lambda_j(0)$ khi đưa vào hệ phương trình (2.1) cần phải thỏa mãn điều kiện vòng kín tuần hoàn, có nghĩa là: $\Lambda_j(0) = \Lambda_{(j-1)0}(-\tau_{j-1})$ và $\Lambda_1(0) = \Lambda_{n0}(-\tau_n)$.

4. Ổn định cắt liên tục quá trình tiện đa dao

Trong quá trình cắt liên tục với độ dày phoi không đổi thì: $\eta_j \equiv \Delta_j = \text{const}$, khi đó hệ phương trình tạo mặt mới (2.1) sau khi rút gọn chúng ta nhận được phương trình của độ dày phoi có dạng:

$$\eta_j(\tau) = \Delta_j(\tau) = \tau_{j-1}/\rho - \xi_j(\tau) + \xi_{j-1}(\tau - \tau_{j-1}) \quad (3)$$

Điều kiện để đảm bảo quá trình cắt liên tục với độ dày phoi không đổi là $\eta_j^0 = \eta_{j0} = \eta(\text{const}_j)$. Để đảm bảo điều kiện trên thì các dao phải không có dao động hoặc biên độ của các dao động của các dao phải là giá trị hằng số, có nghĩa là $\xi_j^0 = \xi_{j0} = \xi(\text{const}_j)$. Khi đó, mô hình (2) được gọi là mô hình tiện tĩnh và được mô tả bởi hệ phương trình sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{j0} = \tau_{j-1}/\rho - \xi_{j0} + \xi_{(j-1)0}; \\ \Pi_{j0} = \eta_{j0} \frac{\eta_* + r\eta_{j0}}{\eta_* + \eta_{j0}}; \\ \xi_{j0} = \kappa_j \Pi_{j0} \end{array} \right. \quad (4)$$

Để đánh giá tính ổn định thông thường chúng ta sử dụng phương trình chuyển động của hệ công nghệ, ở đây là phương trình dao động của các dao (2.2). Trong dạng biến đổi tiệm cận với các chuyển động tĩnh của hệ được mô tả như sau:

$$\delta \ddot{\xi}_j + 4\pi\zeta_j \delta \dot{\xi}_j + 4\pi^2 \delta \xi_j = 4\pi^2 \kappa_j p_j (-\delta \xi(\tau) + \delta \xi(\tau - \tau_{j-1})) \quad (5)$$

Trong đó, p_j là hệ số độ cứng tiếp tuyến tại vùng chịu tác dụng của lực cắt, phụ thuộc vào độ dày lớp vật liệu phoi η_{j0} và được tính bằng công thức:

$$p_j = \frac{\partial \Pi_j}{\partial \eta_j} \Big|_{\eta_j = \eta_{j0}} = r + \frac{\eta_*^2 (1-r)}{(\eta_* + \eta_{j0})^2}$$

Thấy rằng: $p_j|_{\eta_{j0}=0} = 1, p_j|_{\eta_{j0} \rightarrow \infty} = r$ do đó $r \leq p_j \leq 1$.

Với các giá trị thông số của hệ tiện đa dao cho trước ($\tau_j, \eta_*, r, \kappa_j, H$) thì nghiệm của hệ (4) là các giá trị cắt tĩnh gồm ($\eta_{j0}, \Pi_{j0}, \xi_{j0}$) và các hệ số độ cứng tiếp tuyến p_j . Có thể tìm thấy nghiệm đặc trưng của hệ phương trình vi phân (5) có dạng $\delta \xi_j = C_j \exp(-\lambda \tau_j)$. Thế nghiệm vào phương trình (5) chúng ta nhận được phương trình đặc trưng có dạng:

$$\lambda^2 + 4\pi\zeta_j \lambda + 4\pi^2 (1 + \kappa_j p_j) C_j - 4\pi^2 \kappa_j p_j C_{j-1} e^{-\lambda \tau_{j-1}} = 0 \quad (6)$$

Phương trình (6) có nghiệm với C_j là hằng số khi định thức của ma trận hệ số bằng 0, có nghĩa là:

$$\left\{ \begin{array}{l} \prod_{j=1}^n A_j - \prod_{j=1}^n B_j = 0 \\ A_j = \lambda^2 + 4\pi\zeta_j \lambda + 4\pi^2 (1 + \kappa_j p_j) \\ B_j = 4\pi^2 \kappa_j p_j e^{-\lambda \tau_{j-1}} \end{array} \right. \quad (7)$$

Trong phương trình (7) với mỗi giá trị của λ luôn xác định được giá trị của độ cứng tương đối κ_j phụ thuộc vào vận tốc quay phôi $1/\rho$. Thấy rằng, nếu nghiệm $\lambda = 0$ thì phương trình (7):

$$F = (4\pi^2)^n \left[\prod_{j=1}^n (1 + \kappa_j p_j) - \prod_{j=1}^n \kappa_j p_j \right] \neq 0$$

Nên nghiệm của (7) không có khả năng phân kỳ, có nghĩa là trong hệ động lực tiện đa dao không thể xảy ra kiểu mất ổn định nào khác ngoài sự mất ổn định cắt liên tục do sự tự kích thích dao động của các dao tương ứng với sự phân miền động lực học theo Poincare - Andronov - Hopf. Trên đường ranh giới giữa các miền ổn định và mất ổn định cắt liên tục, nghiệm của phương trình đặc trưng λ có dạng: $\lambda = 2\pi i s$ với s là số nguyên. Khi đó, phương trình (7) có dạng:

$$\begin{cases} \prod_{j=1}^n A_j' - \prod_{j=1}^n B_j' = 0 \\ A_j' = -s^2 + 2\zeta_j is + (1 + \kappa_j p_j) \\ B_j' = \kappa_j p_j e^{-2\pi i s \tau_j - 1} \end{cases} \quad (8)$$

Trong nghiên cứu này, để thực hiện mô phỏng chúng ta xét một trường hợp riêng của tiện đa dao là quá trình tiện hai dao (n=2) được gá đồng đều, đối xứng. Có nghĩa là $\varphi_1 = \varphi_2 = \pi$ và $H_{0j} = 0$. Phương trình (6) cho hệ tiện hai dao có thể viết với nghiệm s như sau:

$$\begin{cases} (-s^2 + 2\zeta_1 is + 1 + \kappa_1 p_1) C_1 - C_2 \kappa_1 p_1 e^{-2\pi i s \tau_2} = 0 \\ (-s^2 + 2\zeta_2 is + 1 + \kappa_2 p_2) C_2 - C_1 \kappa_2 p_2 e^{-2\pi i s \tau_1} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Biểu diễn các hệ số giảm chấn và độ cứng cắt tương đối thông qua hệ số trung gian (ζ, κ) với các tỷ số (b_z, b_k) như sau: $\zeta_2 = b_z \zeta_1 = b_z \zeta$; $\kappa_2 = b_k \kappa_1 = b_k \kappa$. Hệ (8) có thể được viết lại thành:

$$\begin{cases} (-s^2 + 2\zeta is + 1 + \kappa p_1) C_1 - C_2 \kappa p_1 e^{-2\pi i s \tau_2} = 0 \\ (-s^2 + 2b_z \zeta is + 1 + b_k \kappa p_2) C_2 - C_1 b_k \kappa p_2 e^{-2\pi i s \tau_1} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

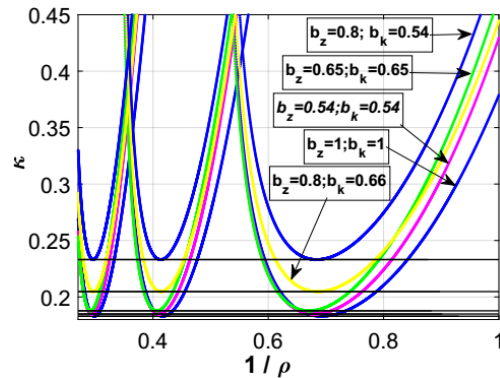
Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số gá dao đến ổn định của hệ công nghệ tiện đa dao chúng ta tiến hành so sánh biểu đồ ổn định đối với thông số trung gian κ trong các trường hợp hai dao được gá giống nhau ($b_z = b_k = 1$) với trường hợp các dao được gá khác nhau ($b_z = b_k \neq 1$) và ($b_z \neq b_k$). Vì vai trò của hai dao là như nhau, do đó chúng ta chỉ xem xét với trường hợp $0 \leq (b_z, b_k) \leq 1$. Giải đồng thời các phương trình (3) và phương trình định thức của ma trận hệ số của (10) với các giá trị cho trước của hệ công nghệ gồm ($\zeta = 0,05; \eta_* = 0,15; r = 0,55; \tau_j = \pi$) cho phép thiết lập biểu đồ phân miền đối với giá trị độ cứng tương đối κ phụ thuộc vào vận tốc cắt tương đối $1/\rho$ (Hình 2) cho các trường hợp khác nhau của tỷ số (b_z, b_k) được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Các trường hợp gá dao và giá trị κ_{min}

Các trường hợp gá dao	b_z	b_k	κ_{min}
Trường hợp 1	1.00	1.00	0.1829
Trường hợp 2	0.65	0.65	0.1849
	0.54	0.54	0.1877
Trường hợp 3	0.80	0.66	0.2048
	0.80	0.54	0.2331

Quan sát biểu đồ phân miền động lực học (Hình 2) và các giá trị trong Bảng 1, có thể nhận thấy rằng đối

với trường hợp 2 khi các tỷ số $b_z = b_k = 0,65$ và $b_z = b_k = 0,54$, miền ổn định động lực học của hệ (phần dưới đường ranh giới) được mở rộng hơn so với trường hợp 1 ($b_z = b_k = 1$) và khi các tỷ số (b_z, b_k) giảm thì miền ổn định tiếp tục được mở rộng với việc tăng lên của giá trị cực tiểu κ_{min} và sự nâng lên của các đường nằm ngang qua các điểm cực tiểu. Tuy nhiên, sự thay đổi này không đáng kể.



Hình 2. Biểu đồ phân miền động lực học

Trong trường hợp 3, khi các tỷ số khác nhau với ($b_z = 0,8; b_k = 0,66$) và ($b_z = 0,8; b_k = 0,54$), sự thay đổi của miền ổn định diễn ra theo xu hướng tương tự như đối với trường hợp 2 nhưng miền ổn định thay đổi mạnh và rõ rệt hơn.

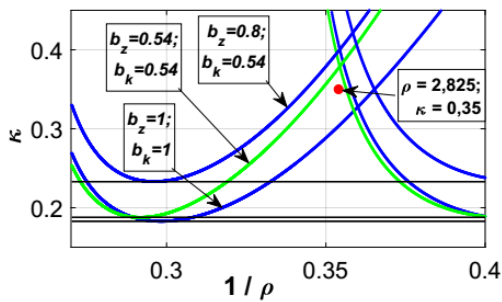
5. Ảnh hưởng của thông số gá dao đến động lực học phi tuyến của hệ tiện đa dao

Để nghiên cứu động lực học hệ công nghệ tiện đa dao sử dụng hệ (2). Đây là hệ phương trình vi phân đại số có biến trễ vì có chứa phương trình đại số có biến trễ $\Lambda_j(\tau)$, để giải hệ này chúng ta đưa hệ về dạng hệ phương trình vi phân có biến trễ bằng cách thêm vào vế trái của phương trình $\Lambda_j(\tau)$ phần tử vi phân $\varepsilon \Lambda_j'(\tau)$ với hệ số ε dương và rất nhỏ $0 < \varepsilon \ll 1$ (phương pháp ε – embedding) [10]. Khi đó, phương trình tọa độ mặt trở thành phương trình vi phân với biến trễ có dạng:

$$\varepsilon \Lambda_j'(\tau) = -\Lambda_j(\tau) + \Lambda_{j-1}(\tau - \tau_{j-1}) + \eta_j(\tau), \quad 0 < \varepsilon \ll 1 \quad (11)$$

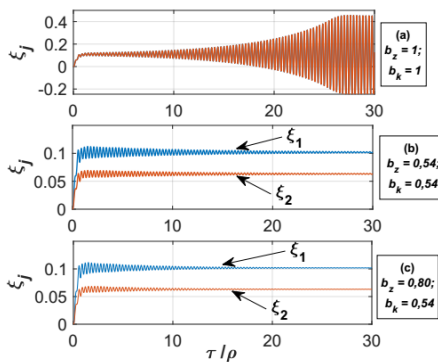
Với phương trình (11), hệ phương trình (2) trở thành hệ phương trình vi phân có biến trễ và có thể giải trong môi trường Matlab bằng công cụ giải phương trình vi phân có biến trễ dde23.

Để mô phỏng, lựa chọn thông số độ cứng tương đối trên biểu đồ ở Hình 2 với điểm giá trị ($\kappa = 0,35; \rho = 2,825$) nằm phía trên của đường ranh giới (miền mất ổn định cắt liên tục) của trường hợp 1 và nằm phía dưới đường ranh giới (miền ổn định cắt liên tục) của trường hợp 2 và trường hợp 3 (Hình 3).

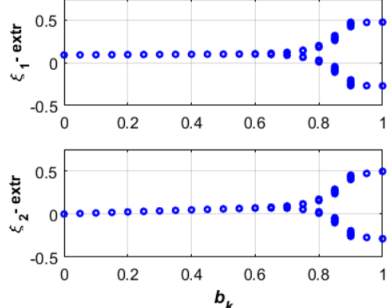


Hình 3. Giá trị lựa chọn mô phỏng

Với các giá trị cho trước của hệ công nghệ tiện hai dao $\zeta = 0,05$; $r = 0,55$; $\eta_* = 0,15$ và hệ số vi phân $\varepsilon = 10^{-3}$, tiến hành mô phỏng số các thông số dao động dọc trục của các dao ξ_j phụ thuộc vào thời gian tương đối τ/ρ trong các trường hợp khác nhau đối với các tỷ số (b_z, b_k) ở Bảng 1. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 4. Trong Hình 4, đồ thị (a) xảy ra hiện tượng mất ổn định cắt liên tục với dao động của các dao tăng dần và tiến dần đến trạng thái dao động điều hòa. Ngược lại, trong các đồ thị (b) và (c) dao động của các dao giảm dần và dần tiến tới trạng thái không dao động do trong các trường hợp này giá trị $\kappa = 0,35$ nằm trong miền ổn định cắt liên tục.



Hình 4. Dao động dọc trục của các dao

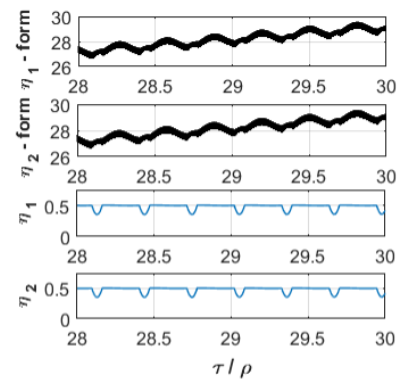


Hình 5. Sự phân bố cực trị dao động của các dao

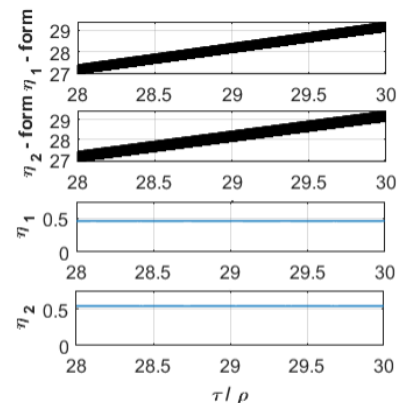
Với các giá trị của thông số hệ công nghệ trên và trường hợp $(b_z = 0,8)$, xây dựng đồ thị phân bố các cực trị của dao động các dao phụ thuộc vào tỷ số đối

cứng tương đối $b_k = \kappa_2/\kappa_1$ (Hình 5). Đối với mỗi giá trị của b_k xây dựng được đồ thị dao động của các dao và xác định được các điểm cực trị của dao động. Các điểm cực trị được phân bố trên đồ thị theo sự thay đổi của giá trị b_k .

Nhận thấy rằng, khi giá trị b_k thay đổi trong khoảng $0 < b_k < 0,6$ các dao động nhận được của các chi có 1 điểm cực trị hoặc có một số điểm cực trị nhưng chênh lệch giữa các cực trị không quá lớn, khi đó các giá trị độ cứng tương đối nằm trong miền ổn định cắt liên tục, tại các giá trị tiếp theo $b_k > 0,6$, xuất hiện các cực trị khác nhau, đồng nghĩa với sự mất ổn định cắt liên tục, khi giá trị độ cứng tương đối trong liên kết của các dao nằm trong miền mất ổn định cắt liên tục.



Hình 6. Mặt cắt ngang và biến thiên độ dày của phoi khi $b_z=b_k=1$



Hình 7. Mặt cắt ngang và biến thiên độ dày của phoi khi $b_z=0,8; b_k=0,54$

Tương ứng với trạng thái dao động của các dao, sẽ tạo ra các hình dạng phoi khác nhau. Trong Hình 6 là hình ảnh mặt cắt ngang của phoi và sự biến thiên độ dày phoi được tạo thành bởi mỗi dao phụ thuộc vào thời gian tương đối cho trường hợp hai dao được gá như nhau (trường hợp 1) với tỷ số $b_z = b_k = 1$.

Để dàng nhận thấy rằng với trường hợp này khi

giá trị độ cứng tương đối nằm trong vùng mất ổn định cắt liên tục, khi có sự dao động của dao thì mặt cắt ngang của phoi xảy ra sự thay đổi lớn và phoi có xu hướng bị đứt gãy. Trong cùng một tốc độ cắt, khi tăng giá trị độ cứng tương đối, dao động của các dao sẽ tăng lên về biên độ dẫn đến phoi sẽ bị chia nhỏ.

Trường hợp hai dao được gá khác nhau với giá trị độ cứng tương đối $\kappa = 0,35$ nằm trong miền ổn định cắt liên tục, các phoi tạo thành không có sự thay đổi lớn trên mặt cắt ngang, phoi vẫn ở dạng dây với độ dày không đổi (Hình 7).

6. Kết luận

Việc gá dao với các thông số độ cứng đàn hồi và giảm chấn khác nhau tạo ra sự không đối xứng giữa các dao tương tự như trường hợp bố trí các dao không đối xứng được xem xét trong nghiên cứu [10].

Sự khác nhau của các thông số gá dao ảnh hưởng đến động lực học của quá trình tiện đa dao với sự mở rộng của miền ổn định cắt liên tục, và ảnh hưởng đến động lực học quá trình cắt, cụ thể là dao động của các dao dẫn đến hình thành các dạng phoi khác nhau trong quá trình cắt.

Trong một số trường hợp có thể ứng dụng phương pháp gá dao với thông số khác nhau để tạo ra hiệu quả của việc chia nhỏ phoi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kalidasan, R., Yatin, M., Sarma, D. K., and Senthilvelan, U.S. (2016), *A experimental study of cutting forces and temperature in multi-tool turning of grey cast iron*, Int. J. of Machining and Machinability of Materials, Vol.18, No.5, pp.540-551.
- [2] Reith, M. J., Bachrathy D., and Stepan G. (2016), *Improving the stability of multi-cutter turning with detuned dynamics*, Machining Science and Technology, Vol.20 No.3, pp.440-459.
- [3] Azvar, M., and Budak, E. (2016), *Multi-dimensional modelling of chatter stability in parallel turning operation*, Proceedings of the 17th International Conference on Machine Design and Production.
- [4] Козочкин М. Р. (2013), *Динамика процесса резания. Теория, эксперимент, анализ*, Lambert Academic Publishing, 297p.
- [5] Dombrovaria, Z., Barton, D. A. W., Wilson R. E., and Stepan G. (2011), *On the global dynamics of chatter in the orthogonal cutting model*, Int. J. of Nonlinear Mechanics, No.46, pp.330-338.
- [6] Kondratenko, K., Gousov A.M., Gousov M.A., Lorong Ph. and Panovko, G. (2014), *Analysis of indirect measurement of cutting forces turning metal cylindrical shells*, Vibration Engineering and Technology of Machinery, pp.929-937.
- [7] Gousov A.M., Gousov M.A., Lorong Ph. and Panovko G. (2017), *Influence of the clearance face on the condition of chatter self-excitation during turning*, Int. J. of Machining and Machinability of Materials, Vol.19, No.1, pp.17-39.
- [8] Gerasimenko, A., Gousov, A.M., Lorong, Ph. and Panovko, G. (2016), *Analytical approach of turning thin-wall tubular parts. Stability analysis of regenerative chatter*, Vibroengineering Procedia, Vol.8, pp.179-184.
- [9] Gousov A., Panovko G. and Dinh Duc Tung (2020), *Effect of the compliance of the part on the double turning process*, Nonlinear Dynamics of Structures, Systems and Devices (Springer) -Proceeding of the First International Nonlinear Dynamics Conference (NODYCON 2019), Vol.1, pp.503-511.
- [10] Gousov, A.M., Gousov M.A., D.D. Tung and Panovko, G.Y. (2019), *Nonlinear Regenerative Dynamics Analysis of the Multicutter Turning Process*, Russian Journal of Nonlinear Dynamics, Vol.15, No.2, pp.145-158.

Ngày nhận bài:	06/01/2023
Ngày nhận bản sửa:	01/03/2023
Ngày duyệt đăng:	07/03/2023