

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC NGƯỢC CƠ CẤU MÁY MÀI NGHIÊN CHI TIẾT QUANG CNC MB-250

Nguyễn Trọng Hùng^{1, *}, Nguyễn Văn Khang², Vũ Xuân Trường¹

¹Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: [nthung.utehy@yahoo.com](mailto: nthung.utehy@yahoo.com)

Đến Tòa soạn: 11/12/2013; Chấp nhận đăng 11/03/2014

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp phân tích động lực học ngược của cơ cấu máy mài nghiên chi tiết quang CNC MB-250. Bằng việc sử dụng phương trình Lagrăng dạng nhân tử cho các tọa độ suy rộng dư đối với cơ hệ có cấu trúc mạch vòng (*dạng giải tích và ma trận*), chúng tôi đã thiết lập được hệ phương trình vi phân chuyển động của cơ cấu máy, từ đó xác định được mômen lực đặt vào khâu dẫn. Kết quả của bài toán được dùng để nghiên cứu điều kiện cân bằng động của khớp đĩa gá và đĩa nghiên và nâng cao độ chính xác gia công.

Từ khóa: động lực học ngược, cơ cấu, phương trình Lagrăng nhân tử, máy mài nghiên chi tiết quang, CNC MB-250.

1. MỞ ĐẦU

Vấn đề nghiên cứu ảnh hưởng của các lực tác dụng lên cơ cấu khi mài nghiên chi tiết quang, để nâng cao độ chính xác gia công, là vấn đề đặt ra đối với các nhà công nghệ. Nhiệm vụ này sẽ giải quyết được khi nghiên cứu động lực học cơ cấu máy mài nghiên.

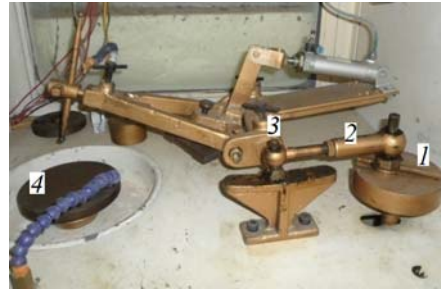
Sau khi nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố động học cơ cấu máy đến độ chính xác gia công, thì việc nâng cao độ chính xác tạo hình bề mặt chi tiết quang khi mài nghiên theo hướng nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố động lực học cơ cấu của máy, là một trong những biện pháp hiệu quả cần được nghiên cứu [1].

Xét máy mài nghiên chi tiết quang CNC MB-250, cơ cấu khâu trên có dạng bốn khâu đòn bản lề, hiện đang được sử dụng tại Phòng thí nghiệm Cơ khí chính xác, Bộ môn Cơ khí chính xác và Quang học, Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Việc nghiên cứu động lực học cơ cấu máy mài nghiên có thể sử dụng các kết quả nghiên cứu gần đây của động lực học hệ nhiều vật, để thiết lập các công thức xác định mômen động đặt vào khâu dẫn.



a. Máy CNC MB-250.



b. Cụm cơ cấu khâu trên.

Hình 1. Máy mài nghiền CNC MB-250.

Trong bài báo này, trình bày việc xây dựng và giải bài toán động lực học ngược cơ cấu máy nghiền chi tiết quang CNC MB-250, bằng việc sử dụng dạng giải tích và dạng ma trận của phương trình Lagrăng dạng nhân tử cho các tọa độ suy rộng dư đối với cơ hệ có cấu trúc mạch vòng, dùng để thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của cơ cấu máy, xác định được mômen động đặt vào khâu dẫn [4].

2. PHƯƠNG TRÌNH LAGRĂNG DẠNG NHÂN TỬ CHO CÁC TỌA ĐỘ SUY RỘNG DƯ ĐỐI VỚI CƠ HỆ CÓ CẤU TRÚC MẠCH VÒNG [2], [5]

Định lý 1 (Van Khang, 2010). Cho ma trận $\mathbf{A} = \mathbf{A}(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{m \times p}$ là một hàm của vectơ $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ và $\mathbf{x}(t)$ là một hàm của thời gian, khi đó đạo hàm ma trận \mathbf{A} theo thời gian được xác định như sau:

$$\frac{d\mathbf{A}(\mathbf{x})}{dt} = \frac{\partial \mathbf{A}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} (\mathbf{I}_n \otimes \dot{\mathbf{x}}) \quad (1)$$

Định lý 2 (Van Khang, 2010). Cho hai ma trận $\mathbf{A}(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{m \times p}$ và $\mathbf{B}(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{q \times s}$ là một hàm của vectơ $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$. Khi đó đạo hàm từng phần của tích hai ma trận được xác định như sau:

$$\frac{d}{dt} (\mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{B}(\mathbf{x})) = \frac{\partial \mathbf{A}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} (\mathbf{B}(\mathbf{x}) \otimes \mathbf{I}_n) + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \mathbf{x}} \quad (2)$$

trong đó, \mathbf{I}_n là ma trận vuông cấp n .

Phương trình Lagrăng dạng nhân tử (3) được sử dụng thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của cơ hệ áp dụng cho các cơ hệ có liên kết holoônôm (phương trình liên kết không chứa vận tốc) và có cấu trúc mạch vòng với tọa độ suy rộng dư:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{F}_q^T \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau}(\mathbf{q}) \quad (3)$$

trong đó:

f	Số bậc tự do của cơ hệ
n	Số tọa độ suy rộng $n > f$
$\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$	Vectơ tọa độ suy rộng
$\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T$	Vectơ tốc độ suy rộng.

$\ddot{\mathbf{q}} = [\ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \dots, \ddot{q}_n]^T$	Véc tơ gia tốc suy rộng.
$\alpha = n - f$	Số phương trình liên kết bổ sung
$f_i = 0 \quad (i = \overline{1, \alpha})$	Các phương trình liên kết bổ sung
$\mathbf{F}_q = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{q}}$	Ma trận đạo hàm riêng của các phương trình liên kết theo các tọa độ suy rộng, trong đó: $\mathbf{f} = [f_1, f_2, f_\alpha]^T$
$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\alpha]$	Ma trận các nhân tử Lagrăng

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ GIẢI BÀI TOÁN

3.1. Xác định khối lượng, mômen quán tính khối và tọa độ khối tâm các khâu

Dụng cụ và thiết bị đo: sử dụng thước cặp (giá trị chia 0,5 mm) để đo chiều dài và kích thước hình học của các khâu và cân đĩa (giá trị chia 0,01 kg) để cân khối lượng thực tế của các khâu. Kết quả đo được chỉ dẫn trong (bảng 3.1).

Bảng 3.1. Kết quả đo kích thước và khối lượng các khâu.

Khâu	Chiều dài (mm)	Khối lượng (kg)
0	310	-
1	29,5	2,42
2	158,5	0,56
3	285	8,84

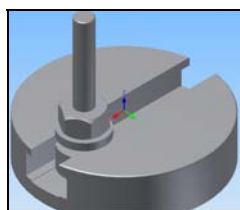
Sử dụng phần mềm Autodesk Inventor 2012: để thiết kế các bản vẽ 3D của các khâu theo các kích thước đã đo, với vật liệu chế tạo các khâu là thép CT45 (hoặc có thể sử dụng công nghệ Scan 3D để xây dựng các mô hình tương ứng trên máy tính từ vật thể thực).

Các bước tiến hành như sau:

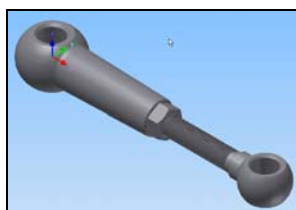
Bước 1: Sử dụng môi trường thiết kế vật thể 3D (standart.mm) trên phần mềm Inventor (viết tắt là IV) để thiết kế các khâu theo các thông số đã đo từ thực nghiệm.

Bước 2: Thiết lập hệ tọa độ vật của khâu.

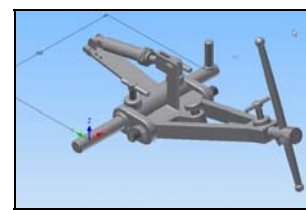
Bước 3: Sử dụng *iProperties* của IV, khai báo vật liệu và xuất các kết quả tính toán.



Hình 2a. Mô hình 3D và hệ tọa độ vật của khâu 1.



Hình 2b. Mô hình 3D và hệ tọa độ vật của khâu 2.



Hình 2c. Mô hình 3D và hệ tọa độ vật của khâu 3.

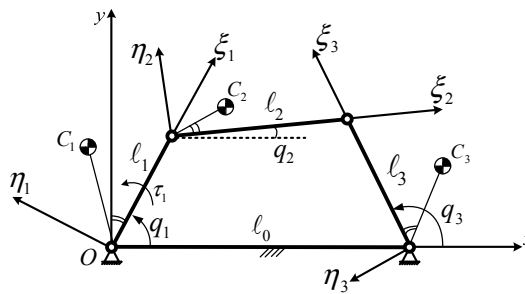
Bảng 3.2. Các kết quả tính toán trên phần mềm Inventor 2012.

Khâu	Khối lượng (kg)	Chiều dài, (mm)	Mômen quán tính khối J_z (kg.mm ²)	Tọa độ khối tâm (mm)		
				$x_i = \xi_{C_i}$	$y_i = \eta_{C_i}$	$z_i = \psi_{C_i}$
0	-	310	-	-	-	-
1	2,452	29,5	4112,803	0	-2,624	-1,133
2	0,535	158,5	3111,601	52,633	0,001	-0,015
3	8,876	285	159558,986	65,306	-1,751	26,874

Khối lượng các khâu trên bảng tính toán xấp xỉ các giá trị đo được từ thực nghiệm.

3.2. Thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động

Khảo sát mô hình động lực học cụm cơ cấu khâu trên (hình 3) của máy mài nghiền chi tiết quang CNC MB-250 (cơ hệ chuyển động trong mặt phẳng nằm ngang).



Hình 3. Mô hình động lực học cụm cơ cấu khâu trên.

Gọi: m_i, l_i, I_i lần lượt là khối lượng, chiều dài, mômen quán tính khối của khâu thứ i . (ξ_{C_i}, η_{C_i}) là tọa độ khối tâm C_i của khâu thứ i trong hệ tọa độ vật. Số bậc tự do của hệ [2]:

$$f = k.(p - n_J) + \sum_{i=1}^{n_J} f_{J_i} \quad (4)$$

trong đó: Cơ cấu không gian $k = 6$, cơ cấu phẳng $k = 3$; f là số bậc tự do của cơ cấu; p là số khâu động; n_J là số lượng các khớp trong cơ cấu; f_{J_i} là bậc tự do của khớp động thứ i .

Chú ý rằng, khi mài nghiền chi tiết quang có bề mặt phẳng hoặc thấu kính - chi tiết có độ cầu nhỏ, như vậy chuyển động theo phương z nhỏ, do đó có thể bỏ qua.

Suy ra, cơ cấu máy có dạng bốn khâu bản lề phẳng, số khâu động $p = 3$, số các khớp trong cơ cấu $n_J = 4$, số bậc tự do của các khớp $f_{J_1} = f_{J_2} = f_{J_3} = f_{J_4} = 1$ (khớp quay).

Thay vào công thức (4), ta có số bậc tự do của cơ hệ:

$$f = 3(3-4) + 4 = 1.$$

Chọn tọa độ suy rộng dư: $\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T$

Suy ra, các véc tơ tốc độ suy rộng và véc tơ gia tốc suy rộng lần lượt là:

$$\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1 \quad \dot{q}_2 \quad \dot{q}_3]^T; \quad \ddot{\mathbf{q}} = [\ddot{q}_1 \quad \ddot{q}_2 \quad \ddot{q}_3]^T$$

Áp dụng phương trình Lagrange dạng nhân tử, ta có:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_1} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_1} + Q_1^* - \sum_{i=1}^2 \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial q_1} \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_2} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_2} + Q_2^* - \sum_{i=1}^2 \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial q_2} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_3} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_3} + Q_3^* - \sum_{i=1}^2 \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial q_3} \end{array} \right. \quad (7)$$

3.2.1. Tính động năng của cơ hệ

Tính ma trận khối lượng suy rộng $\mathbf{M}(\mathbf{q})$:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^3 m_i \mathbf{J}_{Ti}^T \mathbf{J}_{Ti} + \sum_{i=1}^3 \mathbf{J}_{Ri}^T \mathbf{I}_i \mathbf{J}_{Ri} \quad (8)$$

Ta thấy rằng, ma trận khối lượng suy rộng $\mathbf{M}(\mathbf{q})$ là một ma trận đối xứng.

Động năng cơ hệ tính theo công thức:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{M}(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}} \quad (9)$$

Từ dạng thức của phép dời trục song song Huyghen, suy ra động năng của cơ hệ:

$$T = \frac{1}{2} (J_1 + m_2 l_1^2) \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{q}_2^2 + \frac{1}{2} J_3 \dot{q}_3^2 + m_2 l_1 [\xi_{c2} \cos(q_2 - q_1) - \eta_{c2} \sin(q_2 - q_1)] \dot{q}_1 \dot{q}_2 \quad (10)$$

3.2.2. Thế năng trọng lực

Do cơ cấu khâu trên chuyển động trong mặt phẳng nằm ngang, suy ra thế năng của cơ cấu so với gốc thế năng bất kì là một hằng số.

$$\Pi = const \quad (11)$$

do đó:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q_k} = 0 \quad \forall k = 1..3 \quad (12)$$

3.2.3. Phương trình liên kết

Dạng véc tơ:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{l}_0 + \vec{l}_3 \quad (13)$$

Chiếu (13) lên các trục tọa độ ta được:

$$\begin{cases} f_1 = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos q_2 - l_3 \cos q_3 - l_0 = 0 & (14) \\ f_2 = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin q_2 - l_3 \sin q_3 = 0 & (15) \end{cases}$$

3.2.4. Tính lực suy rộng của các lực không thế (lực phát động)

Cho hệ các di chuyển có thể:

$$\dot{q}_1 \neq 0, \dot{q}_2 \neq 0, \dot{q}_3 \neq 0$$

Khi đó, tổng công ảo của các lực không thế là: $\dot{\mathcal{A}} = \tau_1 \dot{q}_1$.

Từ đó suy ra:

$$Q_1^* = \tau_1, Q_2^* = 0, Q_3^* = 0 \quad (16)$$

3.2.5. Tính các đạo hàm, sau khi rút gọn hệ phương trình vi phân, thu được hệ phương trình

$$\begin{cases} (J_1 + m_2 l_1^2) \ddot{q}_1 + m_2 l_1 [\xi_{c2} \cos(q_2 - q_1) - \eta_{c2} \sin(q_2 - q_1)] \ddot{q}_2 & (17) \\ -m_2 l_1 [\xi_{c2} \sin(q_2 - q_1) + \eta_{c2} \cos(q_2 - q_1)] \dot{q}_2^2 = \tau_1 + l_1 (\lambda_1 \sin q_1 - \lambda_2 \cos q_1) & (18) \\ J_2 \ddot{q}_2 + m_2 l_1 [\xi_{c2} \cos(q_2 - q_1) - \eta_{c2} \sin(q_2 - q_1)] \ddot{q}_1 + & (18) \\ + m_2 l_1 [\xi_{c2} \sin(q_2 - q_1) + \eta_{c2} \cos(q_2 - q_1)] \dot{q}_1^2 = l_2 (\lambda_1 \sin q_2 - \lambda_2 \cos q_2) & (19) \\ J_3 \ddot{q}_3 = l_3 (-\lambda_1 \sin q_3 + \lambda_2 \cos q_3) & (19) \end{cases}$$

Hệ ba phương trình vi phân (17), (18), (19) và hai phương trình liên kết (14), (15) tạo thành hệ năm phương trình vi phân đại số chứa năm ẩn số $q_1, q_2, q_3, \lambda_1, \lambda_2$ mô tả chuyển động của cụm cơ cấu khâu trên.

3.3. Thuật toán tự động hóa thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động

Để tự động hóa trong việc thiết lập các phương trình vi phân chuyển động của cơ hệ bất kỳ nói chung và cơ cấu máy mài nghiền CNC MB-250 nói riêng, với sự trợ giúp của phần mềm Maple, ở đây sử dụng dạng ma trận của phương trình Lagrăng dạng nhân tử.

Theo [5], đối với cơ hệ có liên kết phi holoônôm:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{F}_q^T \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{A}^T \boldsymbol{\mu} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{f}(\mathbf{q}) \quad (20)$$

Trong trường hợp cụm cơ cấu khâu trên là một cơ hệ có liên kết holoônôm (trong phương trình liên kết (14), (15) không chứa vận tốc) và cụm cơ cấu chuyển động trong mặt phẳng nằm ngang, phương trình (20) có dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{F}_q^T \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{f}(\mathbf{q}) \quad (21)$$

trong đó: $\boldsymbol{\lambda} = [\lambda_1 \ \lambda_2]^T$ là ma trận các nhân tử Lagrăng; $\mathbf{M}(\mathbf{q})$: ma trận khối lượng suy rộng, được xác định từ công thức (8); $\mathbf{g}(\mathbf{q})$: ma trận lực suy rộng của các lực có thế:

$$\mathbf{g}(\mathbf{q}) = \left(\frac{\partial \Pi}{\partial \mathbf{q}} \right)^T = [0 \ 0 \ 0]^T \quad (22)$$

F_q - Ma trận đạo hàm riêng của phương trình liên kết theo các tọa độ suy rộng:

$$F_q = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q_1} & \frac{\partial f_1}{\partial q_2} & \frac{\partial f_1}{\partial q_3} \\ \frac{\partial f_2}{\partial q_1} & \frac{\partial f_2}{\partial q_2} & \frac{\partial f_2}{\partial q_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_1 \sin q_1 & -l_2 \sin q_2 & l_3 \sin q_3 \\ l_1 \cos q_1 & l_2 \cos q_2 & -l_3 \cos q_3 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$\mathbf{f}(\mathbf{q})$ - Ma trận lực suy rộng của các lực không thế:

$$\mathbf{f}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau}(\mathbf{q}) = [Q_1^*, Q_2^*, Q_3^*]^T = [\tau_1, 0, 0]^T \quad (24)$$

$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ - Ma trận li tâm và Coriolis, ma trận này có dạng [5]:

$$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\mathbf{I}_n \otimes \dot{\mathbf{q}}) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{I}_n) \right)^T \quad (25)$$

Trường hợp đối với cụm cơ cấu khâu trên, ma trận li tâm và Coriolis có cỡ (3×3) .

Thay các kết quả đã tính được vào phương trình (21) và đặt: $J_i = m_i (\xi_{ci}^2 + \eta_{ci}^2) + I_i$; $i = \overline{1..3}$ thu được các phương trình vi phân chuyển động của hệ tương tự như (17), (18) và (19).

Thuật toán và chương trình Maple dùng để tự động hóa việc thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của cụm cơ cấu khâu trên được trình bày trong tài liệu [4].

3.4. Động lực học ngược cụm cơ cấu khâu trên

Nội dung của bài toán này như sau:

Thông số đầu vào:

$$q_1 = \Omega t; \dot{q}_1 = \Omega = const; \ddot{q}_1 = 0$$

Xác định mômen phát động đặt vào khâu 1 để khâu này quay với vận tốc góc:

$$\dot{q}_1 = \Omega = const$$

Từ hai phương trình liên kết (14), (15), với góc quay $q_1 = \Omega t$ đã biết, dựa vào thuật toán Newton-Raphson [3], hoặc sử dụng lệnh *fsolve* có sẵn trong phần mềm Maple (*lệnh này để giải phương trình phi tuyến hoặc hệ phương trình phi tuyến*), xác định được $q_2 = q_2(t), q_3 = q_3(t)$

Đạo hàm hai vế các phương trình liên kết (14),(15) theo thời gian, ta có:

$$\begin{cases} -l_1 \dot{q}_1 \sin q_1 - l_2 \dot{q}_2 \sin q_2 + l_3 \dot{q}_3 \sin q_3 = 0 & (26) \\ l_1 \dot{q}_1 \cos q_1 + l_2 \dot{q}_2 \cos q_2 - l_3 \dot{q}_3 \cos q_3 = 0 & (27) \end{cases}$$

Với $\dot{q}_1 = \Omega$; $q_2 = q_2(t)$; $q_3 = q_3(t)$ đã biết, từ hệ phương trình (14), (15) xác định được $\dot{q}_2(t), \dot{q}_3(t)$.

Đạo hàm hai vế các phương trình vận tốc (26), (27) theo thời gian thu được các phương trình gia tốc:

$$\begin{cases} -l_1\ddot{q}_1 \sin q_1 - l_2\ddot{q}_2 \sin q_2 + l_3\ddot{q}_3 \sin q_3 - l_1\dot{q}_1^2 \cos q_1 - l_2\dot{q}_2^2 \cos q_2 + l_3\dot{q}_3^2 \cos q_3 = 0 & (28) \\ l_1\ddot{q}_1 \cos q_1 + l_2\ddot{q}_2 \cos q_2 - l_3\ddot{q}_3 \cos q_3 - l_1\dot{q}_1^2 \sin q_1 - l_2\dot{q}_2^2 \sin q_2 + l_3\dot{q}_3^2 \sin q_3 = 0 & (29) \end{cases}$$

Với $q_1 = \Omega t$; $\dot{q}_1 = \Omega$; $\ddot{q}_1 = 0$ đã cho, $q_2(t)$; $q_3(t)$; $\dot{q}_2(t)$; $\dot{q}_3(t)$ tìm được từ hệ phương trình (28), (29) giải được $\ddot{q}_2(t)$, $\ddot{q}_3(t)$.

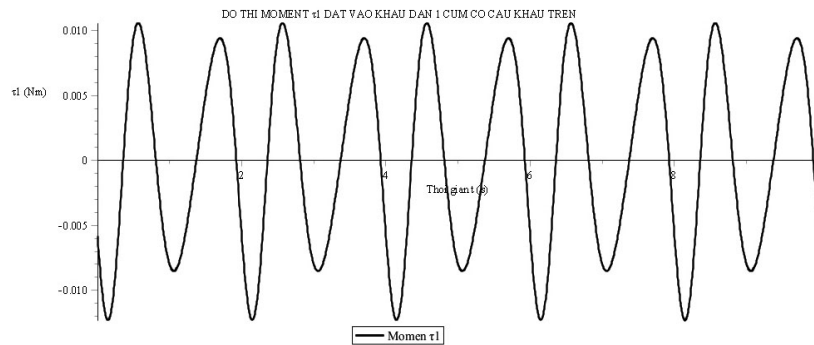
Như vậy, đến đây xác định được các đại lượng sau: $q_1, q_2, q_3, \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3, \ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \ddot{q}_3$

Thay vào các phương trình vi phân chuyển động (18) và (19), tìm được các nhân tử λ_1, λ_2 .

Từ phương trình vi phân chuyển động (17), xác định được mômen phát động τ_1

$$\begin{aligned} \tau_1 = & (J_1 + m_2 l_1^2) \ddot{q}_1 + m_2 l_1 [\xi_{c2} \cos(q_2 - q_1) - \eta_{c2} \sin(q_2 - q_1)] \ddot{q}_2 \\ & - m_2 l_1 [\xi_{c2} \sin(q_2 - q_1) + \eta_{c2} \cos(q_2 - q_1)] \dot{q}_2^2 - l_1 (\lambda_1 \sin q_1 - \lambda_2 \cos q_1) \end{aligned} \quad (30)$$

Sử dụng chương trình Maple, được trình bày trong phụ lục 5 [4], từ các số liệu trong bảng (3.2), giải được bài toán động lực học ngược cơ cấu máy mài nghiên chi tiết quang CNC MB-250, đồ thị mô men tác dụng lên cơ cấu được chỉ dẫn trên hình 4.



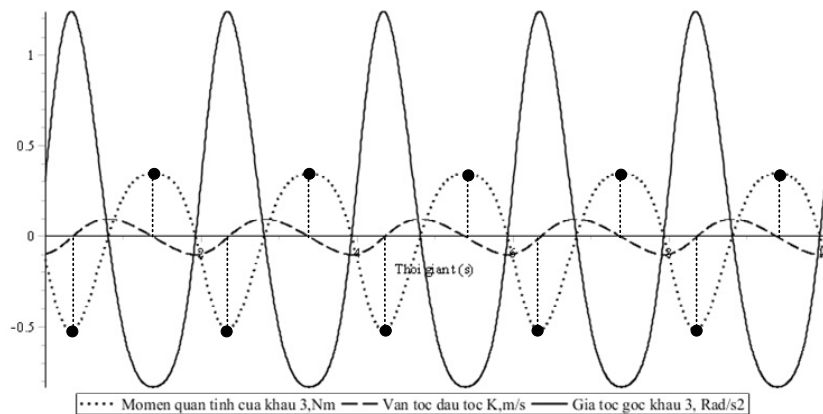
Hình 4. Đồ thị mô men τ_1 tác dụng lên cơ cấu máy CNC MB-250.

4. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

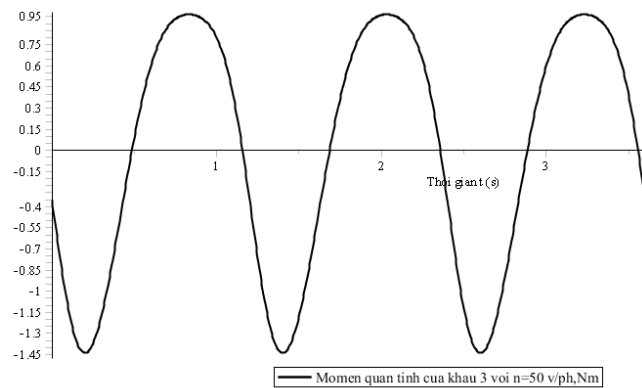
Trong phần thực nghiệm ở đây tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của mômen quán tính. Do khâu 3 chuyển động quay quanh trục cố định, nên mômen quán tính tác dụng lên nó có dạng:

$$M_3^{qt}(t) = -J_3 \cdot \ddot{q}_3(t)$$

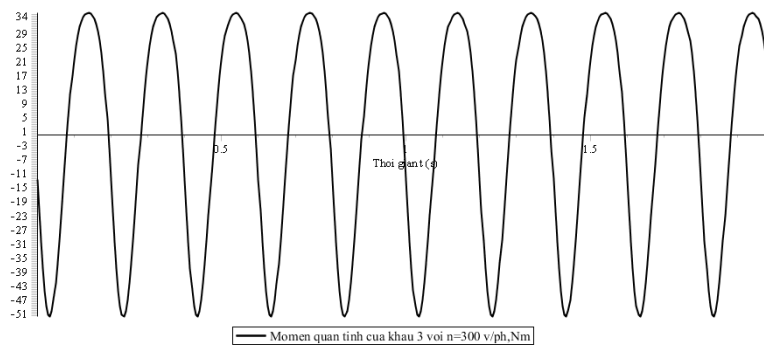
trong đó, gia tốc góc của khâu 3 là $\ddot{q}_3(t)$ đã được xác định từ bài toán động học [3]. Sử dụng chương trình Maple, vẽ được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa vận tốc điểm đầu tốc, gia tốc góc khâu 3 và mômen quán tính tác dụng vào khâu 3 như các hình (5, 6 và 7):



Hình 5. Đồ thị mômen quán tính của khâu 3 với $n_1 = 30$ v/ph.



Hình 6. Đồ thị mômen quán tính của khâu 3 với $n_1 = 50$ v/ph.



Hình 7. Đồ thị mômen quán tính của khâu 3 với $n_1 = 300$ v/ph.

Từ đồ thị thấy rằng, mômen quán tính đạt giá trị cực đại khi vận tốc điểm đầu tốc bằng 0, tức là tại vị trí khâu 3 bắt đầu đảo chiều quay, mômen quán tính đạt giá trị cực đại và khâu 3 đảo chiều quay đột ngột, nên lực quán tính tác dụng vào khớp giữa khâu 3 và đĩa mài 4 (hình 1b) có thể có giá trị lớn. Do đó, ảnh hưởng tới sự khép kín khớp động học gia công - Đĩa mài và đĩa gá

chi tiết gia công, làm giảm độ chính xác gia công, thậm chí có thể gây lật làm hỏng sự tiếp xúc giữa chúng.

Mặt khác, do mômen quán tính tác dụng lên khâu 3 không đều, mà biến đổi tuần hoàn theo chu kì nhất định và vận tốc điểm đầu tốc thay đổi theo thời gian. Do đó, cán bộ công nghệ cần chú ý điều này, để điều chỉnh chương trình động học gia công sao cho phù hợp, nhằm nâng cao độ chính xác gia công.

Trong công nghệ nghiền tinh bề mặt chi tiết quang, tốc độ quay của khâu dẫn 1 thường được chọn trong khoảng từ $50 \div 300$ (vòng/phút), biên độ của biểu đồ mômen quán tính đặt vào khâu 3 cũng tăng theo. Đặc biệt là khi gia công ở tốc độ cao, sự biến thiên mômen quán tính cũng tăng lên gây ra sự thay đổi đột ngột của lực tác dụng từ khâu 3 lên khớp, điều này có hại cho độ bền của các khớp và có thể gây ra sự tách khớp động học gia công. Do đó, ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công, mặc dù năng suất gia công tăng.

Với tốc độ quay của khâu dẫn 1 bằng 50 (vòng/phút), mômen quán tính biến đổi trong khoảng từ $-1,45 \div 0,95$ (Nm). Với tốc độ quay của khâu dẫn 1 bằng 300 (vòng/phút), mômen quán tính biến đổi trong khoảng từ $-51 \div 34$ (Nm). Như vậy, trong giới hạn làm việc về tốc độ quay của khâu dẫn 1, thì độ lớn mômen quán tính tác dụng vào khâu 3 nằm trong khoảng $0,95 \div 51$ (Nm).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Trọng Hùng - Lý thuyết tạo hình bề mặt chi tiết quang, Nhà xuất bản Bách khoa, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, 2009.
2. Nguyễn Văn Khang - Động lực học hệ nhiều vật, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
3. Nguyễn Trọng Hùng, Nguyễn Văn Khang, Vũ Xuân Trường - Nghiên cứu động học cơ cấu máy mài nghiền chi tiết quang CNC MB-250 bằng thuật toán Newton-Raphson, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, UTEHY 1 (1) (2014) 21-30.
4. Vũ Xuân Trường - Nghiên cứu động lực học cụm cơ cấu khâu trên của máy mài nghiền chi tiết quang CNC MB-250, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, 2013.
5. Nguyen Van Khang - Kronecker product and new matrix form of Lagrangian equations with multipliers for constrained multibody systems, Mechanics Research Communications 37 (8) (2011) 294-299.

ABSTRACT

REVERSE DYNAMICS RESEARCH OF OPTICAL PARTS GRINDING MACHINE STRUCTURE CNC MB-250

Nguyen Trong Hung^{1,*}, Nguyen Van Khang², Vu Xuan Truong¹

¹ Hung Yen University of Technology and Education,

² Hanoi University of Science and Technology

*Email: nthung.utehy@yahoo.com

This article presents a method for analysing reverse dynamics for the structure of the optical parts grinding machine *CNC MB-250*. By using the Lagrange's equations with multipliers for residual generalized coordinates of cyclic structure mechanical system (*in analytics and matrix form*), we have established a differential equation system of machine motion structures, in which to determines the moment of force placed on the driving link. The results of problem are used for researching the equilibrium conditions of the joints between the contrivance disk and grinding disc and for enhancing precision machining process.

Keywords: inverse dynamics, structural, Lagrange's equations with multipliers, optical parts grinding machine, CNC MB-250.