

DISPLACEMENT AMPLIFICATION AND SELF-LOCKING MICROGRIPPER DRIVEN BY ELECTROTHERMAL V-SHAPED ACTUATORS

Nguyen Duc Anh¹, Chu Tuan Minh¹, Nguyen Tien Dzung², Pham Hong Phuc^{1*}

¹Hanoi University of Science and Technology, ²TNU – University of Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 23/02/2025 Revised: 15/4/2025 Published: 17/4/2025	This paper presents the design and analysis of a microgripper utilizing a V-shaped electrothermal actuator with a high displacement amplification factor ($k_d \approx 4.4$) and an integrated self-locking mechanism, which allows the gripper to maintain its hold on objects without requiring continuous power supply, thereby significantly reducing energy consumption. The system consists of a central V-shaped actuator that drives the lever arms and gripping jaws, along with a ratchet-based self-locking system actuated by two smaller V-shaped actuators. By applying a driving voltage of $U = 29.9$ V, the total displacement of the gripping jaws reaches $\Delta x = 112 \mu m$, enabling the microgripper to handle objects with a minimum diameter of $43 \mu m$. This design ensures high precision and adaptability in manipulating various object sizes. Furthermore, the microgripper structure is optimized to enhance displacement efficiency and gripping force while maintaining a compact and easy-to-fabricate design. Future improvements may include the integration of force sensors and an automatic voltage control system to further optimize performance and energy efficiency.
KEYWORDS	
Microgripper	
Electrothermal microactuator	
Self-locking mechanism	
Displacement amplification	
Micro Electromechanical	
Systems technology	

CƠ CẤU VI TAY GẤP KHUẾCH ĐẠI CHUYỂN VỊ KIỂU TỰ KHÓA DẪN ĐỘNG BẰNG CÁC VI CHẤP HÀNH ĐIỆN NHIỆT KIỂU DÀM CHỮ V

Nguyễn Đức Anh¹, Chu Tuấn Minh¹, Nguyễn Tiến Dũng², Phạm Hồng Phúc^{1*}

¹Đại học Bách khoa Hà Nội, ²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 23/02/2025 Ngày hoàn thiện: 15/4/2025 Ngày đăng: 17/4/2025	Bài báo trình bày thiết kế và tính toán một loại vi tay gấp sử dụng vi chấp hành điện nhiệt dạng dầm chữ V, có hệ số khuếch đại chuyển vị lớn ($k_d \approx 4,4$) và tích hợp cơ cấu tự khóa, giúp duy trì trạng thái kẹp mà không cần cấp nguồn liên tục, giảm tiêu thụ năng lượng đáng kể. Hệ thống bao gồm một vi chấp hành chữ V trung tâm điều khiển tay đòn và má kẹp, cùng với hệ thống tự khóa sử dụng cơ cấu răng cóc được dẫn động bởi hai vi chấp hành chữ V nhỏ hơn. Khi áp dụng điện áp dẫn $U = 29,9$ V, chuyển vị tổng cộng của hai má kẹp đạt $\Delta x = 112 \mu m$, cho phép kẹp vật có đường kính nhỏ nhất $43 \mu m$. Thiết kế này không chỉ đảm bảo khả năng thao tác chính xác với nhiều kích thước vật khác nhau mà còn có tiềm năng phát triển thành hệ thống tích hợp thông minh, chẳng hạn như cảm biến đo lực kẹp và điều chỉnh tự động điện áp dẫn động, mở rộng ứng dụng trong vi lắp ráp, vi robot và thử tải vi mô yêu cầu độ chính xác cao.
TỪ KHÓA	
Vi tay gấp	
Vi chấp hành giãn nở nhiệt	
Cơ cấu tự khóa	
Khuếch đại chuyển vị	
Công nghệ vi cơ điện tử	

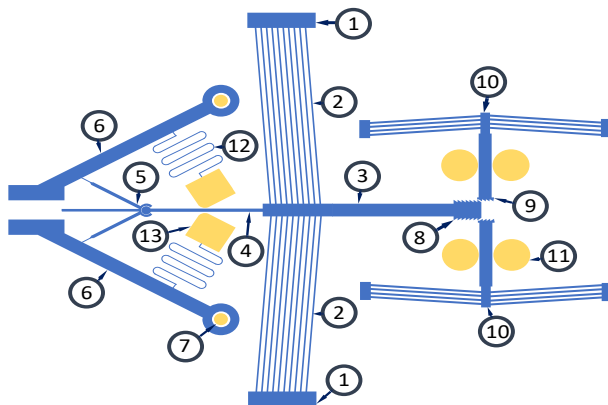
DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12121>

* Corresponding author. Email: phuc.phamhong@hust.edu.vn

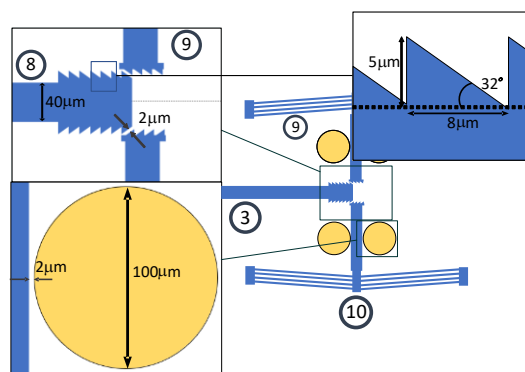
1. Giới thiệu

Công nghệ hệ thống vi cơ điện tử (MEMS - Micro Electromechanical Systems) là một lĩnh vực tiên tiến kết hợp giữa cơ khí và điện tử ở kích thước micro, với ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, y học và quốc phòng. MEMS cho phép chế tạo các thiết bị siêu nhỏ, trong đó vi cảm biến, vi chấp hành và mạch điện được tích hợp trên cùng một nền vật liệu như silic hoặc polymer, tạo ra các hệ thống thông minh, linh hoạt và tiết kiệm năng lượng [1]. Trong số các ứng dụng của MEMS, vi tay gấp là một linh kiện tiêu biểu, đóng vai trò quan trọng trong các thao tác chính xác như nắm, kẹp và di chuyển các vật thể kích cỡ micro, được ứng dụng trong vi lắp ráp [2], vi vận chuyển [3], vi phẫu và nghiên cứu vi mô. Hiện nay, vi tay gấp được phát triển dựa trên nhiều cơ chế dẫn động, trong đó phổ biến nhất là cơ chế tĩnh điện và điện nhiệt. Vi tay gấp tĩnh điện [4] - [6] hoạt động nhờ lực hút tĩnh điện, mang lại ưu điểm về tốc độ phản hồi nhanh, tiêu thụ năng lượng thấp và quy trình chế tạo đơn giản, nhưng bị hạn chế về biên độ chuyển vị. Ngược lại, vi tay gấp điện nhiệt [7], [8] sử dụng hiện tượng giãn nở nhiệt để tạo lực kẹp, cho phép đạt được lực kẹp lớn hơn nhưng gặp nhược điểm như sinh nhiệt cao và thời gian hồi nhiệt kéo dài. Cơ chế này dựa trên sự gia tăng nhiệt độ để làm giãn nở một phần cấu trúc, từ đó tạo ra chuyển động mong muốn. Nhiều nghiên cứu gần đây cho thấy vi chấp hành điện nhiệt kiểu dầm chữ V đang được phát triển, ứng dụng tương đối rộng rãi [9] - [15] nhờ khả năng sử dụng vật liệu tương thích, quy trình chế tạo đơn giản, lực tác động, chuyển vị lớn, điện áp dẫn động thấp. Bài báo này tập trung vào việc thiết kế một vi tay gấp dựa trên cấu trúc của vi chấp hành điện nhiệt kiểu dầm chữ V, tận dụng các ưu điểm vượt trội của hiệu ứng kích hoạt này. Thiết kế đề xuất không chỉ tối ưu hóa hình học nhằm khuếch đại chuyển vị lớn mà còn tích hợp cơ cấu khóa tự hãm, giúp duy trì trạng thái kẹp mà không cần cấp nguồn nhiệt liên tục, từ đó giảm đáng kể mức tiêu thụ năng lượng. Bên cạnh đó, góc nghiêng của cánh tay gấp cũng được thiết kế nhằm nâng cao hiệu suất và độ chính xác trong thao tác với các mẫu vật nhỏ. Kết quả nghiên cứu được kỳ vọng sẽ mang lại một giải pháp hiệu quả, có khả năng ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực yêu cầu cao về độ chính xác và tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ.

2. Phương pháp thiết kế và nguyên lý hoạt động



Hình 1. Cấu tạo chung vi tay gấp



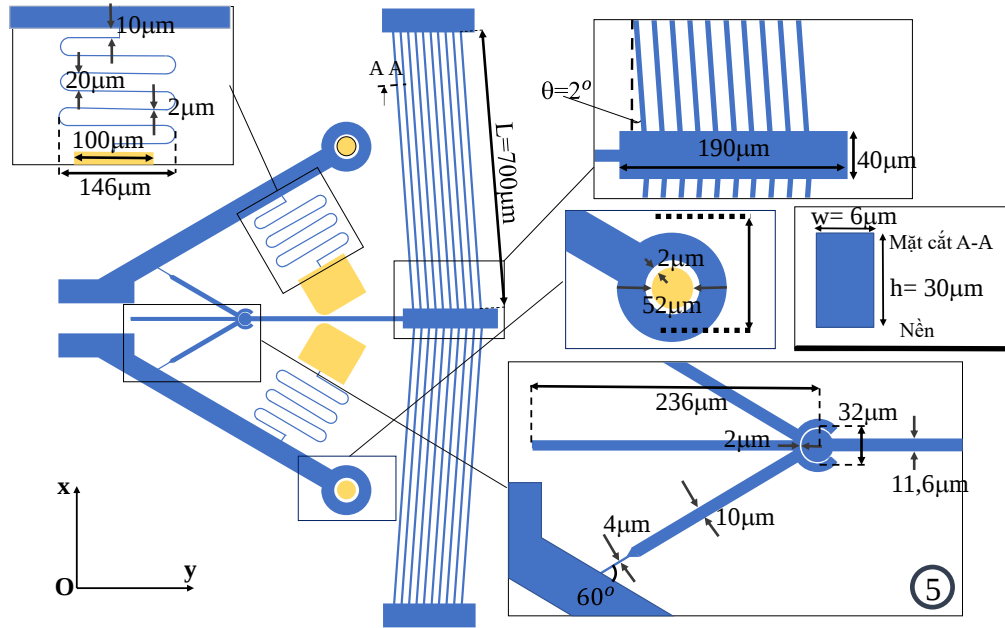
Hình 2. Cơ cấu khóa hãm dùng răng cóc

Hình 1 chỉ ra cấu tạo tổng thể và nguyên tắc hoạt động của vi tay gấp. Nguyên lý hoạt động của vi tay gấp dựa trên sự giãn nở nhiệt của các thanh dầm mảnh (dạng chữ V) từ đó sinh lực cơ học dẫn động cho tay kẹp thực hiện nhiệm vụ. Khi cấp điện áp vào các điện cực (1), dòng điện chạy qua các dầm mảnh chữ V (2), làm chúng nóng lên và giãn nở nhiệt. Sự giãn nở này đẩy thanh (3) và (4) sang phải, truyền chuyển động qua khớp (5), khiến hai má kẹp (6) quay quanh khớp bản lề (7) và thu hẹp khoảng cách để giữ chặt vật. Hệ răng cóc (8) và (9) giữ thanh (3) cố định ngay cả khi ngừng cấp điện, giúp kẹp chắc chắn và tiết kiệm năng lượng. Các kích thước cơ bản của cơ cấu hãm dùng răng cóc được chỉ ra như Hình 2.

Để mở khóa, điện áp được cấp vào các vi chấp hành chữ V ⑩, làm giãn nở hệ dầm, nâng răng cóc ⑨ để giải phóng thanh ③. Nhờ lực đàn hồi của hệ dầm, thanh ④ di chuyển về vị trí ban đầu, mở tay kẹp và thả vật. Thanh gạt ở khớp ⑤ hỗ trợ đẩy vật ra, tránh hiện tượng dính kẹt. Lò xo chịu nén ⑫ giúp khử khe hở khớp bản lề, đảm bảo độ chính xác khi thao tác.

Cơ cấu này giúp tự động hóa quá trình kẹp – nhả, giảm thời gian thao tác và hạn chế can thiệp thủ công, nâng cao hiệu suất hoạt động của hệ thống.

Gối định hướng ⑪, ⑬ được gắn với nền, đóng vai trò định hướng chuyển động cho các thanh đẩy và răng cóc. Kích thước hình học của lò xo ⑫, khớp bản lề ⑤ và các thanh đẩy được chỉ ra trên Hình 3.



Hình 3. Thông số kích thước cơ bản của khớp bản lề, lò xo và thanh đẩy

3. Kết quả tính toán và lựa chọn kích thước cho vi gắp

3.1. Tính toán động học

Các tài liệu [8], [10] đã chỉ ra phương trình cân bằng năng lượng nhiệt ở hệ dầm chữ V ②:

$$k_s \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{k_a \cdot S}{h \cdot g_a} (T - T_0) + \frac{U^2}{4 \cdot \rho_0 \cdot L^2} = 0 \quad (1)$$

Với T là nhiệt độ của dầm; T_0 là nhiệt độ môi trường; U là điện áp cấp cho hệ dầm, và các hằng số của vật liệu silic [11] – [15] (hệ số giãn nở dài $\alpha_l = 3,25 \cdot 10^{-6} (K^{-1})$, điện trở suất

$\rho_0 = 230 \mu\Omega.m$, hệ số dẫn nhiệt $k_s = 105 \cdot 10^{-6} \frac{W}{\mu m} K$, hệ số dẫn nhiệt của không khí

$k_a = 0,0257 \cdot 10^{-6} \frac{W}{\mu m} K$, hệ số hình dạng $S = 0,6265 \frac{h}{w} + 1,1188$); L , w , h lần lượt là chiều dài, chiều rộng và chiều dày của các dầm đơn ② (Hình 3). Giải phương trình vi phân (1) và xác định được độ giãn nở dài ΔL theo phương ox của dầm đơn L [8]:

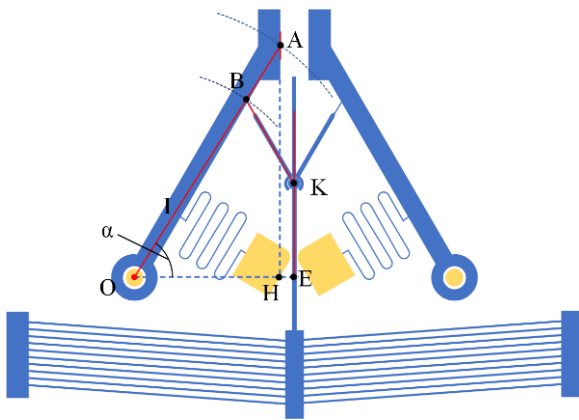
$$\Delta L = \alpha_l \frac{U^2}{4 \rho_0 \cdot L^2} \cdot \frac{h \cdot g_a}{k_a \cdot S} \left[L - \frac{1}{\tau} \frac{(e^{2\tau L} - 1)}{(e^{2\tau L} + 1)} \right] \quad (2)$$

Chuyển vị tịnh tiến theo phương oy [8], [11]: $\Delta y = \sqrt{(L + \Delta L)^2 - (L \cos \theta)^2} - L \sin \theta$ (3)

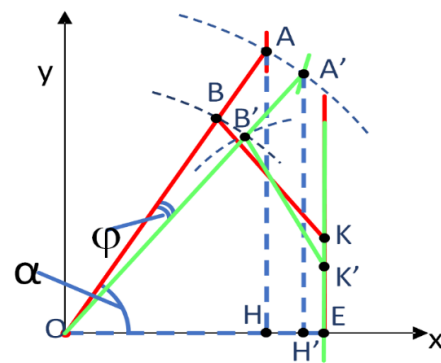
Từ biểu thức (2), (3) với chiều dài bước răng cóc $p = 8 \mu m$, khe hở ban đầu theo phương Oy là $2 \sin(32^\circ) \approx 1 \mu m$ ta lập được Bảng 1 mô tả giá trị điện áp hoạt động ứng với chuyển vị Δy của thanh đẩy tại từng bước răng cóc.

Tương tự như trên, với chiều cao răng cóc là $5 \mu m$, ta tính được điện áp hoạt động của cơ cấu dẫn động khóa hãm là $U = 9,1 \text{ V}$.

Hình 4 biểu diễn cấu tạo hình học của vị tay gấp ở trạng thái ban đầu (chưa kẹp vật). Gọi các điểm A, B, O, K là các điểm thuộc tay gấp như hình vẽ. H, E là hình chiếu của A và K lên phương ngang. Điểm E, O và I là các vị trí cố định. Góc nghiêng ban đầu của tay gấp so với phương ngang là $\alpha = 45^\circ$ và ký hiệu các giá trị độ dài các đoạn tay đòn ở trạng thái ban đầu như sau: $OE = e$; $OB = b$; $OA = a$; $EK = y$; $BK = k$.



Hình 4. Vị gấp ở trạng thái ban đầu



Hình 5. Sơ đồ tính toán chuyển vị của má kẹp (chuyển vị A-A')

A', B', K', H' là vị trí mới của các điểm A, B, K, H sau khi cánh tay gấp quay một góc φ (Hình 5). Chuyển vị thu được theo phương thẳng đứng của thanh đẩy do dầm giãn nở nhiệt là $\Delta y = KK'$.

Khi đó chuyển vị ở đầu tay gấp được tính bằng: $\Delta x = OH' - OH$ (4)

Mặt khác: $OH' = A'O \cdot \cos(\alpha - \varphi)$ và $OH = AO \cdot \cos \alpha$ thế vào ta được:

$$\Delta x = a(\cos(\alpha - \varphi) - \cos \alpha) \quad (5)$$

Tọa độ điểm K là (e; y). Gọi tọa độ B là $(X_B; Y_B)$. Do $OB = b$, $BK = k$, suy ra:

$$b^2 = X_B^2 + Y_B^2 \quad (6) \quad k^2 = (X_B - e)^2 + (Y_B - y)^2 \quad (7)$$

Giải hệ (6) và (7) với 2 ẩn X_B, Y_B ta thu được tọa độ điểm B, kết hợp với điều kiện tung độ điểm B là lớn nhất hay: $Y_B = \text{Max}(Y_{B1}; Y_{B2})$;

$$Y_B = \frac{e\sqrt{4b^2k^2 - (b^2 + k^2 - y^2 - e^2)^2} + (b^2y + e^2y - k^2y + y^3)}{2(e^2 + y^2)}$$

$$X_B = \frac{e(b^2 + e^2 - k^2 + y^2) - y\sqrt{4b^2k^2 - (b^2 + k^2 - y^2 - e^2)^2}}{2(e^2 + y^2)}$$

$$\cos \alpha = \frac{X_B}{b} = \frac{e(b^2 + e^2 - k^2 + y^2) - y\sqrt{4b^2k^2 - (b^2 + k^2 - y^2 - e^2)^2}}{2b(e^2 + y^2)} \quad (8)$$

Tương tự như vậy khi K' có tọa độ (e, y - Δy) ta tìm được tọa độ điểm B' và có:

$$\cos(\alpha - \varphi) = \frac{e(b^2 + e^2 - k^2 + (y - \Delta y)^2) - (y - \Delta y)\sqrt{4b^2k^2 - (b^2 + k^2 - (y - \Delta y)^2 - e^2)^2}}{2b(e^2 + (y - \Delta y)^2)} \quad (9)$$

Thay vào biểu thức (5), ta thu được:

$$\Delta x = \left(\frac{e(b^2 + e^2 - k^2 + (y - \Delta y)^2) - (y - \Delta y)\sqrt{4b^2k^2 - (b^2 + k^2 - (y - \Delta y)^2 - e^2)^2}}{2b(e^2 + (y - \Delta y)^2)} - \cos \alpha \right) a \quad (10)$$

Kết hợp với biểu thức (4) ở trên, ta sẽ thu được mối quan hệ giữa chuyển vị ở đầu tay kẹp Δx và độ giãn nở dầm ΔL .

3.2. Tính hệ số khuếch đại k với bộ thông số chọn trước

Với bộ thông số kích thước chọn sơ bộ
 $OA = a = 800 \mu m$; $OB = b = 600 \mu m$;
 $OE = e = 320 \mu m$; $BK = k = 507 \mu m$;
 $KE = y = 100 \mu m$ kết hợp với biểu thức số
(3), (4) và (10) ta thiết lập được quan hệ
chuyển vị Δx , Δy với điện áp dẫn U (đồ thị
Hình 6).

Đường kính vật kẹp được xác định:

$$D = 2(\Delta_{\max} - \Delta x) = 2(e - a \cos \alpha - \Delta x) \quad (11)$$

Do hai bên tay kẹp chuyển vị đồng thời
nên chuyển vị thực tế của thiết bị là $2\Delta x$ suy
ra hệ số khuếch đại chuyển vị

$$k_d = 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (12)$$

Đường kính vật kẹp có giá trị $43 - 189 \mu m$, ta có giá trị hệ số khuếch đại k_d đạt được sau khi
tính toán khoảng từ 4,3 đến 4,4 theo các mức điện áp U (Bảng 1).

Bảng 1. Chuyển vị Δy , đường kính vật kẹp và hệ số khuếch đại ứng với từng bước răng cóc

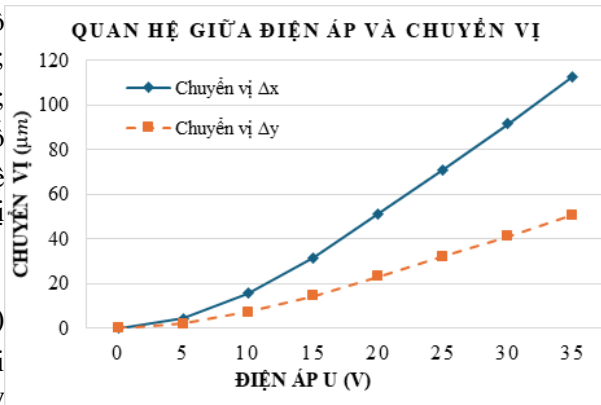
Số bước răng cóc	1	2	3	4	5
Chuyển vị Δy	$9 \mu m$	$17 \mu m$	$25 \mu m$	$33 \mu m$	$41 \mu m$
Điện áp hoạt động U	11,3 V	16,5V	21,2V	25,7V	29,9V
Đường kính vật kẹp ΔD	$185,8 \mu m$	$150,7 \mu m$	$114,9 \mu m$	$78,6 \mu m$	$43,5 \mu m$
Hệ số khuếch đại k_d	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4

3.3. Tính toán lực kẹp tay gấp

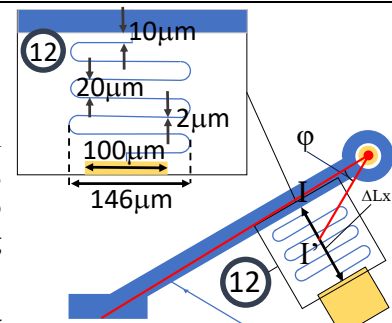
3.3.1. Góc lắc φ của tay kẹp

Kích thước lò xo ⑫ cho trên Hình 7. Lò xo được bố trí tại
điểm I với mục đích khử khe hở khớp quay tay kẹp ở điểm O,
nhằm đạt được sự tối ưu về độ bền của lò xo. Gọi ΔLx là độ
biến dạng của lò xo, độ biến dạng lớn nhất của lò xo mô phỏng
được là $\Delta Lx_{\max} = 25 \mu m$

Để chuyển vị má kẹp là nhiều nhất thì góc quay φ của tay
kẹp phải lớn. Và để lực đàn hồi của lò xo giúp triệt tiêu khe hở
khớp bản lề O là chủ yếu, ít cản trở tới lực kẹp trên má kẹp, ta nên chọn OI có giá trị bé nhất (về
mặt hình học OI phải đảm bảo lớn hơn một nửa chiều rộng của lò xo). Chọn $OI = 80 \mu m$ (bề rộng
của lò xo thiết kế là $146 \mu m$). Góc quay tối đa cho phép của tay kẹp:



Hình 6. Đồ thị chuyển vị theo điện áp



Hình 7. Thông số lò xo

$$\varphi_{\max} < \arctan\left(\frac{\Delta L_{\max}}{OI}\right) = 17,4^\circ \quad (13)$$

Do góc lắc của tay kẹp có giá trị nhỏ nên ta có thể lấy $\Delta Lx \approx I'I$ (với I' là vị trí điểm I sau khi tay kẹp quay một góc φ): $\Delta Lx \approx I'I = BB' \frac{OI}{OB} = \frac{OI}{OB} \sqrt{(X_B - X_B')^2 - (Y_B - Y_B')^2} \text{ (}\mu\text{m)}$ (14)

3.3.2. Lực dẫn động F tối thiểu để hệ răng cóc hoạt động

Lực kéo F do sự giãn nở nhiệt của hệ dầm chữ V (2) gây ra được tính theo biểu thức [13]:

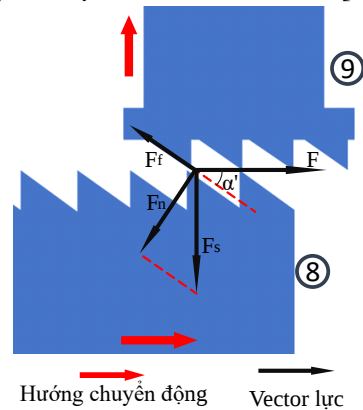
$$F = 2n.E.A.\frac{\Delta L}{L} \sin \theta \quad (15)$$

Với n là số cặp dầm, E là mô đun đàn hồi của vật liệu silic, $A = w.h$ tiết diện dầm, ΔL là độ biến dạng dài của dầm, θ là góc nghiêng của dầm so với phương ox (Hình 3).

Mặt khác do cơ cấu răng cóc khi chuyển động trượt sẽ tạo ra một lực cản là hợp lực của lực ma sát và phản lực pháp tuyến mô tả như trong Hình 8:

Với F_s là lực đàn hồi (hệ dầm dạng chữ V) do răng cóc của chi tiết số ⑨ tác dụng được xác định [11]:

$$F_s = K.\Delta l = \frac{2n.E(12.I.\cos^2 \theta' + A'.L'^2 \sin^2 \theta')}{L^3}.\Delta l \quad (16)$$



Hình 8. Sơ đồ lực cản tại răng cóc (tại thời điểm hai đỉnh răng cóc tiếp xúc)

Với K là độ cứng quy đổi hệ dầm, I là mô men quán tính của mặt cắt ngang dầm: $I = \frac{w.h^3}{12}$

Khi F_s lớn nhất thì chuyển vị là: $\Delta l = 5\mu\text{m}$ (chiều cao răng cóc); Phản lực pháp tuyến $F_N = F_s \cos \alpha'$ với $\alpha' \approx 31^\circ$ là góc nghiêng răng cóc; Lực ma sát giữa hai mặt phẳng răng cóc là $F_f = f_{ms}.F_s$ và $f_{ms} = 0,3$; Lực cản tổng hợp của các lực nêu trên là $\vec{F}_c = 2(\vec{F}_f + \vec{F}_N)$

Để thanh đẩy có thể tăng 1 bước răng cóc thì $\vec{F} > \vec{F}_c$ tương đương:

$$\vec{F} > \vec{F}_c = 2(f_{ms}.F_s.\cos \alpha' + F_s.\cos \alpha' \sin \alpha') = 2F_s.\cos \alpha'(\sin \alpha' + f_{ms}) \quad (17)$$

Suy ra, lực giãn nở nhiệt tối thiểu để vượt qua bước răng đầu tiên là $F > 10040,1\mu\text{N} \approx 10\text{mN}$.

Kết hợp với biểu thức số (15) và biểu thức số (3) ta tính được điện áp tối thiểu để cơ cấu vượt qua bước răng thứ nhất là $U = 10,9 \text{ V}$. Khi hai đỉnh răng vẫn còn ma sát thì lực dẫn động: $F_k = F - F_c$. Sau khi hai răng cóc đã ăn khớp thì lực dẫn động lại có độ lớn ban đầu: $F_k = F$

3.3.3. Tính toán lực kẹp F_t

Ta tính lực tay kẹp dựa theo phân tích lực được chỉ ra như Hình 9, cụ thể: F_k là lực dẫn động được tính trong mục 3.3.2. F_b là hình chiếu của lực F_k trên phương BK với điểm đặt tại điểm B,

với β là góc tạo bởi tia BK và KE: $F_b = \frac{F_k}{2} \cos \beta = n.E.A.\frac{\Delta L}{L} \sin \theta \cos \beta$ (18)

F_{dh} là lực đàn hồi do lò xo tác dụng vào tay quay tại điểm I. Độ cứng quy đổi của lò xo k có độ lớn:

$$k_y = \frac{E.h}{4} \left(\frac{w_a}{L_a} \right)^3 \left(\frac{4L_a.\alpha + L_b}{L_b.\alpha + L_b} \right) \quad (19)$$

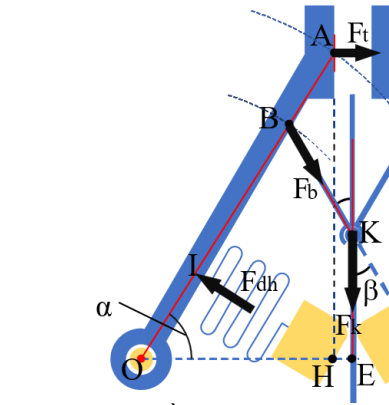
Với $\alpha = \left(\frac{w_b}{w_a}\right)^3$ và E là mô đun đàn hồi vật liệu

silic, h là chiều dày của dầm, L_a , L_b và w_a , w_b lần lượt là chiều dài và chiều rộng của các dầm như trong Hình 10.

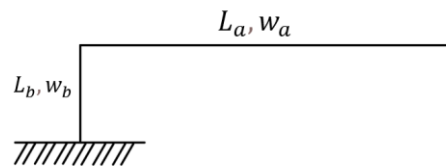
Lò xo trên bao gồm 2 dầm dạng còng cua có độ cứng $k_1 = 502,9 \mu N / \mu m$ và 5 dầm dạng còng cua có độ cứng $k_2 = 62,9 \mu N / \mu m$; do hệ lò xo được mắc nối tiếp, nên độ cứng tương đương là:

$$k_{td} = \frac{k_1 \cdot k_2}{5k_1 + 2k_2} = 11,9 \mu N / \mu m.$$

$$\text{Độ lớn lực đàn hồi: } F_{dh} = \Delta Lx \cdot k_{td} \quad (20)$$



Hình 9. Sơ đồ lực tác dụng vào tay kẹp



Hình 10. Cấu tạo dầm dạng còng cua

Từ biểu thức số (2) ta thu được: $\Delta x = a(\cos(\alpha - \varphi) - \cos \alpha)$; Coi thông số a và góc φ là các giá trị hằng số thì quan hệ giữa Δx và α là hàm đơn điệu tăng với α thuộc miền giá trị $(0; \pi/2)$, ta chọn α và a có giá trị lớn nhất có thể để chuyển vị là lớn nhất.

Mặt khác, khi xét đến độ lớn của lực kẹp F_t tại điểm A tính theo phương trình cân bằng

$$\text{moment tại O: } F_t = \frac{F_b \cdot OB \cdot \sin OBK - F_{dh} \cdot OI}{OA \cdot \sin(\alpha - \varphi)} = \frac{b \cdot \frac{F_k}{2} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\beta - \alpha + \varphi) - \Delta Lx \cdot k \cdot OI}{a \cdot \sin(\alpha - \varphi)} \quad (21)$$

Từ biểu thức (18), ta tính được lực kẹp lớn nhất tại bước răng thứ 5 với $U = 29,9V$ là $F_t = 21346,5 \mu N \approx 21,3 mN$

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất một thiết kế mới cho vi tay gấp sử dụng vi chấp hành điện nhiệt chữ V, mang lại nhiều cải tiến đáng kể về hiệu suất và khả năng ứng dụng. Với hệ số khuếch đại chuyển vị cao (4,44), cơ chế tự khóa vật kẹp mà không cần duy trì điện áp dẫn, cùng với khả năng điều chỉnh để kẹp các vật có đường kính khác nhau, thiết kế này mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống vi cơ điện tử và vi lắp ráp chính xác. Ưu điểm nổi bật nhất của thiết kế là cơ chế tự khóa nhờ kết cấu răng cóc một chiều, giúp giảm tiêu hao năng lượng trong quá trình vận hành. Thiết kế này không chỉ đơn giản, dễ chế tạo mà còn có khả năng thích ứng linh hoạt với nhiều kích thước vật kẹp, từ đó mở rộng phạm vi sử dụng trong thực tế.

Hướng phát triển trong tương lai có thể tập trung vào việc mô phỏng kiểm bền, chế tạo thử nghiệm, đo đạc các đặc tính, đánh giá những ưu điểm nổi trội của vi tay gấp; tích hợp các cảm biến đo lực kẹp, phát triển hệ thống điều khiển tự động để điều chỉnh điện áp dẫn động tối ưu nhằm nâng cao hiệu suất năng lượng. Ngoài ra, nghiên cứu sâu hơn về tối ưu hóa cấu trúc cơ khí và vật liệu chế tạo có thể giúp cải thiện độ bền và độ tin cậy của vi tay gấp. Những cải tiến này hứa hẹn sẽ nâng cao giá trị ứng dụng của thiết bị trong các hệ thống vi lắp ráp tự động, vi robot, và các thiết bị thử tải vi mô yêu cầu độ chính xác cao.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên theo đề tài cấp cơ sở, mã số T2024-TS18.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. Iqbal and A. Malik, "A review on MEMS based micro displacement amplification mechanisms," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 300, 2019, Art. no. 111666, doi: [10.1016/j.sna.2019.111666](https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111666).
- [2] J. Cecil, D. Vasquez, and D. Powell, "A review of gripping and manipulation techniques for micro-assembly applications," *International Journal of Production Research*, vol. 43, no. 4, pp. 819-828, 2005, doi: [10.1080/00207540512331311813](https://doi.org/10.1080/00207540512331311813).
- [3] P. H. Pham, L. B. Dang, and H. N. Vu, "Micro robot system with moving micro-car driven by electrostatic comb-drive actuators," *Microsystem Technologies*, vol. 16, pp. 505–510, 2010, doi: [10.1007/s00542-010-1017-9](https://doi.org/10.1007/s00542-010-1017-9).
- [4] H. Llewellyn-Evans, C. A. Griffiths, and A. Fahmy, "Microgripper design and evaluation for automated μ -wire assembly: A survey," *Microsystem Technologies*, vol. 26, pp. 1745-1768, 2020, doi: [10.1007/s00542-019-04741-4](https://doi.org/10.1007/s00542-019-04741-4).
- [5] Y. Jia, M. Jia, and Q. Xu, "A Dual-Axis Electrostatically Driven MEMS Microgripper," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol.11, pp. 1-9, 2014, doi: [10.5772/59677](https://doi.org/10.5772/59677).
- [6] A. R. Kalaiarasi and S. H. Thilagar, "Design and modeling of electrostatically actuated microgripper," in *Proceedings of 2012 IEEE/ASME 8th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications*, 2012, pp. 7-11, doi: [10.1109/MESA.2012.6275528](https://doi.org/10.1109/MESA.2012.6275528).
- [7] C. Hao, X. Kong, S. X. Dong, C. M. Xu, and Y. Haiyang, "The Radial Point Interpolation Method (RPIM) for analyzing a V-shaped Electrothermal Actuator," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 35, no. 2, pp.1-9, 2025, doi: [10.1088/1361-6439/ada9fb](https://doi.org/10.1088/1361-6439/ada9fb).
- [8] H. P. Pham, V. D. Bui, and M. C. Pham, "Study and Design of Micro Gripper Driven by Electrothermal V-Shaped Actuator," *JST: Smart Systems and Devices*, vol. 1, no. 1, pp. 108-115, 2021, doi: [10.51316/jst.150.ssad.2021.31.1.14](https://doi.org/10.51316/jst.150.ssad.2021.31.1.14).
- [9] T. D. Nguyen, H. P. Pham, and Q. D. Nguyen, "Design and fabrication of a 2.5 mm-diameter micro rotational motor based on MEMS technology," *Journal of Science & Technology Technical Universities*, vol. 108, pp. 26-32, 2015.
- [10] P. Bauwens, S. Cornelis, and J. Dautreloigne, "A leakage compensated charge control driving circuit with sensor feedback for a comb drive actuator," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 329, 2021, Art. no. 112799, doi: [10.1016/j.sna.2021.112799](https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112799).
- [11] T. D. Nguyen, H. P. Pham, Q. D. Nguyen, and D. P. Nguyen, "Iterative Learning Control for V-Shaped Electrothermal Microactuator," *Electronics*, vol. 8, no. 12, 2019, Art. no. 1410, doi: [10.3390/electronics8121410](https://doi.org/10.3390/electronics8121410).
- [12] P. H. Pham, D. T. Nguyen, and K. T. Hoang, "Single mask and low voltage electrothermal micromotor," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 374, 2024, Art. no. 115481, doi: [10.1016/j.sna.2024.115481](https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115481).
- [13] K. T. Hoang, D. T. Nguyen, P. H. Pham, "Impact of design parameters on working stability of the electrothermal V-shaped actuator," *Microsystem Technologies*, vol. 26, pp. 1479-1487, 2020, doi: [10.1007/s00542-019-04682-y](https://doi.org/10.1007/s00542-019-04682-y).
- [14] T. D. Nguyen, T. K. Hoang, and H. P. Pham, "Heat Transfer Model and Critical Driving Frequency of Electrothermal V-Shaped Actuators," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications (ICERA-2019)*, Springer, Cham, 2019, pp. 394-405, doi: [10.1007/978-3-030-37497-6_46](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37497-6_46).
- [15] K. T. Hoang and P. H. Pham, "Safe working condition and optimal dimension of the electrothermal V-shaped actuator," *Microsystem Technologies*, vol. 28, pp. 1673–1685, 2022, doi: [10.1007/s00542-022-05309-5](https://doi.org/10.1007/s00542-022-05309-5).