

## NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ DỤNG CỤ KẸP MICRO VỚI CƠ CHẾ THẢ VẬT THỂ CÓ ĐỘ ĐÍNH SỬ DỤNG RUNG ĐỘNG

TRẦN NGỌC ĐĂNG KHOA

*Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh;  
tranngocdangkhoa@iuh.edu.vn*

**Tóm tắt.** Kẹp micro dùng để gấp, giữ và thả các vật thể trong thế giới micro. Với nhiều ứng dụng quan trọng trong ngành công nghệ kỹ thuật cao, việc phát triển và thiết kế các nguyên lý hoạt động của kẹp micro đang là vấn đề quan tâm của các nhà nghiên cứu. Đặc biệt dùng để gấp và thả các vật thể có độ dính cao. Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày một dụng cụ kẹp micro với tính năng tự động thả vật thể có độ dính cao. Kẹp được cấu tạo dựa trên nguyên lý hoạt động cơ cấu mềm với hai vị trí cân bằng. Bên cạnh đó, một cơ cấu dùng để tạo dao động giúp cho vật thể có độ dính cao được thả ra bằng cách va chạm giữa các cơ cấu. quá trình gấp và thả được kích hoạt dựa trên ngoại lực tác dụng. Lợi dụng đặc điểm của cơ cấu mềm hai vị trí cân bằng, dụng cụ kẹp micro không cần dùng đến bất kỳ nguồn năng lượng bên ngoài nào để tác động vào quá trình giữ chặt của kẹp micro. Cấu trúc khớp mềm giúp tránh các lực ma sát và mài mòn trong quá trình hoạt động của kẹp.

**Từ khóa:** Tay kẹp, tuân thủ/trình tự, cơ cấu ổn định kép.

### RESEARCH AND DESIGN OF THE MICROGRIPPER WITH RELEASE ADHESIVE OBJECT BASED ON VIBRATION

**Abstract.** Pick and place task are largely widespread operations in the industrial world, especially in micro world. At these scales, surface forces become dominating in comparison with volumic forces. Microgripper help the human do the task in the tiny world. The paper presented a gripper capable of autonomous release of micro objects. Release of adhered micro objects is achieved by vibration of end effectors. The vibratory motion of the end effectors is attributed by an impact bar embedded in a bistable mechanism. External force was applied to operate the gripper. Exploitation the bistable mechanism behaviour, the gripper requires no power input during gripping of objects. The compliant mechanism of the gripper help limitation the friction and wear for its operation.

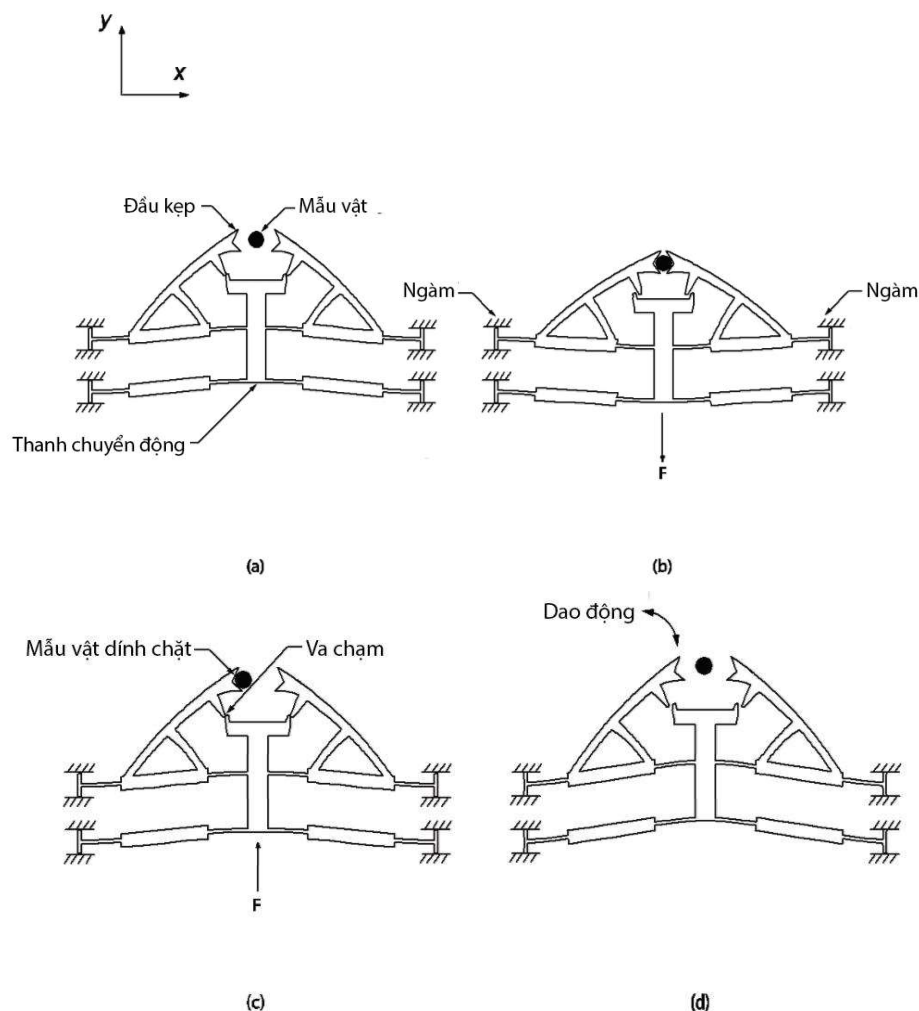
**Keywords.** Gripper, compliant, bistable mechanism, adhesive object.

### 1. GIỚI THIỆU

Các thao tác trên các kính hiển vi điện tử hoặc các kính hiển vi electron đòi hỏi việc giữ chặt các mẫu vật, hạn chế sự di chuyển đến mức tối thiểu của các mẫu vật [1]. Các thiết bị kẹp chặt với các cơ cấu khóa chặt giúp thực hiện mục đích trên. Trong suốt quá trình kẹp, giữ và thả mẫu vật của kẹp micro, hiện tượng dính giữa mẫu vật và thiết bị kẹp xảy ra, có thể do độ nhớt của mẫu vật cũng như môi trường thao tác, đã ảnh hưởng đến kết quả của mẫu vật [2]. Do đó quá trình thả mẫu vật mà loại bỏ được sự kết dính giữa mẫu vật và đầu kẹp cần được nghiên cứu và phát triển. Các cơ cấu rung, lắc có thể được ứng dụng để loại bỏ lực kết dính giữa mẫu vật và đầu kẹp của kẹp mẫu vật. Phương pháp đó chính là sử dụng cơ cấu rung để đẩy mẫu vật từ đầu kẹp của dụng cụ kẹp [2]. Cơ cấu này được giới thiệu bởi Chen và cộng sự [2], cơ cấu được kích hoạt bởi lực tĩnh điện. Aray và các cộng sự [3] đã phân tích sự cân bằng của lực bám giữa vật thể và đầu kẹp được chế tạo với các kim tự tháp micro trên bề mặt để vượt qua sự bám dính. Chen và cộng sự [4] đã thiết kế hệ thống điều khiển micro hoạt động bởi cơ cấu áp điện (piezoelectric). Đầu kẹp của thiết bị có thể dao động bởi các cơ cấu áp điện, giúp mẫu vật và đầu kẹp tách ra. Demaghi và các cộng sự. [5] cũng đã thiết kế một thiết bị kẹp micro bằng kim loại để gấp và thả các vật thể kích thước nano bằng cách rung các đầu kẹp. Một hệ thống comb drive được sử dụng để sinh ra sự rung động kết cấu. Fang et al. [6] cũng đã báo cáo việc gấp và thả các vật thể micro từ điều khiển hoạt động bởi lớp cảm biến áp điện. Các cơ cấu mềm cũng được ứng dụng nhiều trong các thiết kế dụng cụ kẹp, điển hình là cơ cấu kẹp sử dụng trên robot bay do Zang và các cộng sự phát triển [7]. Cơ cấu kẹp này được phát triển dựa trên cơ cấu mềm trong không gian, cơ cấu gồm ba tay kẹp, giúp kẹp chặt các vật thể. Khi vật thể va chạm vào phần tiếp xúc

của kẹp, kẹp sẽ tự đóng lại giúp giữ vật thể. Tuy nhiên, phần hoạt động thả vật thể chưa được trình bày và nghiên cứu, bên cạnh đó, các thí nghiệm thực tế vẫn chưa được tiến hành nhằm kiểm nghiệm hoạt động của cơ cấu kẹp. Lofroth và Avci [8] cũng giới thiệu một loại dụng cụ kẹp micro với cấu trúc được cấu tạo từ cơ cấu mềm. Loại kẹp này hoạt động dựa vào cơ cấu áp điện, khi cung cấp điện vào, cơ cấu sẽ kẹp vật thể và giữ. Khi nhả vật thể cần ngưng cấp điện. Cơ cấu này có cấu tạo phức tạp, cần nguồn năng lượng bên ngoài để duy trì hoạt động. Nguyen và Wang [9] đã giới thiệu cơ cấu mềm hai vị trí ổn định dùng cho việc giữ và thả vật thể, các thiết kế được thực hiện ở mức độ milimet. Nhưng các thí nghiệm cũng như khảo sát các yếu tố tác động đến hoạt động của cơ cấu vẫn chưa được thực hiện. Phần lớn các cơ cấu mềm ứng dụng trong thiết kế kẹp chủ yếu nghiên cứu về phần kẹp, còn phần thả vật chưa được chú trọng nghiên cứu.

Các phương pháp rung thả cần lượng lớn các cảm biến để xúc tác các liên kết tác động cuối cùng. Trong bài nghiên cứu này, dụng cụ kẹp micro có khả năng tự động hóa việc gấp và thả mẫu vật nhỏ được đề xuất. Chuyển động rung của các đầu kẹp được tác động bởi lực truyền động từ một thanh chuyển động trong cơ cấu ổn định hai vị trí cân bằng. Kết cấu mềm của kẹp gấp micro liên kết các đầu kẹp không gây ra lực giật, lực ma sát và độ mài mòn trong quá trình vận hành. Phân tích phần tử hữu hạn của kẹp micro được thực hiện để mô tả hành vi của thiết bị này. Các nghiên cứu về quá trình rung động cũng được thực hiện nhằm giúp hiểu thêm về tính chất hoạt động của cơ cấu.



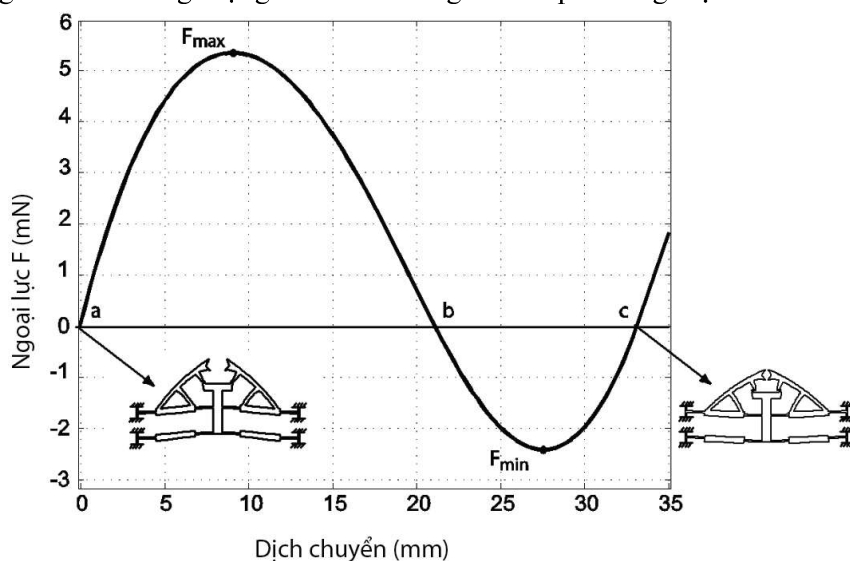
Hình 1. Nguyên lý hoạt động của thiết bị.

## 2. THIẾT KẾ

### 2.1. Nguyên lý hoạt động

Hình 1 thể hiện sơ đồ nguyên lý của kẹp micro. Tọa độ Cartesian cũng được bao gồm trong hình. Thiết bị được chế tạo là một khối liền, không có các khớp nối. Bởi không có các khớp động mà thiết bị giảm độ mài mòn, giảm yêu cầu chế tạo, mà tăng độ hoạt động chính xác cơ cấu. Kẹp micro được thiết kế dựa trên kết cấu hai vị trí ổn định kiểu Chevron, gồm các thanh đàn hồi được ngàm ở một đầu và có thanh cứng bên trong. Hình 1 miêu tả sự vận hành của kẹp micro. Hình 1(a) thể hiện vị trí ban đầu, cơ cấu ổn định hai vị trí ban đầu tồn tại vị trí ổn định đầu tiên và hai tay kẹp ở vị trí mở. Một mẫu vật được đặt giữa các đầu kẹp. Như trong hình 1(b), bởi vì lực tác dụng  $F$  vào thanh chuyển động, cơ cấu ổn định hai vị trí cân bằng bị tác động đi xuống theo chiều  $y$ , kéo hai cánh tay kẹp đóng đồng thời kẹp mẫu vật. Lợi dụng tính chất của cơ cấu hai vị trí ổn định cân bằng, một sự dịch chuyển mạnh diễn ra, cơ cấu chuyển đổi đến vị trí ổn định thứ hai. Không cần lực tác dụng để giữ cơ cấu ở trong trạng thái ổn định, và vật thể vi mô được kẹp giữ bởi các đầu kẹp của các tay kẹp. Như trong thể hiện trong hình 1(c), tác dụng một lực  $F$  theo hướng  $+y$  vào thanh chuyển động, cơ cấu ổn định hai vị trí cân bằng bị tác động đi lên, kéo hai cánh tay kẹp mở ra để thả vật thể micro. Trong lúc đó, thanh chuyển động tác động cánh tay kẹp để sinh ra sự chuyển động rung của đầu kẹp để bung vật thể ra trong trường hợp vật thể bị dính chặt vào một trong các đầu kẹp. (Tại hình 1(d))

Tổ hợp của cơ cấu ổn định hai vị trí ổn định có thể đáp ứng lực giữ kẹp ổn định đối với vật thể vi mô mà không cần lực đầu vào và bảo toàn lực tương tác tĩnh giữa các liên kết tác động cuối với vật thể bị kẹp. Không có các hệ thống điều khiển tinh vi, tay kẹp vi mô liên kết với thanh chuyển động có thể giảm thiểu năng lượng điều khiển và giảm chi phí trong việc thả mẫu vật bị dính.



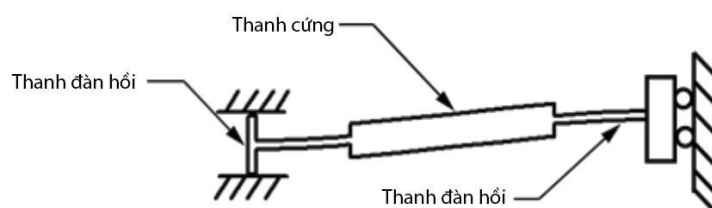
Hình 2. Đặc tính của cơ cấu hai vị trí ổn định

### 2.2. Cơ cấu hai vị trí ổn định

Hình 2 thể hiện nguyên lý hoạt động của cơ cấu hai vị trí cân bằng với đặc trưng chính là đồ thị đường cong ( $f-d$ ) của cơ cấu. Hướng đi của ngoại lực tác động,  $F$ , được chú thích ở hình 1(b). Vị trí a là vị trí ổn định thứ nhất của kết cấu, vị trí b là vị trí bất ổn định, cơ cấu dễ dàng di chuyển qua vị trí a hoặc c. Vị trí c là vị trí ổn định thứ hai. Khoảng cách của thanh chuyển động tương tự như khoảng cách của cơ cấu. Sự chuyển động của mẫu vật bị kẹp có thể nhận biết không cần lực tác động đầu vào. Việc giữ vật thể không cần ngoại lực do chính lực nén của cơ cấu khi bị

biến dạng tạo ra giúp cho cơ cấu giữ vật thể ở trạng thái cân bằng thứ hai. Kích thước của cánh tay kẹp có thể thay đổi để đáp ứng yêu cầu của kích thước mẫu vật cần kẹp. Thanh chuyển động dùng để tác động chuyển động rung của các đầu kẹp không yêu cầu các cơ cấu tác động trực tiếp bên trong [2, 4-6].

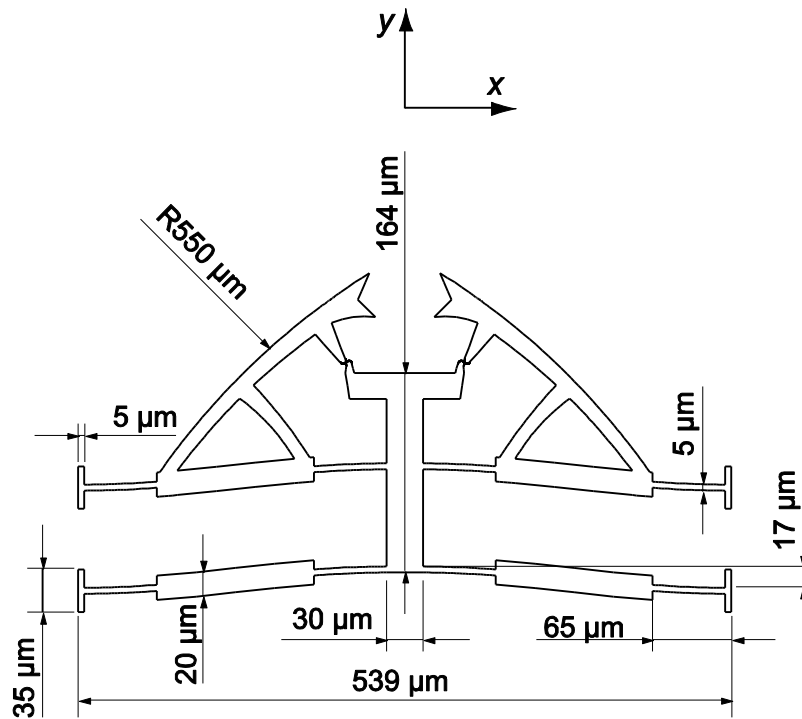
Hình 3 trình bày chi tiết một phần kết cấu của cơ cấu hai vị trí ổn định cân bằng, kết cấu có cấu tạo gồm một thanh đàn hồi nhỏ với hai đầu được ngàm vào một bề mặt cứng, chính giữa thanh đàn hồi này được kết nối với một thanh đàn hồi được thiết kế dựa trên đường cong cosin. Ở khoảng giữa thanh đàn hồi này, có một đoạn được thiết kế với bề ngang to hơn giúp nó đóng vai trò như một thanh cứng không biến dạng di cơ cấu được tác động, đầu còn lại của thanh cosin này được liên kết với thanh chuyển động của kẹp gấp micro. Phương trình đường cong cosin được ứng dụng trong thiết kế biên dạng thanh. Trên đường cong này được chia làm ba đoạn gồm hai thanh đàn hồi và một thanh cứng. Các thanh đàn hồi giúp cho cơ cấu chịu lực và hình thành nên đặc tính cơ của cơ cấu mềm hai vị trí ổn định.



Hình 3: Kết cấu của cơ cấu mềm hai vị trí ổn định

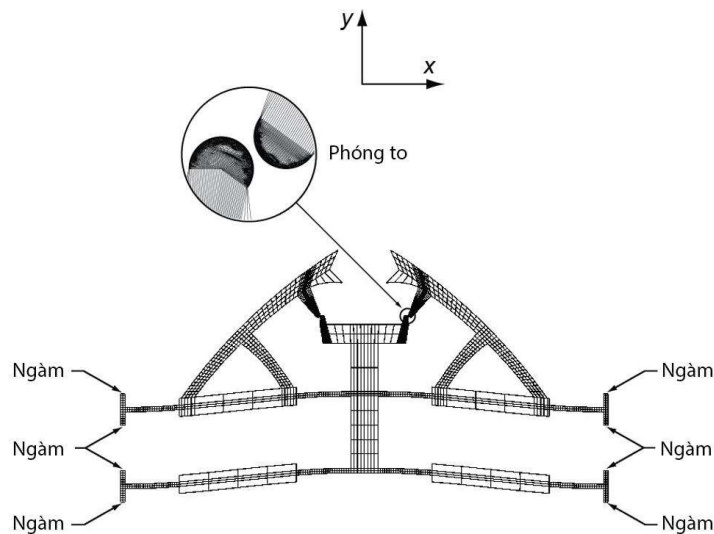
### 3. PHÂN TÍCH

Bởi vì sự phức tạp của quá trình biến dạng kết hợp với chi tiết có độ biến dạng lớn, phương pháp phân tích phần tử hữu hạn được sử dụng để tìm hiểu các tính chất vận hành của cơ cấu vi mô và đặc tả các đặc tính của đường cong (f-d) của cơ cấu hai vị trí ổn định. Hình 4 thể hiện kích thước thiết kế của mô hình. Độ dày của thiết bị khoảng  $20\mu\text{m}$ . Tọa độ Cartesian cũng được thể hiện trong hình. Điều kiện biên được đưa vào ở các đầu cuối của thiết bị. Khoảng cách hướng y thể hiện tại thanh truyền. Hình 5 là mô hình chia lưới của thiết bị. Trong phân tích, vật liệu của thiết bị là silicon. Bởi vì độ co giãn tuyến tính và mô hình đẳng hướng, Modun đàn hồi E là  $150\text{GPa}$ , và tỉ số Poisson được lấy là 0.28. Phần mềm tính toán phần tử hữu hạn ABAQUS được ứng dụng để thực hiện công việc tính toán với các điều kiện biên được thể hiện ở hình 3.



Hình 4. Kích thước thiết kế của dụng cụ kẹp.

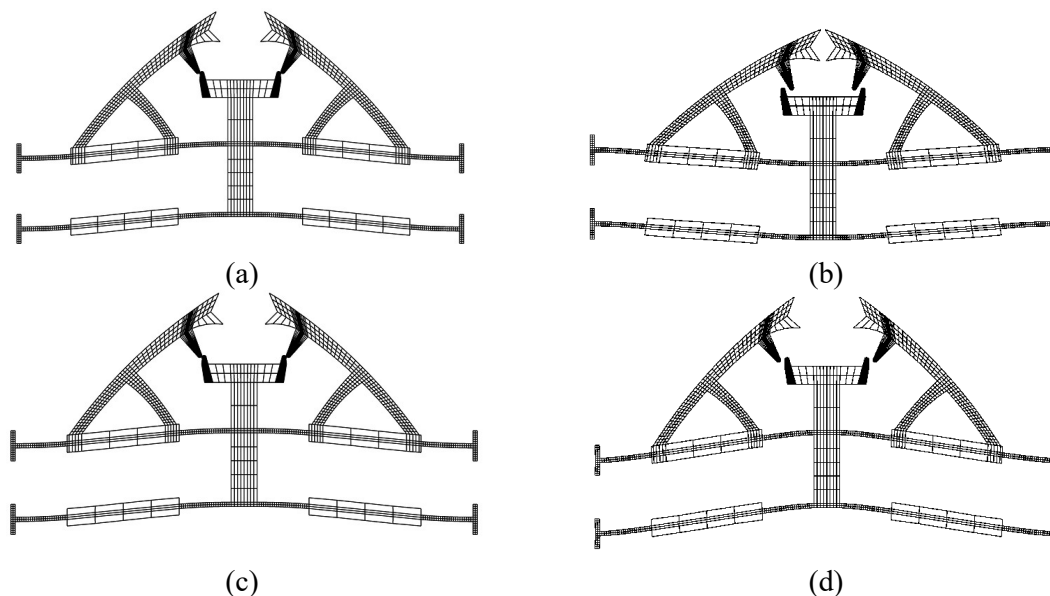
Đường cong f-d của thiết bị dựa trên sự phân tích phần tử hữu hạn được thể hiện trong hình 2. Khi khoảng dịch chuyển của khoảng không gian trọng lượng tăng lên từ vị trí trạng thái tĩnh đầu tiên (điểm a) đến vị trí trạng thái tĩnh thứ hai (điểm b), lực tăng ban đầu, đến giá trị cực đại, sau đó giảm về 0, khi mà vị trí trạng thái không cân bằng. Khi khoảng dịch chuyển tăng xa hơn, lực tăng, đạt giá trị nhỏ nhất của nó, sau đó tăng lại và đến 0, vị trí tĩnh thứ hai tại 33  $\mu\text{m}$ , điểm b. Ứng suất lớn nhất trong thiết bị trong khi khoảng cách dịch chuyển của thiết bị dựa trên tính toán phần tử hữu hạn là 1.15 GPa. Giá trị cực đại của ứng suất nhỏ hơn nhiều so với độ bền uốn của một tinh thể pha lê silicon thuần túy, 7Gpa [10].



Hình 5. Chia lưới dành cho phân tích phần tử hữu hạn và phóng to phần va chạm

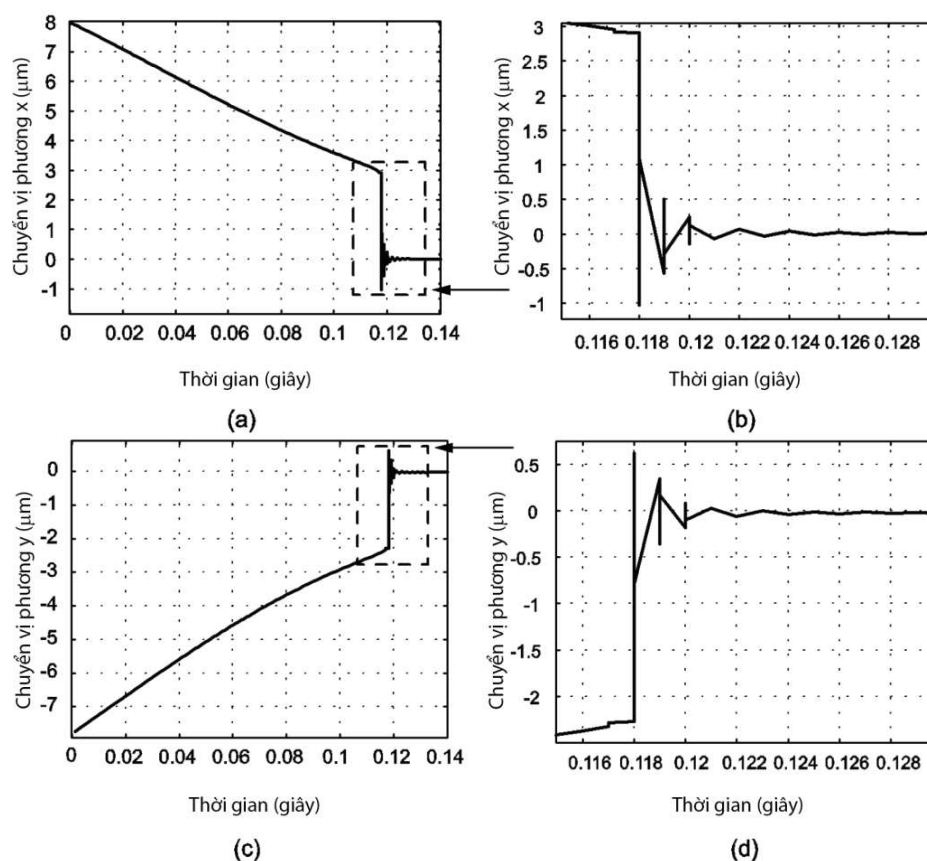
Hình 6 trình bày mô phỏng của thiết bị khi không biến dạng và biến dạng khi sử dụng phần mềm ABAQUS. Hình 6(a) thể hiện vị trí ban đầu của dụng cụ kẹp và hình 6(b) trình bày quá trình thiết bị hoạt động của thiết bị khi chịu lực, lúc này thanh chuyển động đi xuống và kéo hai đầu kẹp đóng lại để giữ mẫu vật. Hình 6(c) trình bày hoạt động giữ chặt mẫu vật của thiết bị, tại vị trí này, do đặc tính của cơ cấu hai vị trí ổn định, cơ cấu đạt vị trí ổn định thứ hai, cơ cấu kẹp chặt mẫu vật mà không cần đến bất kỳ một ngoại lực nào tác động vào. Hình 6(d) thể hiện quá trình thả mẫu vật, khi tác động một lực vào ngược lại với quá trình kẹp, thanh chuyển động đi lên đồng thời hai đầu kẹp mở ra để thả mẫu vật và quá trình dao động cũng bắt đầu để thả các mẫu vật có tính kết dính ra khỏi thiết bị. Khảo sát quá trình rung động của thiết bị được thể hiện chi tiết ở hình 7.

Hình 7 trình bày nghiên cứu về đáp ứng dao động của đầu kẹp. Trong quá trình thả mẫu vật, thanh chuyển động và chạm với phần đầu kẹp. Quá trình dao động ở đầu kẹp bắt đầu xảy ra. Quá trình dao động chỉ kéo dài 0.08 giây, với dao động lớn nhất theo phương y là 1  $\mu\text{m}$  và dao động theo phương x lớn nhất là 2  $\mu\text{m}$ . Khi va chạm, dao động đạt đỉnh lớn nhất trong khoảng thời gian 0.02 giây, sau đó dao động tắt dần. Quá trình này sẽ làm mẫu vật đi ra khỏi đầu kẹp.



Hình 6. Mô phỏng hoạt động của dụng cụ kẹp

Sự tác động rung cần lớn hơn lực kết dính giữa vật thể vi mô và các liên kết tác động cuối nhằm thỏa mãn cơ cấu bung ra. Mẫu vật tách ra khỏi đầu kẹp ra sự dao động lên xuống với tần số nhanh. Đây là quá trình thả thụ động. Độ dính có ảnh hưởng đến quá trình tách rời vật thể và đầu kẹp. Một mô hình để đánh giá lực ma sát tĩnh cần được xem xét để thuận tiện việc thiết kế tay kẹp vi mô. Bên cạnh đó, do có sự va chạm giữa các kết cấu nên cần khảo sát thêm tính bền của các cơ cấu để tránh sự hư hỏng của thiết bị cũng như đánh giá được kích thước tối đa của các mẫu vật mà kẹp có thể gấp được. Cần có các thực nghiệm trong tương lai để đánh giá sự hiệu quả của phương pháp được trình bày cơ cấu tự động bung ra.



Hình 7. Đáp ứng dao động của đầu kẹp.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thiết kế của dụng cụ kẹp micro với hoạt động kẹp và thả tự động đối với vật thể nhỏ đã được phát triển. Việc giữ vật thể không cần ngoại lực do chính lực nén của cơ cấu khi bị biến dạng tạo ra giúp cho cơ cấu giữ vật thể ở trạng thái cân bằng thứ hai. Ứng dụng dao động gây ra bởi sự va chạm giữa thanh chuyển động và đầu kẹp giúp vật thể dính trên đầu kẹp được thả ra ngoài. Quá trình gấp và thả vẫn cần ngoại lực, quá trình giữ và tách vật thể có độ dính thì không cần đến ngoại lực, giúp tiết kiệm năng lượng, đặc biệt khi ứng dụng trong thế giới micro. Thiết bị này có tính ứng dụng cao trong lĩnh vực y sinh, phục vụ quá trình gấp và thả các tế bào có độ dính cao. Tuy nhiên, thiết bị cũng cần các thực nghiệm để chứng minh tính hiệu quả cũng như khảo sát thêm các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của thiết bị.

#### REFERENCES

- [1] K. Kim, X. Liu, Y. Zhang and Y. Sun, "Nanonewton Force-Controlled Manipulation of Biological Cells Using a Monolithic MEMS Microgripper with Two-Axis Force Feedback," *Journal Micromech. Microeng.*, vol. 18, 055013, 2008.
- [2] B. K. Chen, Y. Zhang, and Y. Sun, "Autonomous release of microobjects using a MEMS microgripper to overcome adhesion forces," *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 2, pp. 652-659, 2009.
- [3] F. Arai, D. Andou and T. Fukuda, "Adhesion Forces Reduction for Micro Manipulation Based on Micro Physics," *IEEE Conference*, San Diego, CA, pp. 354- 359, 1996.

- [4] T. Chen, Li. Chen, L. Sun, W. Rong and Q. Yang, “Micro Manipulation based on Adhesion Control with Compound Vibration,” Proc. of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, 2010.
- [5] H. Demaghsi, H. Mirzajani and H. B. Ghavifekr, “Design and simulation of a novel metallic microgripper using vibration to release nano objects actively” Journal of Microsystem Technologies, vol. 20, pp. 65-72, 2014.
- [6] Y. Fang and X. Tan, “A Dynamic JKR Model with Application to Vibrational Release in Micromanipulation,” International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, 2006.
- [7] H. Zhang, J. Sun, and J. Zhao, Compliant Bistable Gripper for Aerial Perching and Grasping, 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019.
- [8] M. Lofroth and E. Avci, Development of a Novel Modular Compliant Gripper for Manipulation of Micro Objects, Micromachines, 2019.
- [9] T.A. Nguyen, D.A. Wang, A Gripper Based on a Compliant Bistable Mechanism for Gripping and Active Release of Objects, Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS), 2016.
- [10] R. Zhang, J. Chu, H. Wang and Z. Chen, “A multipurpose electrothermal microgripper for biological micro-manipulation,” Microsyst. Technol., vol. 19, pp. 89–97, 2012.

*Ngày nhận bài: 03/04/2020*

*Ngày chấp nhận đăng: 24/07/2020*