

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO BỘ PHÁT ĐỘNG CUỘN DÂY DỊCH CHUYỂN CHO THIẾT BỊ VÒI PHUN TẠO GIỌT CHẤT LỎNG

DESIGN AND FABRICATION OF A MOVING COIL ACTUATOR FOR JET DISPENSERS

Trần Minh Sang*, Hoàng Văn Thạnh, Lưu Đức Bình, Trần Ngọc Hải, Nguyễn Phạm Thế Nhân, Đỗ Lê Hưng Toàn, Tào Quang Bằng, Trần Phước Thanh

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: tmsang@dut.udn.vn

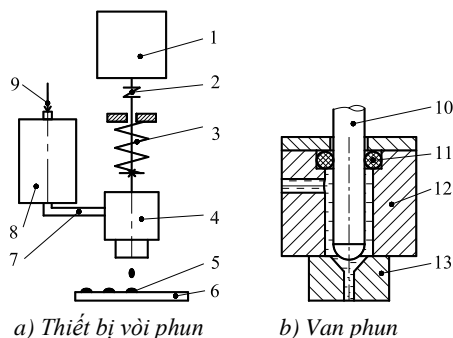
(Nhận bài: 07/12/2021; Chấp nhận đăng: 21/02/2022)

Tóm tắt - Bộ phát động cuộn dây dịch chuyển tuyến tính, hoạt động dựa trên nguyên lý điện từ, được thử nghiệm để phát động kim phun của một thiết bị vòi phun tạo giọt chất lỏng. Lực cản tác động lên kim phun là một thông số quan trọng trong thiết kế bộ phát động (BPĐ) và được đo bằng thực nghiệm. Mô hình mô phỏng 2D của BPĐ được hiệu chỉnh kích thước dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn để nâng cao lực phát động sinh ra. Một mẫu BPĐ cuộn dây dịch chuyển được chế tạo dựa trên bộ kích thước đã hiệu chỉnh ở bước mô phỏng. Lực phát động và tần số hoạt động tối đa của BPĐ được đo thông qua thực nghiệm. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, mô hình BPĐ sau hiệu chỉnh có lực phát động tăng 30% so với mô hình trước hiệu chỉnh. Kết quả thực nghiệm cho thấy, tần số vận hành tối đa có thể đạt được là 120 Hz. Thiết bị vòi phun hoạt động ổn định với sai số kích thước giọt chất lỏng khoảng 5 - 8%.

Từ khóa - Truyền động điện từ tuyến tính; bộ phun chất lỏng; phần tử hữu hạn; giọt chất lỏng; tần số vận hành.

1. Giới thiệu

Công nghệ phân phối giọt chất lỏng là quá trình vật liệu lỏng được thiết bị vòi phun phân phối trên một vật nền dưới dạng giọt hoặc đường dẫn liên tục tại các vị trí được cài đặt, và nó được ứng dụng nhiều trong lắp ráp các linh kiện điện tử, đóng gói Chip, lắp ráp các chi tiết ô tô, y khoa... [1-4]. Các chất lỏng được sử dụng như: Solder paste, heat curing, epoxy resin, UV & light curing; electrolytic solutions, biotechnical suspensions... [5]. Thiết bị vòi phun được gắn trên một cơ cấu di chuyển 3D hoặc tay máy để thi hành nhiệm vụ.



Hình 1. Cấu tạo thiết bị vòi phun.

1. Bộ phát động, 2. vòi trực, 3. lò xo, 4. van phun, 5. giọt chất lỏng, 6. vật nền, 7. ống dẫn, 8. bể chứa, 9. khí nén, 10. kim phun, 11. vòng phốt, 12. thân van, 13. đầu vòi phun

Abstract - A moving coil actuator (MCA) operated based on the electromagnetic principle is proposed to drive a jet valve needle of the jet dispenser. The resistance force impacting the needle is a crucial parameter in the MCA design, and it is measured based on the experimental model of the jet valve. The 2D simulation model of MCA is modified by the finite element method (FEM) to improve the thrust force generated by MCA. The MCA prototype is fabricated based on the modified dimensions from the simulation step. Then, the measuring system is set to figure out the MCA thrust force and maximum operating frequency. The simulation result shows that, the thrust force of the modified model is higher than 30% compared with that of the model before modification. The experiment results show that, the MCA thrust force is high enough to actuate the jet valve needle, and the maximum operating frequency is 120 Hz. MCA-based jet dispenser operates steadily with the dot size error of about 5 - 8%.

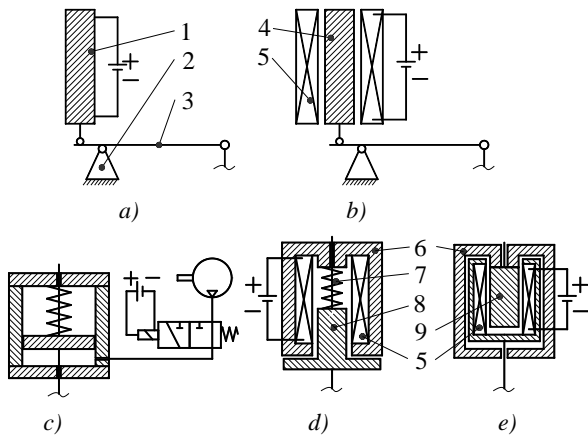
Key words - Linear electromagnetic actuator; jet dispenser; finite element method; fluid dot; operating frequency.

Kết cấu của thiết bị vòi phun bao gồm 2 bộ phận chính: Van phun và bộ phát động (BPĐ) (Hình 1). Dưới áp lực khí nén 9 đẩy chất lỏng từ bể chứa 8 qua ống dẫn 7 đi vào thân van phun 12, trong van phun có một kim phun 10 chuyển động tuyến tính liên tục lên - xuống được phát động bởi BPĐ 1 để tạo lực đủ lớn đẩy vật liệu lỏng ra ngoài van phun qua đầu lỗ vòi phun 13. Khi kim phun thực hiện đủ hai hành trình đi lên và xuống thì tương ứng nó đã hoàn thành một chu kỳ phun, đồng thời một giọt chất lỏng được phun ra khỏi lỗ vòi phun. Trong nghiên cứu về thiết bị vòi phun chất lỏng, cụm từ tần số phun hay tần số vận hành được hiểu là tổng số chu kỳ phun hoặc tổng số giọt chất lỏng phun ra khỏi lỗ vòi phun trong một giây.

Hiện tại, có 4 BPĐ hoạt động theo nguyên lý khác nhau (Hình 2a - 2d), lần lượt dựa trên vật liệu áp điện (piezo-stack), vật liệu từ tính (magnetostrictive), điện khí nén (lectro-pneumatic), van điện từ (solenoid). Cụ thể, trục BPĐ piezo-stack sẽ giãn ra hoặc co lại khi đặt nguồn điện áp dương hoặc âm vào hai đầu của vật liệu áp điện, sự co giãn của trục được dùng để phát động kim phun theo hai chiều (Hình 2a). BPĐ magnetostrictive dùng vật liệu từ tính mà khi đặt chúng vào môi trường từ trường nó sẽ giãn hoặc co theo chiều của từ trường ngoài (Hình 2b) [6]. BPĐ lectro-pneumatic sử dụng một van phân phối đảo chiều dòng khí nén để phát động chuyển động pít-tông xi lanh khí nén để dẫn động kim phun (Hình 2c) [7]. Cuối cùng là

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Tran Minh Sang, Hoang Van Thanh, Luu Duc Binh, Tran Ngoc Hai, Nguyen Pham The Nhan, Do Le Hung Toan, Tao Quang Bang, Tran Phuoc Thanh)

BPD solenoid hoạt động dựa trên nguyên lý điện trường, khi mà dòng điện chạy qua cuộn dây quấn quanh một lõi sắt từ nó sẽ trở thành một nam châm điện để hút trục dẫn động làm từ vật liệu sắt từ, sau đó trục này sẽ dẫn động kim phun (Hình 2d) [8]. Ưu điểm của loại piezo-stack là vận hành tại tần số cao, trong khi đó loại magnetostrictive lại hoạt động tại tần số thấp hơn nhưng hành trình phát động của 2 loại này thường giới hạn tại 100 μm . Để khắc phục nhược điểm này, một cơ cấu đòn bẩy được sử dụng để khuếch đại hành trình kim phun để đạt tối thiểu 300 μm , đây là hành trình tối thiểu để đảm bảo điều kiện kim phun có thể đẩy vật liệu ra khỏi lỗ vòi phun [9]. Loại electro-pneumatic có hành trình pít-tông lớn và do đó không cần cơ cấu phóng đại hành trình; Tuy nhiên, vì dính kèm bộ pít-tông xi lanh và van phân phối đảo chiều dòng khí nén nên kết cấu loại này lớn. Loại solenoid có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo nhưng lực phát động lại giảm mạnh khi khoảng cách giữa trục di động và cuộn dây tăng; Thêm nữa, loại này chỉ phát động một chiều và cần có lò xo để phát động chiều còn lại và tần số vận hành thường dưới 10 Hz [10].



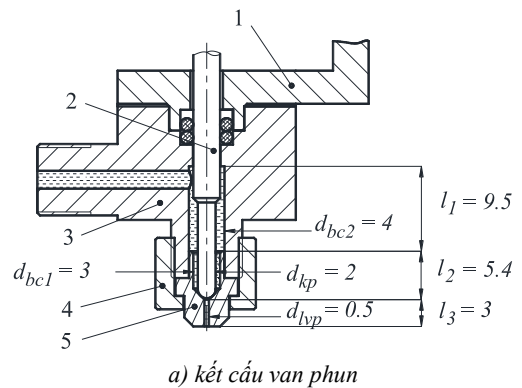
Hình 2. Cấu tạo thiết bị phát động. a. Piezo-stack, b. magnetostrictive, c. electro-pneumatic, d. solenoid, e. MCA để xuất, 1. piezo-stack, 2. gôi, 3. đòn bẩy, 4. magnetostrictive, 5. cuộn dây, 6. vỏ, 7. lò xo, 8. trục, 9. nam châm

Hiện tại, các nghiên cứu tập trung phát triển loại phát động gián tiếp thông qua cơ cấu khuếch đại để tăng hành trình kim phun khi nó được phát động bởi piezo-stack, tần số hoạt động lớn nhất của thiết bị vòi phun có bộ khuếch đại hành trình có thể đạt từ 65 Hz đến 400 Hz [11-16]. Tuy chúng có thể đạt tần số cao nhưng cách phát động gián tiếp có nhược điểm là kết cấu phức tạp, kích thước lớn và giá thành cao hơn so với cách phát động trực tiếp. Trong nghiên cứu này, một BPD được phát triển với kết cấu đơn giản, giá thành thấp và có hành trình đủ lớn để phát động trực tiếp kim phun mà không thông qua cơ cấu phóng đại hành trình. BPD hoạt động dựa trên nguyên lý điện từ trường, truyền động cuộn dây - moving coil actuator (MCA) (Hình 2e), được đề xuất vì phù hợp với yêu cầu đề ra và có khả năng khắc phục nhược điểm tần số thấp của Solenoid. MCA thường được ứng dụng trong các bộ tạo dao động, loa, dịch chuyển thấu kính máy ảnh, và cơ cấu truyền động 2D và 3D [17,18]. Nguyên lý hoạt động của MCA là khi có dòng điện qua cuộn dây 5 sẽ tạo một từ trường quanh cuộn dây, nếu đặt một trục nam châm 9 vào giữa cuộn dây, hai nguồn từ trường sẽ tạo lực hút và đẩy tùy thuộc vào chiều của dòng điện. Lúc này, nam châm 9

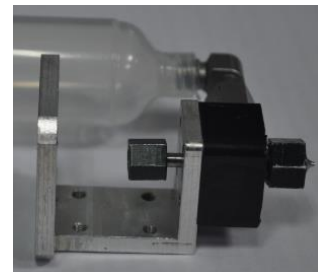
được cố định còn cuộn dây 5 chuyển động tự do để truyền động trực tiếp kim phun. Ưu điểm của MCA là tần số vận hành cao hơn BPD solenoid, phát động 2 chiều, độ giảm lực trên chiều dài hành trình thấp, có thể phát động trực tiếp không cần cơ cấu phóng đại hành trình, qua đó có thể khắc phục được nhược điểm của solenoid.

Nghiên cứu sẽ giới thiệu các BPD hiện có và đề xuất BPD MCA, tiếp đến là chế tạo một van phun chất lỏng dạng giọt để đo lực thực tế cần để phát động kim phun. MCA được thiết kế phải tạo lực lớn hơn lực phát động kim phun. Để tối ưu hóa thiết kế MCA, một mô hình 2D được mô phỏng dựa trên phần mềm ANSYS Maxwell để tìm ra một kết cấu tạo lực đẩy cao. Sau đó, một mẫu MCA được chế tạo dựa trên kích thước mô hình thu được từ bước mô phỏng tối ưu trước đó. Các mô hình đo lường được thiết lập để đo lực đẩy của MCA, tần số hoạt động tối đa. Sau cùng là vận hành thiết bị vòi phun được phát động bởi MCA để quan sát độ đồng đều kích thước giọt chất lỏng tạo thành tại các mức tần số vận hành khác nhau.

2. Chế tạo van phun và đo lực phát động kim phun



a) kết cấu van phun

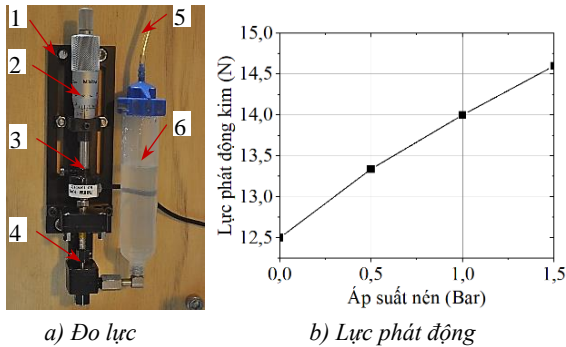


b) Van chế tạo

Hình 3. Thiết kế và chế tạo van phun. 1. giá van, 2. kim phun, 3. thân van, 4. đai ốc, 5. vòi phun

Kích thước van phun được tham khảo từ các nghiên cứu trước [19-21]. Hình 3 trình bày thiết kế của van phun chất lỏng dạng giọt với các kích thước chính và mẫu van phun sau khi chế tạo. Hình 4a trình bày thiết lập mô hình thực nghiệm đo lực cần thiết dẫn động kim phun. Theo đó, van phun 4 được lắp lên giá đỡ 1, đầu đo của loadcell 3 tiếp xúc với đuôi kim phun, panme 2 dùng để điều chỉnh chiều dài hành trình của kim phun, khí nén từ ống 5 sẽ nén chất lỏng trong xy lanh 6 vào van phun 4, áp suất khí nén có thể được hiệu chỉnh, tín hiệu loadcell được xử lý để xác định được lực tác động cần thiết lên kim phun. Lực phát động kim phun bằng tổng của các lực cản gồm: Lực ma sát giữa vòng phốt với thân kim phun, lực cản bởi áp suất nén lên đỉnh kim phun, lực cản nhớt chất lỏng và lực gia tốc kim phun.

Đường kính kim phun (d_{kp}) và lỗ vòi phun (d_{vp}) lần lượt là 2 mm và 0,5 mm. Chất lỏng được sử dụng là glycerine có độ nhớt 950cp tại 25°C. Kết quả đo được lực tác động kim phun tối đa sau khi có nhân hệ số an toàn 1,2 là 12,5; 13,34; 14; và 14,6 N khi áp suất nén lần lượt là 0; 0,5; 1; và 1,5 bar (Hình 4b).



Hình 4. Xác định lực phát động kim phun. 1. giá, 2. panme, 3. loadcell, 4. Van phun, 5. ống khí nén, 6. Xy lanh chứa

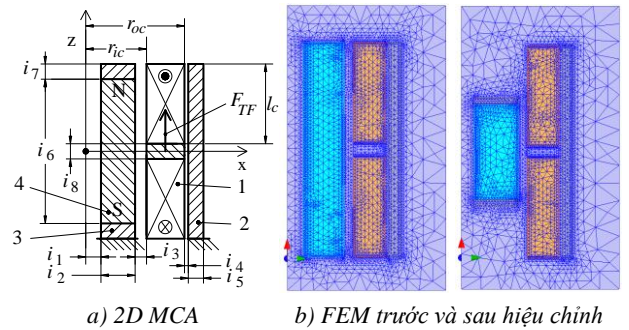
3. Thiết kế bộ phát động MCA

3.1. Mô phỏng MCA

Lực phát động kim phun được xác định trong Mục 2 là thông số đầu vào để thiết kế MCA. Khó khăn của quá trình thiết kế là việc tính toán lực từ trường tạo ra khi có sự tương tác giữa từ trường cuộn dây và từ trường nam châm, cũng như là kích thước các chi tiết và khoảng cách giữa nam châm và cuộn dây có ảnh hưởng đến độ lớn lực tạo ra bởi MCA. Để giải quyết vấn đề này, phần mềm chuyên dụng trong thiết kế và tính toán điện từ trường ANSYS Maxwell được sử dụng để dự đoán lực và hiệu chỉnh mô hình MCA để thu được một kích thước mô hình tối ưu [22, 23]. Vì kết cấu MCA có phân bố đối xứng, nên để đơn giản hóa mô hình và giảm thời gian tính toán, mô hình 2D được dựng dựa trên các chi tiết cấu thành chính của MCA như vỏ, cuộn dây, nam châm, và hai vòng sắt từ đặt hai đầu nam châm (Hình 5a). Vỏ 1 và các vòng sắt của MCA làm từ vật liệu 1020, cuộn dây 2 là vật liệu đồng, nam châm 4 làm từ vật liệu neodymium NdFeB với cường độ từ trường $B_r = 1,4$ T. Trong đó, kích thước đường kính và chiều cao cuộn dây được cố định, cụ thể $l_c = 16$ mm, $r_{ic} = 10,4$ mm, $r_{oc} = 15,4$ mm, và tổng số vòng dây là 900 vòng. Các kích thước của MCA được gán với các biến $i_1 - i_8$ để thuận tiện cho quá trình tối ưu.

Phương pháp thực nghiệm số được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Theo đó, ta cho giá trị từng biến thay đổi trong khoảng giới hạn trong khi giá trị các biến còn lại là không đổi để tìm được giá trị tối ưu của biến bị thay đổi. Trong đó, giá trị tối ưu là giá trị làm cho lực phát động được tạo ra bởi MCA là lớn nhất. Tiếp theo, ta lần lượt thực hiện bước trên cho tất cả các biến còn lại. Vùng giá trị của biến kích thước ước định phụ thuộc vào kích thước cuộn dây và tương thích cho việc lắp ghép bộ phát động với van phun. Nói cách khác là khi các biến kích thước thay đổi trong vùng giá trị đó, một mặt nó không làm thay đổi nhiều đến kết cấu chung của thiết bị vòi phun, mặt khác ta vẫn chọn được một tập kích thước tối ưu sao cho BPD sinh ra lực đẩy cao nhất có thể. Hình 5b trình bày 2 mô hình lưới FEM trước và sau hiệu chỉnh. Bảng 1 trình bày giới hạn của biến

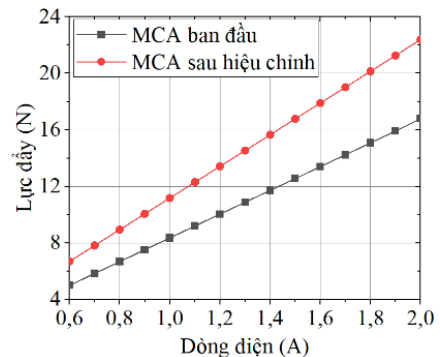
kích thước trước hiệu chỉnh và kích thước đã tối ưu sau hiệu chỉnh. Hình 6 trình bày kết quả mô phỏng lực đẩy của MCA trước và sau tối ưu, kết quả thu được cho thấy lực của MCA sau tối ưu tăng trung bình 30% so với trước mô hình trước ối ưu.



Hình 5. Mô phỏng MCA. 1. Vỏ, 2. cuộn dây, 3. vòng sắt, 4. nam châm

Bảng 1. Kích thước MCA trước và sau hiệu chỉnh

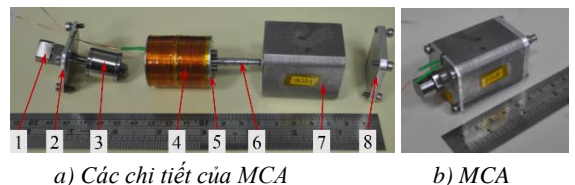
Kí hiệu	Trước (mm)	Sau (mm)	Kí hiệu	Trước (mm)	Sau (mm)
i_1	1,5 – 4,4	2	i_5	1 – 2	1,5
i_2	2,5 – 9	7	i_6	4 – 25	15,2
i_3	0,8 – 2	1,4	i_7	0 – 5	1
i_4	0,3 – 1,2	0,6	i_8	0,5 – 2,5	1,6



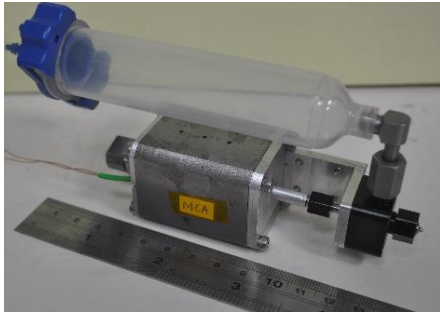
Hình 6. Kết quả mô phỏng lực MCA trước và sau tối ưu

3.2. Gia công MCA

Mẫu MCA được chế tạo dựa trên kích thước thu được sau hiệu chỉnh ở bước mô phỏng. Các chi tiết của MCA sau chế tạo và mẫu lắp ghép hoàn chỉnh được chỉ ra trong Hình 7a và 7b. Trong đó, hai nắp 2 và 8, trục 6 và giá quấn dây 5 được làm từ hợp kim nhôm AL6061, dây đồng 4 có đường kính 0,42 mm đã bao gồm lớp cách điện, nút hiệu chỉnh hành trình 1 được gia công từ thép không gỉ 304, vỏ 7 làm từ thép 1020. Hành trình của kim phun được giới hạn từ $0 \div 0,5$ mm. Hình 8 trình bày thiết bị vòi phun sau khi lắp ghép bộ phát động MCA với van phun.



Hình 7. Gia công MCA. 1. nút hiệu chỉnh hành trình, 2. nắp trên, 3. nam châm, 4. cuộn dây, 5. giá quấn dây, 6. trục, 7. vỏ, 8. nắp dưới

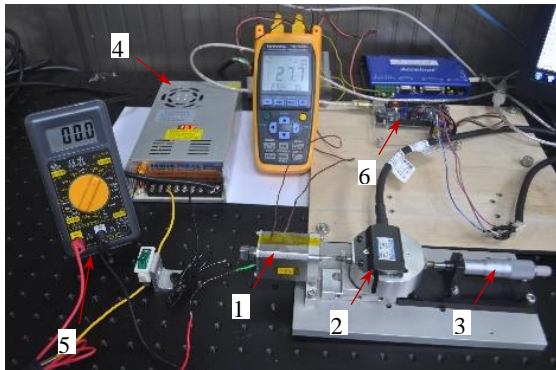


Hình 8. Thiết bị vòi phun phát động bởi MCA

4. Thiết lập thực nghiệm

4.1. Đo lực phát động

Hình 9 trình bày sơ đồ thực nghiệm đo lực phát động được tạo ra bởi MCA. Nguồn 4 cấp điện áp cho MCA 1, dòng điện đầu vào được đo bởi VOM 5, loadcell 2 (Kyowa LTZ-50KA) đo lực đẩy của MCA, panme 3 để hiệu chỉnh vị trí của trục MCA. Bộ điều khiển 6 nhận và xử lý tín hiệu từ loadcell 2. Trong thí nghiệm này, dòng điện cấp cho MCA tại các giá trị 1,1 A đến 2 A với bước nhảy 0,1 A. Lực được đo tại các vị trí của hành trình của trục MCA từ 0 đến 0,5 mm với bước nhảy 0,1 mm. Quá trình đo bắt đầu khi dòng điện được cấp cho cuộn dây, MCA tạo ra lực đẩy tác động lên loadcell, tín hiệu loadcell được xử lý và hiển thị giá trị lực MCA tại vị trí trục 0 mm lên trên màn hình. Tiếp đến, panme điều chỉnh trục lần lượt đến các vị trí 0,1, 0,2; ...; 0,5 mm, các giá trị lực lần lượt được ghi nhận.

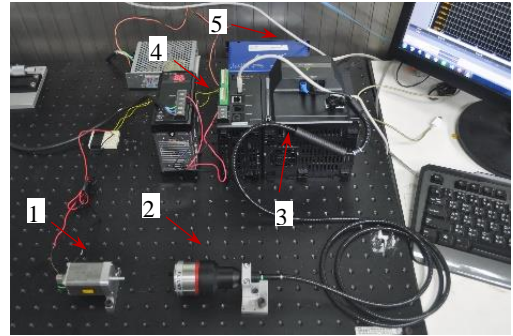


Hình 9. Đo lường lực MCA. 1. MCA, 2. loadcell, 3. panme, 4. nguồn hiệu chỉnh, 5. vom, 6. bộ điều khiển

4.2. Đo tần số hoạt động

Trong Hình 10, cảm biến laser hành trình 2 (Keyence CL-P070) được sử dụng đo hành trình của MCA 1, bộ điều khiển Keyence CL-3000 3 đi kèm cảm biến 2, nguồn 24 V DC cấp nguồn cho bộ điều khiển 3 và bộ tạo xung Accelnet Panel 5. Giao tiếp CPU với Accelnet thông qua RS-232. Thông qua phần mềm CME 2™ cài đặt trên máy tính, ta có thể điều chỉnh điện áp dạng xung PWM với độ rộng xung 50% và tần số dòng điện. Giá trị điện trở cuộn dây MCA là 10,8 Ω, giả sử muốn cấp dòng 1,5 A qua cuộn dây thì tương ứng ta chỉnh giá trị điện áp 16,2 V. Trong trường hợp đặt tần số hoạt động là 1 Hz, ban đầu giá trị điện áp thay đổi từ 0 V đến +16,2 V, trục di chuyển theo hành trình từ phải sang trái, sau 0,5 giây điện áp hạ từ +16,2 V đến -16,2 V và chiều dòng điện thay đổi, lúc này chiều lực tác động lên trục thay đổi, trục sẽ di chuyển theo hành trình từ trái sang phải để kết thúc một chu trình tương ứng thời gian là một

giây. Cảm biến hành trình sẽ ghi lại toàn bộ hành trình dịch chuyển của trục theo thời gian, qua đó ta có quan sát được tần số hoạt động của MCA.

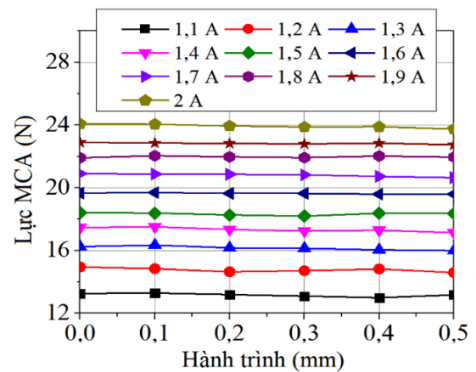


Hình 10. Đo tần số hoạt động. 1. MCA, 2. cảm biến laser, 3. bộ xử lý của cảm biến, 4. nguồn 24 V, 5. bộ tạo nguồn xung PWM

5. Kết quả và thảo luận

5.1. Lực phát động

Hình 11 chỉ ra lực phát động tạo ra bởi MCA theo hành trình và giá trị dòng điện cấp vào cuộn dây khi thực nghiệm. So sánh kết quả lực MCA thực nghiệm với kết quả mô phỏng mô hình sau tối ưu ở Hình 6 cho sai số trung bình 8,8%. Từ kết quả thực nghiệm ta thấy, lực đẩy ít biến động dọc hành trình của trục MCA, độ giảm của lực tại điểm cuối hành trình so với vị trí đầu hành trình là không đáng kể khoảng 0,5 N. Nếu trong điều kiện vận hành với áp suất khí nén tối đa là 0,5 bar, lực cần thiết phát động kim phun là 13,34 N [tham khảo Mục 2, Hình 4b], lúc này giá trị dòng điện tối thiểu cấp cho MCA để đảm bảo lực đẩy tạo ra đủ lớn để phát động kim phun là 1,2 A.

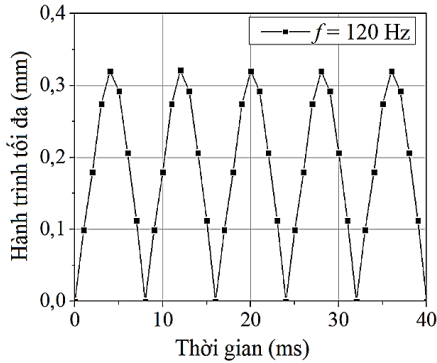


Hình 11. Lực phát động MCA thực nghiệm

5.2. Tần số hoạt động

Do yêu cầu hành trình tối thiểu của kim phun là từ 0,3 đến 0,5 mm để có thể tạo ra lực quán tính đủ lớn để đẩy chất lỏng ra khỏi lỗ vòi phun, nên trong thực nghiệm này hành trình trục MCA cần lớn hơn 0,3 mm. Khi tần số càng cao thì thời gian thực hiện một chu trình phun càng giảm, để đảm bảo đáp ứng động học thì hành trình của trục cũng ngắn lại. Với yêu cầu hành trình phải lớn hơn 0,3 mm, giá trị tối đa của tần số hoạt động được xác định khi ta thực nghiệm cho tần số tăng lên đến một giá trị nhất định mà lúc đó hành trình vẫn được duy trì ở mức trên giá trị yêu cầu. Do đó, tần số tối đa của MCA đo được là 120 Hz với hành trình tương ứng là 0,32 mm (Hình 12). Như vậy, MCA có thể phát động trực tiếp kim phun không cần cơ cấu khuếch đại hành trình. Nếu muốn thiết bị vòi phun vận hành tại tần

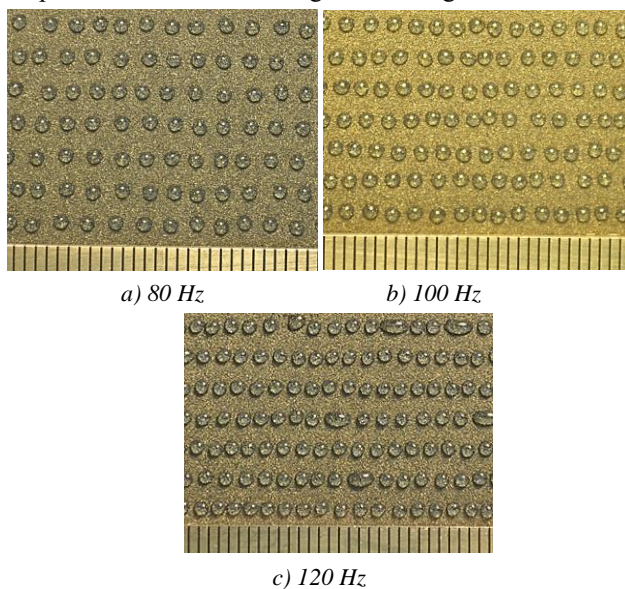
số cao hơn 120 Hz với bộ phát động MCA thì ta cần thiết kế tích hợp cơ cấu phóng đại.



Hình 12. Tần số MCA tối đa

5.3. Thực nghiệm thiết bị vòi phun

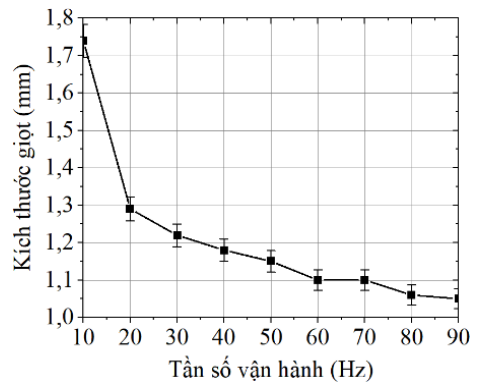
Thiết bị vòi phun được phát động bởi MCA được lắp trên cơ cấu di chuyển theo 2 trục xy để thực nghiệm khả năng tạo giọt chất lỏng. Chất lỏng được sử dụng trong thí nghiệm này là glycerine có độ nhớt 950cp tại 25°C. Hình 13 báo cáo hình ảnh khi tạo giọt tại các tần số 80, 100, và 120 Hz. Tại tần số 120 Hz, một vài giọt chất lỏng có hiện tượng liên kết với nhau. Hiện tượng này là do tốc độ di chuyển theo trục x của cơ cấu mang thiết bị vòi phun bị giới hạn tốc độ thiết kế tại 26,5 cm/s, nên tại tần số cao khoảng cách các giọt liên kết nhau rút ngắn làm xuất hiện hiện tượng liên kết với nhau. Trong thực nghiệm này, kích thước của giọt chất lỏng được xác định qua đó có thể tính toán gần đúng thể tích giọt thông qua phân tích hình học giọt lỏng một cách gần đúng. Khi giọt chất lỏng rơi xuống chất nền, phụ thuộc vào độ nhám bề mặt chất nền và độ nhớt của chất lỏng mà độ loang của giọt khác nhau. Để giải quyết nhược điểm này, giấy nhám CC-400-Cw với kích thước hạt nhám cỡ 25,8 đến 36,0 μm được sử dụng thay cho chất nền để giữ giọt chất lỏng cố định kích thước ban đầu khi đưa lên máy đo. Phần mềm ImageJ được sử dụng để phân tích kích thước ảnh giọt chất lỏng.



Hình 13. Giọt chất lỏng tại tần số 80, 100 và 120 Hz

Hình 14 chỉ ra sự thay đổi của kích thước giọt chất lỏng bị ảnh hưởng bởi tần số vận hành, theo đó, khi tần số vận

hành tăng thì đường kính giọt bị giảm. Tại tần số cao, thời gian thực hiện hành trình giảm nên thời gian gia tốc chất lỏng của kim phun cũng giảm. Mặt khác, khả năng điền đầy của chất lỏng vào khoảng trống giữa đầu kim phun và đầu lỗ vòi phun trước khi kim phun đi xuống giảm, đặc biệt là khi độ nhớt của chất lỏng tăng. Ngoài ra, hiện tượng giảm hành trình khi tần số tăng cũng làm giảm lực tác động của kim phun. Đó là các lý do kích thước giọt giảm khi tần số tăng. Lỗi kích thước giọt rơi vào khoảng $\pm 5\%$ khi vận hành dưới tần số 95 Hz và có thể tăng lên $\pm 8\%$ khi vận hành tại tần số cao hơn. Như vậy, tần số hoạt động tối đa là 120 Hz nhưng tần số hoạt động ổn định là dưới 95 Hz. Khi tần số cao hơn 95 Hz, MCA sẽ không đi tri ổn định hành trình kim phun 0,32 mm khi vận hành trong thời gian dài, do đó thể tích giọt lỏng có sai số lớn hơn.



Hình 14. Ảnh hưởng của tần số vận hành đến đường kính giọt chất lỏng

Trong trường hợp chất lỏng có độ nhớt thấp, ví dụ như nước có độ nhớt khoảng 1cp, nếu áp suất nén cài đặt cao thì khi kim phun nhấc lên, lỗ vòi phun được mở ra, chất lỏng tự động phun ra và không thể hình thành giọt mong muốn. Nếu độ nhớt chất lỏng cao thì áp suất nén đóng vai trò duy trì dòng chảy từ xy lanh chứa đi vào điền đầy lượng hao hụt chất lỏng sau mỗi lần phun giọt. Do đó, áp suất nén cần hiệu chỉnh phù hợp với từng chất lỏng có độ nhớt khác nhau trước khi sử dụng. Đối với thiết bị phun trong nghiên cứu này, độ nhớt thực nghiệm tối đa có thể phun được là 4000cp.

Mục tiêu thí nghiệm này là đo kích thước của giọt lỏng tại các mức tần số vận hành khác nhau để đánh giá khả năng tạo giọt đồng đều của thiết bị phun. Tùy ứng dụng cụ thể mà người sử dụng tự định lượng giọt lỏng cần thiết. Quá trình hiệu chỉnh kích thước hay thể tích giọt lỏng được thực hiện thông qua hiệu chỉnh tổng hợp các thông số gồm tần số hoạt động, áp suất nén, lực phát động, hành trình kim phun và độ nhớt chất lỏng.

6. Kết luận

Nghiên cứu này báo cáo việc lần đầu áp dụng bộ phát động cuộn dây, moving coil actuator, để phát động trực tiếp kim phun của một thiết bị vòi phun. Cụ thể, van phun được chế tạo dựa trên kích thước tham khảo từ các nghiên cứu đã công bố để xác định lực cần thiết dẫn động kim phun. Trước khi chế tạo MCA, mô hình hình học của nó được mô phỏng dựa trên phần mềm ANSYS Maxwell để thu được bộ kích thước tối ưu. Kết quả mô phỏng cho thấy, lực phát động của MCA sau tối ưu đã tăng 30% so

với mô hình ban đầu. So sánh kết quả lực phát động MCA thực nghiệm với kết quả mô phỏng mô hình sau tối ưu cho sai số trung bình 8,8%. Kết quả thực nghiệm cho thấy, MCA tạo ra lực đủ lớn để phát động kim phun với dòng điện cấp tối thiểu là 1,2 A khi làm việc với vật liệu glycerine 950cp. Thiết bị vòi phun có thể vận hành tại tần số tối đa 120 Hz và vận hành ổn định tại tần số dưới 95 Hz. Thực nghiệm cũng cho thấy, khi tần số vận hành tăng thì kích thước giọt chất lỏng tạo ra giảm, trong đó sai số kích thước nằm trong khoảng 5 – 8%. Bước tiếp theo của nghiên cứu là thử nghiệm một thiết kế tích hợp bộ khuếch đại để có thể tăng tần số vận hành của thiết bị vòi phun. Đồng thời các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phun như hành trình kim phun, nhiệt độ chất lỏng, áp suất tại buồng chứa, lực phát động cũng sẽ được điều tra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chen, Yun, Fuliang Wang, and Han-Xiong Li. "Experimental and modeling study of breakup behavior in silicone jet dispensing for light-emitting diode packaging", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 5(7), 2015, 1019-1026.
- [2] Scoutaris, N., et al. "Jet dispensing as a high throughput method for rapid screening and manufacturing of cocrystals", *CrystEngComm* 18(27), 2016, 5079-5082.
- [3] Babiarz, Alec J. "Jetting small dots of high viscosity fluids for packaging applications", *Semiconductor International*, 29(9), 2006, 2-6.
- [4] Li, M. G., X. Y. Tian, and X. B. Chen. "A brief review of dispensing-based rapid prototyping techniques in tissue scaffold fabrication: role of modeling on scaffold properties prediction", *Biofabrication*, 1(3), 2009, 032001.
- [5] Material examples. Available online: <https://www.preeflow.com/en/fields-of-application/> (accessed on 22 December 2021).
- [6] John, Shaju, et al. "Comparison of piezoelectric, magnetostrictive, and electrostrictive hybrid hydraulic actuators", *Journal of intelligent material systems and structures*, 18(10), 2007, 1035-1048.
- [7] Jia, Haili, et al. "A jetting system for chip on glass package", *2009 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*. IEEE, 2009, 954-960.
- [8] Guiling, Deng. "The influence of structural parameters of electromagnetic fluid jetting dispenser", *2008 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*. IEEE, 2008, pp. 1-6.
- [9] Nguyen, Quoc Hung, et al. "Dynamic characteristics of a new jetting dispenser driven by piezostack actuator", *IEEE transactions on electronics packaging manufacturing*, 31(3), 2008, 248-259.
- [10] Nagai, Sakahisa, and Atsuo Kawamura. "Position/Force Sensorless Force Control Using Reaction Force Observer for Compact Dual Solenoid Actuator", *IECON 2019-45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Vol. 1, 2019, 3635-3640.
- [11] Bu, Zhenxiang, et al. "A novel piezostack-driven jetting dispenser with corner-tilted flexure hinge and high-frequency performance", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 28(7), 2018, 075001.
- [12] Wang, Lingyun, et al. "Design and experiment of a jetting dispenser driven by piezostack actuator", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 3(1), 2012, 147-156.
- [13] Wang, Lingyun, et al. "Design and experiment of a jetting dispenser with compact amplifying mechanism and low stress in piezostack", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 31(5), 2020, 788-798.
- [14] Huang, Xiang, et al. "Research on nozzle and needle combination for high frequency piezostack-driven dispenser", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 96, 2020, 102453.
- [15] Zhou, Can, et al. "A novel high-speed jet dispenser driven by double piezoelectric stacks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(1), 2016, 412-419.
- [16] Lu, Shizhou, et al. "Design and experiment of a needle-type piezostack-driven jetting dispenser based on lumped parameter method", *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(8), 2015, 716-730.
- [17] Mitchell, James. "Linear motion devices: What is a voice-coil actuator?", *Laser Focus World*, 54(7), 2018, 41-43.
- [18] Moving magnet voice coil actuators offer better heat displacement. Available online: <https://news.thomasnet.com/companystory> (accessed on 02 November 2019).
- [19] Zhou, C., et al. "The principle and physical models of novel jetting dispenser with giant magnetostrictive and a magnifier", *Scientific reports*, 5, 2015, 18294.
- [20] Nguyen, Quoc Hung, et al. "Dynamic characteristics of a new jetting dispenser driven by piezostack actuator", *IEEE transactions on electronics packaging manufacturing*, 31(3), 2008, 248-259.
- [21] Jet Dispensers, Nordson-Corporation. Available online: <https://www.nordson.com/en/products/jetdispensers> (accessed on 25 September 2018).
- [22] Bruckner, Florian, et al. "Combining micromagnetism and magnetostatic Maxwell equations for multiscale magnetic simulations", *Journal of magnetism and magnetic materials*, 343, 2013, 163-168.
- [23] Chapter 22: Maxwell 2D Technical Notes. In Maxwell ANSYS Online Help; ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2012.