

NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG CHO MÁY DẬP ĐA NĂNG TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG PHỤC VỤ ĐÀO TẠO NGÀNH KHUÔN MẪU TẠI TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT VINH

Nguyễn Hữu Ngoạn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh
Email: ngoanctm.bkdn@gmail.com

Tóm tắt: Trong đào tạo ngành khuôn mẫu và công nghệ chế tạo, việc xây dựng các mô hình thiết bị thực nghiệm có khả năng mô phỏng nhiều quá trình công nghệ khác nhau đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả giảng dạy và nghiên cứu. Bài báo này đề xuất một hệ thống truyền động kết hợp giữa cơ cấu cơ khí trục khuỷu và hệ thống thủy lực điều khiển nhằm phát triển mô hình máy dập đa năng tiết kiệm năng lượng phục vụ đào tạo tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh. Hệ thống truyền động được thiết kế theo hướng điều khiển linh hoạt hành trình chày dập và giảm tổn thất năng lượng trong chu trình làm việc. Mô hình động lực học của hệ thống được xây dựng và mô phỏng trên môi trường AMESim nhằm đánh giá khả năng điều khiển cũng như hiệu quả sử dụng năng lượng. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống truyền động đề xuất có thể điều khiển chính xác vị trí chày dập với sai số nhỏ và tiết kiệm khoảng 50% năng lượng so với hệ thống dập thủy lực truyền thống. Nghiên cứu này góp phần định hướng phát triển các thiết bị đào tạo hiện đại trong lĩnh vực công nghệ khuôn mẫu tại các cơ sở giáo dục kỹ thuật.

Từ khóa: Máy dập đa năng; Hệ thống truyền động; Tiết kiệm năng lượng; Đào tạo khuôn mẫu; Mô phỏng AMESim.

RESEARCH ON AN ENERGY-EFFICIENT DRIVE SYSTEM FOR A MULTIFUNCTIONAL PRESS MACHINE SERVING MOLD MANUFACTURING TRAINING AT VINH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY EDUCATION

Abstract: In mold manufacturing and manufacturing technology education, the development of experimental equipment models capable of simulating various technological processes plays an important role in improving teaching and research effectiveness. This paper proposes a drive system that integrates a crank–slider mechanical mechanism with a controlled hydraulic system in order to develop an energy-efficient multifunctional press machine model for training at Vinh University of Technology Education. The proposed drive system is designed to provide flexible control of the ram stroke while minimizing energy losses during the operating cycle. A dynamic model of the system is developed and simulated in the AMESim environment to evaluate its controllability and energy efficiency. Simulation results indicate that the proposed drive system can accurately control the ram position with a small tracking error and achieve approximately 50% energy savings compared with conventional hydraulic press systems. The findings of this study contribute to the development of modern training equipment in mold manufacturing technology for technical education institutions.

Keywords: Multifunctional press machine; Drive system; Energy saving; Mold manufacturing training; AMESim simulation.

Nhận bài: 23/02/2026

Phản biện: 10/03/2026

Duyệt đăng: 14/03/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực chế tạo khuôn và gia công áp lực kim loại, máy dập là một trong những thiết bị cơ bản được sử dụng rộng rãi trong các quá trình tạo hình như dập cắt, dập vuốt và ép định hình. Đối với các cơ sở đào tạo kỹ thuật, việc trang bị các hệ thống máy dập phục vụ thực hành giúp sinh viên hiểu rõ nguyên lý công nghệ và nâng cao kỹ năng vận hành thiết bị.

Các máy dập hiện nay thường được phân thành ba nhóm chính gồm: máy dập cơ khí, máy dập thủy lực và máy dập servo. Mỗi loại máy có những ưu điểm và hạn chế nhất định. Máy dập cơ khí có ưu điểm về năng suất và kết cấu đơn giản nhưng khó điều khiển chính xác hành trình chày dập. Trong khi đó, máy dập thủy lực cho phép điều khiển lực và vị trí tốt hơn nhưng hiệu suất năng lượng chưa cao do tổn thất trong hệ thống van thủy lực. Gần đây, các hệ thống máy dập servo được nghiên

cứu nhằm tăng khả năng điều khiển linh hoạt, tuy nhiên chi phí chế tạo và yêu cầu công nghệ tương đối lớn.

Trong bối cảnh đào tạo kỹ thuật tại Việt Nam, đặc biệt đối với ngành khuôn mẫu, việc xây dựng một mô hình máy dập có khả năng thực hiện nhiều chế độ làm việc khác nhau, đồng thời tiết kiệm năng lượng và có kết cấu phù hợp với điều kiện chế tạo trong nước là yêu cầu cần thiết. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung đề xuất một hệ thống truyền động mới cho máy dập đa năng dựa trên sự kết hợp giữa truyền động cơ khí và thủy lực, nhằm phục vụ hiệu quả cho hoạt động đào tạo và nghiên cứu tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở thiết kế

Máy dập có vai trò quan trọng trong ngành Chế tạo máy và dù rất đa dạng về chủng loại nhưng

các máy dập được chia thành ba nhóm: Cơ khí, thủy lực và servo. Máy dập cơ khí: Dùng bánh đà, ly hợp và thắng từ và cơ cấu chuyển đổi chuyển động quay của bánh đà thành chuyển động tịnh tiến của chày dập. Máy dập cơ khí có nhiều ưu điểm nhưng hạn chế lớn nhất là không điều khiển được profile chày dập nên phù hợp cho một hoạt động nhất định. Máy dập thủy lực là loại phổ biến thứ 2, hạn chế lớn nhất của máy này là tiêu tốn năng lượng lớn, do hệ thống truyền động van thủy lực hiệu suất không cao. Ưu điểm của máy dập loại này là điều khiển chính xác được profile chày dập nên rất linh hoạt cho nhiều hoạt động khác nhau trên một máy. Máy dập gần đây được phát triển nhiều là máy dập servo, máy này có các ưu khuyết điểm khác nhau dựa vào các kết cấu khác nhau, có thể tóm tắt như sau:

Kết cấu dùng động cơ trực tiếp, vận tốc thấp mô men lớn nhằm nâng cao độ chính xác và đáp ứng. Hạn chế lớn nhất của máy này là việc điều khiển lực dập vẫn chưa được như máy dập thủy lực, điều khiển profile cũng bị hạn chế và dùng động cơ được chế tạo chuyên biệt giá thành cao.

Kiểu trục vít, chuyển động của chày dập được điều khiển bằng bộ truyền trục vít đai ốc. Kết cấu này, đảm bảo điều khiển profile linh hoạt, lực dập điều khiển tốt. Hạn chế lớn nhất của kết cấu này là năng suất không cao, lực dập không quá lớn, phù hợp cho các ứng dụng forming hơn là dập cắt. Ngoài ra, kết cấu phức tạp của vít me nên độ bền, giá thành và công nghệ chế tạo là những điểm cần quan tâm hơn.

Một số nghiên cứu về máy dập servo kết hợp với hệ thống thủy lực là dùng động cơ servo điều khiển xy lanh thủy lực. Ưu điểm của kết cấu này là điều khiển chính xác và đa dạng profile, lực lớn. Hạn chế chính là năng suất máy thấp.

Nghiên cứu nhằm tăng năng suất và tăng phạm vi lực lớn là dùng kết hợp máy servo và cơ khí kết hợp với thủy lực được mô tả. Hạn chế lớn nhất là kết cấu, chế tạo và điều khiển phức tạp, loại này phù hợp cho máy ép rất lớn thực hiện nhiệm vụ ép định hình các chi tiết lớn.

Từ các phân tích trên có thể nhận thấy: Máy dập tương lai thuộc về thế hệ máy dập servo với các tính năng nổi trội như đã trình bày. Tuy nhiên, hiện nay lý thuyết và kết cấu của các máy này đang được tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện nhằm loại bỏ vấn đề cố hữu đang còn vướng trên tất cả các kiểu kết cấu máy dập servo trên như sau. Nếu kết cấu dựa vào servo cơ khí thì năng suất cao nhưng hạn chế là lực chỉ lớn nhất xung quanh điểm giữa của hành trình mặc dù có những giải pháp đã đưa ra nhưng hiệu quả cơ bản vẫn không cao vì đây là bản chất của bộ truyền cơ khí. Loại

máy này phù hợp nhất cho các hoạt động dập cắt. Nếu kết cấu dựa vào servo thủy lực thì dễ điều khiển lực và tốc độ nhưng năng suất thấp. Do đó, nghiên cứu này đề xuất một hệ thống truyền động thủy lực cho máy dập cơ khí, nhằm phát huy ưu điểm của hai loại máy này một cách sáng tạo. Hệ thống truyền động này khi áp dụng lên máy dập có các đặc điểm sau:

- Lực và vận tốc có thể điều khiển gần như máy thủy lực nhưng tiết kiệm năng lượng hơn các máy thủy lực;

- Có thể áp dụng các phương pháp điều khiển thông minh giúp máy đa năng (khả năng công nghệ cao): Hiệu quả kinh tế cao, đầu tư một máy có thể thực hiện nhiều hoạt động khác nhau, phù hợp cho các doanh nghiệp Việt Nam có số lượng sản phẩm trên đơn hàng nhỏ nhưng nhiều chủng loại khác nhau;

- Kết cấu đơn giản do dựa trên nền của máy dập cơ khí, dễ chế tạo phù hợp trình độ chế tạo trong nước hiện tại, các thiết bị tiêu chuẩn dễ dàng tìm trên thị trường trong nước;

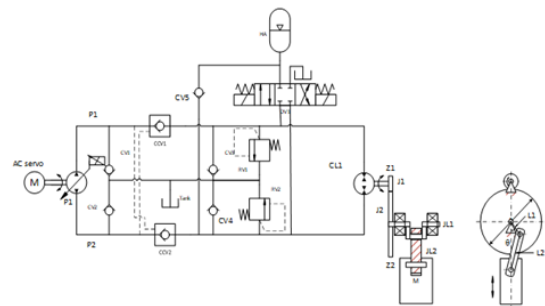
- Giá thành chấp nhận được.

2.2. Đề xuất hệ thống truyền động cho máy dập

2.2.1. Nguyên lý cấu trúc hệ thống

Hệ thống truyền động được thiết kế trên nền tảng của máy dập trục khuỷu truyền thống, trong đó chuyển động quay của trục khuỷu được tạo ra bởi một hệ thống bơm – động cơ thủy lực kết hợp với bộ truyền bánh răng. Cấu trúc này cho phép tận dụng ưu điểm của máy dập cơ khí về năng suất, đồng thời bổ sung khả năng điều khiển linh hoạt của hệ thống thủy lực.

Trong hệ thống đề xuất, trục khuỷu được dẫn động thông qua bơm/động cơ thủy lực và bộ truyền bánh răng. Tốc độ quay của trục khuỷu có thể được điều chỉnh thông qua việc thay đổi thể tích riêng của bơm thủy lực. Nhờ đó, vận tốc và vị trí của chày dập được điều khiển một cách chính xác.



Hình 1. Nguyên lý làm việc của máy

Hình 1, mô tả nguyên lý truyền động của máy dập, trục khuỷu được dẫn động bằng bơm/động cơ thủy lực PM2 và cặp bánh răng Z1, Z2. Về căn bản, máy dập này dựa trên nền tảng của máy

dập cơ khí trực khuỷu đơn giản, nên phân kết cấu không trình bày trong bài báo này. Điểm khác biệt chính là hệ thống truyền động cho máy dập được thiết kế mới nhằm đáp ứng hai yêu cầu cơ bản: Dập cắt không yêu cầu cao về điều khiển vị trí chày dập và có thể dập vượt yêu cầu cao về vị trí chày dập.

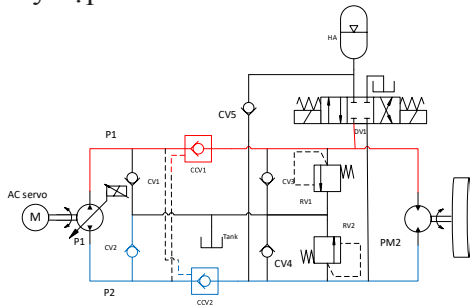
2.2.2. Các chế độ làm việc của máy

Đặc điểm nổi bật của máy là chạy được 2 chế độ:

- Dập lỗ: Bơm/động cơ thủy lực PM2 được điều khiển hoạt động đơn giản thông qua bình tích áp.
- Dập vượt: Yêu cầu cao về vị trí đầu dập, góc làm việc lớn. Trực khuỷu được dẫn động thông qua bộ truyền thủy tĩnh. Bơm được điều khiển tốc độ trực khuỷu, động cơ AC servo điều khiển chính xác vị trí chày dập.

Một đặc điểm quan trọng của hệ thống là không sử dụng cơ chế tiết lưu bằng van trong quá trình điều chỉnh tốc độ, nhờ vậy hạn chế đáng kể tổn thất năng lượng thường gặp trong các hệ thống thủy lực truyền thống.

Mô tả nguyên lý hoạt động của bộ truyền động ở chế độ dập vượt. Bằng cách điều khiển thể tích riêng của bơm/động cơ PM1, vận tốc của chày dập được điều khiển chính xác, mô men tác động lên trực khuỷu động cơ AC servo cũng thay đổi, do đó có khả năng tăng lực lên chày dập ở các góc làm việc mà máy dập cơ không thực hiện được. Bánh đà trong hình mô tả cho quán tính các vật quay trong máy dập.

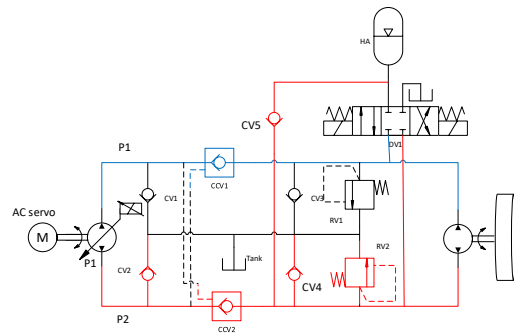


Hình 2. Nguyên lý làm việc của bộ truyền khi muốn điều khiển vị trí- dừng khi dập vượt.

2.2.3. Khả năng thu hồi năng lượng

Một ưu điểm nổi bật của hệ thống truyền động được đề xuất là khả năng thu hồi năng lượng trong quá trình giảm tốc của chày dập. Khi hệ thống giảm tốc hoặc dừng lại tại một vị trí xác định, động năng của các bộ phận chuyển động sẽ được chuyển đổi thành năng lượng thủy lực và tích trữ trong bình tích áp.

Nguồn năng lượng này sau đó có thể được tái sử dụng trong giai đoạn tăng tốc của chu trình làm việc tiếp theo, giúp giảm đáng kể năng lượng điện tiêu thụ của hệ thống.



Hình 3. Nguyên lý làm việc của bộ truyền khi thu hồi năng lượng

Hình 3, mô tả khả năng thu hồi năng lượng của máy dập trong trường hợp giảm tốc chày dập về 0 nhằm duy trì vị trí đầu dập trong trường hợp vượt. Sau đó, sử dụng lại nhằm tăng tốc chày dập giúp tăng năng suất máy. Trong hình, khi giảm tốc quán tính của chày kéo PM2 hoạt động như bơm, làm áp suất đường về tăng lên, lúc này điều khiển PM1 hoạt động như bơm, bơm dầu ra từ PM2 vào bình tích áp. Như vậy, động năng của hệ chày dập, bánh răng, trực khuỷu trong quá trình giảm tốc được chuyển hóa thành thể năng chứa trong bình tích áp.

2.2.4. Các thông số cơ bản của hệ thống truyền động

a. Thông số thiết kế

Lực dập: 5000 N.

Hành trình lớn nhất: 40 mm.

Tốc độ lớn nhất: 30 hành trình/phút.

Góc làm việc lớn nhất: 60 độ.

b. Kết quả tính toán

Cơ cấu tay quay con trượt: Độ dài thanh truyền L1: 40 mm; Độ dài thanh truyền L2: 400 mm.

Bộ truyền bánh răng: Mô đun: $m = 2.5$; Bánh răng Z1: 20 răng; Z2: 200 răng.

Các thiết bị chính trong hệ thống thủy lực:

Thể tích riêng lớn nhất của bơm P1: 12 cc/rev.

Thể tích riêng của bơm/động cơ PM2: 36 cc/rev.

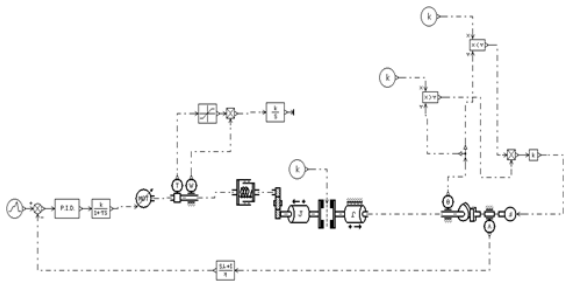
Bình tích áp: Thể tích: 4 lít; Áp suất khí: 180 bar; Áp suất lớn nhất: 220 bar; Áp suất nhỏ nhất: 190 bar; Thể tích dầu làm việc: 1 lít.

Công suất động cơ AC servo: 0.5 kW.

2.3. Mô phỏng và đánh giá hệ thống

2.3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Mô hình hệ thống truyền động với các thông số trên môi trường AMESim. Phân tích kết quả mô phỏng ở hai góc độ: Khả năng điều khiển và mức độ tiết kiệm năng lượng cho trường hợp dập vượt. Các thông số mô hình được tính toán dựa trên kết quả thiết kế sơ bộ trên.

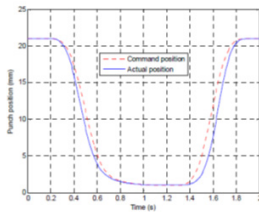


Hình 4. Mô hình mô phỏng hệ thống truyền động cho máy dập trên AMESim.

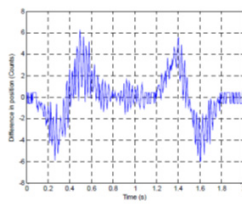
Hình 4, mô tả mô hình động lực của đầu dập trên phần mềm AMESim. Mô hình này được dùng để thiết kế bộ điều khiển và mô phỏng động lực học đầu dập. Kết quả sơ bộ của quá trình mô phỏng được mô tả trong hình 5a và 6b. Kết quả thu được cho thấy, bộ điều khiển đảm bảo điều khiển được vận tốc chày dập bằng giải thuật đơn giản PID. Chế độ mô phỏng là chế độ.

2.3.2. Kết quả điều khiển vị trí chày dập

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển PID có thể điều khiển chính xác chuyển động của chày dập trong quá trình dập vuốt. Sai số vị trí lớn nhất khoảng 6%, chủ yếu xuất hiện trong giai đoạn tăng tốc và giảm tốc. Khi chày dập duy trì ở vị trí ổn định, sai số điều khiển rất nhỏ và nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với hệ thống đào tạo.



Hình 5a. Vị trí chày dập trong chế độ dập vuốt



Hình 5b. Sai số vị trí chày dập ở chế độ dập vuốt

2.3.3. Hiệu quả tiết kiệm năng lượng

Kết quả so sánh mức tiêu thụ điện năng giữa ba loại máy dập gồm: máy dập cơ khí, máy dập thủy lực và hệ thống truyền động đề xuất cho thấy sự khác biệt rõ rệt. Trong quá trình thực hiện chu trình dập vuốt, hệ thống truyền động mới có khả năng tiết kiệm khoảng 50% năng lượng so với máy dập thủy lực truyền thống.

Hiệu quả này đạt được nhờ hai yếu tố chính:

Giảm tổn thất năng lượng do không sử dụng van tiết lưu.

Khả năng thu hồi và tái sử dụng năng lượng thông qua bình tích áp.

III. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất một hệ thống truyền động mới cho máy dập đa năng dựa trên sự kết hợp giữa cơ cấu cơ khí trục khuỷu và hệ thống thủy lực điều khiển. Giải pháp này cho phép khai thác ưu điểm của cả hai loại truyền động, đồng thời nâng cao khả năng điều khiển và hiệu quả sử dụng năng lượng.

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống có khả năng điều khiển chính xác vị trí chày dập với sai số nhỏ và tiết kiệm khoảng 50% năng lượng so với máy dập thủy lực truyền thống. Với các đặc điểm như kết cấu tương đối đơn giản, chi phí chế tạo hợp lý và khả năng vận hành linh hoạt, mô hình máy dập này phù hợp để triển khai trong đào tạo ngành khuôn mẫu tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.

Trong tương lai, nghiên cứu có thể được mở rộng theo hướng chế tạo mô hình thực nghiệm và tích hợp các thuật toán điều khiển thông minh nhằm nâng cao hơn nữa hiệu quả vận hành của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Tác An, Nguyễn Hồng Sơn (2010). *Công nghệ dập tạo hình kim loại tấm*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Trần Văn Địch (2006). *Công nghệ chế tạo máy*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- Trịnh Chất, Lê Văn Uyên (2012). *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí – Tập 1*. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- Trịnh Chất, Lê Văn Uyên (2012). *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí – Tập 2*. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- Phạm Văn Bông (2007). *Truyền động thủy lực và khí nén*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- Nguyễn Phùng Quang (2005). *Điều khiển tự động truyền động điện*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- T. Yamazaki and A. Watanabe, “Simplified modeling and dynamic analysis for servo press machine,” *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 561–567, 2014.
- Y. Bai, F. Gao, and W. Guo, “Design of mechanical presses driven by multi-servomotor,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 25, no. 9, pp. 2323–2334, 2011.
- H. Ando, “Press machine for plate forging,” *Proceedings of the JSTP Symposium, Tokyo, Japan*, pp. 9–16, 2005.
- S. Matsuno, “Evolutionally advanced high-speed servo tandem press line,” *Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity*, vol. 52, no. 600, pp. 168–170, 2011.
- K. Miyoshi, “Current trends in free motion presses,” *Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Forging*, pp. 69–74, 2014.