NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH MÁY CẮT VÀ VÁT MÉP ỐNG DI ĐỘNG TỰ ĐỘNG

RESEARCH, DESIGN, AND ANALYSIS OF AN AUTOMATIC PORTABLE PIPE CUTTING AND BEVELING MACHINE

Phạm Quang Thắng[1], Bành Quốc Nguyên[2,3,*]
[1]Khoa Cơ khí Chế tạo, Trường Cao đẳng Kỹ nghệ Dung Quất (xã Vạn Tường, tỉnh Quảng Ngãi)
[2]Bộ môn Chế tạo máy, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
**Email: bqnguyen@hcmut.edu.vn*

TÓM TẮT

Trong các ngành công nghiệp như lọc hóa dầu, năng lượng và đóng tàu, chất lượng mối hàn đường ống quyết định độ an toàn và tuổi thọ hệ thống. Nghiên cứu này tập trung thiết kế và phân tích kỹ thuật máy cắt – vát mép ống di động tự động nhằm khắc phục hạn chế của phương pháp truyền thống. Máy có kết cấu "clamshell" tách đôi, cho phép gá trực tiếp lên ống mà không cần tháo dỡ. Quy trình thiết kế bao gồm phân tích lực, công suất cắt để chọn động cơ và thiết kế hệ truyền động. Các chi tiết chịu tải, đặc biệt là trục, được kiểm nghiệm bền theo thuyết von Mises. Kết quả cho thấy máy đáp ứng tiêu chuẩn ASME B16.25, đảm bảo độ chính xác và tính cơ động cao.

Từ khóa: *Máy cắt ống; Máy vát mép; Kiểm nghiệm bền; Phân tích lực cắt; Thiết kế và chế tạo theo mô-đun.*

ABSTRACT

In critical industries such as petrochemical, energy, and shipbuilding, the quality of pipeline welds directly determines system safety and service life. This study focuses on the design and technical analysis of an automatic portable pipe cutting and beveling machine to overcome the limitations of conventional methods. The machine features a split "clamshell" structure, allowing direct mounting on pipes without disassembly. The design process includes force and cutting power analysis to select the motor and design the transmission system. Load-bearing components, particularly the drive shaft, are verified for strength using the von Mises criterion. The results show that the design meets the ASME B16.25 standard, ensuring high precision, reliability, and mobility.

Keywords: *Pipe cutting machine; Pipe beveling; Strength verification; Cutting force analysis; Modular design and fabrication.*

1. TỔNG QUAN

1.1. Bối cảnh và động lực

Trong các ngành công nghiệp chế tạo cơ khí, kết cấu thép, nồi hơi, lọc hóa dầu và nhiệt điện, hệ thống đường ống đóng vai trò là huyết mạch vận chuyển lưu chất, năng lượng và nguyên liệu. Sự toàn vẹn của các hệ thống này phụ thuộc trực tiếp vào chất lượng của các mối hàn nối ống. Công đoạn chuẩn bị mép ống trước khi hàn, đặc biệt là quá trình vát mép, là một trong những bước quan trọng nhất, ảnh hưởng quyết định đến chất lượng thấu sâu, độ bền cơ học và tuổi thọ của mối hàn [1].

1.2. Hiện trạng vấn đề

Các phương pháp chuẩn bị mép ống truyền thống như mài tay bằng máy mài góc hoặc cắt nhiệt bằng oxy-gas tồn tại nhiều hạn chế. Phương pháp thủ công có độ chính xác thấp, phụ thuộc tay nghề và khó đảm bảo tính đồng đều. Cắt nhiệt tuy nhanh nhưng tạo vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ), làm thay đổi cấu trúc vật liệu, giảm độ bền và tăng nguy cơ nứt gãy [2]. Ngoài ra, tia lửa, nhiệt cao và khói bụi độc hại gây rủi ro an toàn lao động. Để khắc phục, công nghệ "cắt nguội" (cold cutting) được phát triển, sử dụng dụng cụ cắt cơ khí nhằm loại bỏ vật liệu mà không gây biến đổi nhiệt, giữ nguyên tính chất vật liệu gốc [3].

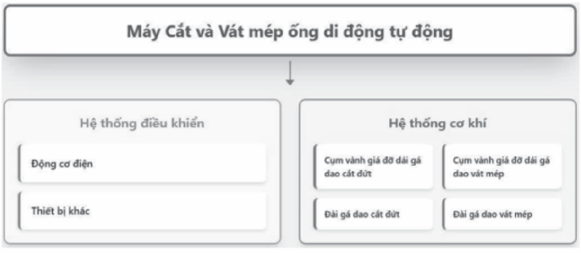
1.3. Giải pháp đề xuất và mục tiêu

Để đáp ứng nhu cầu về giải pháp gia công mép ống hiệu quả, chính xác và an toàn, nghiên cứu này tập trung phát triển máy cắt và vát mép ống di động tự động. Máy được thiết kế thực hiện đồng thời hai nguyên công cắt và vát trong một lần gá đặt, nâng cao năng suất và độ chính xác. Mục tiêu chính gồm: (1) thiết kế máy nhỏ gọn, di động, dễ vận hành tại công trường và có thể gá trên ống đang vận hành (in-situ) [4]; (2) đảm bảo chất lượng mép vát đạt chuẩn quốc tế [5]; (3) xây dựng quy trình phân tích, tính toán kỹ thuật nhằm xác thực độ bền và hiệu suất làm việc ổn định.

2. PHÂN TÍCH NGUYÊN LÝ VÀ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Mô tả kết cấu và lựa chọn vật liệu

Máy được thiết kế theo kiến trúc mô-đun (Hình 1), gồm bốn cụm chính: hệ thống kẹp, cơ cấu quay, đài gá dao và hệ thống điều khiển. Kết cấu "clamshell" gồm hai phần: vành tĩnh được cố định vào ống và vành quay lắp đồng tâm bên trong, mang các cụm gá dao để thực hiện cắt và vát mép. Việc lựa chọn vật liệu đóng vai trò then chốt, ảnh hưởng đến trọng lượng, độ cứng và độ bền của toàn hệ thống. Vành tĩnh và vành quay được chế tạo từ hợp kim nhôm 7075-T6 nhằm giảm khối lượng, tăng tính di động nhưng vẫn đảm bảo độ bền chảy cao (≈505 MPa). Trong khi đó, các chi tiết truyền động như trục và bánh răng sử dụng thép hợp kim 4140, được nhiệt luyện để đạt độ bền kéo 850-1000 MPa, đảm bảo khả năng chịu tải và chống mài mòn cao. Sự kết hợp này thể hiện triết lý thiết kế cân bằng giữa trọng lượng nhẹ, độ bền và độ tin cậy trong vận hành.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo máy cắt và vát mép

2.2. Phân tích lực và công suất gia công

Để chọn động cơ và thiết kế hệ truyền ☞

động, bước đầu tiên là xác định lực cắt và công suất yêu cầu. Việc tính toán này dựa trên công thức kinh nghiệm của Kienzle, một mô hình thực nghiệm được công nhận rộng rãi trong lĩnh vực gia công kim loại cho các quá trình tiện, phay [6].

***Tính toán lực cắt (F_c) và công suất cắt (P_c):**

1) Chiều dày phoi chưa biến dạng:

$h = f\sin(\kappa) = 0.2\sin(75°) \approx 0{,}193mm$

2) Lực cắt riêng:

$k_c = k_{c1.1}.h_c^{-m} = 2700.(0.193)^{-0.25} \approx 3998MPa$

3) Lực cắt chính:

$F_c = k_c.a_p.f \approx 1599N$

4) Công suất cắt yêu cầu:

$$P_c = \frac{F_c.v_c}{60.10^3} \approx 0.267kW$$

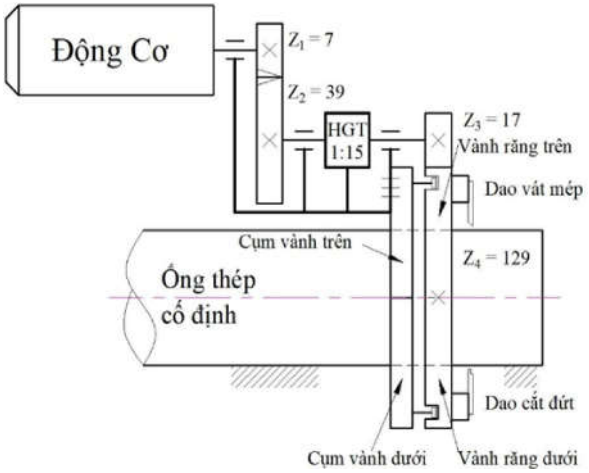
5) Công suất động cơ yêu cầu:

$$P_{dc} = \frac{P_c}{\eta} = 0.334\ kW$$

Dựa trên kết quả, một động cơ điện 0.4 kW được lựa chọn để đảm bảo dự trữ công suất.

3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG

Hệ thống truyền động sử dụng bộ truyền trục vít – bánh vít để đạt tỷ số truyền lớn trong không gian nhỏ gọn (Hình 2). Quá trình giảm tốc được chia thành ba giai đoạn nhằm tối ưu hiệu suất và bố trí không gian. Giai đoạn 1 (Z_1/Z_2) cung cấp giảm tốc ban đầu ở tốc độ cao. Giai đoạn 2, hộp giảm tốc trục vít – bánh vít (HGT), đảm nhiệm phần giảm tốc chính với ưu điểm đạt tỷ số truyền cao và trục vào/ra vuông góc. Giai đoạn 3 (Z_3/Z_4) truyền mô-men xoắn cuối đến vành quay mang dao. Tính toán dựa trên nguyên lý truyền động bánh răng [7] cho kết quả tốc độ đầu ra là 14,98 vòng/phút, phù hợp yêu cầu thiết kế, chứng minh tính chính xác của sơ đồ động học (Bảng 1).



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của máy

Bảng 1. Tổng hợp tính toán hệ thống truyền động của máy

Giai đoạn	Cụm chi tiết	Số răng (Z)	Tỉ số truyền	Tốc độ đầu ra (vòng/phút)
-	Động cơ	-	-	9500
1	Z_1/Z_2	7/39	5.571	1705.2
2	Hộp giảm tốc	-	15	113.68
3	Z_3/Z_4	17/129	7.588	14.98

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 336, tháng 12 năm 2025
cokhivietnam.vn

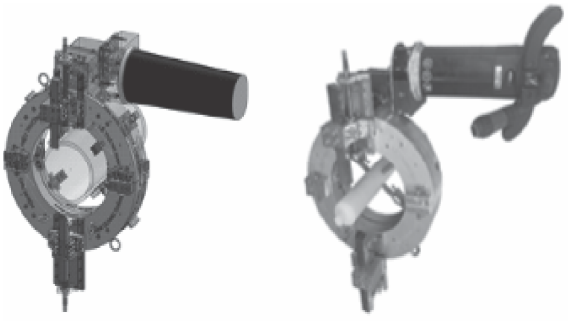
4. MÔ HÌNH HÓA, CHẾ TẠO VÀ KẾT QUẢ SƠ BỘ

4.1. Quy trình sản xuất kỹ thuật số tích hợp

Quá trình chuyển đổi từ mô hình thiết kế số sang sản phẩm vật lý được thực hiện thông qua quy trình sản xuất kỹ thuật số tích hợp, tạo nên "luồng kỹ thuật số" (digital thread) đảm bảo tính nhất quán giữa thiết kế và chế tạo. Ở giai đoạn CAD, toàn bộ cấu trúc được mô hình hóa bằng SolidWorks để trực quan hóa, kiểm tra động học, phát hiện va chạm và tối ưu hóa kết cấu. Sau đó, dữ liệu được chuyển sang SolidCAM để lập trình chiến lược gia công và tạo đường chạy dao (toolpath). SolidCAM xuất mã G-code thông qua bộ hậu xử lý (Post Processor) để điều khiển máy CNC. Cuối cùng, các chi tiết được gia công trên máy phay CNC 5 trục DMG MORI DMU50 và máy Tiện-Phay CNC 4 trục CLX350, cho phép xử lý bề mặt phức tạp với số lần gá đặt tối thiểu. Quy trình này không chỉ tăng năng suất mà còn đảm bảo độ chính xác hình học và độ trung thực cao giữa sản phẩm thực tế và mô hình thiết kế ban đầu.

4.2. Nguyên mẫu và sự tương đồng Thiết kế – Chế tạo

Quá trình chế tạo đã sản xuất ra các cụm chi tiết vật lý và lắp ráp thành một nguyên mẫu hoàn thiện. Hình 3 trình bày sự so sánh trực quan giữa mô hình CAD và sản phẩm thực tế. Điểm đáng chú ý nhất là sự tương đồng gần như tuyệt đối giữa nguyên mẫu số và nguyên mẫu vật lý. Các đường cong phức tạp, các bề mặt lắp ghép và tổng thể hình dáng của các chi tiết được chế tạo trong thực tế phản ánh một cách trung thực và chính xác các mô hình được thiết kế trên máy tính. Sự nhất quán này là bằng chứng hữu hình, xác thực cho sự thành công của quy trình sản xuất theo "luồng kỹ thuật số". Nó cho thấy rằng chuỗi công nghệ CAD/CAM/CNC đã được triển khai một cách hiệu quả, chuyển hóa thành công thiết kế từ không gian ảo sang sản phẩm vật lý với độ trung thực cao.



(a) *(b)*

Hình 4. (a) Mô hình 3D và (b) Hình ảnh máy cắt và vát mép ống

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng và hoàn thiện quy trình thiết kế kỹ thuật toàn diện, bao gồm xác định nhu cầu công nghiệp, phát triển ý tưởng, phân tích và kiểm nghiệm độ bền bằng các phương pháp cơ học chính xác. Kết quả cho thấy vật liệu và kích thước chi tiết được lựa chọn đáp ứng tốt yêu cầu chịu tải với hệ số an toàn hợp lý. Nguyên mẫu chế tạo chứng minh tính khả thi của thiết kế thông qua các thử nghiệm gia công đạt chất lượng cao. Trong giai đoạn tiếp theo, nghiên cứu tập trung vào ba hướng: (1) đo đạc lực cắt và công suất thực tế để hiệu chỉnh mô hình, tối ưu thông số công nghệ; (2) thay cơ cấu bánh cóc bằng vít me liên tục để nâng cao độ chính xác; và (3) tích hợp cảm biến giám sát thời gian thực nhằm phát triển hệ thống điều khiển thông minh theo định hướng Công nghệ 4.0.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ về thời gian và cơ sở vật chất từ Trường Cao đẳng Kỹ nghệ Dung Quất cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **10/11/2025**
Ngày phản biện: **18/11/2025**

Tài liệu tham khảo:

[1]. P.R. Dheeraj, "*Failure Analysis of Super-High-Pressure Steam Piping*", 2019.

[2]. B. Yang, M. Xiu, W. Jiang, W. Peng, "*Numerical Simulation Study on Residual Stress in Repair Welding of a CrMo Steel High-Temperature Pressure Pipeline Weldment Under Extended Service*". Chinese Journal of Mechanical Engineering 38 (2025) 73.

[3]. Đ. Nguyễn, M. Phạm, "*Đề tài thiết bị đào tạo dạy học: Thiết bị cắt, vát mép ống bán tự động*". Quảng Ngãi, 2018.

[4]. R.C. Coakley, "*Coupling Members And Pipe Machining Apparatuses Including Coupling Members*". US 10,596,667 B2, 2020.

[5]. The American Society of Mechanical Engineers, "*Standards B16.25 – Buttwelding Ends*", ASME, 2023.

[6]. M.C. Shaw, "*Metal cutting principles*". Oxford University Press, 2005.

[7]. R.G. Budynas, J.Keith. Nisbett, J.Edward. Shigley, "*Shigley's mechanical engineering design*". McGraw-Hill Education, 2015.