#### THẾ LỆ VỀ CÔNG BỐ CÔNG TRÌNH KHOA HỌC VÀ ĐĂNG BÀI BÁO KHOA HỌC TRÊN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

#### 1. Khái quát về Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

Tạp chí Cơ khí Việt Nam là cơ quan báo chí thực hiện ngôn luận - lý luận của Tổng hội Cơ khí Việt Nam, đồng thời là tiếng nói, kênh thông tin chính thống của ngành Cơ khí Việt Nam. Tạp chí cũng còn là diễn đàn nghiên cứu khoa học của các nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trên cả nước, do đó đã được *Bộ Khoa học và Công nghệ cấp ISSN 2615 - 9910 (mã số chuẩn quốc tế đối với xuất bản phẩm nhiều kỳ) và Hội đồng Chức danh Giáo sư Nhà nước công nhận tính điểm* 

công tình khoa học-bài bảo khoa học. Tạp chí Cơ khí Việt Nam có nhiệm vụ tuyên truyền, phổ biến chủ trương chính sách của Đảng, pháp luật của Nhà nước và định hướng phát triển, hoạt động của ngành Cơ khí Việt Nam; công bố công trình khoa học, kết quả nghiên cứu và chuyển giao công nghệ, chuyên để khoa học và công nghệ có hàm lượng khoa học và giá trị thực tiễn cao của nhà quản lý-khoa học-chuyên giao, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí. Ngoài ra, Tạp chí cũng còn là nơi công bộ những phát minh, sáng chế, kết quả, thành tích, điển hình tiên tiên trong hoạt động nghiên cứu khoa học, quản lý, đào tạo và sản xuất, kinh doanh lĩnh vực Cơ khí ở trong và ngoài nước tới đông đảo bạn đọc.

# 2. Việc công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí trên

2. Việc công bố công trình khoa học/ dàng bài bào khoa học trong ngành có khi và nên quản den hình vực có khi trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam: Tạp chí Cơ khí Việt Nam nhận công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu cứu sinh, học viên cao học,... trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam (bản in giấy), gôm: 'Cơ khí Chế tạo máy, <sup>2</sup>Cơ khí Quốc phòng, <sup>3</sup>Cơ khí Giao thông, <sup>4</sup>Cơ khí Nông-lâm nghiệp, <sup>5</sup>Cơ khí Xây dựng, <sup>6</sup>Cơ khí Thủy sản, <sup>7</sup>Cơ khí Địa chất, <sup>8</sup>Cơ khí Hóa chất, <sup>9</sup>Cơ khí Bảo quản chế biên nông lâm thủy sản, <sup>10</sup>Cơ khí Động cơ đốt trong, <sup>11</sup>Cơ khí Ô tô - Máy kéo, <sup>12</sup>Cơ khí Máy thủy khí, <sup>13</sup>Cơ khí Công nghệ nhiệt lạnh, <sup>14</sup>Cơ khí máy năng lượng, <sup>15</sup>Cơ khí Công nghệ dệt, <sup>16</sup>Cơ khí Công nghệ căt may, <sup>17</sup>Cơ khí Cơ-điện tử, <sup>18</sup>Cơ khí Kỹ thuật hệ thống công nghiệp, <sup>19</sup>Cơ khí đào tạo nguồn nhân lực và nghiên cứu chuyến giao.

#### 3. Thể lệ về công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam. Do đó, công trình khoa học/ bài báo khoa học khi được đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam phải đẩm bảo các yêu cầu, như sau:

**3.1. Yêu cầu chung:** Công trình khoa học/ bài báo khoa học đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam phải là kết quả nghiên cứu gốc; bài báo tổng quan hoặc bài viết thông tin khoa học (short communications).

3.2. Bản thảo: Bài báo đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam, gồm có các phần:

Tên bài báo (bằng tiếng Việt và bằng tiếng Anh).
Tên tác giả, đồng tác giả (kèm theo ghi chú về chức danh khoa học, học hàm, học vị, tên cơ quan công tác, email).
Tóm tất bài báo bằng tiếng Việt và tiếng Anh không quá 350 từ (bao gồm có từ khóa tiếng Việt và tiếng Anh, đối với cụm từ khóa có khoảng 5 - 15 từ khóa).

4. Đặt vấn đề.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.
 Kệt quả và thảo luận (có thể tách thành 2 phần riêng biệt: Kết quả, Thảo luận).

7. Kết luận.

8. Tài liệu tham khảo (trích dẫn theo đúng quy định bài báo quốc tế).

Bản thảo được soạn trên máy vi tính, sử dụng Unicode, kiểu chữ Time New Roman, cỡ chữ 14, trên giấy A4 - một mặt, chế độ dãn dòng: "1.5 lines spacing", căn lè trái phải mỗi bên: 3 cm, căn lè trên dưới: 2,5 cm, chế độ lề: "justified". Dung lượng mỗi bài báo khoảng 1.600-2.500 từ. Các đô thị, hình và ảnh cần trình bày rõ ràng. Các thuật ngữ khoa học nếu chưa được Việt hóa thì ưu tiên dùng nguyên bản tiếng Anh. Các ký hiệu viết tắt cần phải giải

thích khi xuất hiện lần đầu.

Thứ tự bảng và hình được đánh số theo trình tự trong bài, không đánh theo thứ tự đề mục. Không được viết tắt các tiểu mục, tên bảng, hình vẽ. Tên bảng được ghi bên trên bảng, tên hình vẽ được ghi bên dưới hình. Chú thích in nghiêng. Chỉ có những tài liệu được trích dẫn thực sự trong nội dụng bài viết mới đưa vào phần tài liệu tham khảo. Tài liệu tham

khảo được sắp xếp theo thứ tự trích dẫn (tài liệu tiếng nước ngoài được sắp xếp theo họ của tác giả, tài liệu tiếng Việt sắp xếp theo tên tác giả) và theo trình tự: tên tác giả, năm xuất bản trong ngoặc đơn (...), tên sách, tên nhà xuất bản, nơi xuất bản (đối với sách), hoặc tên bài báo, tên tạp chí, tập, số (đối với bài báo), trang đầu và trang cuối của tài liệu. Đối với những tài liệu không có tác giả thì xếp theo chữ cái của từ đầu tiên của cơ quan ban hành tài liệu. Trong bản thảo, ở những nội dung tác giả đã tham khảo hoặc sử dụng kết quả nghiện cứu từ các tài liệu khoa học khác, cần đánh dấu bằng số (đặt trong dấu [...]) - là số thứ tự của tài liệu xếp trong danh mục các tài liệu tham khảo. Tài liệu tham khảo cần ghi theo ngôn ngữ gốc, không phiên âm, không dịch.

**3.3. Gửi hoặc nộp bài:** Bản thảo gồm 2 bản in và 1 bản điện tử. Khi đăng kí nộp bài, các tác giả có thể đề xuất 2 phản biện. Việc chọn các phản biện chuyên môn phù hợp thuộc quyền của Hội đồng Biên tập Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

3.4. Phản biện: Sau khi nhận bài viết gửi đăng đúng với Thể thức quy định của Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Hội đồng Biên tập sẽ gửi bài viết cho các phản biện.

Những bài viết được chấp nhận đăng, các tác giả sẽ nhận được thư phản hồi của Hội đồng Biên tập với thời gian sửa chữa được yêu cầu tùy theo chất lượng của bài viết. Bản sửa chữa lần cuối của tác giả sẽ được coi là bản gốc. Bản thảo có thể nộp trực tiếp hoặc gửi qua E-mail của Tạp chí.

Quý tác giả muốn biết thêm thông tin, xin vui lòng liên hệ với TÒA SOẠN TẠP CHÍ CO KHÍ VIỆT NAM

 Địa chỉ: Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), Mai Dịch, Cầu Giấy, Hà Nội
 Điện thoại: (024) 37 920 650 - 0982 254 465 / 0985 696 263 Email: Tcckvn.bbkh@gmail.com \* Website: cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)

TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 320, tháng 10 năm 2024 cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

#### PHÓ TỔNG BIÊN TẬP HÀ DUY KHÁNH ĐẶNG VĂN LONG

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP TS. ĐỔ HỮU HÀO (Chủ tịch) GS,TSKH. BÀNH TIẾN LONG (P. Chủ tịch) KS. TA QUANG MAI (P. Chủ tịch) TSKH. PHAN XUÂN DŨNG PGS,TS. HÀ MINH HÙNG PGS,TS. TRUONG VIÊT ANH GS,TS. ÐINH VĂN CHIẾN GS,TSKH. PHẠM VĂN LANG GS,TS. CHU VĂN ĐẠT PGS,TS. TRÂN VĨNH HƯNG PGS,TS. ĐÀO QUANG KẾ PGS,TS. NGUYỄN VĂN BÀY PGS,TS. ĐÀO DUY TRUNG PGS,TS. LÊ THU OUÝ PGS.TS. BÙI TRUNG THÀNH PGS,TS. LÊ VĂN ĐIỂM GS,TS. LÊ ANH TUẤN GS,TS. NGUYỄN HỮU LỘC PGS,TS. DƯƠNG VĂN TÀI TS. PHAN ĐĂNG PHONG TS. TẠ NGỌC HẢI PGS,TS. TRẦN NGOC HIỂN PGS,TS. TRUONG HOÀNH SON TS. HÔ TRẦN ANH NGOC



\*Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

- In tại Công ty Cổ phần In Khoa học Công nghệ Hà Nội - Khuôn khổ 20,5cm x 28,5cm
- 48 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 60.000 đồng/quyển Tạp chí

277

/IETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

- Ånh hưởng của siết chặt tới khả năng chịu lực của mối ghép Bu lông đai ốc
- Nghiên cứu thiết kế kết cấu cum thân maket ống phóng tên lửa phục vụ cho công tác huấn luyên
- Nghiên cứu tạo lớp phủ gốm WC-12Co bề mặt trụ trong làm việc trong môi trường khắc nghiệt bằng phương pháp phun phủ HVOF •

Số 320, tháng 10 năm 2024 Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 20 tháng 10 năm 2024

#### TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Mai Dịch, Cầu Giấy, Hà Nội **Điện thoại:** (024) 3792 0650 Hotline: 0985 696 263 - 0982 254 465 Email: tcckvietnam@gmail.com Website: cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Giấy phép hoạt động Tạp chí in và Tạp chí Điện tử của Bộ Thông tin và Truyền thông Số 378/GP-BTTTT, ngày 22 tháng 6 năm 2021

#### Văn phòng đại diện:

тар сні

1. Tại TP. Hồ Chí Minh: TP. Hồ Chí Minh Diện thoại: 0913 921 407 Email: teck.tphem@gmail.com

 
 I. Tại TP. Hồ Chí Minh:
 2. Tại tỉnh Quảng Ninh:

 - PGS, TS. Bùi Trung Thành
 - TS. Hoàng Minh Thuận

 Phông T40, Nhã T, Trường Đại học Công nghiệp
 - Trường Cao đảng Công nghiệp và Xây dựng,

 TP Hỏ Chí Minh
 - Liên Phương Phương Đượng Lừong Bi, Quảng Ninh

 Số 12 Nguyễn Văn Bảo, phường 4, quận Gồ Vắp,
 Điện thoại: 0904 116 189
 Email: minhthuan.tcckvn@gmail.com

3. Tai Thái Nguyên: 5. Fai Thai Yeyyen, - GS,TS, Vü Ngọc Pi Số 234 Phú Xá, TP, Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên Điện thoại: 0974 905 578 Email: vungocpi@tnut.edu.vn

okhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

#### - GS.TS. Nguyễn Hữu Lộc

Phòng 205, Nhà B11, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, số 268 Lý Thường Kiệt, phường 14, Quận 10, TP. Hồ Chí Minh. Diện thoại: 0913 603 264 Email: nhloc@hcmut.edu.vn

#### Phóng viên thường trú:

1. Tai Hải Phòng: Lê Thế Hiệp
 Điện thoại: 0913 063 747
 Email: daidientcck@gmail ck@gmail.com

# NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (5 – 42)

1. Nguyễn Thu Hương, Trần Hoàng Anh: Ảnh hưởng của siết chặt tới khả năng chịu lực của	
mối ghép bu lông – đai ốc	5
2. Nguyễn Tuấn Hải, Đinh Văn Chiến: Nghiên cứu tối ưu hóa độ bền bám dính lớp phủ WC-	
12Co trên bề mặt trụ trong bằng công nghệ phun phủ nhiệt khí tốc độ cao HVOF	11
3. Lê Thanh Quang, Lý Vĩnh Đạt, Lê Thanh Phúc: Phân tích đáp ứng động của động cơ	
PMSM trong trường hợp sử dụng bộ truyền bánh răng và bộ truyền CVT	17
4. La Ngọc Tuấn, Nguyễn Quang Thanh, Nguyễn Hồng Ngoan, Hồ Ký Thanh: Nghiên cứu	
thực nghiệm ảnh hưởng của rung động siêu âm đến lực tạo hình trong quá trình tạo hình tấm	
bằng phương pháp tạo hình đa điểm	24
5. Mai Đình Sĩ, Lê Thanh Bình, Phạm Văn Chính: Nghiên cứu thiết kế kết cấu cụm thân	
maket ống phóng tên lửa phục vụ cho công tác huấn luyện	30
6. Nguyễn Tuấn Hải, Đinh Văn Chiến: Nghiên cứu tạo lớp phủ gốm WC-12Co bề mặt trụ	
trong làm việc trong môi trường khắc nghiệt bằng phương pháp phun phủ HVOF	35

## DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (43-44)

- LILAMA 10 ghi dấu ấn 3 triệu giờ làm việc an toàn tại dự án Hydrogen xanh Neom...... 43

## DANH SÁCH NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẢN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO KHOA HỌC ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 320, THÁNG 10 NĂM 2024

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	PGS,TS. Lê Văn Tạo	Hoa viên Kỹ thuật Quân gự
2	TS. Đỗ Thiết Lập	Hộc viện Kỳ thuật Quản sự
3	PGS, TS. Lê Thu Quý	Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt
4	TS. Nguyễn Văn Sỹ	Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh
5	PGS,TS. Nguyễn Đình Ngọc	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên
6	PGS,TS. Trần Vĩnh Hưng	Trường Đại học Phenikaa

# ẢNH HƯỞNG CỦA SIẾT CHẶT TỚI KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA MỐI GHÉP BU LÔNG – ĐAI ỐC

#### EFFECT OF BOLT LOAD ON BEARING CAPACITY OF BOLTED JOINT

#### Nguyễn Thu Hương<sup>\*</sup>, Trần Hoàng Anh

Khoa Công nghệ Chế tạo máy, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

## TÓM TẮT

Mối ghép bu lông – đai ốc là một kiểu mối ghép cơ khí được ứng dụng phổ biến, rộng rãi trong các ngành cơ khí, thiết bị công nghiệp và các thiết bị dân dụng khác. Trong điều kiện thực tế, do ảnh hưởng của các điều kiện tải trọng và các yếu tố môi trường khiến cho các mối ghép ren bị hỏng, từ đó gây ra ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng các công trình. Một trong những yếu tố rất quan trọng khi thực hiện lắp ghép mối ghép bu lông – đai ốc đó là kiểm soát lực siết chặt, hay là moment xoắn trong quá trình siết đai ốc. Nếu lực siết bu lông – đai ốc không đủ sẽ dẫn đến hiện tượng các con ốc bu lông bị lỏng, không đảm bảo tính cứng vững và gây ra đến sự mất ốn định của cấu trúc mối ghép. Trong khi đó, khi các bu lông, đai ốc hay mối ghép bị siết chặt quá mức cũng sẽ tạo ma sát lớn, dễ hư hỏng và quá tải của mối ghép. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn vào mô phỏng đánh giá khả năng chịu lực và biến dạng của mối ghép bu lông – đai ốc dưới sự ảnh hưởng của các giá trị lực siết khác nhau. Kết quả nghiên cứu này có thể giúp các nhà kỹ thuật lựa chọn được giá trị lực siết chặt hợp lý, qua đó đảm bảo quá trình lắp ráp an toàn nhất và tăng tuổi thọ cho mối ghép.

Từ khoá: Bu lông – đai ốc; Biến dạng; Ứng suất, Moment xoắn.

#### ABSTRACT

Bolted joint is one of the most common joining method widely used in mechanical engineering, industrial equipment and other civil equipment. In actual conditions, due to the influence of load conditions and environmental factors, threaded joints are damaged, thereby greatly affecting the quality of works. One of the very important factors when doing bolted joint assembly is controlling the tightening force, or torque, during the tightening of the nut. If the bolt-nut tightening force is not enough, it will lead to the phenomenon of the bolts being loose, not ensuring the rigidity and causing the instability of the joint structure. Meanwhile, when the tightening fore are to extensive, it will also generate a significant friction, easy damage and overload of the joints. In this paper, the finite element analysis method was employed to simulate and evaluate the bearing capacity and deformation of bolt-nut joints under the influence of different tightening force values. This research result can help technicians choose a reasonable tightening force value, thereby ensuring the safest assembly process and increasing the life of the joint.

Keywords: Bolted joint; Stress; Deformation; Bolted load.

#### 1. GIỚI THIỆU

Mối ghép bu lông – đai ốc là một kiểu mối ghép cơ khí được sử dụng rộng rãi trong các ngành chế tao cơ khí, thiết bi công nghiệp, các công trình xây dựng, máy móc, giao thông ở khắp mọi nơi trên thế giới. Nguyên lý làm việc cơ bản mối ghép bu lông - đai ốc là để giúp kep chặt các chi tiết lại với nhau. Mối lắp ghép bu lông – đai ốc chịu được tải trọng kéo và uốn rất tốt, đô bền cao và hoat đông ổn đinh trong thời gian dài. Ngoài ra, việc tháo lắp và hiệu chỉnh các mối lắp ghép bằng bu lông rất đơn giản, thuân tiên, thao tác nhanh chóng và không đòi hỏi công nghệ phức tạp như những mỗi ghép khác. Việc lựa chọn vật liệu để sản xuất bu lông phu thuộc nhiều vào vi trí kết nối mà nó được sử dụng, nhưng thép vẫn là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất (đến 90%). Thông thường, bu lông, đại ốc và vòng đệm được chế tao từ thép, thép cứng, thép không gỉ, titan, đồng thau, nhôm, hợp kim đồng, nhưa. Tuy nhiên, hiên nay thép vẫn là loai vật liêu phổ biến nhất để sản xuất bu lông – đai ốc dựa trên tính phổ biến và giá thành hợp lý.

Mặc dù là một loại mối ghép được sử dung phổ biến ở tất các các lĩnh vực, tuy nhiên trên thực tế, không có nhiều người hiểu rõ về những khó khăn mà nhiều người gặp phải khi lựa chọn loại bu lông đáp ứng yêu cầu được nêu ra trong hồ sơ thiết kế liên quan. Quản lý lực siết bụ lông là một trong những công việc quan trọng cần phải chú ý trong công việc tháo, lắp bu lông. Một lực kẹp chặt quá nhỏ có thể không đảm bảo tính cứng vững và gây ra sự mất ổn định của cấu trúc mối ghép. Lực kẹp chặt không đủ cũng là một nguyên nhân gây ra tải trọng theo chu kỳ, gây hỏng bu lông do mỏi. Ngược lại, lực siết quá chặt có thể làm gãy bu lông trong quá trình siết hoặc khi có tải trọng làm việc. Trong nghiên cứu này, các tác giả ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng đánh giá khả năng chịu lực và biến dạng của mối ghép bu lông – đai ốc dưới sự ảnh hưởng của các lực xiết khác nhau. Từ kết quả nghiên cứu, có thể giúp các nhà kỹ thuật lựa chọn được giá trị moment xoắn hợp lý cho quá trình lắp ráp để đạt được mối ghép an toàn nhất.

#### 2. CÂU TRÚC MỐI GHÉP BU LÔNG – ĐAI ỐC

Mối ghép bu lông – đai ốc được cấu tạo từ ba chi tiết cơ bản là: Bu lông, đai ốc và vòng đệm, như được minh họa cụ thể trong hình biểu diễn 3. Mỗi chi tiết có một vai trò và chức năng khác nhau.



Hình 1. Cấu trúc điển hình của mối ghép bu lông – đai ốc.



Hình 2. Cấu trúc điển hình và kích thước chuỗi của bu lông lục giác.

Bu lông là một chi tiết quan trọng nhất, đóng vai trò truc kết nối chính trong mối ghép bu lông – đai ốc. Cấu trúc điển hình của bu lông thường bao gồm có hai phần: phần đầu và thân bu lông. Tùy theo chức năng và yêu cầu về tính kỹ thuật, tính thẩm mỹ cao và sự tiện dụng trong quá trình sản xuất và sử dụng, đầu bu lông thường được thiết kế theo nhiều hình dạng khác nhau, gồm có: hình tròn; hình lục giác 6 cạnh ngoài (bu lông lục giác ngoài); hình vuông, hoặc hình lục giác 6 cạnh được dập chìm bên trong (bu lông luc giác chìm); 8 canh (bát giác); hoặc những hình khác như hình ô van, hình nón. Thân bu lông được tiên ren theo hai kiểu: Ren suốt và ren lửng, thân bu lông có độ dài đủ để luồn qua các chi tiết cần được lắp ghép. Bu lông ren suốt sẽ được tiên ren toàn bô phần thân bu lông, từ đầu mũ đến cuối bu lông. Bu lông ren lửng thì chỉ được tiên ren một phần thân bu lông, bắt đầu từ đầu mũ bu lông, độ dài tiện ren sẽ tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế bu lông và yêu cầu của công trình lắp ghép.

![](_page_6_Figure_1.jpeg)

Hình 3. Cấu trúc điển hình và các kích thước tương ứng của một đai ốc lục giác.

Trong mối ghép bu lông – đai ốc, đai ốc là một chi tiết luôn luôn đi kèm với bu lông. Cấu trúc điển hình của đai ốc bao gồm một khối kim loại nhỏ có lỗ, được thiết kế với nhiều hình dạng, bên trong được tiện một đường rãnh (ren) xoắn ốc chạy quanh lỗ xuyên qua trung tâm. Đai ốc luôn được dùng với bu lông để tạo ra ma sát ren và lợi dụng sức căng của bu lông, sức nén của chi tiết để kẹp chặt các chi tiết với nhau. Các loại đai ốc sẽ được thiết kế để phù hợp với từng loại bu lông tương ứng. Tương tự như bu lông thì đai ốc lục giác (6 cạnh) có các góc được bo tròn là loại đai ốc được sử dụng phổ biến nhất hiện nay.

Vòng đệm là chi tiết đóng vai trò trung gian giữa đai ốc và bề mặt chi tiết để đảm bảo quá trình siết chặt đai ốc và để ko làm ảnh hưởng bề mặt chi tiết bị ghép. Ngoài ra, vòng đệm cung cấp thêm khả năng hiệu quả và khả năng chịu lực cho liên kết bu lông – đai ốc nhờ tăng diện tích tiếp xúc. Vòng đệm có nhiều loại khác nhau, bao gồm: vòng đệm tròn, vòng đệm lò xo, vòng đệm vuông, vòng đệm răng, vòng đệm khóa.

#### 3. CÁC DẠNG HỎNG PHỔ BIẾN CỦA MỐI GHÉP BU LÔNG – ĐAI ỐC

Trong các mối liên kết chiu tải trong, bu lông thường được siết chặt để đảm bảo ghép các bộ phận lại với nhau. Về cơ bản, tất cả các loai bu lông thường được chế tao từ những loại vật liệu có tính đàn hồi. Để tạo được một lực kep các bô phân lai với nhau, chúng cần phải được kéo căng một lượng nhỏ để phát triển lực kẹp, tuy nhiên nếu kéo căng quá mức, vượt quá giới han đàn hồi, bu lông sẽ bi biến dang vĩnh viễn. Do vậy, để tránh trường hợp này, chúng ta cần đảm bảo rằng, ứng suất trong bu lông không bao giờ vượt quá giới hạn đàn hồi cả trong quá trình lắp ráp và chịu tải trọng trong quá trình làm việc. Để tránh rủi ro này, chúng ta cần xác đinh tải trong đối chứng ứng suất làm việc của bu lông sẽ nhỏ hơn tải trọng đối chứng, để đảm bảo rằng bu lông sẽ làm việc ở vùng an toàn, không bi biến dang dưới tác 3

dụng của lực siết và tải trọng trong quá trình làm việc. Thông thường lực kẹp, hay lực siết được tính toán bằng 75% tải trọng đối chứng, tuy nhiên con số này là tham khảo, giá trị có thể cao hơn hoặc thấp hơn tùy vào yêu cầu ứng dụng và tính toán của nhà thiết kế [1-4].

Trong điều kiện làm việc thực tế, các mối ghép ren thường bi hỏng do tác đông của điều kiên tải trong và các điều kiện môi trường khắc nghiệt, từ đó gây ra ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng các công trình. Do đó, điều quan trong nhất là phải xác định chính xác được dạng hỏng và các nguyên nhân gây ra. Hình 4 thể hiện các dạng hỏng phổ biến của mối ghép bu lông – đai ốc [5]. Về cơ bản, chúng ta có thể phân chia các dạng hư hỏng của mối ghép bu lông – đai ốc thành hai loai chính: hư hỏng trên bu lông và hư hỏng trên chính chi tiết cần kẹp chặt. Một trong những dạng hỏng phổ biến nhất là đứt gãy trên thân bu lông dưới tác dung của lực cắt tại vị trí bề mặt tiếp xúc giữa hai chi tiết (Hình 4a). Đây là dạng hỏng thường xảy ra với mối ghép bu lông – đai ốc dùng để kẹp chặt hai chi tiết. Lực cắt sẽ được hình thành dưới tác dung của hai lực kéo ngược chiều nhau trên hai chi tiết bị kẹp, gây ra đứt thân bu lông tại vi trí bề mặt tiếp xúc giữa hai chi tiết. Ngoài ra, một số dạng hỏng liên quan đến thân bu lông có thể kể đến là: cong, vênh trên thân bu lông thường xảy ra với mối ghép kẹp chặt từ 3 chi tiết trở lên (Hình 4c, 4f) và đứt bu lông do lực siết chặt quá lớn (Hình 4e). Các dang hỏng trên chi tiết thiết bị kẹp chủ yếu liên quan đến nứt vỡ, đứt gãy tại vị trí 1õ

![](_page_7_Figure_3.jpeg)

Hình 4. Các dạng hỏng tiêu biểu của mối ghép bu lông – đai ốc [5]

# 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

#### 4.1. Mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng được xây dựng dựa trên mô hình thực tế của mối ghép bu lông – đai ốc. Phần mềm sử dụng là Abaqus/Standard. Cấu trúc điển hình, điều kiện biên và tải trọng tác dụng được thể hiện chi tiết trên Hình 5. Mô hình lấp ráp của mối ghép bu lông – đai ốc sẽ được tạo thành từ 05 chi tiết: bu lông, đai ốc, vòng đệm, và hai chi tiết bị kẹp. Trước khi tiến hành mô phỏng, từng chi tiết sẽ được chia lưới phần tử. Loại phần tử được áp dụng trong mô hình là loại phần tử: C3D8R. Đặc điểm của C3D8R là loại phần tử hình khối, bao gồm 8 nút, cho phép tính toán ứng suất, biến dạng, chuyển vị của từng nút nên đáp ứng được với mục đích đặt ra cho bài toán mô phỏng. Điều kiện tiếp xúc giữa các bề mặt chi tiết được giả lập bằng lực ma sát, hệ số ma sát  $\mu = 0.2$ .

![](_page_7_Figure_8.jpeg)

![](_page_8_Figure_1.jpeg)

Hình 5. Cấu trúc mô hình mô phỏng, chia lưới và điều kiện biên

## 5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 6 thể hiên sư phân bố ứng suất Von-Mises trên mối ghép bu lông – đai ốc dưới các điều kiện lực siết khác nhau. Từ kết quả sự phân bố ứng suất cho từng trường hợp, ta có thể thấy rằng, với cùng một giá trị lực kéo đóng vai trò là tải trọng ngoại lực, vị trí của vùng ứng suất nguy hiểm sẽ thay đổi đáng kể với sự thay đổi của giá trị lực siết chặt. Khi lực siết chặt tương đối thấp (Hình 6a, lực siết chặt  $M_{2} = 36$ Nm), vùng ứng suất nguy hiểm chủ yếu xuất hiện trên các chi tiết bị kẹp, trong khi ứng suất trên thân bu lông tương đối thấp. Khi lực siết chặt tăng dần (Hình 6b, lực siết chặt M = 108 Nm), vùng ứng suất nguy hiểm trên các chi tiết bi kep cũng thu hẹp dần. Khi lực siết chặt M<sub>e</sub> = 108 Nm (Hình 6c), vùng ứng suất nguy hiểm nhất đã xuất hiện trên thân bu lông, tại vị trí tiếp xúc giữa hai chi tiết thay vì trên hai chi tiết bi kep như trường hợp Hình 6a, 6b. Khi lực siết chặt tăng lên đáng kể, vùng ứng suất cao tiếp tục phát triển trên thân bụ lông (Hình 6c, 6d, 6e). Như vậy có thể kết luân, các dang hỏng chủ yếu trên các chi tiết bị kép chủ yếu xuất hiện khi lực siết chặt không đủ hoặc mối ghép bu lông – đai ốc bi lỏng dần theo thời gian. Khi lực siết chặt tăng lên, các dạng hỏng chủ yếu sẽ liên quan đến thân bu lông do vùng ứng suất nguy hiểm chủ yếu phân bố trên thân bu lông.

![](_page_8_Figure_5.jpeg)

Hình 6. Sự phân bổ ứng suất Von-Mises trên mối ghép bu lông – đai ốc khi áp dụng các lực xiết chặt khác nhau (a) lực siết chặt 36 Nm, (b) lực siết chặt 108 Nm, (c) lực siết chặt 180 Nm, (d) lực siết chặt 311.4 Nm, (e) lực siết chặt 360 Nm, (f) lực siết chặt 622.8 Nm.

Tuy nhiên, cũng cần chú ý rằng về cơ bản, ứng suất Von-Mises là một loại ứng suất tương đương, vì thế nó ko đủ để mô tả được bản chất của sự vật, hiện tượng. Trong khi đó, phương và chiều của lực rất quan trong đối với độ bền mỏi (fatigue strength), hoặc là các vật liệu không có sự đồng nhất và đẳng hướng, hoặc là vật liệu phi tuyến. Nếu chỉ căn cứ vào giá tri Von-Mises, chúng ta không thể thấy được kết cấu của mối ghép bu lông – đai ốc đang chịu lực ở trạng thái gì, kéo hay nén, uốn hay xoắn, cũng như không thể thấy được phương, chiều, hướng của ứng suất. Hình ảnh 7 thể hiện sự phân bố của ứng suất trị ứng suất lớn nhất (maximum principal stress) với các điều kiên lực siết chặt khác nhau. Do đây là ứng suất thật sự ở bên trong chi tiết, nó thể hiện được đúng về phương, chiều, hướng, mô tả đúng về bản chất của ứng suất trong chi tiết. Kết quả phân tích cho thấy, khi lực siết chặt thấp (từ 36Nm 😨 đến 180 Nm, Hình 7a, 7b, 7c), trạng thái ứng suất trên chi tiết bị kẹp là chịu ứng suất kéo và trên thân bu lông là chịu ứng suất nén. Do vậy, thân bu lông sẽ chịu ít rủi ro, hỏng, nứt võ hơn so với các chi tiết bị kẹp. Ngược lại, khi lực siết chặt vượt quá 311.4 Nm (Hình 7d, 7e, 7f) trạng thái ứng suất trên thân bu lông là trạng thái ứng suất kéo, do vậy vùng nguy hiểm sẽ chủ yếu tập trung trên thân bu lông dưới điều kiện làm việc thực tế.

![](_page_9_Picture_2.jpeg)

Hình 7. Sự phân bố giá trị ứng suất lớn nhất của các ứng suất pháp trên mối ghép bu lông – đai ốc khi áp dụng các lực xiết chặt khác nhau: (a) lực xiết chặt 36 Nm, (b) lực xiết chặt 108 Nm, (c) lực xiết chặt 180 Nm, (d) lực xiết chặt 311.4 Nm, (e) lực xiết chặt 360 Nm, (f) lực xiết chặt 622.8 Nm.

## 6. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Dựa trên trường phân bố ứng suất, biến dạng nhận được từ mô hình mô phỏng, chúng ta thu được một số kết luận quan trọng dưới đây:

 Dưới cùng tác dụng của một lực kéo đóng vai trò là tải trọng ngoại lực, vị trí của vùng ứng suất nguy hiểm sẽ thay đổi đáng kể với sự thay đổi của giá trị lực siết chặt. Khi lực siết thấp, vùng ứng suất nguy hiểm chủ yếu tập trung trên thân các chi tiết bị kẹp. Ngược lại, khi lực siết chặt đai ốc đủ lớn, vùng ứng suất tập trung phân bố trên thân bu lông.

Dựa trên sự phân bố của vùng ứng suất nguy hiểm dưới các điều kiện lực siết chặt khác nhau, chúng ta có thể phỏng đoán các dạng học chủ yếu trên các chi tiết bị kép chủ yếu xuất hiện khi lực siết chặt không đủ hoặc mối ghép bu lông – đai ốc bị lỏng dần theo thời gian. Khi lực siết chặt tăng lên, các dạng hỏng chủ yếu sẽ liên quan đến thân bu lông do vùng ứng suất nguy hiểm chủ yếu phân bố trên thân bu lông.

 Cần tính toán giá trị của lực siết chặt bu lông – đai ốc một cách hợp lý để đảm bảo độ an toàn của mối ghép, cũng như các biện pháp phòng tránh hư hại cho mối ghép.

Ngày nhận bài: **19/9/2024** Ngày phản biện: **03/10/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

- Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8298: 2009 về Công trình thủy lợi – Yêu cầu kỹ thuật trong chế tạo và lắp ráp thiết bị cơ khí, kết cấu thép.
- [2]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1916:1995 về Bu lông, vít, vít cấy và đai ốc – Yêu cầu kỹ thuật.
- [3]. Tiêu chuẩn ISO 898-1: Mechanical properties of fastener part 1.
- [4]. Tiêu chuẩn EN 15048-1: Bolts made of austenitic stainless steel: 50, 70, 80.
- [5]. Heimbs, S., Schmeer, S., Blaurock, J., & Steeger, S. (2013). "Static and dynamic failure behaviour of bolted joints in carbon fibre composites". Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 47, 91-101.

# NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA ĐỘ BỀN BÁM DÍNH LỚP PHỦ WC-12Co TRÊN BỀ MẶT TRỤ TRONG BẰNG CÔNG NGHỆ PHUN PHỦ NHIỆT KHÍ TỐC ĐỘ CAO HVOF

#### OPTIMIZING THE ADHESION STRENGTH OF THE WC-12Co COATINGS ON THE INTERNAL SURFACE USING THE HIGH-VELOCITY OXYGEN-FUEL (HVOF) THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

Nguyễn Tuấn Hải<sup>1</sup>, Đinh Văn Chiến<sup>2,3</sup> <sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai <sup>2</sup>Trường Đại học Mỏ – Địa chất <sup>3</sup>Trường Đại học Kinh tế – Công nghệ Thái Nguyên

### TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này là tối ưu hóa độ bám dính của lớp phủ được tạo ra ở bề mặt trụ trong bằng công nghệ phun phủ HVOF. Vật liệu phủ là bột WC-12Co trên nền thép ống 20Cr. Các thông số chính của quá trình phun được nghiên cứu bao gồm lưu lượng phun, khoảng cách phun và vận tốc tương đối của súng phun. Các thí nghiệm được bố trí theo thiết kế Taguchi L9. Kết quả nghiên cứu cho thấy các tham số quá trình phun được lựa chọn trong thí nghiệm ảnh hưởng đáng kể đến độ bám dính của lớp phủ với bề mặt nền thép ống 20Cr. Theo phân tích Taguchi và ANOVA trong các thử nghiệm, các giá trị thông số phun tối ưu đạt được ở khoảng cách phun 0,25 m, lưu lượng bột 26 g/phút và vận tốc tương đối của súng phun là 0,15 m/s. Với các thông số này, giá trị độ bám dính tối ưu đạt được là 66,47 MPa. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy ảnh hưởng của các thông số quá trình phun đến độ bám dính, trong đó khoảng cách phun ảnh hưởng 38,4%, lưu lượng bột 34,7% và vận tốc tương đối súng phun 25,7%.

Từ khóa: Phun phủ nhiệt khí tốc độ cao; Độ bám dính; Thông số phun; Các-bít vonfram.

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the adhesion strength characteristics of the coating layer created inside cylindrical surfaces using HVOF technology. The coating material is tungsten carbide powder on a 20Cr steel substrate. The main parameters of the spraying process studied include spray flow rate, spray distance, and relative velocity of the spray gun. The experiments are arranged according to Taguchi L9 design. The research results show that the selected spraying process parameters in the experiment significantly affect the adhesion strength of the coating to the substrate. According to Taguchi and ANOVA analysis in the experiment, the optimal spray parameter values are achieved at a spray distance of 0.25 m, powder flow of 26 g/min, and relative velocity of the spray gun at 0.15 m/s. With these parameters, the optimal adhesion strength value obtained is 66.47 MPa. The analysis results also indicate the influence of the spraying process parameters on adhesion strength, with spray distance contributing at 38.4%, powder flow rate at 34.7%, and spray gun velocity at 25.7%.

Keywords: High-velocity oxygen-fuel; Adhesion; Process parameters; Carbide wolfram.

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ phun nhiệt nhiên liệu oxy tốc độ cao (HVOF) được phát minh vào những năm 1980 và là công nghệ phủ bề mặt có thể thay thể lớp phủ crom cứng do lớp phủ phun nhiệt HVOF có hiệu suất mài mòn và ăn mòn tốt hơn [1]. Tuy nhiên, các quy trình HVOF bị giới hạn bởi tính chất không gian làm việc của chúng, nghĩa là việc phun bề mặt ở những khu vực chât hẹp là một thách thức khi so sánh với các quy trình mạ crom cứng truyền thống. Việc tạo lớp phủ trên các bề mặt bên trong chi tiết có không gian chật hẹp với các hình dạng phức tạp sử dụng các hệ thống HVOF thương mại bị nhiều hạn chế do kích thước của súng phun và khoảng cách phun cần thiết để có nhiệt độ và vận tốc hạt tối ưu. Trong nghiên cứu này, phun phủ nhiệt bề mặt trong HVOF được nghiên cứu và phát triển với mục đích nâng cao chất lượng lớp phủ khi các thông số phun của hệ thống hoat đông ở mức năng lương tối ưu nhưng đồng thời vẫn giữ được đông năng cao cho phép phủ nhiều bề mặt bên trong một cách hiệu quả hơn.

Vật liệu các-bít WC-12Co là lựa chọn hàng đầu trong các ứng dụng chống ăn mòn và mài mòn do sự kết hợp giữa độ cứng cao của các-bít vonfram và tính linh hoạt của coban. WC-12Co thể hiện độ bền và độ cứng cao, tăng cường khả năng chống mài mòn, ăn mòn và va đập bề mặt. Điều này giúp cho chi tiết được phủ có khả năng chịu được áp lực và môi trường làm việc khắc nghiệt [2].

Lực liên kết giữa vật liệu nền và lớp phủ đặc trưng cho độ bám dính của lớp phủ. Việc kiểm tra độ bền này rất quan trọng để kiểm soát chất lượng của thiết bị phun và quy trình phun. Ưu điểm của HVOF so với các kỹ thuật phun nhiệt khác là vận tốc hạt cao hơn so với các công nghệ phun phủ khác như phun ngọn lửa và phun nhiệt hồ quang dây. Kết quả là lớp phủ cuối cùng thường có độ xốp thấp hơn. Hơn nữa, do nhiệt độ nguồn nhiệt thấp hơn nên sự thay đổi pha của các hạt trong quá trình bay ít xảy ra hơn với phun nhiệt HVOF [3-4].

Dựa trên nghiên cứu đã công bố, việc tạo lớp phủ bề mặt trong phát sinh nhiều vấn đề về thiết bị cũng như chế độ vận hành so với quá trình phun tiêu chuẩn bề mặt ngoài và chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá. Để tạo lớp phủ bề mặt trong chi tiết làm việc trong điều kiện khắc nghiệt thì vật liệu cacbít thường sử dụng. Trong nghiên cứu này sử dụng vật liệu WC-12Co để tạo lớp phủ bề mặt trong và đánh giá độ bám dính lớp phủ tối ưu thông qua chế độ phun. Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật phân tích Taguchi-Anova để quy hoạch tối ưu hóa thực nghiệm.

#### 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

#### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế thí nghiệm dựa trên phương pháp Taguchi được sử dung trong nghiên cứu. Phương pháp Taguchi cho phép tạo ra tổ hợp các thí nghiệm theo sắp xếp mảng trực giao (OA) nhằm có được tổ hợp tối ưu mà tiết kiệm thời gian và chi phí thí nghiệm thay vì phải kiểm tra tất cả các tổ hợp có thể có của các tham số đầu vào. Một đặc điểm quan trọng khác của phương pháp Taguchi là tỷ số tín hiệu trên nhiễu (S/N) được sử dụng làm thước đo mức độ ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu đến đặc tính chất lượng đầu ra. Trong nghiên cứu này, khoảng cách phun, lưu lượng phun và tốc độ tương đối súng phun được coi là các yếu tố ảnh hưởng. Số mức độ của mỗi yếu tố ảnh hưởng là ba mức độ. Vì vậy, thiết kế thí nghiệm L9 theo Taguchi được sử dụng để bố trí thí nghiệm (Bảng 2, Bảng 4). Độ bám dính của lớp phủ là đáp ứng đầu ra bị thay đổi bởi các yếu tố ảnh hưởng. "Cao hơn là tốt hơn" là đặc tính chất lượng của tỷ số S/N do Taguchi xác định theo phương trình (1):

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i}\frac{1}{y_{i}^{2}}\right)$$
(1)

Trong phân tích phương sai (ANOVA), các công thức toán học chính được sử dụng cho nghiên cứu này là các phương trình (2), (3), (4), (5), (6). Giá trị trung bình của các tỷ số S/N đối với từng mức của từng yếu tố được xác định theo công thức (2). Công thức (3) biểu thị tổng bình phương độ lệch của các mức (SS). Tổng bình phương độ lệch giữa các mức (SS<sub>1</sub>) được biểu thị bằng công thức (4). Để xác định tham số tối ưu, tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của từng yếu tố (%E) đến các tham số đã chọn sẽ được đánh giá và tính toán bằng phương trình (5). Giá trị độ bám dính tối ưu  $\tau_{max}$  do Taguchi dự đoán được xác định theo công thức (6) [5].

$$\overline{S/N} = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^{9} (S/N)_k$$
(2)

$$SS = \sum_{k=1}^{9} \left( (S/N)_{ij} - \overline{(S/N)} \right)^2 (3)$$

$$SS_{i} = \sum_{j=1}^{3} \left( (S/N)_{ij} - \overline{(S/N)} \right)^{2}$$
(4)

$$\% E = \frac{SS_i}{SS} . 100\%$$
 (5)

$$\tau_{\max} = T + \sum_{j=1}^{n} (T_i - T)^{(6)}$$

Ký hiệu j là các yếu tố được chọn; i là mức độ của các yếu tố; E là phần trăm đóng góp của từng yếu tố, T là kết quả trung bình thu được từ các thí nghiệm;  $T_i$  đại diện cho giá trị trung bình của các thí nghiệm.

#### 2.2. Vật liệu thử nghiệm

Trong nghiên cứu này, bột phun nhiệt WC-12Co do công ty Eutectic cung cấp được sử dụng làm vật liệu phun. Bột nguyên liệu có hình dạng và kích thước từ 15 đến 45 µm đã được phân tích và quan sát như trong Hình 1. Lớp phủ được phun bằng cách phun HVOF lên bề mặt bên trong của ống thép DN400 làm bằng vật liệu 20Cr có thành phần được mô tả trong Bảng 1. Bề mặt vật liệu nền được làm nhám đến Ra = 10  $\mu$ m trước khi phun để tăng cường khả năng bám dính của các hạt với vật liệu nền.

![](_page_12_Figure_12.jpeg)

Hình 1. Ảnh SEM và phân tích EDX của bột WC-12Co

Bảng 1. Thành phần của thép 20Cr

Thành phần	С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
% Tỉ lệ	0.18 - 0.24	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	0.7 - 1.0	0.3	-

#### 2.3. Chế tạo lớp phủ

Thiết bị phun HVOF với súng phun HP-2700M do công ty MEC – Ấn Độ cung cấp kết hợp với đồ gá phun bề mặt bên trong được sử dụng để tiến hành thí nghiệm. Các thông số phun được thiết kế ở ba mức độ (Bảng 2) và được thiết kế thử nghiệm theo theo mảng trực giao L9 (Bảng 4) của phương pháp Taguchi. Các thông số phun còn lại được lựa chọn theo khuyến cáo của nhà sản xuất (Bảng 3).

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online) TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 320, tháng 10 năm 2024 cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

13

Thông số	<i>V≁</i> h:â.,		Mức độ	
chế độ phun	Ky męu	1	2	3
Khoảng cách phun (m)	L	0.2	0.25	0.3
Lưu lượng phun (g/phút)	Р	20	26	32
Tốc độ tương đối súng phun (m/s)	V	0.1	0.15	0.2

Bảng 2. Thông số phun và các mức thử nghiệm

Bảng 3. Các thông số phun HVOF khác

Thông số		Trị số áp s	uất (MPa)	Giá tr	<b>i lưu lượng (</b> l	l/phút)	
I nong so	0 <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> Air			Air	N <sub>2</sub>
Giá trị	0.98	0.69	0.4	0.69	40	550	20

#### 2.4. Đo độ bám dính

Độ bám dính của lớp phủ với bề mặt vật liệu nền được xác định dựa trên tiêu chuẩn JIS-H-8304-2017 [6]. Trong đó, mẫu thử được gia công theo hình vành khăn và bề mặt của lớp phủ được mài để đảm bảo độ dày lớp phủ là 500  $\mu$ m. Việc kiểm tra độ bám dính của lớp phủ với bề mặt nền được thực hiện trên máy thử kéo nén để xác định lực nén P<sub>t</sub> (N) theo nguyên lý thể hiện trên Hình 2.

Độ bám dính lớp phủ  $\tau$  được tính bằng tỷ số giữa  $P_t$  và diện tích bám dính của lớp phủ với bề mặt nền F (mm<sup>2</sup>):

$$\tau = \frac{P_t}{F} \tag{7}$$

![](_page_13_Figure_9.jpeg)

Hình 2. Nguyên lý kiểm tra độ bám dính của lớp phủ

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả thử nghiệm

Dựa trên các thông số thí nghiệm và kết quả thực nghiệm được tính toán để xác định độ bám dính của lớp phủ (mẫu thử độ bám dính và đồ thị biến dạng Hình 3, 4) và giá trị độ bám dính thu được trong Bảng 4. Giá trị S/N cũng được tính tương ứng với từng thí nghiệm.

Từ Bảng 4 cho thấy: giá trị độ bám dính của lớp phủ thay đổi trong khoảng 52,1-65,6 MPa, mẫu thứ 5 với thông số phun  $L_2P_2V_3$  (L = 0,2 m, P = 26 g/phút, V = 0,2 m/s) có mức cao nhất là 65,6 MPa. Từ kết quả thu được, ta thấy độ bám dính của lớp phủ bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi các thông số phun, chứng tỏ các thông số phun được lựa chọn cho nghiên cứu là phù hợp.

TN		Thông số phun	Độ bám dính	S/N		
	L	Р	V	(MPa)	5/1N	
1	0.20	20	0.10	52.1	34.5671	
2	0.20	26	0.15	65.3	36.0281	
3	0.20	32	0.20	61.2	35.7350	
4	0.25	20	0.15	59.5	35.4903	
5	0.25	26	0.20	65.6	36.3645	
6	0.25	32	0.10	58.3	35.2235	
7	0.30	20	0.20	53.8	34.3534	
8	0.30	26	0.10	55	34.7439	
9	0.30	32	0.15	57.5	35.1631	

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm độ bám dính

![](_page_14_Picture_3.jpeg)

Hình 3. Mẫu thử độ bám dính

![](_page_14_Figure_5.jpeg)

Hình 4. Biểu đồ thử độ bám dính

#### 3.2. Xác định các chế độ phun tối ưu

Việc tăng cường độ bám dính của lớp phủ giúp cải thiện tính chất cơ tính bề mặt bên

trong của hệ thống đường ống trong quá trình vận hành, đặc biệt đối với lớp phủ có khả năng chống mài mòn, ăn mòn, v.v. Do đó, tỷ số S/N theo Taguchi giá trị càng cao biểu thị đặc tính độ bám dính lớp phủ càng tốt (càng cao càng tốt). Dựa vào kết quả thực nghiệm từ Bảng 4, bằng công cụ phần mềm tính toán Minitab tính được giá trị tỉ số S/N cho từng thông số chế độ phun ứng với từng mức độ, đồ thị minh họa Hình 5. Kết quả cho thấy ứng với các mức tỉ số trung bình S/N cao nhất của các thông số phun sẽ cho dự đoán về độ bền bám dính tối ưu của lớp phủ là 66.47 MPa tại thông số phun tối ưu được dự đoán là L<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>(L<sub>2</sub>=0,25 m, P<sub>2</sub>=26 g/phút và V<sub>3</sub>=0,15 m/s).

![](_page_14_Figure_10.jpeg)

Hình 5. Phân mức tác động của các thông số phun dựa trên tỷ số S/N tới độ bám dính lớp phủ

#### 3.3. Phân tích phương sai

Bảng 5 thể hiện phân tích phương sai của thí nghiệm, kết quả cho thấy các thông số phun được chọn trong thí nghiệm là các thông số ảnh hưởng chính đến đặc tính bám dính của lớp phủ với chất nền thể hiện qua độ sai số nhỏ và độ tin cậy thống kê cao (P < 0.05). Kết quả

phân tích phương sai thể hiện vận tốc tương đối súng phun là ảnh hưởng ít nhất đến độ bám dính lớp phủ trong 3 thông số khảo sát với mức ảnh hưởng là 25.7%, kế tiếp là lưu lượng phun với giá trị ảnh hưởng là 34.7% và thông số ảnh hưởng lớn nhất đến độ bám dính lớp phủ là khoảng cách phun với giá trị ảnh hưởng là 38.4%.

Bảng 5. Kết quả phân tích phương sai dựa trên độ bám dính lớp phủ.

Tham số	Bậc tự do	Giá trị SS	Giá trị MS	Trị số F	Trị số P	Mức độ ảnh hưởng E (%)
L	2	63.936	319.678	32.58	0.030	38.4
Р	2	57.722	288.611	29.42	0.033	34.7
V	2	42.762	213.811	21.79	0.044	25.7
Sai số	2	1.962	0.9811			1.2
Tổng	8	166.382				100

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi và phân tích ANOVA được sử dung để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số phun đến độ bám dính bề mặt của ống thép với vật liêu phủ WC-12Co bằng phương pháp HVOF. Tối ưu hóa các thông số phun bằng phương pháp Taguchi bao gồm các thông số khoảng cách phun, lưu lượng phun và vận tốc tương đối của súng phun. Các thông số phun tối ưu được xác định là khoảng cách phun L = 0.25 m, lưu lượng phun P = 26 g/phút và vận tốc tương đối của súng phun ở V = 0,15 m/s. Kết quả độ bám dính tối ưu theo dự đoán của lớp phủ đạt được là 66,47 MPa. Phân tích ANOVA chỉ ra rằng khoảng cách có ảnh hưởng đáng kể nhất đến độ bám dính của lớp phủ với mức 38,4%, tiếp theo là lưu lượng phun ở mức 34,7% và cuối cùng là vận tốc tương đối của súng phun ở mức 25,7%. �

Ngày nhận bài: **26/9/2024** Ngày phản biện: **15/10/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

- M. Bielewski, "*Replacing Cadmium and Chromium*". The Research and Technology Organisation and NATO, AG-AVT-140 (2011), Chp. 23, p 1/22.
- [2]. P.L. Fauchais, J.V.R. Heberlein, M.I. Boulos, "Thermal spray fundamentals: From powder to part". Springer US, 2014. https://doi. org/10.1007/978-0-387-68991-3.
- [3]. S. Amin, H. Panchal, "*A review on thermal spray coating processes*". Int. J. Curr. Trends Eng. Res. 2 (2016) 556-563.
- [4]. A.S.M. Ang, N. Sanpo, M.L. Sesso, S.Y. Kim, C.C. Berndt, "Thermal spray maps: Material genomics of processing technologies". J. Therm. Spray Technol. 22 (2013) 1170-183. https://doi.org/10.1007/s11666-013-9970-3.
- [5]. G. Taguchi, S. Konishi, "Taguchi methods, orthogonal arrays and linear graphs, tools for quality American supplier institute". American Supplier Institute, 1987, pp. 8-35.
- [6]. JIS-H-8304-2017, "Test methods for build-up thermal spraying", Japan.

# PHÂN TÍCH ĐÁP ỨNG ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ PMSM TRONG TRƯỜNG HỢP SỬ DỤNG BỘ TRUYỀN BÁNH RĂNG VÀ BỘ TRUYỀN CVT

## DYNAMIC RESPONSE ANALYSIS OF PMSM MOTOR IN THE CASE OF USING GEAR TRANSMISSION AND CVT TRANSMISSION

#### Lê Thanh Quang, Lý Vĩnh Đạt, Lê Thanh Phúc

Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày kết quả phân tích, đánh giá về hiệu quả, ưu nhược điểm của hệ thống truyền động trên xe điện sử dụng hộp số vô cấp CVT (continuously variable transmission) và hộp số truyền thống. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên phần mềm ANSYS để mô phỏng đặc tính cơ học của hệ thống truyền động CVT và hệ thống truyền động bánh răng dẫn động bằng xích thông thường. Đầu vào là tín hiệu công suất của động cơ PMSM (permanent magnet synchronous motors) ba pha với hệ thống phanh tái tạo, được mô hình hóa bằng MATLAB Simulink. Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng từ dữ liệu quét laser 3D của động cơ xe Toyota Prius đời 2009. Hiệu quả, ưu điểm và nhược điểm của hai thiết kế truyền động được đánh giá dựa trên biểu đồ đặc tính mô-men xoắn-vòng quay đầu ra của động cơ PMSM.

Từ khóa: Hệ thống truyền động; Xe điện; Hộp số vô cấp CVT; Hộp số truyền thống.

#### ABSTRACT

This article presents the results of an analysis and evaluation of the efficiency, advantages and disadvantages of the transmission system on electric vehicles using CVT and conventional gear transmission. The study uses the finite element method based on Ansys software to simulate the mechanical behavior of the CVT transmission system and the conventional chain-driven gear transmission system. The input is the power signal of a three-phase PMSM motor with a regenerative braking system, which is modeled using MATLAB Simulink. The finite element model is built from 3D laser scanning data of the engine of a 2009 Toyota Prius. The efficiency, advantages, and disadvantages of the two transmission designs are evaluated based on the output torque-revvingpower characteristics graph of the PMSM motor.

**Keywords:** Transmission system; Electric vehicle; CVT transmission; Traditional transmission.

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với những ưu điểm vươt trôi về hiệu suất công suất, mô-men xoắn đỉnh, mô-men khởi động và kỹ thuật điều khiển, việc sử dụng động cơ PMSM trong ngành công nghiệp xe điện đã trở nên phổ biến trên thế giới thay cho các loại động cơ DC chổi than (brushed DC motor), động cơ DC không chổi than (brushless DC motor), đông cơ cảm ứng ba pha (induction motor). Kèm theo đó, viêc lưa chon cơ cấu truyền động cũng trở thành một vấn đề quan trong. Phần lớn các xe điên đều sử dung hê thống giảm tốc đơn 1 cặp bánh răng cho đông cơ điện, không có cơ cấu bánh răng bổ sung để thay đổi tỉ số truyền [1], do đó làm giảm nhu cầu về bánh răng và hộp số. Tuy nhiên, ở tốc đô cao hơn, khi đông cơ điện chay ở tốc đô vòng tua quá cao, mô-men xoắn sẽ không được duy trì liên tục, điều này làm giảm hiệu quả hoat đông và giới han về pham vi hoat đông đối với đông cơ. Hộp số bánh răng truyền thống sẽ làm giảm hiệu suất truyền động của động cơ điện. Hộp số vô cấp CVT [2] trên các loại xe sử dung đông cơ đốt trong truyền thống đã từng giải quyết được vấn đề này, giúp tạo ra nhiều mô-men xoắn hơn với vòng tua máy ít hơn, và có thể đạt được các lợi ích như bộ pin có thể thu nhỏ hơn, trong khi vẫn duy trì phạm vi hoạt động tương tự [3].

Nghiên cứu đã đề xuất một phương pháp phân tích và so sánh mới bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm ANSYS kết hợp đầu vào của MATLAB Simulink [4]. Trong nghiên cứu, tác giả đã tiến hành thử nghiệm và mô phỏng theo sơ đồ mạch điện và mô phỏng quá trình điều khiển bằng MATLAB Simulink, các thông số và kích thước dựa trên mô hình thực tế, công suất và vòng quay thiết kế của động cơ PMSM của Toyota Prius 2009. Từ đó phân tích tích được tín hiệu mô-men xoắn ở cuối trục động cơ, làm đầu vào cho quá trình phân tích phần tử hữu hạn của hộp số vô cấp CVT và hộp số bánh răng một cấp thông thường. Kết quả được đánh giá dựa trên đặc tuyến mô-men – vòng quay động cơ.

#### 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁPNGHIÊN CỨU

#### 2.1. Phương pháp điều khiển động cơ PMSM

![](_page_17_Figure_7.jpeg)

Hình 1. Sơ đồ điều khiển động cơ PMSM sử dụng ba trình điều khiển IGBT và ba cặp IGBT

Động cơ PMSM được điều khiển thông qua ba cặp IGBT, được vận hành bởi IC lái dòng IR21XX. Các cặp IGBT này kéo đẩy dựa trên phương pháp nghịch lưu nguồn áp ba pha tạo sóng sin điều khiển ba cuộn dây của động cơ PMSM [4]. Để giảm tổn thất chuyển mạch và nhiệt của IGBT càng nhiều càng tốt, điều rất quan trong là phải chon điện trở phù hợp nối tiếp với cực cổng của IGBT. Điên trở cực cổng sẽ ảnh hưởng đến khả năng dẫn động của mạch dẫn động cho IGBT. Nếu điện trở cực cổng quá lớn, nó sẽ cản trở sự dẫn điện của cực cổng; nếu điện trở cực cổng quá nhỏ, điện áp dẫn động sẽ dao động. IC lái cặp IGBT tương thích với đầu vào logic 3,3V và 5V, và điện áp nổi kênh làm việc khởi động của nó có thể đạt tới +200V. Nó có thể chuyển đổi tín hiệu chuyển mạch 3.3V đầu ra của MCU thành tín hiệu điều khiển cổng của MOSFET. Ngoài ra, IC lái này có mạch ngăn chặn bắn xuyên tích hợp cho tất cả các kênh thường có thời gian chết, có thể ngăn ngừa sự cố đoản mach của các cánh cầu trên và dưới trong quá trình hoat đông của mach.

![](_page_18_Figure_1.jpeg)

Hình 2. Vi điều khiển chính của driver PMSM và mô-đun phản hồi dòng điện sử dụng op-amplifier với chức năng khử nhiễu PWM

Phương pháp hồi tiếp dòng có lọc sóng PWM được sử dụng để ngăn hiện tượng quá dòng trong quá trình điều khiển động cơ. IC được sử dụng thuộc dòng OP-AMP vi sai có khử nhiễu PWM INA12X. Ngoài ra, còn có mạch lọc thông bổ trợ cho việc lọc tín hiệu. Dòng pha chạy qua điện trở phân luồng tạo ra một điện áp giảm cần được bộ chuyển đổi AD lấy mẫu thích hợp khi các MOSFET phía thấp được bật. Không thể đo dòng điện bằng điện trở phân luồng tại một thời điểm tùy ý. Điều này là do dòng điện chỉ chạy qua điện trở phân luồng khi bóng bán dẫn dưới cùng của chân biến tần tương ứng được bật. Do đó, khi xem xét sơ đồ được mô tả trong Hình 2, dòng pha A được đo bằng điện trở phân luồng của pha A và chỉ có thể lấy mẫu khi MOSFET pha A được bật. Tương ứng, chỉ có thể đo dòng điện trong pha B nếu MOSFET pha B được bật và chỉ có thể đo dòng điện trong pha C nếu MOSFET pha C được bật. Để có được thời điểm cảm biến dòng điện thực tế, phải thực hiện phân tích dạng sóng điện áp. Thời điểm lấy mẫu tốt nhất của dòng điện pha là ở giữa chu kỳ PWM, khi tất cả các bóng bán dẫn dưới cùng được bật.

#### 2.2. Mô phỏng hoạt động của động cơ PMSM

Dựa trên sơ đồ mạch điện và thuật toán điều khiển động cơ PMSM ba pha, thuật toán điều khiển động cơ PMSM của Toyota Prius 2009 được mô hình hóa bằng MATLAB Simulink.

![](_page_18_Figure_7.jpeg)

Hình 3. Lưu đồ thuật toán điều khiển và tạo tín hiệu của động cơ PMSM 3 pha sử dụng MATLAB SIMULINK

Mô hình thuật toán điều khiển và tạo tín hiệu động cơ PMSM dựa trên độ tự cảm được áp dụng để mô phỏng hành vi PMSM. Xét trường hợp phi tuyến tính trong đó thông lượng là hàm của dòng điện, phương trình điện áp có thể được biểu thị như sau:

$$V_d = R_s i_d + L_{dd}^{diff} \frac{di_d}{dt} + L_{dq}^{diff} \frac{di_q}{dt} - \omega_e L_q^{app} i_q \ (1)$$

$$V_q = R_s i_q + L_{qq}^{diff} \frac{di_q}{dt} + L_{qd}^{diff} \frac{di_d}{dt} - \omega_e (L_d^{app} i_d + \psi_{PM})(2)$$

Trong đó:  $V_d$  và  $V_q$  là điện áp trục d và q;  $i_d$  và  $i_q$  là dòng điện trục tương ứng;  $R_s$  là điện trở cuộn dây stato;  $\omega_e$  là tốc độ điện của rô-to;  $L_q^{app}$  và  $L_d^{app}$  là độ tự cảm biểu kiến là hàm của dòng điện và  $\psi_{PM}$  là liên kết từ thông nam châm vĩnh cửu [4].

#### 2.3. Mô hình hóa hộp số CVT

![](_page_19_Picture_2.jpeg)

Hình 4. Quá trình kỹ thuật nghịch đảo của mô-đun truyền động cơ của Toyota Prius 2009: (a) Quét mô hình 3D với nền xanh, (b) Bề mặt xử lý và điểm dữ liệu từ máy quét 3D và (c) Thiết kế lại mô hình CAD từ điểm dữ liệu

Với yêu cầu về độ chính xác và phục vụ cho nhu cầu thực nghiệm sau này, công nghệ quét laser mô hình ba chiều đã được sử dụng nhằm tái tạo lại cấu trúc CAD của hệ động cơ – bộ truyền động của xe Toyota Prius 2009. Mô hình sau khi quét ba chiều sẽ được đưa vào phần mềm CATIA và xây dựng lại cấu trúc bề mặt, chuẩn hóa các kích thước.

![](_page_19_Figure_5.jpeg)

Hình 5. Mô hình thiết kế 3D hộp số vô cấp CVT sử dụng cho động cơ PMSM của Toyota Prius 2009 thay vì hộp số thường: (a) Mặt trước hộp số thường, (b) Mặt sau hộp số thường, (c) Mặt trước hộp số CVT thay thế, (d) Mặt sau hộp số CVT thay thế.

Cấu trúc hộp số vô cấp CVT được thiết kế dựa trên khoảng cách hai trục chính của bộ truyền động bánh răng [5] với giá trị 37,5cm, vật liệu sử dụng cho đai là thép, vật liệu sử dụng cho các thành phần còn lại là thép. Mô phỏng phần tử hữu hạn có xét đến hệ số ma sát, mô-men quán tính, gia tốc trọng trường, hệ số ma sát vòng bi tròn, vòng bi côn, hệ số ma sát tiếp xúc động lực giữa hai bề mặt kim loại [6]. Mô hình được phân tích trong miền đàn hồi, giả thiết không xảy ra biến dạng dẻo. Các giá trị được cho theo bảng 1.

Bộ truyền vô cấp CVT	Giá trị	Đơn vị	Bộ truyền bánh răng thường 1 cấp	Giá trị	Đơn vị
Vật liệu đai	Thép		Vật liệu xích	Thép	
Vật liệu pu-li	Thép				
Vật liệu các chi tiết khác	Thép		Vật liệu các chi tiết khác	Thép	
Vật liệu trục	Thép		Vật liệu trục	Thép	
Gia tốc trọng trường	9.81	m/s <sup>2</sup>	Gia tốc trọng trường	9.81	m/s <sup>2</sup>
Khối lượng riêng	7890	kg/m <sup>3</sup>	Khối lượng riêng	7890	kg/m <sup>3</sup>
Hệ số ma sát tĩnh thép-thép	0.31		Hệ số ma sát tĩnh thép-thép	0.31	
Hệ số ma sát động thép-thép	0.16		Hệ số ma sát động thép-thép	0.16	
Hệ số ma sát vòng bi tròn	0.001		Hệ số ma sát vòng bi tròn	0.001	
Mô-đun đàn hồi	210×10 <sup>9</sup>	N/m <sup>2</sup>	Mô-đun đàn hồi	210×10 <sup>9</sup>	N/m <sup>2</sup>
Hệ số Poisson	0.3		Hệ số Poisson	0.3	

Bảng 1. Thông số tiến hành mô phỏng

Mô hình phần tử hữu hạn bao gồm phần tử dạng tứ diện (tetrahedral), phần tử dạng lăng trụ (prisms), phần tử dạng kim tự tháp (piramids), phần tử dạng lục diện (hexahedral) và phần tử dạng đa diện, với tùy chọn tuyến tính hoặc phi tuyến. Mô hình phần tử hữu hạn sử dụng trong phân tích động lực học hộp số CVT [7] được thiết lập dựa trên phần tử tứ diện (tetrahedral) tuyến tính do không xét biến dạng dẻo phi tuyến, bao gồm bốn nút với sáu bậc tự do tại mỗi nút. Đáp ứng cấu trúc biến dạng và tiếp xúc với mô hình ba chiều phức tạp của phần tử tứ diện tốt hơn phần tử lục diện và phần tử hình nêm. Hệ số Skewness đạt giá trị trung bình 0.57, hệ số Aspect đạt giá trị trung bình 1.12 và hệ số Orthogonal đạt giá trị trung bình 0.153. Các hệ số nằm trong ngưỡng tiêu chí hội tụ của mô hình phần tử hữu hạn. Hệ số Orthogonal Quality đánh giá độ lệch của phần tử lưới với phần tử tiêu chuẩn. Hệ số Skewness đánh giá độ lệch góc của phần tử lưới so với phần tử tiêu chuẩn. Bảng 2 thể hiện chất lượng lưới qua các hệ số.

Bảng 2. Chất lượng lưới của mô hình phần tử hữu hạn

Hệ số	Mô hình hiện tại	Excel-lent	Very Good	Good	Accep- table	Bad	Unaccep- table
Skewness	0.57	0.0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.8	0.8-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal	0.153	0.95-1.00	0.7-0.95	0.2-0.69	0.15-0.2	0.001-0.14	
Aspect	1.12		4			4	

![](_page_20_Picture_5.jpeg)

Hình 6. Chia lưới bộ truyền động vô cấp CVT và bộ truyền động bánh răng

Mô hình phần tử hữu hạn của bộ truyền động được thực hiện dựa trên phương pháp lưới cục bộ. Các bộ phận của hệ truyền động được phân tách ra nhằm đạt được tiêu chí nhất định cho lưới cục bộ của từng bộ phận. Hình ảnh lưới bộ truyền động được thể hiện trực quan ở trên hình 6. Các phần tử lưới nhỏ và dày hơn ở những chi tiết nhỏ, và ngược lại ở những chi tiết lớn hay ít có sự thay đổi về hình học, hệ số chuyển tiếp ở mức cao, các tiêu chí Skewness, Aspect, Orthogonal được thiết lập cận như Bảng 2. Miền tiếp xúc giữa các bộ phận sẽ được mô hình hóa bởi phần tử tiếp xúc tuyến tính (linear contact).

#### 2.4. Phương pháp đo mô-men động lực

Việc đánh giá và lựa chọn hệ truyền đông nào tối ưu hơn phu thuộc vào đặc tuyến đáp ứng mô-men đầu ra của truc [8]. Không như việc phân tích mô-men tĩnh hoặc tính toán giá trị mô-men quán tính, việc phân tích giá trị mô-men động lực học theo thời gian sẽ phức tạp. Tác giả đề xuất một phương pháp đo mômen động áp dụng cho mô hình phần tử hữu hạn [9]. Sử dụng phần tử sinh chết tạo điểm va chạm đột ngột ngay khi hệ thống đang quay, từ đó tiến hành phân tích đáp ứng động lực của cấu trúc tại thời điểm va chạm [10]. Phân tích đông là phương pháp dùng để xác đinh phản ứng đông của kết cấu theo thời gian. Thông qua phân tích tức thời, chúng ta có thể thu được kết quả phu thuộc thời gian như chuyển vi, biến 3

dạng, ứng suất và phản lực của kết cấu dưới sự kết hợp tùy ý của tải trọng ổn định, tải trọng tức thời và tải trọng hài hòa. Ưu điểm lớn nhất của phân tích tức thời so với phân tích tĩnh là nó xem xét đến hiệu ứng quán tính và hiệu ứng giảm chấn.

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp phân tích đầy đủ. Cấu hình chi tiết hệ máy thực hiện mô phỏng động lực được lựa chọn bao gồm CPU Dual Xeon E5 2699A V4 88 CPUs, card màn hình RTX4090 hỗ trợ CUDA tăng tốc tính toán với 16384 CUDA core, DDR4 BUS 3600 128GB, ổ cứng NVME M2 1TB giúp vận hành mô hình lớn trong điều kiện phân tích đáp ứng động lực học.

#### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các thông số của bộ truyền động vô cấp CVT được đo đạc, tính toán làm đầu vào trong mô phỏng Ansys Workbench. Ở đây, hai mô-đun Structure Transient và Rigid Body Transient được sử dụng để tính toán mô-men xoắn của các bộ phận bên trong hệ.

![](_page_21_Figure_5.jpeg)

Hình 7. Sự phân bố ứng suất ma sát bên trong bộ truyền động CVT

Phổ ứng suất được thể hiện một cách trực quan trên hình 7. Ứng suất được trải từ thấp đến cao tương ứng từ gam màu lạnh đến nóng. Dựa vào hình 7, ứng suất lớn tại khu vực tiếp xúc giữa các thành phần. Đặc biệt là nơi tiếp xúc giữa dây đai với bề mặt puli, điều này phù hợp với lý thuyết và thực tế vận hành vì khu vực này có ma sát lớn do sự quay và trượt liên tục giữa các chi tiết cơ khí lên nhau. Tuy nhiên, xét đến tính tổng thể, ma sát của bộ truyền động CVT nhỏ hơn bộ truyền động bánh răng thông thường do cấu trúc phức tạp, cồng kềnh hơn của các bánh răng.

![](_page_21_Figure_9.jpeg)

Hình 8. Đồ thị tốc độ và mô-men xoắn thay đổi theo thời gian

Hình 8 cho ta mối tương quan giữa sự thay đổi tốc độ và mô-men xoắn theo thời gian. Khi tốc độ thay đổi, sự chênh lệch mômen xoắn đầu vào và ra khá nhỏ đối với hộp số CVT. Có thể thấy, tỷ số truyền tối ưu phù hợp với mọi tốc độ mà CVT cung cấp khiến chúng trở nên lý tưởng cho việc chạy trong thành phố, các thao tác dừng, khởi động và tăng tốc, đáp ứng mô-men không quá khác biệt. Sư vận hành mươt mà của chúng mang lai sư thoải mái trong khi vẫn duy trì hiệu suất của động cơ. Đối với đồng bộ truyền động bánh răng thông qua xích, đô biến thiên của mô-men xoắn là rất lớn, đáp ứng không đồng nhất theo các cấp tốc độ. Việc đáp ứng mô-men xoắn của bộ truyền động CVT ít biến thiên theo sự thay đổi tốc độ giúp cho lượng hao phí pin được tối ưu đáng kể.

![](_page_21_Figure_12.jpeg)

Hình 9. Đồ thị tỷ số hiệu suất giữa bộ truyền CVT và bộ truyền động bánh răng thay đổi theo thời gian

Hình 9 so sánh tỷ số hiệu suất của bộ truyền động CVT và bộ truyền động bánh răng thường so với mô-men xoắn đầu vào của đông cơ PMSM. Kết quả cho thấy đáp ứng hiệu suất của bô truyền đông CVT trôi hơn hầu như toàn miền phân tích. Ở khu vực giữa của miền thời gian phân tích, quá trình mô phỏng sự thay đối tốc độ diễn ra, tại đây đáp ứng tỷ số hiệu suất của bộ truyền động CVT thay đổi theo chiều hướng có lợi nhất. Do trên thực tế, khi chuyển đổi tốc độ đột ngột, bán kính puli đầu vào của bộ truyền động vô cấp CVT giảm khi vòng tua máy tăng trong khi đồng thời, đường kính puli đầu ra tăng theo tỷ lê. Điều này giúp giữ đô căng của dây đại không đổi bất kể điều chỉnh tốc độ. Hộp số CVT tăng tốc mượt mà nhưng từ từ hơn, không cần chuyển số xuống gấp, và do đó đáp ứng tỷ số hiệu suất có lợi hơn so với bộ truyền động bánh răng.

Có thể thấy rằng, đặc tuyến mô-men xoắn sau khi chuyển đổi từ hê bánh răng thường sang hệ truyền động vô cấp CVT ổn định cao hơn, độ chênh lệch mô-men xoắn đầu ra và đầu vào nhỏ hơn. Hộp số CVT kết hợp động cơ PMSM được lập trình tốt mang lại hiệu quả tiết kiệm nhiên liệu tốt hơn trong điều kiện giao thông đô thị dừng đỗ liên tục, tối ưu hóa vòng tua máy để đat được tốc đô cần thiết. Tuy sư hao mòn dây đai lớn và tăng nhiệt trong khi vận hành nhưng hộp số CVT vẫn có lợi thể là tổn thất tổng ma sát của hệ thống truyền động thấp hơn, do có ít bộ phận tiếp xúc và va đập liên tục với nhau hơn. Việc áp dụng CVT trên thị trường đại chúng ở phân khúc xe nhỏ gọn khiến chi phí sản xuất rẻ hơn đáng kế, nhờ vào quy mô sản xuất và chi phí thay thế dây đai CVT cũng như khả năng tiết kiệm pin.

#### 4. KÊT LUÂN

Bài báo đã phân tích đáp ứng động lực học đầu ra của động cơ PMSM dựa trên bộ truyền động CVT được đơn giản hóa dành cho xe điện giúp ít hao phí mô-men xoắn ở đầu ra, điều này giúp tiết kiệm năng lượng pin hơn. Thiết kế này không chỉ cải thiện hiệu suất của xe, mà còn giảm đáng kể chi phí sản xuất và sử dụng hàng ngày nhờ vào phạm vi tỷ số truyền có sẵn rộng hơn và CVT hiệu quả trong việc thay đổi tốc độ đột ngột. Sự kết hợp giữa động cơ EV PMSM và bộ truyền động vô cấp CVT đã cho ưu điểm tiết kiệm đáng kể năng lượng cho khối pin trong thời gian dài, giảm chi phí nguyên vật liệu so với việc chế tạo bộ truyền động bánh răng nhiều cấp, tăng cảm giác thoải mái hơn khi người sử dụng tăng/giảm tốc độ, giúp tăng trải nghiệm của người sử dụng.

Ngày nhận bài: **28/6/2024** Ngày phản biện: **25/7/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

- N. K. Trai, N. T. Hoan, H. H. Hai (2020), "Kết cấu ô tô". Bach Khoa Publishing House, Hanoi.
- [2]. Ali Amoozandeh Nobaveh, Just L. Herder, Giuseppe Radaelli (2023), "Acompliant Continuously Variable Transmission (CVT)". Mechanism and Machine Theory.
- [3]. Kwak Y., Cleveland C. (2017), "Continuously Variable Transmission(CVT) Fuel Economy". SAE Technical Paper 2017-01-2355.
- [4]. Gokul Sivaraman (2021), "Development of PMSM and drivetrain models in MATLAB/Simulink for model based design", Degree Project in Electrical Engineering, Second Cycle, 30 Credits, Stockholm, Sweden.
- [5]. Wu Guang-Bin, Lu Yan-Hui, Xu Xiao-wei (2018), "Optimization of CVT efficiency based on clamping force control". IFACPapersOnLine 51-31.
- [6]. Tran Thanh Hung, Q.P. Ha, R. Grover, S. Scheding (2004), "Modelling of an autonomous amphibious vehicle", Australian Conference onRobotics and Automation.
- [7]. Crossley P.R., J.A. Cook (1991), "A nonlinear model for drivetrain system development", in Proc. IEE International Conference 'Control 91', Conference Publication 332,vol. 2, pp. 921-925. Edinburgh, U.K.
- [8]. Vu Hai Quan, Nguyen Anh Ngoc, Le Van Quynh, Nguyen Xuan Khoa, Nguyen Minh Tien (2023), "Modelling and simulation of automatic brake system of vehicle", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 18, 7, 2023.
- [9]. V. H. Quan, N. H. Truong, N. T. Duc (2021), "Modeling and controlling aquartervehicle active suspension model". Journal of Physics: Conference Series. DOI:10.1088/1742-6596/2061/1/012138.
- [10]. U Kiencke, L Nielsen (2000), "Automotive control systems: for engine, driveline, and vehicle". IOP Publishing Ltd.

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA RUNG ĐỘNG SIÊU ÂM ĐẾN LỰC TẠO HÌNH TRONG QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH TẤM BẰNG PHƯƠNG PHÁP TẠO HÌNH ĐA ĐIỂM

AN EXPERIMENTALLY INVESTIGATING THE EFFECTS OF ULTRASONIC VIBRATION ON THE FORMING FORCE DURING INCREMENTAL SHEET FORMING PROCESS

La Ngọc Tuấn<sup>1</sup>, Nguyễn Quang Thanh<sup>1</sup>, Nguyễn Hồng Ngoan<sup>1</sup>, Hồ Ký Thanh<sup>2,\*</sup> <sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh <sup>2</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

#### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm công nghệ tạo hình đa điểm có và không có rung động siêu âm trợ giúp gia công tấm hợp kim nhôm Al 5052 với các chiều dày 0.5 và 1.0mm. Trong quá trình thực nghiệm, dụng cụ biến dạng dẻo chuyển động theo đường xoắn vít với tốc độ 2400mm/ph và bước tiến theo phương dọc trục 0.5mm để tạo thành sản phẩm dạng nón cụt có góc thành tường 45° và chiều sâu tạo hình 20mm. Kết quả cho thấy, nhờ rung động siêu âm trợ giúp, lực tạo hình chính Fz và các lực cản trở chuyển động siêu âm, thành phần lực tạo hình chính Fz và các lực đại rồi có xu hướng giảm đến khi kết thúc quá trình tạo hình. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm còn cho thấy hiệu quả giảm lực biến dạng nhờ rung động siêu âm trợ giúp của tấm dày lớn hơn so với tấm mỏng.

**Từ khóa:** Rung động siêu âm; Siêu âm trợ giúp; Tạo hình đa điểm; Lực biến dạng; Giảm lực tạo hình.

#### ABSTRACT

In this work, the incremental sheet forming (ISF) process with and without the assistance of ultranonic vibration was deployed to form Al 5052 aluminum alloy sheet with two thicknesses of 0.5mm and 1.0m. During the experiment, a spiral tool trajectory with a feed rate of 2400mm/ min and a step depth of 0.5mm was used to form truncated cone products with a wall angle of  $45^{\circ}$  and a forming depth of 20mm. The results showed that, with the assistance of ultrasonic vibration, the main forming force Fz and the forces hindering the horizontal movement of the forming tool Fx and Fy were significantly reduced. The results also showed that, due to ultrasonic vibration, the main forming force Fz quickly reached its maximum value then tended to decrease. In addition, the experimental results also showed that the reduction efficiency of major forming force Fz for 1.0mm thick plates was greater than that of 0.5mm thick plates.

**Keywords:** Ultrasonic vibration; Ultrasonic-assisted; Incremental sheet forming; Forming force; Reduction.

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, rung động siêu âm đã và đang được nghiên cứu, ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực sản xuất công nghiệp và trong đời sống [1]. Năng lượng siêu âm cường độ lớn có thể kích hoạt một loạt các cơ chế, chẳng hạn như nhiệt, khuấy trộn, khuếch tán, xáo trộn bề mặt tiếp xúc, ma sát, phá hủy cơ học và các hiệu ứng hóa học [2]. Trong lĩnh vực gia công cắt gọt, các nghiên cứu cho thấy, rung động siêu âm trợ giúp đã mang lại những hiệu quả tích cực, chẳng hạn như giảm lực dọc trục, mô-men và công cắt khi khoan [3]; cải thiện độ nhám khi phay [4]; ổn định quá trình cắt và dễ thoát phoi khi tiện [5].

Từ phát hiện của Langnecker về hiện tượng ứng suất chảy giảm dưới tác dụng của rung động siêu âm [6], nhiều công nghệ tạo hình bằng các phương pháp biến dạng dẻo khai thác rung động siêu âm trợ giúp đã được triển khai nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn sản xuất. Rung động siêu âm trợ giúp giảm lực cần thiết để biến dạng dẻo, tăng khả năng biến dạng, cải thiện chất lượng tạo hình và chất lượng bề mặt, chẳng hạn như khi trợ giúp quá trình dập vuốt [7-8], kéo dây [9], ép dùn [10], chồn nóng [11]; tăng khả năng thẩm thấu biến dạng dẻo khi chồn nguội [12].

Khoảng một thập kỷ trở lại đây, các nghiên cứu khai thác rung siêu âm trợ giúp công nghệ tạo hình đa điểm (incremental sheet forming, gọi tắt là công nghệ ISF) ứng dụng để chế tạo các sản phẩm dạng tấm, vỏ bắt đầu được triển khai trên thế giới. Được phát minh năm 1967 [13], công nghệ ISF có mục đích khắc phục các nhược điểm cố hữu của công nghệ dập vuốt truyền thống, chẳng hạn tính đặc thù công nghệ, chi phí vận hành lớn và công nghệ phức tạp [14]. Công nghệ ISF dựa trên sự

biến dạng cục bộ liên tục phôi tấm bằng cách sử dung dung cu biến dang dẻo có đỉnh dang chỏm cầu di chuyển trên một quỹ đạo xác định cho đến khi hoàn thành sản phẩm. Quỹ đạo chuyển đông của dung cu thường được lập trình bởi các máy CNC hoặc cánh tay rô-bốt [15]. Ưu điểm nổi bật của công nghệ ISF là rất linh hoạt trong sản xuất sản phẩm, chi phí khuôn và dung cu biến dang thấp, không cần thiết bi đắt tiền, có khả năng cải thiên chất lương bề mặt sản phẩm [16], chi phí phần mềm thấp và giúp cải thiên khả năng biến dang dẻo của vật liêu [14]. Tương tư như quá trình tao hình bằng biến dang dẻo khác, nghiên cứu quá trình tao hình bằng công nghệ ISF có rung động siêu âm tro giúp (ultrasonic-assisted incremental sheet forming, goi tắt là công nghê UAISF) cho thấy, lực tạo hình giảm [17-20], khả năng biến dạng dẻo tăng [17], hiện tượng đàn hồi ngược giảm [17], phân bố biến dạng đồng đều hơn [21].

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trước đây đã công bố về UAISF chỉ thực hiện với tốc độ tiến dụng cụ biến dạng khá thấp (chỉ đến 2000mm/ph) [17, 18, 22], hoặc ứng dụng tạo hình các vật liệu dễ biến dạng dẻo như hợp kim nhôm AA 1050 và AA 1060 [17, 18, 20, 21]. Các nghiên cứu ứng dụng công nghệ UAISF thực hiện ở tốc độ cao hơn 2000mm/ph, khá hiếm các nghiên cứu triển khai với vật liệu khó biến dạng hơn, chẳng hạn như các hợp kim nhôm kết cấu hoặc thép kết cấu.

Nhằm mở rộng khả năng ứng dụng của công nghệ UAISF, trong nghiên cứu này, tốc độ tiến dụng cụ biến dạng dẻo được khảo sát đến 2400mm/ph. Đồng thời, hợp kim nhôm kết cấu Al 5052, một hợp kim khó biến dạng hơn nhiều so với các hợp kim nhôm AA 1050 và AA 1060, với hai chiều dày 0.5mm và 1.0mm được sử dụng trong quá trình nghiên cứu thực nghiệm.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

![](_page_25_Figure_2.jpeg)

Hình 1. Sơ đồ quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF

Sơ đồ chung quá trình tạo hình sản phẩm dạng tấm vỏ bằng công nghệ UAISF được thể hiện như trên hình 1. Phôi ban đầu (1) được kẹp chặt bởi chặn phôi (2) và tấm đế (5). Dụng cụ biến dạng (3) được kẹp chặt trên bộ phát rung siêu âm (4) và có thể di chuyển theo quỹ đạo phù hợp với tốc độ tiến f và bước tiến theo phương dọc trục  $\Delta z$  đến khi kết thúc quá trình gia công để tạo thành sản phẩm (6). Trong quá trình tạo hình, bộ phát rung siêu âm được cấp điện và thực hiện rung theo phương dọc trục tạo nên sự tiếp xúc gián đoạn giữa bề mặt dụng cụ biến dạng và bề mặt phôi gia công.

Các công bố trước đây về công nghệ ISF cho thấy, ứng xử của các thành phần lực trong quá trình tạo hình là chịu ảnh hưởng mạnh bởi các thông số đầu vào, chẳng hạn như bước tiến theo phương dọc trục  $\Delta z$ , đường kính dụng cụ biến dạng d, góc thành tường  $\phi$ , tốc độ tiến dụng cụ f và chiều dày tấm t, quỹ đạo tiến dụng cụ... Sự thay đổi của các thông số này sẽ gây ra sự thay đổi lớn của các thành phần lực tạo hình cũng như khả năng tạo hình sản phẩm.

Mô hình thực nghiệm quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF được trình bày trên hình 2, trên cơ sở nghiên cứu trước đây

26

của nhóm tác giả [22]. Trong đó, bộ phát rung siêu âm (2) làm việc ở tần số 20 kHz được kẹp chặt trên đầu máy phay (1) tại điểm nút (điểm có biên độ rung động bằng "không"). Dụng cụ biến dạng dẻo (3) được chế tạo dưới dạng môt đầu khuếch đai thứ hai và được kep chặt trên đầu bộ phát rung bằng mối ghép ren. Phôi (4) được kẹp chặt trên bộ đồ gá gồm chặn phôi (5) và tấm đế (6) bởi các bu-lông. Trong quá trình tạo hình, lực kế 03 thành phần được sử dụng để thu thập tín hiệu của các thành phần lực tạo hình tác dụng lên phôi về máy tính và dùng để xử lý kết quả về sau. Trong nghiên cứu này, dụng cụ biến dạng dẻo được chế tạo bằng thép C45, đỉnh dạng chỏm cầu có đường kính 16mm. Các nghiên cứu trước đây [21, 23, 24] cho thấy, tốc đô quay của dung cu không ảnh hưởng nhiều đến thành phần lực tao hình, do đó trong nghiên cứu thực nghiệm, phương án dụng cu biến dang dẻo không quay được lựa chon cho tất cả các thí nghiêm.

![](_page_25_Picture_8.jpeg)

Hình 2. Ảnh chụp hệ thống thiết bị thí nghiệm

Phôi thí nghiệm là hợp kim nhôm Al 5052 tấm được cắt thành các tấm vuông có kích thước 240mm x 240mm với hai loại chiều dày 0.5mm và 1.0mm. Tốc độ tiến dụng cụ biến dạng dẻo được lựa chọn khảo sát là 2400mm/ ph. Tất cả các thí nghiệm được thực hiện dưới điều kiện bôi trơn bằng dầu công nghiệp. Lượng tiến dụng cụ theo phương dọc trục Δz, chiều sâu tạo hình h và góc thành tường  $\phi$  (xem hình 1) được lựa chọn cố định, lần lượt là 0.5mm, 20mm và 45°. Đồng thời, quỹ đạo tiến dụng cụ được lựa chọn dạng xoắn vít không gian cho mọi thí nghiệm.

# 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Biểu đồ các thành phần lực biến dạng khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường cho các tấm có chiều dày 0.5 mm và 1.0 mm được trình bày lần lượt trên các hình 3 và 4. Dễ dàng nhân thấy, thành phần lực tao hình chính Fz lớn hơn nhiều so với các thành phần lực tao hình theo phương ngang Fx và Fy. Ngoài ra, kết quả còn cho thấy, khi tăng chiều sâu tạo hình h thì các thành phần lực tạo hình có xu hướng gia tăng. Với tấm có chiều dày 0.5 mm, khi chiều sâu tạo hình đạt khoảng 15 mm thì các thành phần lực đạt giá trị cực đại và có xu hướng không đổi. Với chiều dày tấm này, giá tri cực đại của thành phần lực tạo hình chính Fz khoảng 250N; trong khi đó các thành phần lực theo phương ngang Fx và Fy, giá trị cực đại đạt khoảng 125N. Tuy nhiên, với tấm dày hơn (chiều dày 1.0 mm), giá trị cực đại của các thành phần lực chỉ đạt được khi chiều sâu tạo hình h tăng đến khoảng 18mm. Với tấm dày, giá trị cực đại của thành phần lực Fz khoảng 450N; các lực theo phương ngang Fx và Fy đạt cực đại khoảng 175N. Hiện tượng tăng lực tạo hình chính Fz khi tăng chiều sâu tạo hình h trong quá trình tao hình bằng công nghê ISF thông thường có thể được giải thích bởi sự hóa bền của vật liệu. Đồng thời, các thành phần lực theo phương ngang tăng bởi lực cản do ma sát tiếp xúc giữa dung cu biến dang và bề mặt vật liệu. Tuy nhiên, khi đạt đến chiều sâu tạo hình h nhất định, sự cân bằng giữa biến mỏng thành và hóa bền biến dạng dẫn đến thành phần lực tạo hình chính Fz đạt giá trị cực đại và có xu hướng

không thay đổi. Kết quả này làm cho các thành phần lực cản trở chuyển động của dụng cụ theo phương ngang Fx, Fy cũng có xu hướng không đổi.

![](_page_26_Figure_5.jpeg)

Hình 3. Đồ thị các thành phần lực tạo hình tấm có chiều dày 0.5mm khi gia công bằng công nghệ ISF thông thường

![](_page_26_Figure_7.jpeg)

Hình 4. Đồ thị các thành phần lực tạo hình tấm có chiều dày 1.0mm khi gia công bằng công nghệ ISF thông thường

Hình 5 và 6 lần lượt trình bày đồ thị các thành phần lực tạo hình tấm có chiều dày 0.5 và 1.0mm bằng công nghệ UAISF. Kết quả cho thấy, tương tự như khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường, thành phần lực tạo hình chính Fz lớn hơn nhiều so với các thành phần lực theo phương ngang Fx và Fy. Tuy nhiên, các thành phần lực này nhỏ hơn nhiều so với khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường. Điều này khẳng định hiệu quả của rung động siêu âm đối với quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF. Cả hình 5 và 6 đều cho thấy, dưới tác dụng của rung động siêu âm, thành phần lực tạo hình chính Fz nhanh chóng đạt đến giá

trị cực đại (khi chiều sâu tạo hình đạt khoảng 10mm), sau đó giảm xuống. Với tấm có chiều dày 0.5mm, giá trị cực đại của lực Fz chỉ đạt khoảng 125N, bằng khoảng 50% so với khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường. Trong khi đó, với tấm có chiều dày 1.0mm, lực Fz cực đại chỉ khoảng 200N, bằng khoảng 44% so với khi tao hình bằng công nghê ISF thông thường. Hiện tượng giảm mạnh lực tạo hình chính Fz có thể được giải thích bởi năng lượng siêu âm đã kích hoạt các lệch trong lòng vật liệu chuyển động, còn gọi là hiệu ứng thể tích [25]. Hệ quả là vật liệu trở nên mềm hơn, dễ biến dạng dẻo hơn. Nói cách khác, rung động siêu âm giúp giảm lực biến dạng dẻo cần thiết. Ngoài ra, sự chuyển đông của lệch và ma sát tiếp xúc giữa bề mặt dụng cụ với bề mặt phôi đều sinh nhiệt. Với tấm có chiều dày lớn hơn, tổn thất nhiệt ra môi trường xung quanh nhỏ hơn, do đó hiệu quả giảm lực của tấm dày cao hơn so với khi tạo hình tấm mỏng.

![](_page_27_Figure_2.jpeg)

Hình 5. Đồ thị các thành phần lực tạo hình tấm có chiều dày 0.5mm khi gia công bằng công nghệ UAISF

![](_page_27_Figure_4.jpeg)

Hình 6. Đồ thị các thành phần lực tạo hình tấm có chiều dày 1.0mm khi gia công bằng công nghệ UAISF

Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy, nhờ rung đông siêu âm, các thành phần lực theo phương ngang Fx và Fy đều giảm manh so với khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường. Giá trị cực đại của các thành phần lực Fx và Fy trong quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF khoảng gần 50N với tấm dày 0.5mm, giảm khoảng 60% so với khi tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường. Trong khi đó, với tấm dày 1.0mm, giá tri cực đại của các thành phần lực Fx và Fy trong quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF là khoảng trên 50N, giảm khoảng 70% khi so với tao hình bằng công nghê ISF thông thường. Hiện tượng này có thể giải thích bởi hiệu ứng bề mặt [25]. Theo đó, rung động siêu âm làm gián đoạn tiếp xúc của bề mặt dụng cụ với bề mặt phôi, qua đó giúp cải thiện điều kiện bôi trơn và giảm ma sát tiếp xúc. Kết quả này cũng cho thấy, khi tấm có chiều dày lớn hơn, hiệu quả giảm các thành phần lực theo phương ngang lớn hơn.

#### 4. KÉT LUẬN

Trong công trình này, công nghệ tạo hình ISF có và không có sự trợ giúp của rung động siêu âm được triển khai để tạo hình tấm hợp kim nhôm Al 5052 với hai chiều dày 0.5mm và 1.0mm. Quá trình thực nghiệm sử dụng quỹ đạo xoắn vít với tốc độ tiến dụng cụ 2400mm/ph và bước tiến theo phương dọc trục 0.5mm để tạo hình sản phẩm dạng nón cụt có góc thành tường 45°, chiều sâu tạo hình 20mm. Kết quả cho thấy, so với quá trình tạo hình bằng công nghệ ISF thông thường, quá trình tạo hình bằng công nghệ UAISF có các đặc điểm:

 Lực tạo hình chính Fz và các thành phần lực cản trở chuyển động của dụng cụ theo phương ngang Fx, Fy nhỏ hơn nhiều;

 Lực tạo hình chính Fz đạt giá trị cực đại nhanh hơn, sau khi đạt cực đại thì độ lớn của Fz có xu hướng giảm; - Hiệu quả giảm lực các thành phần lực tạo hình phụ thuộc vào chiều dày tấm, chiều dày lớn hơn thì mức độ giảm của các thành phần lực lớn hơn.

#### Lời cảm ơn:

Các tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn với những hỗ trợ của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên và của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. �

Ngày nhận bài: **27/8/2024** Ngày phản biện: **12/9/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

- Dale Ensminger and Leonard J. Bond (2011); "Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications", 3rd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [2]. Juan A. Gallego-Juárez and Karl F. Graff (2015); "Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound", Woodhead Publishing.
- [3]. Quoc-Huy Ngo, Ky-Thanh Ho (2021); "An experimental study on ultrasonic assisted drilling of stainless steel AISI SUS 304", International Journal of Advances in Engineering and Management, vol. 3(6), pp. 256-261.
- [4]. Mohamed Baraya, Jiwang Yan & Mohab Hossam (2024); "Improving and Predicting the Surface Roughness and the Machining Accuracy in Ultrasonic Vibration-Assisted Milling", Journal of Vibration Engineering & Technologies.
- [5]. Duman, E., et al. (2024); "Investigation of ultrasonic vibration assisted orthogonal turning under dry and minimum quantity lubrication conditions and performing sustainability analyses", Journal of Cleaner Production, vol. 434, pp. 140187.
- [6]. Bertwin Langenecker (1966); "Effects of Ultrasound on Deformation Characteristics of Metals", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. 13(1), pp. 1-8.
- [7]. A.A. Naderia, S.A. Mokhtar (2021); "Effect of Process Parameters on Thin-wall Products under High-frequency Vibrating Tools, Case Study: Ultrasonic Assisted Deep Drawing Process", Journal of Stress Analysis, vol. 6(1), pp. 105-125
- [8]. Ehsan Malekipour, Ebrahim Sharifi, Nafiseh Shahbazi Majd, Hossein Heidary (2022); "Observation on the behavior of ultrasonic micro-hammer and its effects on the deep drawing process: Numerical simulation and experimental study", Ultrasonics, vol. 119, pp. 106566.
- [9]. Liu Shen, Xiaobiao Shan, Hengqiang Cao, Tao Xie (2020); "Finite Element Analysis on Ultrasonic Drawing Process of Fine Titanium Wire", Metals, vol. 10(5), pp. 575.
- [10]. Weiqiang Wan, Jianfeng Cheng, Linhong Xu, Fuchu Liu, Haiou Zhang & Guangchao Han (2022); "Investigation on friction characteristics of micro double cup extrusion assisted by different ultrasonic vibration modes", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 123(7), pp. 2549-2560.

- [11]. Zhendong Xie, Yanjin Guan, Jiqiang Zhai, Lihua Zhu, Chongkai Zhong (2017); "Study on ultrasonic vibration assisted upsetting of 6063 aluminum alloy", Procedia Engineering, vol. 207, pp. 490-495.
- [12]. Alireza Abbasi, Saeid Amini, and Afshin Emamikhah (2014); "Design and implementation of the ultrasonic cold forging technology process for improving surface mechanical properties of 6XB2C cold-worked alloy steel tool", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol. 230(2), pp. 267-278.
- [13]. E. Leszak (1967); "Apparatus and process for incremental dieless forming", Patent: US3342051.
- [14]. Agrawal, M.K., et al. (2023); "A brief review on the perspective of a newer incremental sheet forming technique and its usefulness", Advances in Materials and Processing Technologies, vol. 10(2), pp. 506-516.
- [15]. Trung-Kien Le, Duc-Toan Tran, Ngoc-Tam Bui Bui, Thanh-Hai Nguyen (2023), "Effect of Ultrasonic Vibration on Forming Force in the Single-Point Incremental Forming Process", Shock and Vibration, vol. 2023, pp. 1-11.
- [16]. Melania Tera, Cristina Maria Biris (2019); "Comparison between Deep-Drawing and Incremental Forming Processes from an Environmental Point of View", Materials Science Forum, vol. 957, pp. 120-129.
- [17]. Saeid Amini, Ahmad Hosseinpour Gollo & Hossein Paktinat (2017); "An investigation of conventional and ultrasonicassisted incremental forming of annealed AA1050 sheet", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol 90(5), pp. 1569-1578.
- [18]. Long, Y., et al. (2018); "Effects of process parameters on force reduction and temperature variation during ultrasonic assisted incremental sheet forming process", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 97(1), pp. 13-24.
- [19]. Randy Cheng et al. (2019); "Applying ultrasonic vibration during single-point and two-point incremental sheet forming", Procedia Manufacturing, vol. 34, pp. 186-192.
- [20]. Li, Y., et al. (2020); "Investigation on the material flow and deformation behavior during ultrasonic-assisted incremental forming of straight grooves", Journal of Materials Research and Technology, vol. 9(1), pp. 433-454.
- [21]. Li, J., et al. (2023); "Multi-stage finite element modeling of the deformation behavior during ultrasonic-assisted incremental sheet forming", Journal of Computational Science, vol. 72, pp. 102077.
- [22]. Ngoc-Tuan La et al. (2024); "Optimization of Ultrasonic-Assisted Incremental Sheet Forming", Materials, vol. 17, pp. 3170.
- [23]. Zhang, L., C. Wu, and H. Sedaghat (2021); "Ultrasonic vibration-assisted incremental sheet metal forming", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 114(11-12), pp. 3311-3323.
- [24]. Bishnoi, Pawan, and Pankaj Chandna (2022); "Formability of Aluminum Alloys During Single Point Incremental Forming", International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, vol. 12(1), pp. 1-26.
- [25]. Jiqiang Zhai et al. (2023); "Macroscopic mechanism of ultrasonic vibration in ultrasonic-assisted metal forming", Journal of Materials Research and Technology, vol. 24, pp. 7852-7864.

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ KẾT CẦU CỤM THÂN MAKET ỐNG PHÓNG TÊN LỬA PHỤC VỤ CHO CÔNG TÁC HUẤN LUYỆN

# RESEARCH ON THE STRUCTURE DESIGN OF MISSILE LAUNCHER TUBE MOCKUP BODY ASSEMBLY FOR TRAINING PURPOSES

Mai Đình Sĩ<sup>1\*</sup>, Lê Thanh Bình<sup>1</sup>, Phạm Văn Chính<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trung tâm Công nghệ, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn – Hà Nội <sup>2</sup>Viện Kỹ thuật Hải quân – Hải Phòng

#### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế maket ống phóng tên lửa phục vụ cho công tác huấn luyện trong quân đội. Phương án thiết kế được lựa chọn như sau: Phần vỏ của maket được chế tạo từ Inox 316 nhằm tăng khả năng chống chịu với tác động từ môi trường biển trong thời gian dài. Trong lòng maket bổ sung tải trọng từ gang hoặc thép. Việc thiết kế kết cấu dạng này giúp giảm chi phí chế tạo sản phẩm nhờ giảm được chi phí phôi Inox 316 (đắt gấp  $4 \div 6$  lần so với sắt thép) và chi phí gia công. Vỏ maket được kiểm bền bằng phương pháp phần tử hữu hạn để lựa chọn chiều dày tối ưu. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng, vỏ maket ống phóng có thể được chế tạo từ Inox 316 dạng ống với thành ống dày  $10 \div 12$  mm.

Từ khoá: Maket ống phóng; Thiết bị huấn luyện; Phương pháp phần tử hữu hạn.

#### ABSTRACT

This paper presents the results of the research on the design of missile launcher mockup assembly for military training. The selected design has the following structure: The shell of the mockup is made from 316 stainless steel to increase its resistance to impacts from the marine environment over a long period of time. The inside the launcher mockup is supplemented with loads from cast iron or steel. Designing this type of structure helps reduce the cost of manufacturing the product by reducing the cost of billet made from 316 stainless steel ( $4 \div 6$  times more expensive than iron and steel) and processing costs. The rocket launcher shell is tested for durability using the finite element method to select the optimal thickness. Simulation results have shown that the launch shell can be made from 316 stainless steel in the form of a tube with a wall thickness of  $10 \div 12$  mm.

Keywords: Missile launcher mockup; Training equipment; Finite element method.

## 1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, ở các nước có nền công nghiệp quân sự phát triển mạnh, việc thiết kế, chế tao maket các khí tài quan trong có giá tri cao như tên lửa, ngư lôi, thiết bị bay... phục vụ công tác thử nghiệm trong quá trình thiết kế, hoàn thiện thiết kế hay trong huấn luyện bộ đôi được chú trong thực hiện [1, 2]. Thân vỏ maket các thiết bị này có thể xem như là một kết cấu có kích thước và trong lương lớn với tỷ lê thiết kế 1:1 so với sản phẩm thật. Vỏ maket thường có kết cấu dạng ống và được chế tạo từ vật liêu có chất lượng và giá thành cao. Chính vì vậy cần phải lựa chọn chiều dày thành ống một cách tối ưu. Phần trọng lượng thiếu hụt còn lại được bổ sung bằng vật liệu phổ thông để giảm chi phí chế tạo sản phẩm.

Trong thời gian gần đây, để kiểm bền, tối ưu hóa kết cấu thường sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Đây là phương pháp đã được ứng dụng ở nhiều lĩnh vực công nghiệp cơ khí khác nhau và đã khẳng định được hiệu quả trong việc giúp giảm thiểu chi phí cho thử nghiệm, tăng độ tin cậy của sản phẩm thiết kế [3, 4].

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng phương án thiết kế cụm thân vỏ cho maket ống phóng và phân bổ trọng lượng trong lòng ống; mô phỏng kiểm bền kết cấu để lựa chọn phương án thiết kế phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

#### 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

# 2.1. Cơ sở lựa chọn phương án thiết kế và vật liệu sử dụng

Thông số kỹ thuật chính của sản phẩm cần thiết kế như sau: Tổng khối lượng là 3.380

kg; Đường kính ngoài là Ø708 mm. Các thông số kỹ thuật khác được thể hiện trên Hình 1.

![](_page_30_Figure_9.jpeg)

Hình 1. Bản vẽ phác thảo sản phẩm cần thiết kế.

Maket này được sử dụng để phục vụ công tác huấn luyện thao tác cẩu, nạp, tháo và môt số thao tác khác ở khu vực biển đảo. Chính vì vậy, vật liệu được chọn dùng cho chế tạo cụm vỏ là Inox 316 JIS G3459. Đây là loại thép không gỉ niken crom austenit có khả năng chống ăn mòn vượt trội so với các loại thép niken crom khác. Tuy vậy, giá thành phôi Inox 316 cao hơn so với giá thép 4-6 lần. Ngoài ra, Inox 316 là vật liệu khó gia công cắt gọt dẫn đến chi phí gia công cao hơn nhiều so với gia công các chi tiết từ vật liệu thép, gang. Chính vì vậy, cần tối ưu hóa độ dày của ống phù hợp cho ứng dung của sản phẩm, giảm chi phí chế tao. Phần khối lượng còn thiếu được bù bằng cách sử dụng các trọng vật chế tạo từ gang hoặc thép và bố trí dọc trong lòng ống.

Qua đánh giá sơ bộ, bốn phương án độ dày thành ống được lựa chọn và đưa ra mô phỏng kiểm bền là:  $4 \div 12$  mm. Để thuận tiện cho việc tái phân bổ khối lượng đảm bảo khối lượng tổng của kết cấu và vị trí trọng tâm, cần chia tổng khối lượng cần phân bổ ra n phần bằng nhau. Giá trị n được xác định căn cứ vào khoảng cách l<sub>1</sub> và l<sub>2</sub> từ hai đầu của kết cấu đến vị trí trọng tâm. Lúc này, cần bố trí số lượng trọng vật n<sub>1</sub> ở phía l<sub>1</sub> và n<sub>2</sub> ở phía l<sub>2</sub> đảm bảo điều kiện:

$$\frac{n_1}{l_1} = \frac{n_2}{l_2} \tag{1}$$

Thiết kế trọng vật cần đảm bảo được hai yếu tố: Có kết cấu đơn giản, chi phí chế tạo thấp; Có khối lượng phù hợp, kích thước hợp lý thuận tiện vận chuyển, tháo lắp.

# 2.2 Ứng dụng công cụ Stress Analysis trong phần mềm Inventor để kiểm bền kết cấu

Việc mô phỏng kiểm bền kết cấu (chuyển vị, ứng suất, và hệ số an toàn) sau khi thiết kế được thực hiện ứng dụng công cụ Stress Analysis trong Inventor [3, 4]. Đầu vào của quá trình mô phỏng tính toán được xác định như sau: Gia tốc cấu lớn nhất là  $a_{max} = 2 \text{ m/s}^2$ . Bài toán mô phỏng này được thực hiện theo phương pháp phân tích tĩnh với giả định chuyển vị tại hai vị trí chằng cẩu bằng 0. Lúc này, thành ống chịu tác dụng đồng thời của trọng lực và lực quán tính, giá trị lớn nhất của chúng đạt được khi hai thành phần lực này cùng chiều và gia tốc a đạt giá trị lớn nhất:

$$F_{max} = F_{tl} + F_{qtmax} = mg + ma_{max} (N) \quad (2)$$

Trong đó: F – Tổng lực tác dụng lên sản phẩm;  $F_{tt}$  – Trọng lực tác dụng lên sản phẩm;  $F_{qtmax}$  – Lực quán tính sinh ra khi cẩu sản phẩm lên với gia tốc  $a_{max}$ ; g – Gia tốc trọng trường bằng 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Chỉ tiêu về độ tin cậy của sản phẩm được đánh giá thông qua hệ số an toàn k. Hệ số này được tính bằng công thức:

$$k = \frac{F_{Gi\acute{o}i} han}{F_{max}} (kg)$$
(3)

Trong đó:  $F_{Giới hạn} - Giá trị giới hạn của lực tác dụng lên kết cấu (giá trị đưa vào mô phỏng); <math>F_{max} - Giá trị lớn nhất của thông số này trong điều kiện làm việc (đạt được tại <math>a_{max}$  khi cẩu sản phẩm lên, từ là  $\vec{a}_{max}$  cùng phương với  $\vec{g}$ ).

Điều kiện sản phẩm đạt được độ tin cậy là:  $k \ge [k]$  (4)

Trong đó, [k] - Hệ số an toàn định mức được xác định từ kinh nghiệm thực tế xây dựng các kết cấu tương tự và mức độ yêu cầu kỹ thuật. Đối với sản phẩm Quốc phòng được nghiên cứu: <math>[k] = 4,0 [5]

Các mô hình tương ứng chiều dày vỏ ống khác nhau được mô phỏng để so sánh về ứng suất dư, chuyển vị và hệ số an toàn. Giá trị chuyển vị lớn nhất cho phép không vượt quá 1 mm.

#### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

# 3.1. Lựa chọn phương án thiết kế kết cấu sản phẩm

Việc phân bổ tải trọng cho kết cấu được thực hiện bằng cách sử dụng các khối trọng vật chế tạo từ thép hoặc gang và bố trí bên trong lòng ống. Trên cơ sở phân tích yêu cầu kỹ thuật, điều kiện sử dụng thiết bị đã đưa ra hai phương án thiết kế trọng vật và bố trí trong lòng ống.

\*Phương án 1 (PA1): Phương án thiết kế đầu tiên được tính đến là sử dụng các tấm đối xứng tâm, lắp trên các gân trong lòng ống để đảm bảo trọng tâm của khối trọng vật này trùng với đường tâm của ống (Hình 2).

![](_page_31_Figure_16.jpeg)

Hình 2. PA1: Bố trí các trọng vật đối xứng qua tâm ống.

Với phương án bố trí này, khối trọng vật có thể có tiết là các khối đa giác đều nhiều cạnh giúp dễ đảm bảo trọng tâm trùng với đường tâm của ống.

\*Phương án 2 (PA2): Căn cứ vào đầu bài của nhiệm vụ này, tọa độ trọng tâm chỉ có vai trò quan trọng theo phương dọc của thiết bị để đảm bảo cân bằng khi cẩu và đặt trên xe vận chuyển. Chính vì vậy, một phương án thiết kế khác được tính đến là sử dụng các khối trọng vật hình chữ nhật, lấp nằm ngang thẳng nhau về cùng một phía so với đường tâm của ống (Hình 3). Tương tự như PA1, để thuận tiện cho việc vận chuyển trong lòng ống và lắp ráp lên vị trí cố định, các khối trọng vật sau khi xác định được khối lượng tương đối sẽ được tổ hợp thành các tấm có trọng lượng phù hợp cho vận chuyển trong lòng ống.

![](_page_32_Figure_3.jpeg)

Hình 3. PA2: Bố trí trọng vật về một phía so với tâm ống

Dễ dàng nhận thấy, PA2 có nhiều ưu điểm và phù hợp hơn cho sản phẩm cần thiết kế do dễ dàng chế tạo, vận chuyển, tháo lắp trong lòng ống, chi phí sản xuất thấp mà vẫn đáp ứng được yêu cầu đặt ra.

#### 3.2. Tối ưu hóa độ dày của ống làm từ Inox 316

Trên cơ sở lựa chọn phương án phân bố tải trọng được thực hiện ở mục 3.1, nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình kết cấu đắm bảo điều kiện đầu vào của bài toán và tiến hành mô phỏng kiểm bền.

![](_page_32_Picture_8.jpeg)

Hình 4. Mô phỏng chuyển vị của mô hình kết cấu với độ dày ống 4 mm.

Mô phỏng tương tự dành cho các phương án khác được thực hiện tương ứng cho các phương án thiết kế thành ống dày 6 mm, 8 mm, 10 mm và 12 mm được thể hiện trong bảng 1.

Thông số hã dhuậd	Độ dày thành ống, mm								
i nong so ky thuật	4	6	8	10	12				
Chuyển vị max (mm)	4,8	2,6	1,5	1,1	0,9				
Ứng suất max (MPa)	374,2	195,0	89,5	63,2	47,4				
Hệ số an toàn min	0,6	1,2	2,6	3,6	4,8				

Bảng 1. So sánh kết quả mô phỏng với độ dày thành ống khác nhau.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online) TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 320, tháng 10 năm 2024 cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn (P

Từ kết quả nhận được ở bảng 1, dễ dàng nhận thấy rằng, cùng với việc tăng chiều dày ống thì các thông số như chuyển vị và ứng suất max giảm dần. Điều này đồng nghĩa với việc độ bền của kết cấu được tăng lên lên. Điều này được khẳng định bằng sự tăng của hệ số an toàn từ 0,6 lên 4,8 khi chiều dày thành ống tăng từ 4 lên 12 mm.

Khi chiều dày ống đạt độ dày 12 mm, giá trị chuyển vị đạt được trong giới hạn cho phép là  $\leq$  1 mm. Tương ứng với đó, ứng suất dư max là 47,4 MPa và hệ số an toàn min là 4,8. Phương án thiết kế kết cấu với thành có độ dày 10 mm có ứng suất max là 63,2 MPa, hệ số an toàn min là 3,6 với chuyển vị max 1,1 mm vẫn có thể được sử dụng nếu chấp nhận giảm hệ số an toàn của thiết bị này. Khi đó, xác suất rủi ro tăng lên nhưng chi phí vật tư sử dụng cho chế tạo cụm vỏ giảm đi được 16,4%. Việc quyết định lựa chọn độ dày nào để chế tạo ống vỏ phụ thuộc vào tần suất sử dụng sản phẩm trong điều kiện thực tế.

#### 4. KÉT LUÂN

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, phương án thiết kế maket ống phóng tên lửa phục vụ huấn luyện ở khu vực biển đảo có kết cấu vỏ ống làm từ vật liệu Inox 316 JIS G3459 và phân bổ tải trọng trong lòng ống bằng các trọng vật làm từ vật liệu như gang hoặc thép là phù hợp theo tiêu chí về độ bền và giảm chi phí sản xuất. Trong đó, vỏ ống được khuyến nghị chế tạo từ phôi ống với độ dày thành 10 ÷ 12 mm. Phương pháp và kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng cho việc thiết kế maket các khí tài khác. ❖

Ngày nhận bài: **25/7/2024** Ngày phản biện: **12/8/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Яушев, А. А., and В. Г. Дегтярь. "Экспериментальная оценка влияния жесткости соединения отсеков на формы и частоты собственных колебаний изделия". Научный поиск, 2016.
- [2]. "Испытания макета «Ангары-А5»". https:// lenta.ru/news/2023/06/16/angara/
- [3]. Vương Nguyên Đạt, Phạm Văn Thức; "Tính toán, thiết kế thùng xe tải kín trên Chassis Hino FG8JP7A bằng phần mềm Autodesk Inventor và Ansys Workbench". Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh, 2023.
- [4]. Đỗ Hữu Quyết; "Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor để tính toán thiết kế chi tiết máy". Tạp chí Khoa học và Phát triển, 2008: Tập VI, số 2: 192-201.
- [5]. Савкин, Алексей Николаевич, et al. "Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов конструкций". (2019): 252-252.

# NGHIÊN CỨU TẠO LỚP PHỦ GỐM WC-12Co BỀ MẶT TRỤ TRONG LÀM VIỆC TRONG MÔI TRƯỜNG KHẮC NGHIỆT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHUN PHỦ HVOF

#### RESEARCH ON CREATING WC-12Co CARBIDE COATING FOR INTERNAL SURFACES WORKING IN HARSH ENVIRONMENTS BY USING HIGH VELOCITY OXYGEN-FUEL THERMAL SPRAY (HVOF)

Nguyễn Tuấn Hải<sup>1</sup>, Đinh Văn Chiến<sup>2,3</sup> <sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai <sup>2</sup>Trường Đại học Mỏ – Địa chất <sup>3</sup>Trường Đại học Kinh tế – Công nghệ Thái Nguyên

## TÓM TẮT

Phương pháp mạ crôm cứng (EHC) để tạo lớp phủ bảo vệ thường được sử dụng rộng rãi trong ngành hàng không, ô tô và thiết bị dầu khí ngoài khơi... Tuy nhiên, công nghệ mạ tác động xấu đến môi trường do dung dịch mạ crom chứa các hợp chất crom hóa trị sáu (Cr<sup>6+</sup>), một chất cực kỳ độc hại và gây ung thư. Giải pháp thay thế cho EHC đã được phát triển rộng rãi trong thập kỷ qua bằng công nghệ phun phủ nhiệt sử dụng nhiên liệu oxy tốc độ cao (HVOF). Công nghệ HVOF cho trạng thái hạt phun hoạt động ở động năng cao, nhiệt độ hạt thấp, nâng cao đặc tính chống mài mòn và ăn mòn. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tạo lớp phủ gốm WC-12Co bằng công nghệ HVOF nhằm nâng cao chất lượng của bề mặt bên trong chi tiết trụ trong môi trường làm việc khắc nghiệt. Vật liệu nền được sử dụng là ống thép CT38. Các đặc tính lớp phủ được nghiên cứu bao gồm độ xốp, độ cứng tế vi, độ bám dính với nền thép, thành phần pha. Có ba thông số công nghệ phủ đã được khảo sát gồm tốc độ súng phun tương đối, khoảng cách phun và lưu lượng bột. Hệ thống phun HVOF được trình bày trong nghiên cứu cùng với đồ gá phun được thiết kế đặc biệt cho hệ thống phun bề mặt trong với đường kính tối thiểu 400 mm đã được chế tạo và với khả năng phun mẫu ở chiều sâu lên tới 600 mm. Các đặc tính của lớp phủ được thảo luận để tối ưu hóa hơn nữa hiệu suất của lớp phủ trong các ứng dụng tương lai.

Từ khóa: HVOF; WC-12Co; Bề mặt trong; Lớp phủ phun nhiệt.

#### ABSTRACT

Electrolytic hard chrome (EHC) methods are still widely utilized in the aerospace, automotive, and offshore industries. Alternative solutions to EHC have been widely developed in the past decade by High-velocity oxygen-fuel (HVOF) processes, which operate at higher kinetic energy and more particularly at lower temperatures, significantly increasing wear and corrosion resistance properties. The paper presents the research results on the fabrication of WC-12Co carbide coatings by HVOF, which was used to improve the quality of the internal surface of pipes  $\Im$  operating in aggressive environments. The pipe material used is CT38 steel pipe, the investigated coating properties include porosity, microhardness, adhesion to steel substrates, and phase composition. There are three coating technology parameters that have been surveyed, including relative spray gun speed, spray distance, and powder flow. A dedicated internal diameter HVOF system is presented here and specially designed fixtures with a minimum inside diameter of 400 mm have been manufactured for this purpose, with a possibility to spray samples at increasing lengths up to 600 mm. Coating properties are discussed for further optimization of coating performance.

Keywords: *High-velocity oxygen fuel; WC-12Co; Internal surface; Thermal spray coatings.* 

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nhiều ngành công nghiệp sử dụng các chi tiết như: van, lòng khuôn, xylanh, đường ống... sử dung bề mặt làm việc là bề mặt trong. Các bộ phận, chi tiết này được sử dụng rộng rãi để vận chuyển các vật liệu rắn, lỏng hoặc sử dụng trong thiết bị áp lực và chúng thường hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt như ăn mòn và mài mòn, nhiệt độ cao. Bảo vệ bề mặt bên trong của chi tiết nhằm nâng cao tuổi thọ hoạt đông của chúng đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu và đạt được thành công đáng kể [1-3]. Phương pháp phổ biến được sử dụng hiện nay để bảo vệ bề mặt trong là crom cứng công nghiệp hoặc tạo crom cứng điện phân (EHC). Công nghệ EHC đã chứng minh được hiệu quả trong việc bảo vệ bề mặt. Tuy nhiên, phương pháp này đặt ra các vấn đề như yếu trước ngoại lực, độ bám dính kém. Phun nhiệt oxy-nhiên liệu tốc độ cao (HVOF) là công nghệ có thể thay thế EHC vì nó mang lại khả năng chống ăn mòn và mài mòn cao hơn, nâng cao hiệu quả tổng thể [4-5].

Lớp phủ bề mặt các-bít vonfram WC-Co thường được sử dụng để tăng độ cứng, khả năng chống mài mòn và chống ăn mòn của các bộ phận kỹ thuật khác nhau, vật liệu này có thể được tạo lên trên bề mặt bởi công nghệ phun HVOF. Người ta đã chứng minh rằng lớp phủ WC-Co được phun nhiệt thể hiện các cấu trúc vi mô đa pha phức tạp [6-9]. Mức độ phân hủy bột trong quá trình phun bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố quá trình phức tạp nhưng chủ yếu phụ thuộc vào hai yếu tố: quá trình nhiệt độ – thời gian của các hạt trải qua và đặc tính của hạt như kích thước hạt, độ xốp và kích thước hạt. Sự phân hủy xảy ra ở nhiệt độ cao và vận tốc thấp. Việc sử dụng kích thước hạt gốm nhỏ trong các hạt bột đều thúc đẩy sự hòa tan gốm vào ma trận nóng chảy và quá trình khử cácbon sau đó.

So với phun bề mặt ngoài, quá trình phun phủ bề mặt bên trong của chi tiết vẫn còn nhiều vấn đề cần được nghiên cứu như:

- Súng phun phải có khả năng hoạt động ở khoảng cách phun ngắn. Khi các hạt trải qua quá trình tăng tốc ở khoảng cách phun ngắn, kết quả cuối cùng là chất lượng lớp phủ kém do vận tốc không đủ của các hạt khi va chạm với chất nền.

- Quá trình oxy hóa các hạt có thể xảy ra nhiều hơn khi phun vật liệu dạng bột mịn hơn so với phun ngoài.

- Các hạt mịn hơn có xu hướng đi theo đường đi của dòng không khí mạnh hơn so với các hạt lớn hơn và do các dòng không khí ở gần bề mặt tách ra khỏi bề mặt nền nên các hạt nhỏ hơn có thể đi theo đường này, không bám vào bề mặt.  Quá trình oxy hóa của vật liệu phủ có thể xảy ra sau sự tác động của các hạt vật liệu phủ lên vật liệu nền.

Tóm lại, quá trình tạo lớp phủ bề mặt trong phức tạp hơn quá trình phun bề mặt ngoài và chưa có công trình nào công bố ở Việt Nam. Trong bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, thử nghiệm đánh giá cơ tính của lớp phủ WC-12Co chế tạo bằng phương pháp phun nhiệt HVOF bề mặt trong chi tiết trên nền thép ống CT38.

#### 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

#### 2.1. Tạo lớp phủ thử nghiệm

Hệ thống thiết bị HVOF cầm tay HP-2700M chế tạo bởi công ty MEC – Ấn Độ (Hình 1) kết hợp với đồ gá chuyên dùng được thiết kế đặc biệt phun bề mặt trong được dùng để tạo lớp phủ.

Để bề mặt lớp phủ đạt chất lượng, quá trình phun bề mặt bên trong của chi tiết cần đảm bảo chuyển động đồng đều giữa tốc độ quay của ống và chuyển động tịnh tiến của súng phun dọc theo trục của ống. Tốc độ chuyển động dọc trục cần được điều khiển độc lập để duy trì các thông số tốc độ chuyển động tương đối giữa súng phun và bộ phận được phun. Trên cơ sở đó, đồ gá phun đặc biệt được thiết kế và chế tạo phù hợp với mẫu phun trong nghiên cứu (Hình 2).

Lớp phủ được tạo thành trên bề mặt trụ trong của ống thép CT38 có đường kính OD = 406 mm và ID = 390 mm (Hình 3). Chiều dày lớp phủ các mẫu sau khi phun trong khoảng 450-500  $\mu$ m.

Bột WC-12Co với các đặc tính thể hiện Bảng 2 dùng trong nghiên cứu tạo lớp phủ bằng phương pháp phun nhiệt HVOF là loại bột nguyên liệu thương mại có thành phần 88% WC, 12%Co được tạo ra bằng phương pháp kết tụ và thiêu kết với kích thước trung bình 15-45 µm. Bảng 1 trình bày các thông số chế độ phun để tạo lớp phủ dùng trong thử nghiệm, bao gồm ba thông số chính được nghiên cứu thử nghiệm trên phạm vi rộng để xác định chế độ công nghệ phù hợp làm cơ sở cho việc ứng dụng thực tế tạo lớp phủ trên bề mặt trong của ống. Đó là khoảng cách phun L, lưu lượng phun P và vận tốc tương đối súng phun V, được bố trí theo phương pháp Taguchi tạo thành 9 mẫu thí nghiệm để tạo lớp phủ dùng trong đánh giá (Hình 3).

![](_page_36_Figure_10.jpeg)

Hình 1. Hệ thống thiết bị phun nhiệt HVOF HP-2700M.

![](_page_36_Picture_12.jpeg)

Hình 2. Đồ gá phun bề mặt trong

![](_page_36_Picture_14.jpeg)

Hình 3. Mẫu phun thực nghiệm

P

Thí nghiệm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L (m)	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30
P (g/phút)	20	26	32	20	26	32	20	26	32
V (m/s)	0.10	0.15	0.20	0.15	0.20	0.10	0.20	0.10	0.15

Bảng 1. Thông số chế độ phun các mẫu

Bảng 2. Đặc tính vật liệu WC-12Co

ТТ	Đặc tính	WC	Со
1	Nhiệt độ nóng chảy (°C)	2785 ÷ 2830	1495
2	Độ bền nén (MPa)	6833	2927
3	Mật độ (g/cm <sup>3</sup> )	15,88	8,9

#### 2.2. Phương pháp kiểm tra chất lượng lớp phủ

Bột phun gốm WC-12Co có hình thái bề mặt và cấu trúc vi mô mặt cất ngang lớp phủ được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét Nova Nano SEM 450 FEI (Nhật Bản); Độ xốp của lớp phủ được đo theo tiêu chuẩn ASTM B276-21 [10]; Xác định cấu trúc tinh thể của vật liệu bằng cách sử dụng chùm tia X hẹp, đơn sắc, song song hướng vào mẫu. Trong nghiên cứu này, thiết bị D8-Advance của Bruker (Đức) được sử dụng để phân tích thành phần pha của lớp phủ.

Tiêu chuẩn ASTM E384-22 được sử dụng để đánh giá độ cứng của lớp phủ [11]. Quá trình đo độ cứng được thực hiện trên thiết bị IndentaMet 1106.

Để kiểm tra cường độ bám dính giữa lớp phủ và vật liệu nền, tiêu chuẩn JIS-H-8304-2017 được lựa chọn để sử dụng đánh giá [12]. Nguyên lý xác định cường độ bám dính theo phương pháp xác định ứng suất bám dính trượt của lớp phủ với vật liệu nền (Hình 4).

![](_page_37_Figure_9.jpeg)

![](_page_37_Figure_10.jpeg)

#### 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Hình thái bột phun và cấu trúc vi mô lớp phủ WC-12Co

Cấu trúc vi mô của vật liệu bột WC-12Co đã được nghiên cứu, thử nghiệm. Hình thái được mô tả gần như hình dạng cầu (Hình 5). Phân tích cấu trúc vi mô lớp phủ thông qua ảnh SEM (Hình 6a) cho thấy lớp phủ liên kết với bề mặt vật liệu nền được hình thành bằng liên kết cơ học (là liên kết chính). Liên kết đó được hình thành do sự bám dính của hạt với phần nhấp nhô của bề mặt trong quá trình gia công nhám trước đó (Hình 6d,e,f). Coban đóng vai trò liên kết các hạt và liên kết của lớp phủ với chất nền (Hình 6b,c). Tuy nhiên, trong lớp phủ tồn tại độ xốp với kích thước nhỏ dao động từ (0,5 ÷ 2,5) µm (Hình 6d). Ảnh SEM của lớp phủ cho thấy lớp phủ WC-12Co tạo bằng phun HVOF có độ kín khít cao.

![](_page_38_Picture_2.jpeg)

Hình 5. Ảnh SEM hình thái bột WC-12Co

![](_page_38_Figure_4.jpeg)

Hình 6. Cấu trúc vi mô lớp phủ

#### 3.2. Độ xốp lớp phủ

Độ xốp của lớp phủ được xác định bằng kỹ thuật phân tích hình ảnh theo tiêu chuẩn ASTM B276-21 với sự hỗ trợ của kính hiển vi quang học Axioplan2-Carl Zeiss. Giá trị độ xốp đo được là giá trị trung bình được đo tại 5 vị trí khác nhau trên cấu trúc mặt cắt ngang của lớp phủ. Kết quả phân tích đô xốp của một mẫu phủ thử nghiệm được thể hiện trên Hình 8. Kết quả đo độ xốp cho thấy các lớp phủ có độ xốp khác nhau tùy theo thông số phun HVOF dao động từ 1,48-3,06%. Mẫu có độ xốp thấp nhất khi phun thử nghiệm mẫu với khoảng cách phun 0,3 m, lưu lượng cấp bột là 20 g/phút và vận tốc súng phun tương đối là 0,20 m/s. Trong khi đó, mẫu có độ xốp cao nhất là 3,06% khi phun lớp phủ với khoảng cách phun 0,2 m, lưu lượng cấp bột 20 g/phút và tốc độ súng phun tương đối 0,10 m/s. Độ xốp phụ thuộc vào việc lựa chọn tối ưu các thông số phun như: kích thước hạt phun, tốc độ phun, lưu lượng bột phun và khoảng cách phun,...

#### 3.3. Thành phần pha

Hình 7 là kết quả phân tích EXD của bột WC-12Co. Kết quả phân tích thành phần pha của các mẫu phun trình bày ở Bảng 3. Qua Bảng 3 và Hình 6c cho thấy WC vẫn là thành phần chính, lượng WC chuyển biến chính tạo thành W<sub>2</sub>C và Co<sub>4</sub>W<sub>2</sub>C, trong khi lượng phân hủy tạo thành W là tối thiểu (Hình 9). Giai đoạn WC trải qua quá trình phân hủy để tạo ra W<sub>2</sub>C, sau đó chuyển thành kim loại W khi đạt được nhiệt độ cao trong môi trường giàu oxy. Trong quá trình phun nhiệt, gốm khuếch tán từ WC vào ma trận và Co khuếch tán từ ma trận vào cacbua, tạo thành Co<sub>2</sub>W<sub>4</sub>C hoặc Co<sub>6</sub>W<sub>6</sub>C. Trong nghiên cứu này, Co, W, C là thành phần pha được xác định. Trong trường hợp này, quá trình chuyển pha bị ảnh hưởng chủ yếu bởi thời gian tiếp xúc nhiệt của các hạt, do khoảng cách di chuyển của hạt tăng lên (tức là khoảng cách phun tăng lên). Kết quả là sự chuyển pha của  $W_2C$  và W tăng lên, sự hình thành  $Co_4W_2C$ có xu hướng giảm đi, do đó lượng WC còn lại cũng có xu hướng giảm đi khi quá trình chuyển (P biến tăng lên.

![](_page_39_Figure_1.jpeg)

Hình 9. Phổ phân tích XRD xác định thành phần pha lớp phủ của hai mẫu

ТТ	Thành phần (%)	Mẫu thí nghiệm									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	WC	64	72,5	60,6	71,9	58,2	71,5	53,1	61,6	53,7	
2	W <sub>2</sub> C	10,9	7,9	16,9	10,4	18,3	10,9	17,7	6,1	27	
3	W	6,8	10,7	8,8	4,4	8,1	3,4	13,2	12,5	9,1	
4	Co <sub>4</sub> W <sub>2</sub> C	18,3	8,8	13,7	13,2	15,4	14,2	16	19,8	10,1	

Bảng 3. Kết quả phân tích XRD thành phần pha của mẫu

#### 3.4. Độ cứng lớp phủ

40

Quá trình đo được thực hiện bằng thiết bị IndentaMet 1106 với thang đo HV0.1 (tải trọng 100 g và thời gian tải 15 giây). Các điểm đo được bố trí dọc theo mặt cắt ngang của bề dày lớp phủ như hình 10. Giá trị kiểm tra độ cứng trên mẫu thể hiện trên bảng 4. Giá trị độ cứng đo được cao nhất trên các mẫu là 1247.2 HV, trong khi giá trị độ cứng thấp nhất đo được trên các mẫu là 1029.7 HV. Độ cứng lớp phủ của các mẫu lớn hơn 1000 HV và độ cứng giữa các mẫu khác nhau cho thấy sự thay đổi pha trong WC ảnh hưởng đến độ cứng lớp phủ. Do đó, đặc tính chống mài mòn của lớp phủ WC-12Co cũng sẽ thay đổi. Việc kiểm soát nhiệt độ và sự biến đổi pha của WC sẽ góp phần nâng cao đặc tính của lớp phủ phun nhiệt và cho phép tạo ra các ứng dụng khác nhau trong kỹ thuật của vật liệu này.

![](_page_39_Figure_8.jpeg)

Hình 10.Vị trí đo độ cứng lớp phủ

Mẫu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Giá trị độ cứng (HV)	1176.3	1029.7	1150.2	1247.2	1185.5	1200.4	1233.1	1093.6	1083.1

Bảng 4. Kết quả đo độ cứng của các mẫu

#### 3.5. Độ bám dính lớp phủ

Độ bền bám dính của lớp phủ được xác định theo tiêu chuẩn JIS-H-8304-2017, trong đó mẫu được phun phủ với đô dày khoảng 500 µm. Kết quả thử nghiệm độ bám dính cho thấy mẫu có cường độ bám dính cao nhất 65,6 MPa được phun ở khoảng cách phun 0,15 m, tốc độ dòng phun 26 g/phút và vận tốc tương đối của súng phun là 0,2 m/s. Độ bám dính của lớp phủ phụ thuộc vào các yếu tố chính như khoảng cách phun và nhiệt độ nóng chảy của các hạt. Kết quả thực nghiệm cho thấy khoảng cách phun khác nhau sẽ cho giá trị độ bám dính khác nhau tương ứng. Vì khoảng cách phun ảnh hưởng đáng kể đến năng lượng hat trong quá trình va cham do sư thay đổi năng lượng trong môi trường phun. Tốc độ dòng phun ảnh hưởng đến nhiệt độ hạt và sự xếp chồng của các lớp phủ trên bề mặt nền. Đô bền bám dính rất quan trọng đối với các ứng dụng thực tế trong việc chống ăn mòn và mài mòn. Do quá trình làm mát nhanh, sự khuếch tán vật liệu giữa lớp phủ và chất nền bi han chế xảy ra, do đó làm cho đô bám dính giữa lớp phủ và chất nền chủ yếu là một quá trình vật lý hơn là quá trình luyện kim hoặc hóa học.

#### 4. KÉT LUẬN

Lớp phủ gốm WC-12Co được tạo trên bề mặt trong của chi tiết bằng phương pháp phun HVOF đã được nghiên cứu, đánh giá. Ba thông số công nghệ chế độ phun đã được khảo sát bao gồm khoảng cách phun, lưu lượng bột và vận tốc súng phun tương đối. Các thông số phun được khảo sát ảnh hưởng lớn đến cơ tính lớp phủ được tạo ra và do đó ảnh hưởng lớn đến tuổi thọ chi tiết.

Độ xốp của lớp phủ đạt giá trị thấp nhất 1,48% khi phun lớp phủ với tốc độ cấp bột 20 g/phút, vận tốc súng phun tương đối 0,2 m/s và khoảng cách phun 0,3 m.

 Độ cứng tế vi và cường độ bám dính của lớp phủ đạt giá trị cao nhất lần lượt là 1247,2 HV và 65,6 MPa.

- Phân tích XRD cho thấy sự hình thành các pha mới như WC (thành phần chính),  $W_2C$ ,  $Co_4W_2C$ .

Với thành phần và cơ lý của lớp phủ các-bít WC-12Co bề mặt trụ trong đã được tạo ra bằng công nghệ HVOF, có thể ứng dụng tạo lớp phủ bằng vật liệu khác trên bề mặt trụ trong làm việc trong điều kiện chịu ăn mòn và mài mòn.

Ngày nhận bài: **26/9/2024** Ngày phản biện: **15/10/2024** 

#### Tài liệu tham khảo:

[1]. Matthews, S.; James, B., "Review of thermal spray coating applications in the steel industry: Part 1 – Hardware in steel making to the continuous annealing process". J. Therm. Spray Technol. 2010, 19, 1267-1276.

- Yang, G.-J.; Li, C.-J.; Zhang, S.-J.; Li, C.-X., *"High-temperature erosion of HVOF sprayed* Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coating and mild steel for boiler tubes". J. Therm. Spray Technol. 2008, 17, 782-787.
- [3]. Padture, N.P.; Gell, M.; Jordan, E.H., *"Thermal barrier coatings for gas-turbine engine applications"*. Science 2002, 296, 280-284.
- [4]. Sartwell, B.D.; Bretz, P.E., "HVOF thermal spray coatings replace hard chrome". Advanced Materials & Processes, Volume 156, No. 2, August 1999, pp. 25+.
- [5]. Vernhes, L.; Azzi, M.; Klemberg-Sapieha, J.E., "Alternatives for hard chromium plating: Nanostructured coatings for severeservice valves". Mater. Chem. Phys. 2013, 140, 522-528.
- [6]. U. Selvadurai, P. Hollingsworth, I. Baumann, B. Hussong, W. Tillmann, S. Rausch, D. Biermann, "Influence of the handling parameters on residual stresses of HVOFsprayed WC-12Co coatings". Surface and Coatings Technology. 268, 30 (2015).
- [7]. S. Hong, Y. Wu, B. Wang, Y. Zheng, W. Gao,
  G. Li, "High-velocity oxygen-fuel spray parameter optimization of nanostructured WC-10Co-4Cr coatings and sliding wear behavior of the optimized coating". Materials & Design. 55, 286 (2014).

- [8]. T. Sudaprasert, P.H. Shipway, D.G. McCartney, "Sliding wear behaviour of HVOF sprayed WC-Co coatings deposited with both gasfuelled and liquid-fuelled systems". Wear. 943-949. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00293-X.
- [9]. W. Fang, T.Y. Cho, J.H. Yoon, K.O. Song, S.K. Hur, S.J. Youn, H.G. Chun, "Processing optimization, surface properties and wear behavior of HVOF spraying WC-CrC-Ni coating". Journal of Materials Processing Technology. 209, 3561 (2009).
- [10]. ASTM B276-21, "Standard test method for apparent porosity in cemented carbides". ASTM International.
- [11]. ASTM-E384-22, "Standard test method for microindentation hardness of materials". ASTM International.
- [12]. JIS-H-8304-2017, "Test methods for build-up thermal spraying", Japan.

# LILAMA 10 ghi dấu ấn 3 triệu giờ làm việc an toàn tại dự án Hydrogen xanh Neom

Việc đạt cột mốc 3 triệu giờ an toàn là một thành tựu lớn, phản ánh tinh thần trách nhiệm và sự chuyên nghiệp của toàn thể đội ngũ cán bộ, công nhân viên LILAMA và LILAMA 10 đã nghiêm túc chấp hành nội quy an toàn lao động.

Ngày 11/10/2024, tại Nhà máy Cơ khí và Chế tạo thiết bị Hải Dương thuộc Công ty Cổ phần LILAMA 10 đã diễn ra buổi lễ chúc mừng thành tích quan trọng – 3 triệu giờ làm việc an toàn, không tai nạn - tại dự án gia công chế tạo và tổ hợp module Hydrogen xanh Neom. LILAMA 10 vinh dự tham gia buổi lễ cùng Tập đoàn Air Products, Tập đoàn Thyssenkrupp Nucera và Tổng Công ty Lắp máy Việt Nam (LILAMA).

![](_page_42_Picture_4.jpeg)

Cán bộ, công nhân viên của Nhà máy Cơ khí và Chế tạo thiết bị Hải Dương trong buổi lễ.

3 triệu giờ làm việc an toàn, không tai nạn - là cột mốc đáng tự hào, đánh dấu sự thành công vượt bậc của các bên tham gia trong việc đảm bảo chất lượng, tiến độ và an toàn lao động cho một trong những dự án công nghệ xanh lớn nhất thế giới hiện nay. Dự án Hydrogen xanh Neom không chỉ là biểu tượng cho tương lai năng lượng sạch mà còn là minh chứng cho năng lực của LILAMA 10 trong các dự án công nghiệp quốc tế.

LILAMA 10 là một trong những đơn vị hàng đầu trong lĩnh vực gia công chế tạo, lắp đăt cơ khí tai Việt Nam. Trong hành trình phát triển của mình, Công ty luôn không ngừng cải tiến, ứng dụng những công nghệ và quy trình tiên tiến nhất, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật khắt khe từ các đối tác quốc tế. Trên mỗi công trình, dự án, lãnh đạo Công ty luôn quan tâm, chú trọng công tác đảm bảo an toàn cho người và thiết bị thi công song song với việc đảm bảo tiến độ, chất lượng đã cam kết với đối tác. Chính vì vậy, toàn thể cán bộ, kỹ sư, công nhân và người lao đông LILAMA 10 thường xuyên được đào tao, phổ biến và tập huấn nhằm nâng cao nhận thức và ý thức chấp hành về công tác an toàn lao đông.

Tại dự án Hydrogen xanh Neom, LILAMA 10 đảm nhận nhiệm vụ gia công chế tạo, tổ hợp và lắp đặt module với chất lượng cao, tuân thủ tuyệt đối các tiêu chuẩn an toàn quốc tế. Trải qua gần 2 năm thi công, được sự chỉ đạo sát sao của Ban điều hành các dự án Hydrogen xanh của Tổng công ty, cùng những biện pháp hiệu quả trong việc quản lý, kiểm soát công tác an toàn, dự án đạt cột mốc 3 triệu giờ an toàn là sự ghi nhận những đóng góp của toàn thể người lao động LILAMA 10 đã nghiêm túc chấp hành nội quy an toàn lao động.

![](_page_43_Picture_1.jpeg)

Đại diện Tổng công ty Lắp máy Việt Nam - CTCP trao giấy chứng nhận 03 triệu giờ làm việc an toàn cho Lãnh đạo Nhà máy Cơ khí và Chế tạo thiết bị Hải Dương (LILAMA 10).

Có thể khẳng định, văn hóa an toàn mạnh mẽ được LILAMA và LILAMA 10 và các đối tác quốc tế xây dựng và duy trì xuyên suốt quá trình thực hiện dự án. LILAMA và LILAMA 10 đã chủ động áp dụng các hệ thống quản lý an toàn lao động tiên tiến, không ngừng nâng cao ý thức của nhân viên, từ đó góp phần giúp dự án đạt được thành tích ấn tượng – 3 triệu giờ làm việc an toàn không xảy ra tai nạn lao động. Đây là một thành tựu lớn, minh chứng cho tinh thần trách nhiệm và sự chuyên nghiệp của toàn thể đội ngũ cán bộ, công nhân viên LILAMA và LILAMA 10.

Lãnh đạo Công ty Cổ phần LILAMA 10, chia sẻ "Thành tựu 03 triệu giờ làm việc an toàn không chỉ là niềm tự hào của riêng LILAMA 10 mà còn là minh chứng cho sự hợp tác hiệu quả và tinh thần đoàn kết giữa các đơn vị. Chúng tôi cam kết sẽ tiếp tục duy trì các tiêu chuẩn an toàn, chất lượng cao trong mọi dự án mà LILAMA 10 tham gia, góp phần xây dựng thương hiệu Việt vươn ra thế giới".

![](_page_43_Picture_6.jpeg)

Các cá nhân đạt thành tích tốt trong công tác an toàn lao động của LILAMA 10 góp công vào thành tích 03 triệu giờ làm việc an toàn nhận quà tặng tại buổi lễ.

LILAMA 10 tự hào khi được là một phần của những dự án mang tầm vóc quốc tế, và cam kết sẽ tiếp tục đóng góp vào sự thành công của các dự án công nghiệp lớn, mang lại giá trị bền vững cho cộng đồng và xã hội.

Với chiến lược phát triển bền vững và tầm nhìn dài hạn, LILAMA 10 đang nỗ lực không ngừng để mở rộng quy mô, nâng cao năng lực gia công chế tạo và thi công lắp đặt cơ khí trong các dự án công nghệ cao, năng lượng tái tạo và công nghiệp nặng. Sự thành công tại dự án Neom là bước đệm quan trọng để công ty tiếp tục chinh phục những thách thức mới và đóng góp vào sự phát triển của nền công nghiệp quốc tế. �

PV